

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation

Implizites Workloadmanagement - Konzept einer zeitlich-situativen Informationsfilterung im Automobil

Andreas Muigg

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs
(Dr.-Ing.)**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. G. Rigoll

2. Univ.-Prof. Dr. rer.nat. H. Bubb i. R.

Die Dissertation wurde am 09.06.2009 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik am 27.11.2009 angenommen.

Vorwort

*Keine Schuld ist dringender, als die, Dank zu sagen
(Marcus Tullius Cicero)*

So möchte ich an dieser Stelle allen danken, die mich begleitet und diesen Weg ermöglicht haben.

Allen voran danke ich meinem Doktorvater, Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll, der mit den Rahmenbedingungen am Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation die Durchführung der Arbeit in der vorliegenden Art und Weise ermöglicht hat. Die stets gewinnbringenden Anregungen haben maßgeblich zum Abschluss der Arbeit beigetragen. Ebenso möchte ich Prof. Dr. Heiner Bubb danken, der trotz Ruhestand die Rolle des Zweitgutachters übernommen hat. Dies freut mich besonders, da die Gespräche mit ihm im Verlauf dieser Arbeit mir stets neue Sichtweisen eröffnet haben.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulrich Wagner danke ich für die Übernahme des Vorsitzes des Promotionsverfahrens.

Ganz besonders möchte ich Herrn Jürgen Meurle danken, der als Betreuer das Thema ins Leben gerufen und den Grundstein für die drei Jahre gelegt hat. Die gemeinsam formulierten Zielsetzungen und Anregungen auf dem Weg dorthin haben stets die richtigen Impulse gegeben. Die Ausgewogenheit zwischen gewährter schöpferischer Freiheit und thematischen Leitplanken hat die Arbeit in einzigartiger Form geprägt. In seiner Rolle als Abteilungsleiter hat er ebenfalls dafür gesorgt, dass ich innerhalb der AUDI AG voll integriert wurde und so ein ausgezeichnetes Arbeitsklima vorfand.

Darüber hinaus gilt mein Dank den Verantwortlichen, Dr.-Ing. Peter-Felix Tropschuh und Dr.-Ing. Uwe Koser, sowie den Kollegen am INI.TUM. Die gemeinsame, abwechslungsreiche Zeit hat mich fachlich aber auch fachübergreifend voran gebracht.

Vielen Dank an die Kollegen des Lehrstuhls für Mensch-Maschine-Kommunikation. Trotz meiner spärlichen Anwesenheit war ich stets willkommen und stieß mit meinen Fragen auf offene Ohren.

Ohne die Hilfe und Ratschläge der Kollegen der Abteilung Entwicklung Ergonomiekonzepte der AUDI AG wäre das Ergebnis der Arbeit wohl anders ausgefallen. Dafür und für die Aufnahme in das Team möchte ich mich herzlich bedanken.

Andreas Nabholz, dem kritischen Lektor und Ideengeber, gilt mein Dank für seine Unterstützung und die uneingeschränkte Hilfsbereitschaft. Frau Dr. Natascha Künstner und

Frau Dr.-Ing. Heike Sacher, die darüber hinaus auch als Wegbegleiterin zu dieser Arbeit gilt, möchte ich für die Hilfe und Unterstützung sowohl bei Versuchsdesign als auch bei der Auswertung der Studien danken.

Für den technischen Support und fachlichen Rat gilt neben vielen mein besonderer Dank Felix Funke, Stefan Zettl, Dr. Markus Neumann, Robert Mänz und Cornelius Menig. Durch Eure Ideen und helfenden Hände habt ihr die Arbeit in dieser Form möglich gemacht.

Meinen lieben Eltern, die mich unterstützt, motiviert und gefördert haben, gilt größter Dank und Anerkennung.

Romana, die mir so viel Geduld und Ausdauer entgegengebracht hat. Mit ihren motivierenden Worten und dem liebevollen Halt ließ sie mich auch in zehrenden Zeiten das Ziel nicht aus den Augen verlieren - danke für alles.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Motivation	1
Vorgehen	3
Randbedingungen	4
1 Das Führen eines Fahrzeugs	5
1.1 Der Mensch-Maschine-Umwelt-Regelkreis	5
1.1.1 Fahraufgabe	6
1.1.2 Sensorische Wahrnehmung	9
1.1.3 Grenzen der Informationsverarbeitung	18
1.1.4 Grundüberlegungen zur Fahrzeugdynamik	19
1.1.5 Umwelteinflüsse	23
1.2 Fahrerunterstützungssysteme	25
2 Stand der Technik	29
2.1 Begriffserklärung	29
2.2 Beanspruchungsmessung	32
2.2.1 Physiologische Messungen	33
2.2.2 Subjektive Bewertung	36
2.2.3 Leistungsmerkmale	37
2.3 Relevante Beiträge und Studien	39
2.4 Transfer aus der Unfallforschung	50
2.5 Konzepterstellung und Hypothesen	51
3 Reaktion auf Warnmeldungen während der Fahrt	55
3.1 Untersuchungsziele	55
3.2 Fahrsimulator	56
3.3 Versuchsdurchführung	57
3.4 Auswertung und Ergebnisse	58
3.4.1 Datenerfassung	59
3.4.2 Blickabwendungen in Abhängigkeit der Prioritätsstufe	59
3.4.3 Blickabwendungszeiten	61
3.4.4 Blickabwendung in Abhängigkeit der vorherrschenden Situation	63
3.4.5 Abschließende Befragung	64
3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	66

4	Konzept eines zeitlich-situativen Informationsmanagements	69
4.1	Zielsetzung des Systems	69
4.2	Drei-Säulen-Modell des Informationsmanagements	70
4.2.1	Fahrzeug	70
4.2.2	Fahrsituation	71
4.2.3	Fahrerkondition	72
4.3	Implizites Workloadmanagement	72
4.4	Aufmerksamkeitsbeanspruchung von Fahrszenarien	73
4.4.1	Deskriptiver Fragebogen	74
4.4.2	Stichprobenbeschreibung	75
4.4.3	Ergebnisse der Fragebogenstudie	76
4.4.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	82
4.5	Modellierung des Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes	83
4.5.1	Bayes'sche Netze	84
4.5.2	Modellierung mittels Bayes'schem Netz	90
4.6	Umsetzung der zeitlich-situativen Informationsfilterung	107
4.6.1	Filterstrategien	107
4.6.2	Adaptionsstrategie	110
5	Technische Umsetzung und Systemvalidierung	119
5.1	Technische Umsetzung	119
5.1.1	Versuchsträger	119
5.1.2	Workloadmanager Komponenten	120
5.1.3	Prüfung des Systemverhaltens	122
5.2	Probandenstudie zur Validierung im Realfahrversuch	123
5.2.1	Untersuchungsziele	123
5.2.2	Versuchsdesign, Versuchsdurchführung	125
5.2.3	Auswertung und Ergebnisse	126
5.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	135
5.3	Systemerweiterungen	137
5.3.1	Umsetzung der Studienergebnisse	137
5.3.2	Erweiterung des Funktionsumfangs	139
6	Zusammenfassung und Ausblick	145
	Abkürzungsverzeichnis	151
	Abbildungsverzeichnis	154
	Tabellenverzeichnis	155
	Literaturverzeichnis	157
	Anhang	167

Anhang A - Ergänzungen zur Fahrdynamik	167
Anhang B - Ergänzungen zur Fahrsimulatorstudie	169
Anhang C - Fragebogen zur Aufmerksamkeits-Beanspruchung	172
Anhang D - Adaptionstrategien	186
Anhang E - Systemverhalten	189
Anhang F - Probandenstudie im Realverkehr	192

Einleitung

Motivation

Die Summe an Funktionen in modernen Fahrzeugen nimmt deutlich zu. Diese Zunahme bringt eine Vielzahl an Meldungen mit sich, die Informationen für den Fahrer bereithalten und in Form von optischen Ausgaben ausgeben. Je nach Ausstattung sind über 100 Meldungen oder Warnhinweise möglich und mit jedem neuen System nimmt diese Zahl überproportional zu.

Bevor auf die Auswirkungen dieser Informationsvielfalt eingegangen wird, sollen die folgenden Zeilen die gesellschaftlichen und technischen Einflüsse der Automobilentwicklung darstellen und die wachsende Anzahl an Systemmeldungen im Fahrzeug erklären.

Im Wesentlichen haben drei gesellschaftliche Entwicklungen der letzten Jahrzehnte den Fortschritt der Automobilindustrie vorangetrieben.

Zum Einen hat sich das Grundbedürfnis der *Mobilität* mit Zunahme der Technisierung immer stärker ausgeprägt. Die Möglichkeiten, an ferne Orte zu reisen, neue Kulturen zu entdecken oder seinen Lebensmittelpunkt zu verlegen, sind mit heutigen Mitteln sehr leicht zu realisieren. Frank formuliert prägnant, dass immer mehr Menschen immer mehr reisen [FRANK 1997]. Er hält ebenso fest, dass diese Fortbewegung nach Möglichkeit komfortabel und kräfteschonend stattfinden soll.

Damit verweist er auf die gestiegenen *Komfortansprüche* der Gesellschaft. Von technischen Neuentwicklungen wird eine Steigerung der Performanz und Effektivität erwartet. Das Automobil ist hierfür eines der besten und umfangreichsten Beispiele. Kaum ein anderes Produkt spannt seine Anwendungsgebiete dermaßen weit, von reinem Gebrauchsgegenstand bis hin zum Luxus- und Prestigeobjekt. Die Abgrenzung der unterschiedlichen Klassen erfolgt, abgesehen von Motorleistungsdaten, in erster Linie über eine Zunahme an Komfort in allen Ausprägungen. Beginnend mit den Fahrzeugmaßen, die ein größeres Platzangebot bedeuten, eine aufwendigere Achskonstruktion, die sowohl den Schwingungskomfort als auch fahrdynamische Eigenschaften grundlegend beeinflusst, über die Ausgestaltung des Interieurs, beispielsweise Sitzschäumung oder die verwendeten Materialien, bis hin zu Bediensystemen - die Abgrenzung von höherwertigen Fahrzeugen erfolgt über Komfortaspekte.

Das letzte angesprochene Beispiel zielt auf die dritte, soziokulturelle Randbedingung ab. Seit dem Ende des letzten Jahrhunderts befinden wir uns je nach Autor im bzw. im Über-

gang zum sogenannten *Informationszeitalter*. Diese Gesellschaftsform ist dadurch charakterisiert, dass nicht mehr das Materielle der essenzielle Bestandteil der Wertschöpfung ist, sondern Software mit ihrer integrierten Logik und Intelligenz diese Rolle übernimmt. Des Weiteren ist die Möglichkeit, an nahezu jede gewünschte Information via unterschiedlicher Kommunikationsformen zu gelangen, ein Merkmal des aktuellen Gesellschaftssystems.

Unter diesen Einflüssen haben sich moderne Autos dahin entwickelt, dass ihre Funktionalität nur mehr mit komplexen Steuergeräten realisierbar ist. Als Beispiele seien hier die Motor- oder ESP-Steuergeräte angeführt.

Die Zunahme der Systeme in modernen Fahrzeugen hat zur Folge, dass der Fahrer neben seiner aktiven Rolle als Fahrzeugführer auch eine Systemüberwachungsaufgabe erfüllen muss. Diese Monitoringaufgabe gab es zwar schon in den ersten Automobilen, aber die Ausprägung hat sich grundlegend verändert. Moderne Systeme überwachen sich mittlerweile selbst und stellen auftretende Fehler oder undefinierte Zustände fest. Dies muss dem Fahrer eindeutig mitgeteilt werden, damit dieser die richtige Reaktion einleitet. So ist die mögliche Anzahl der Status-, Fehler- oder Hinweismeldungen mit Zunahme der Funktionen und Systeme exponentiell gestiegen. Dieser Trend setzt sich weiterhin fort, da in jeder neuen Fahrzeuggeneration neue potenzielle Meldungsquellen implementiert werden. Durch den Einzug der Kommunikationselektronik im automobilen Umfeld verstärkt sich diese Tendenz. War es zu Beginn nur ein Autotelefon mit Kabel, werden heute verschiedenste Geräte mit Bluetooth-Anbindungen, Navigationssysteme und Internetverbindungen angeboten. Die aktuelle Entwicklung stellt in Aussicht, dass in naher Zukunft die sogenannte *Car-2-X-Technologie* zum Serieneinsatz kommen wird. Hierbei handelt es sich um drahtlose Verbindungen vom eigenen Fahrzeug zu anderen Fahrzeugen, Verkehrsleitungsrichtungen oder Gebäuden, um Informationen auszutauschen. Demnach eine weitere Technologie, die dem Fahrer im Fahrzeug eine Vielzahl an Informationen darbietet.

Bei all diesen Informationen darf nicht vergessen werden, dass der Fahrer in erster Linie das Fahrzeug sicher durch den Verkehr führen soll. Wird er dabei in ungünstigen Situationen gestört, kann ihn das ablenken und so seine Fahrleistung negativ beeinflussen. Auf dieser Überlegung setzt die vorliegende Arbeit auf.

Es wird die Frage geklärt, ob sich Meldungen negativ auf den Fahrer auswirken und wie sich solche Situationen im Fahrzeug, unter Berücksichtigung der technischen und individuellen Randbedingungen, verhindern lassen. Die Optimierung der Informationszirkulation im Fahrzeug stellt eine Komfortzunahme und einen möglichen Sicherheitsgewinn in Aussicht.

Vorgehen

An die formulierte Fragestellung wird folgendermaßen herangegangen. In Kapitel 1 werden die notwendigen Grundlagen des Prozesses der Fahrzeugführung erläutert. Anhand eines Regelkreismodells wird das Zusammenspiel von Fahrer, Fahrzeug und den vorherrschenden Umweltbedingungen erläutert. Dabei werden die für das Verständnis der Arbeit notwendigen Grundlagen zur menschlichen Wahrnehmung, der Bedienung des Fahrzeugs und die Auswirkung auf dessen Fahrdynamik sowie Umwelteinflüsse dargestellt. Im Anschluss folgt eine Einführung in die Thematik Fahrerunterstützung. Anhand von Beispielen werden Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsysteme erklärt und voneinander abgegrenzt. Der Fokus dieser Arbeit wird auf Fahrerinformationssysteme gelenkt.

Es folgt im Kapitel 2 ein Überblick über bestehende Forschungen und Systeme, die mit der Fragestellung verwandt sind beziehungsweise gewinnbringende Anregungen geben. Aktivitäten bei verschiedenen Fahrzeugherstellern, Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen werden analysiert und verglichen. Dabei wird der neue Ansatz, den diese Arbeit verfolgt, dargestellt.

Am Ende des Kapitels wird in der Zusammenfassung der bis hierhin gewonnen Erkenntnisse die Problemstellung der ungefilterten Informationsweitergabe vom Fahrzeug an den Fahrer herausgearbeitet. Es werden im Rahmen der konzeptionellen Vorgehensweise die Hypothesen gebildet, deren Untersuchung im Zentrum der weiteren Kapitel steht.

Kapitel 3 zeigt anhand einer Fahrsimulatorstudie die Notwendigkeit einer situationsabhängigen Filterung von Meldungen. Die allgemeinen Fahrerreaktionen auf Meldungen in einem Kombi-Instrument werden dargestellt und Schlussfolgerungen abgeleitet, welchen Nutzen ein zeitlich-situatives Informationsmanagement erzielen kann.

Mit der Realisierung dieses Informationsmanagements beschäftigt sich Kapitel 4. Es werden die Ziele und Erwartungen an das System formuliert und die Randbedingungen aufgezeigt. Es folgt eine Skizzierung des Konzeptes mit der Erläuterung der Kernelemente. Hierzu gehört eine Fragebogenstudie, die klärt, welche Situationen von Autofahrern als beanspruchend empfunden werden und somit potenziell für eine Manipulation des Informationsflusses vom Fahrzeug zum Fahrer geeignet sind. Die Ergebnisse dieser Untersuchung legen den Grundstein für das *Modell der Aufmerksamkeitsbeanspruchung*. Hierbei wird mittels eines Bayes'schen Netzes eine Situationseinschätzung und darauf aufbauend die benötigten Ressourcen des Fahrers in Form von beanspruchter Aufmerksamkeit modelliert.

Es folgt in Kapitel 5 die Beschreibung eines Prototypenaufbaus in einem Fahrzeug, das die gewünschte Funktionalität aufweist. Das System wird in einer Feldstudie validiert. Dabei werden die möglichen positiven Effekte des Informationsmanagements untersucht. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen als Optimierungsmaßnahmen in das bestehende System ein und vervollständigen dieses.

Im Folgenden wird das bestehende System mit weiteren, nicht serienmäßigen Funktionen

erweitert, um so die zu erwartenden Verbesserungen zu untersuchen. Dazu gehören ein Licht- und ein Regensensor sowie Informationen aus dem Navigationssystem. Es folgt eine Diskussion über den Nutzwert der Erweiterungen.

Zum Abschluss wird die Arbeit zusammengefasst und auf die zu Beginn gestellten Fragen eingegangen. In der Diskussion wird das Potenzial und der Nutzen einer zeitlich-situativen Informationsfilterung analysiert und ein Fazit abgegeben. Des Weiteren werden die Möglichkeiten zusätzlicher Sensorik und die Nutzung von Systemfusionen in Ausblick gestellt und die mögliche Steigerung der Performanz diskutiert.

Randbedingungen

Der Fokus der Arbeit liegt auf der Konzeption und Validierung eines Systems zur zeitlich-situativen Informationsfilterung in Serienfahrzeugen. Deshalb wurde zu Beginn festgelegt, dass die verwendeten Technologien in heutigen Serienfahrzeugen verfügbar oder verbaut sein müssen. Es wird zwar ein Technologiescreening durchgeführt und in Aussicht gestellt, was für Systeme oder Funktionalitäten in zukünftigen Fahrzeugen verfügbar sein werden, für die Umsetzung des Informationsmanagers wird auf diese jedoch verzichtet. Für weiterführende Arbeiten wird allerdings berücksichtigt, dass eine Modularität gewährleistet wird, um das Ergebnis dieser Arbeit mit neuen Erkenntnissen und Technologien erweitern zu können.

Ebenfalls wurde bei dem verwendeten Versuchsfahrzeug auf Zusatzaufbauten verzichtet. Alle Informationen sind direkt vom Fahrzeug-CAN abgegriffen und nicht manipuliert.

Das gewählte Konzept wurde gezielt einfach ausgelegt, um eine ressourcensparende Implementierung in ein Fahrzeugsteuergerät zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang werden im Zweifelsfall pragmatische Ansätze bevorzugt, wenn aus komplexen Berechnungen keine merklichen Verbesserungen der Funktionalität zu erwarten sind.

Diese seriennahe Ausrichtung ermöglicht es, das Potenzial eines solchen Systems zu erforschen und die Ergebnisse direkt auf den realen Straßenverkehr zu übertragen.

Kapitel 1

Das Führen eines Fahrzeugs

Wie steuert der Fahrer das Fahrzeug durch Umwelt und Verkehr?

Um diese Frage zu beantworten, wird in diesem Abschnitt ein Regelkreis, der Mensch, Fahrzeug und Umwelt umfasst, genauer betrachtet. Dieser stellt das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten dar und veranschaulicht in vereinfachter Form den Prozess „Autofahren“.

1.1 Der Mensch-Maschine-Umwelt-Regelkreis

Es bestehen verschiedene Ansätze, um den komplexen Vorgang des Autofahrens in einem Modell abzubilden. Vorrangig wird in einem Regelkreis der Zusammenhang zwischen Fahrerabsicht und Fahrzeugtrajektorie hergestellt. Beispielsweise bildet Huang in einem solchen Regelkreis den Fahrer als Regler und das Fahrzeug als Regelstrecke ab [HUANG 2003]. In [SCHWEIGERT 2002] wird zusätzlich der Faktor Umwelt als Störgröße berücksichtigt. In Abbildung 1.1 auf der nächsten Seite ist der für diese Arbeit adaptierte Regelkreis dargestellt.

Motiviert durch die Fahraufgabe, regelt der Fahrer das Fahrzeug. Maßgebliche Informationen über Umwelt und die Rückmeldung seines Fahrzeugs nimmt er über seine Sinneskanäle auf. Seine Aktivitäten an den jeweiligen Stellteilen, dem Lenkrad, Gas-, Brems- und Kupplungspedal als auch Schaltknäuf, rufen eine entsprechende Fahrzeugreaktion hervor. Im Abschnitt 1.1.4 auf Seite 19 wird auf das Fahrverhalten genauer eingegangen. Das Fahrzeug setzt diese Befehle in Form von Änderungen in seiner Quer- oder Längsdynamik um. Als Ergebnis stellt sich eine Fahrzeugtrajektorie ein, entlang der sich das Fahrzeug bewegt. In seiner Funktion als Regler überprüft der Fahrer diese Trajektorie, prognostiziert ein zeitnahes Szenario der Situation und entscheidet so über Korrekturmaßnahmen oder einen Strategiewechsel wie z.B. einen Abbiegevorgang oder ein Überholmanöver.¹ Sowohl das wahrgenommene als auch das prognostizierte Szenario setzen sich aus der Position des Egofahrzeugs, der Relativposition der weiteren Verkehrsteilnehmer sowie den Randbedingungen der Infrastruktur zusammen. Darunter fallen z.B. der Straßenverlauf, Verkehrsleitanlagen und Geschwindigkeitsbegrenzungen. Weitere entscheidende

¹Für eine ausführliche regelungstechnische Analyse des Regelkreises, insbesondere dem Fahrer als Regler, wird auf [HUANG 2003], Seite 75ff, verwiesen.

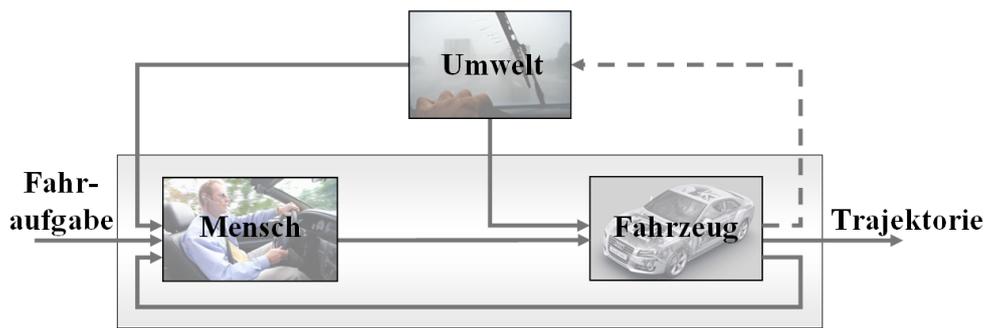


Abbildung 1.1: Regelkreis Mensch-Fahrzeug-Umwelt

Einflussparameter sind Umweltfaktoren wie Licht- und Witterungsverhältnisse. Diese beeinflussen sowohl die menschliche Wahrnehmung (Sichtweite, Streuung und Reflexionen des Lichts an Wassertropfen, etc.) als auch die Grenzen der Fahrphysik, innerhalb derer ein sicheres Fahren möglich ist. Darüber hinaus beeinflusst der Fahrer selbst mit seinen Aktionen die Umweltparameter. Allein durch seine Präsenz veranlasst er andere Verkehrsteilnehmer zu Handlungen und Fahrmanövern, die sich wiederum auf sein Fahrverhalten auswirken. Diese Rückkopplung ist in Abbildung 1.1 mit dem strichlierten Pfeil dargestellt.

Diese kurze und allgemeine gehaltene Beschreibung des Regelkreises stellt das Prinzip der Modellierung der Fahrzeugführung dar. Die folgenden Abschnitte beschreiben die einzelnen Komponenten des Regelkreises genauer und bilden die notwendigen theoretischen Grundlagen zum Verständnis dieser Arbeit.

1.1.1 Fahraufgabe

Die Beschreibung der Fahrzeugführung ruft mit den komplexen Zusammenhängen von Motivation, der Wahrnehmung und Interaktionsprozessen seit mehreren Jahren viele verschiedenen Forschungsaktivitäten hervor. Einen Überblick der Thematik und ausgewählter Literatur fassen Jürgensohn et. al. zusammen [JÜRGENSOHN 2001]. Timpe beschreibt dabei die verschiedenen Ansätze, die sich sowohl mit der Informationszirkulation im Fahrer-Fahrzeug-System als auch mit der Interaktion, der Handlung und Wahrnehmung befassen [TIMPE 2001]. Die Ausführungen in diesem Kapitel greifen einige der Ansätze auf und führen diese im Sinne des Gesamtverständnisses fort.

Zu Beginn einer jeden Autofahrt steht ein sogenanntes Missionsziel. Dieses Missionsziel beruht auf der Motivation, auf Grund der ein Fahrer ein Fahrzeug von einem Ausgangsort zu einem Zielort fährt. Bei [THEIS 2002] werden solche Fahrten in die Typen „Dienstfahrt“ (Fahrt zu einem Termin, Transportfahrt, ...) und „Freizeitfahrt“ (Einkaufsfahrt, Wochenendausflug, ...) unterteilt. Diese Missionen sind stets Randbedingungen unterworfen. Dazu gehören beispielsweise ein zeitlicher Horizont (z.B. Termindruck), ein möglichst geringer Verbrauch (Treibstoff sparen) oder auch die Bevorzugung einer ländlichen Strecke, um die Aussicht zu genießen. Zur Erfüllung der Mission lässt sich ein Handlungsplan formulie-

ren. Dieser wird im Allgemeinen „Fahraufgabe“ genannt. Hierbei wird zwischen *primärer*, *sekundärer* und *tertiärer* Fahraufgabe unterschieden [BUBB 2004].

Unter der primären Fahraufgabe versteht man alle Aufgaben, die mit dem Halten des Fahrzeugs auf der Straße zu tun haben. Hierzu gehören z.B. das Lenken und das Bremsen. Die Sekundäraufgabe umfasst alle Handlungen, die sich aus den Verkehrsregeln, den Verkehrs- und den vorherrschenden Umweltbedingungen ergeben. Darunter fallen Handlungen wie Blinken, Wischer betätigen, Einlegen des Gangs etc. Die tertiäre Fahraufgabe ist im engen Sinn keine richtige Fahraufgabe, da das Fahrzeug auch ohne diese Aktivitäten sicher ans Ziel kommt. Sie dient mehr zur Befriedigung von Komfort-, Informations- und Kommunikationsbedürfnissen. Als Beispiele sind hier das Wechseln des Radiosenders, die Aktivierung der Sitzheizung und das Telefonieren zu nennen.

Für weitere Betrachtungen lassen sich die primären und sekundären Aufgaben noch in weitere Kategorien bzw. Hierarchieebenen einteilen. Diese Hierarchieebenen erlauben eine Betrachtung der Handlungen von einer Makro- bis Mikroebene in der Reihenfolge: Navigation, Führung und Stabilisation [BUBB 2004]. Die erste Ebene, Navigation, ist unabhängig von Fahrzeug und dessen Eigenschaften, denn darin werden alle Tätigkeiten zur Planung einer Strecke zusammengefasst. Dazu gehört die Benutzung von Navigationssystemen bzw. Karten, das Erkennen und Befolgen von Wegweisern sowie die Beachtung des Verkehrsfunks. Diese Handlungen und Entscheidungen sind schon frühzeitig möglich und können langfristig wirken (Makroebene). Die Führungsebene umfasst die Handlungen, die zur Bahnführung im unmittelbaren Umfeld notwendig sind. Das sind die Auswahl der geeigneten Fahrspur, das gezielte Ansteuern eines freien Parkplatzes sowie das Reagieren auf Fahrmanöver der anderen Verkehrsteilnehmer. Die Stabilisierungsebene hingegen beinhaltet Aktivitäten zur Spurhaltung, Abstandshaltung und alles, das einen stabilen Zustand des Fahrzeugs gewährleistet (Mikroebene).

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird der Einfachheit halber unter dem Begriff „Fahraufgabe“ die Summe bzw. das Zusammenspiel aller Untertypen zusammengefasst.

Die Fahraufgabe stellt die Eingangsgröße (Führungsgröße) für den Prozess der Fahrzeugführung dar. Um die Fahraufgabe so gut wie möglich erfüllen zu können, bedient der Fahrer die unterschiedlichen Stellteile seines Fahrzeugs. Mit seinen individuellen Fähigkeiten führt der Fahrer kognitive Prozesse aus, die von Rasmussen im sogenannten *Drei-Ebenen-Modell* (auch bekannt unter dem Namen *Rasmussen-Leiter*) unterteilt wurden [RASMUSSEN 1983]. Rasmussen untersuchte die Fragestellung, wie sich Menschen verhalten, um ein Ziel zu erreichen. Als Ergebnis formulierte er drei unterschiedliche Verhaltensweisen: fertigkeitbasiert, regelbasiert und wissensbasiert.

Unter fertigkeit- bzw. verhaltensbasierten Aktionen sind hoch automatisierte Handlungen zu verstehen, die auf fest vorgeprägten, sensumotorischen Koordinationen basieren. Diese können unbewusst vollführt werden und benötigen keine willentliche Steuerung. Als Auslöser dieser Handlungen reichen teilweise einzelne Reize. Diese lösen weitere Reizsi-

Aufgabe		Verarbeitungs- niveau	Benötigte Zeit		
			Verhaltensbasiert <200ms	Regelbasiert Sekunden bis Minuten	Wissensbasiert Minuten bis Stunden
Zur Verfügung stehende Zeit	Planen z.B. Navigation (Minuten bis Stunden)		Tägliche Strecke	Wahl zwischen vertrauten Wegen	Orientieren in fremder Stadt
	Programmieren und Handeln z.B. Führen (Sekunden bis Minuten)		Abbiegen an bekannter Kreuzung	Überholen anderer Fahrzeuge	Fahren auf eisiger, rutschiger Fahrbahn
	Beobachten und Regeln z.B. Stabilisieren (Sekunden)		Fahren um Kurve	Fahren mit einem unbekanntem Fahrzeug	Fahrschüler in der Fahrschule

Abbildung 1.2: Handlungsebenen

tuationen aus und setzen so den Automatismus weiter fort.

Bei regelbasiertem Verhalten muss der Akteur die relevanten Bestandteile der Situation erst erkennen und analysieren, bevor er ebenfalls mittels gelernter Automatismen die Handlungen durchführt. Hierbei besteht jedoch noch die Möglichkeit der Anpassung einzelner Teilschritte an die jeweilige Situation. Es sind also gewisse Regeln bekannt und erlernt, mit denen man in spezifischen Situationen agiert, diese müssen aber gegebenenfalls noch angepasst werden. Ein Beispiel hierfür ist das Rückwärtsfahren mit einem Leihwagen. Prinzipiell weiß man, wie ein Gang einzulegen ist, aber man muss sich vorher vergewissern, an welcher Stelle in der Schaltkulisse sich der Rückwärtsgang befindet.

Fehlen erlernte Verhaltensprogramme, kommt das wissensbasierte Verhalten zum Tragen. Dabei muss erst durch vorhandenes Wissen die Strategie und Umsetzung der Zielerreichung erarbeitet werden. Dörner beschreibt wissensbasiertes Verhalten als die Neukomposition eines Verhaltensprogramms zur Lösung neuer Probleme [DÖRNER 2001].

Der Name Rasmussen-Leiter kommt daher, dass man mit einer (Reaktions-)Handlung stets in der untersten (verhaltensbasierten) Ebene beginnt und bei Nichterreichen des Ziels eine Ebene höher steigt, analog einer Leiter. In Abbildung 1.2 sind exemplarisch Beispiele der Handlungsebenen beim Autofahren angeführt. Zudem sind diese in Zusammenhang mit der zeitlichen Komponente dargestellt (nach [BUBB 2004]).

Am Beginn eines dieser Verhaltensschemata stehen unterschiedliche Reize, die eine aktuelle Situation repräsentieren. Wie der Mensch diese Reize aufnimmt und welche für die Fahrzeugführung von besonderer Bedeutung sind, wird im folgenden Kapitel dargestellt.

1.1.2 Sensorische Wahrnehmung

Der Mensch ist kein passiver Empfänger sondern ein aktives, dynamisches System, das Informationen mit großer Flexibilität aufzusuchen, aufzunehmen, zu verarbeiten und umzusetzen vermag. Die Summe der aufgenommenen und verarbeiteten Reize gibt dem Menschen ein aktuelles Bild der Umgebung. Diese Informationen sind für die Orientierung und die Fortbewegung mit einem Fahrzeug zwingend notwendig.

Es bestehen mehrere Modelle zur Beschreibung der Informationsverarbeitung des Menschen. Hier wird auf das Modell von Rasmussen eingegangen. Dieses postuliert zwei Verarbeitungszentren, ein bewusstes und ein nicht-bewusstes. Das bewusste Verarbeitungssystem kontrolliert die Verarbeitung von Informationen, Improvisation und logisches Schlussfolgern. Das zweite System ist als nicht bewusstseinspflichtig und automatisiert beschrieben. Es ist ein verteiltes und parallel arbeitendes System zur Koordinierung der Wahrnehmung und zur dynamischen Darstellung dieser Informationen in einem inneren Weltmodell. Darauf aufbauend werden motorische Systeme gesteuert. Nicht die internen Vorgänge, aber das Ergebnis der Verarbeitung in diesem System kann vom ersten System bewusst überwacht und kontrolliert werden [MUTHIG 1990].

Im Folgenden werden die einzelnen Sinneskanäle besprochen. Im Anschluss an die Erläuterungen erfolgt eine Zuordnung und Gewichtung der einzelnen Sinne zur Fahrzeugführung.

1.1.2.1 Der visuelle Sinneskanal

Dieser Abschnitt bietet einen prinzipiellen Überblick über den visuellen Sinneskanal. Dabei werden der Aufbau des Auges, die Informationsverarbeitung und die Besonderheiten für das Autofahren beschrieben. Für einen detaillierten Einblick in diese komplexe Thematik sei an dieser Stelle auf Fachliteratur wie [SCHOBER 1960] oder [PAPPROTTA 1999] verwiesen.

Nach Rockwell entfallen auf den optischen Kanal ca. 90% des wahrgenommenen Informationsanteils [ROCKWELL 1972]. Diese Sonderstellung ist darin bedingt, dass das Auge eine geometrische Repräsentation der Umgebung abbilden kann. Des Weiteren ist das Auge in der Lage, Objekte über eine gezielte Ausrichtung wahrzunehmen. Diese sog. selektive Aufmerksamkeit führt Informationen aus der Umwelt der bewussten Wahrnehmung zu. Eine solche Fähigkeit kommt dem Fahrer im Speziellen bei der Lokalisation und Entfernungsschätzung von Hindernissen oder potenziell kritischen Situationen zu Gute.

Der Aufbau des Auges Der prinzipielle Aufbau des Auges ist in Abbildung 1.3 auf der nächsten Seite dargestellt. Die Hauptbestandteile sind die Linse, der Glaskörper und die Netzhaut (Retina). Auf der Netzhaut befindet sich die Netzhautgrube (Fovea centralis). Nur hier ist ein scharfes Sehen möglich. Der restliche Bereich der Netzhaut ist das sogenannte periphere Sehsystem, mit dem die Umwelt nur unscharf wahrgenommen werden kann. Auf diesen Umstand wird weiter unten noch eingegangen.

Die Tatsache, dass das menschliche Auge nur einen kleinen Teil des Gesehenen scharf wahrnimmt, war bereits Leonardo da Vinci bekannt. Er zeigte, dass das Auge in der Pe-

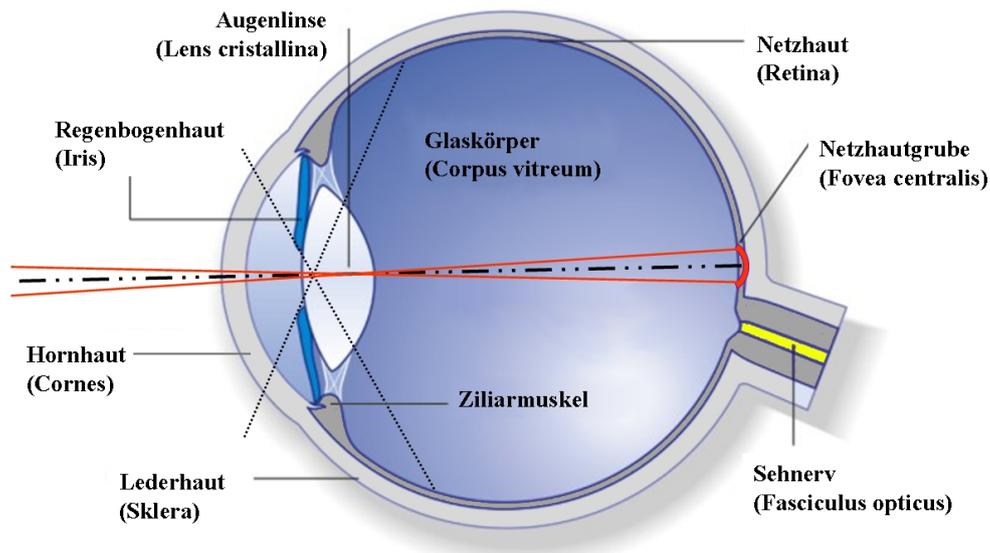


Abbildung 1.3: *Aufbau des menschlichen Auge*

riperie einen Sehwinkel von über 180° aufweist, man aber nur auf der Zentrallinie scharf sehen kann (nach [HUNZIKER 2006]). Diese Zentrallinie wird heute zentrale Sehachse genannt und ist die Verbindung zwischen der Linsenmitte und der Fovea Centralis. Die Fovea erstreckt sich in einem Bereich von 2° Kegelwinkel um den Schnittpunkt der zentralen Sehachse und der Netzhaut.

Das Sehen wird mit Hilfe der Sehzellen, Stäbchen und Zäpfchen, realisiert. Fällt ein visueller Reiz auf die Retina, nehmen diesen die helligkeitssensitiven Stäbchen im peripheren und die farbsensitiven Zäpfchen im fovealen Bereich auf. Auf eine genauere Beschreibung der weiteren Zellen und Schichten der Netzhaut wird an dieser Stelle verzichtet. Soviel sei erwähnt, dass es Bipolarzellen, Horizontalzellen, Amakrinzellen und Ganglienzellen gibt, die zur Verbindung der Stäbchen und Zäpfchen dienen. Betrachtet man die Verteilung der Sehzellen auf der Netzhaut genauer, erkennt man den parafovealen Bereich zwischen den fovealen und peripheren Regionen. Dieser erstreckt sich in etwa bis zu einem Kegelöffnungswinkel von 10° und umfasst den Bereich, in dem die Anzahl der Zapfen abnimmt. Bei einem Lichteinfall jenseits dieser 10° sind auf Grund der geringen Zäpfchenanzahl ein scharfes Sehen und in zunehmendem Maße auch ein Farbsehen nicht mehr möglich. Wie sich diese Eigenheit des Auges auswirkt, versucht die Abbildung 5.10 auf Seite 137 in Kapitel 5 darzustellen.

Eine Besonderheit stellt der sog. „Blinde Fleck“ dar. Dieser befindet sich bei der Mündung des Sehnervs in die Retina. Da in diesem Bereich keine Stäbchen und Zäpfchen vorhanden sind, ist hier kein Sehen möglich.

Optische Wahrnehmung Die Weiterleitung dieser Reize erfolgt über den Sehnerv. Dabei ist zu beachten, dass das sogenannte Gesichtsfeld geteilt wird und die jeweiligen Hälften in eigenen Sehzentren verarbeitet werden. So werden für jedes Auge die wahrgenommenen

Reize in „linke“ und „rechte“ Netzhauthälften aufgeteilt und über eigene Nervenverbindungen in die sogenannten seitlichen Kniehöcker (corpus geniculatum laterale, CGL) „links“ und „rechts“ geleitet.

Die Sehinformationen gelangen von hier weiter ins Sehzentrum (Visueller Cortex), wo einerseits die Informationen in Objektgruppen eingeordnet beziehungsweise die Identifikation von räumlichen Parametern vorgenommen wird. Für einen umfassenden Überblick der bekannten Prozesse sei an dieser Stelle auf das Kapitel *Selektionsprozesse der visuellen Wahrnehmung* in [PAPPROTTA 1999] verwiesen.

Das richtige Bild der Umwelt wird allerdings erst im Zusammenspiel der empfangenen Reize, deren Verarbeitung im Visuellen Cortex und der Verknüpfung mit Erinnerungen und Erlerntem gebildet.

Schober schreibt: „Durch seine hohe Empfindlichkeit, seine hervorragende Anpassungsfähigkeit an zeitliche und örtliche Veränderungen der Lichtverteilung, durch seine Kontrasteigenschaften übertrifft es nicht nur jedes physikalische Gerät, es ist auch besser als der genialste Photograph imstande, die physikalisch unscharfen Netzhautbilder zu zweckentsprechend scharfen Sinneseindrücken zu retouchieren“ [SCHOBER 1960]. Hier kommt der Vorteil der peripheren Unschärfe zum Tragen. Das unscharfe Sehen vereinfacht die Darstellung, macht diese aber ebenso prägnanter. Einfache Beispiele dieses Phänomens sind in [HUNZIKER 2006] auf Seite 32ff dargestellt. Dort hält er fest, dass die periphere Unschärfe kein Systemfehler sei, sondern die Wahrnehmung vereinfacht und komprimiert. Die nicht vollständige Wahrnehmung schont Ressourcen im Gehirn und bedient sich sogenannter visueller Schemata, die auf Erinnerungen zurückzuführen sind.

Gesichtswahrnehmung Unter dem Begriff „Gesichtsfeld“ versteht man den Bereich, der ohne Augen- und Kopfbewegung wahrgenommen wird. Die Grenzen des Gesichtsfeldes liegen schläfenwärts (temporal) bei ca. 100° , nach unten bei 70° und nach oben 60° . Am Rand des Gesichtsfeldes findet wegen der geringen Zäpfchenanzahl lediglich eine Schwarz-Weiß-Empfindung statt. Weiter nach innen gehend folgen die Gelb-, dann Blau- und schließlich die Rot-Grün-Empfindungen.

Der Begriff „Blickfeld“ umfasst alles, was bei feststehendem Kopf aber mit bewegtem Auge erfassbar ist. Der Bewegungsbereich der Sehachsen erstreckt sich dabei auf 35° nach oben und jeweils 45° nach außen, nach innen und nach unten. Das „Fixierfeld“ beschreibt nun das gemeinsame Blickfeld beider Augen. Es reicht von $20\text{-}30^\circ$ nach oben, um 30° zur Seite und um $60\text{-}70^\circ$ nach unten [SCHMIDTKE 1993].

Gerichtetes Sehen Wie bereits dargestellt, ermöglicht das periphere Sehen das Erkennen von Objekten und Bewegungen. Um die Fovea Centralis auf ein Objekt von Interesse auszurichten, führt das Auge einen Blicksprung durch. Diese bis zu $700^\circ/\text{s}$ schnellen, ruckartigen Bewegungen werden Sakkaden genannt [DEUBEL 1994]. Die Größe dieser Sakkadensprünge liegt zwischen $4'$ und $15'$ bei ca. zwei Sakkaden pro Sekunde [HECKEL 2004]. Die Sakkaden selbst werden nicht wahrgenommen. Der Sehvorgang wird unterdrückt und innerhalb bestimmter Areale des Gehirns (medio temporales Areal, media-superiortemporales Areal) das erwartete Bild vorausberechnet. Diesen Vorgang

nennt man „Sakkadische Suppression“ [KARNATH 2003].

Nach einer Sakkade folgt eine Fixationsphase, welche eine präzise visuelle Analyse des Objektes erlaubt. Eine Fixation kann zwischen 100 ms und 2000 ms dauern. In der Regel wird allerdings von Fixationszeiten von 200 ms bis 600 ms gesprochen [KARSH 1983]. Typische Werte für Fixationen sind beispielsweise 225 ms beim Lesen, 275 ms bei visuellen Suchaufgaben oder 330 ms bei Bildwahrnehmung. Diese Werte sind jedoch variabel.

Um ein bewegtes Objekt zu fixieren und somit innerhalb der Fovea zu behalten erfolgt die so genannte glatte Blickfolgebewegung. Sie stabilisiert die Projektion des Objektes auf der Fovea. Im Gegensatz zur Sakkade erfolgt während dieser Bewegung eine visuelle Wahrnehmung.

Alle weiteren Augenbewegungen wie der ophokinetische Reflex, der vestibulo-oculare Reflex, die Konvergenzbewegungen als auch die Mikrobewegungen (Drift, Temor, Mikrosakkaden) können für die vorliegende Arbeit vernachlässigt werden.

Die Akkomodation, also die Einstellung des Auges auf eine Fixationsebene in entsprechender Entfernung, funktioniert über die Variation der Brechkraft des Auges. Ab einer Entfernung von fünf Metern kann die Fixationsentfernung näherungsweise als ∞ angenommen werden. Liegt ein Objekt näher am Auge, muss dieses die unscharfe Reproduktion des Gegenstandes ausgleichen. Dabei kontrahiert der Ziliarmuskel und verformt so die Linse. Dabei ändert sich der Krümmungsradius und vergrößert die Brechkraft des Auges [SCHMIDTKE 1993].

Bedeutung für das Autofahren Wie eingangs schon erwähnt, wird der visuellen Wahrnehmung der Hauptanteil der Umwelterfassung beim Fahren zugeschrieben. An dieser Stelle werden diese Erkenntnisse mit fahrspezifischen Feststellungen ergänzt.

Grüssler (zitiert aus [SCHWEIGERT 2002]) erwähnt eine physiologisch bedingte Beschränkung der Blickfolgebewegung mit $60^\circ/\text{s}$. Das hat zur Folge, dass während der Fahrt sich Grenzbereiche ergeben, in denen Objekte foveal nicht erfasst werden können. Abbildung 1.4 auf der nächsten Seite zeigt diese Bereiche auf (aus [SCHWEIGERT 2002]). Man kann erkennen, dass ein Fahrer der z.B. mit 20 km/h fährt, Objekte innerhalb eines Radius von 5 Metern rechts von seinem Fahrzeug nicht mehr fixieren kann.

Cohen stellt in [COHEN 1998] typische Werte für Fixationszeiten während der Fahrt vor. Dabei reichen die Werte bei gerader Strecke von unter 100 ms bis über 1000 ms. Die Häufigkeitsverteilung stellt das Maximum bei 150 ms dar, der Durchschnitt liegt bei 330 ms. Demgegenüber stehen die Werte für Kurvenfahrt, die sich bis 750 ms erstrecken. Der Mittelwert liegt ebenfalls bei 330 ms, das Häufigkeitsmaximum allerdings bei 250 ms [HUNZIKER 2006]. Daraus leitet sich die Interpretation ab, dass sich in anspruchsvollen Situationen der Anteil der sehr kurzen und der sehr langen Fixationen verringert. Ebenso deuten extrem lange Fixationszeiten (über 700ms) auf kognitive Wahrnehmungsreserven hin.

Deml beschreibt, dass Autofahrer während der Fahrt hauptsächlich zwei Punkte anvisieren. Der sogenannte Fernpunkt liegt entweder mittig am Heck des Vorderfahrzeugs bei der Folgefahrt oder am Fluchtpunkt (gerade Straße) bzw. Tangentialpunkt (Kurve) der Straße. Der Nahpunkt liegt etwa fünf Meter vor dem Fahrzeug. Diese zwei Orientierungs-

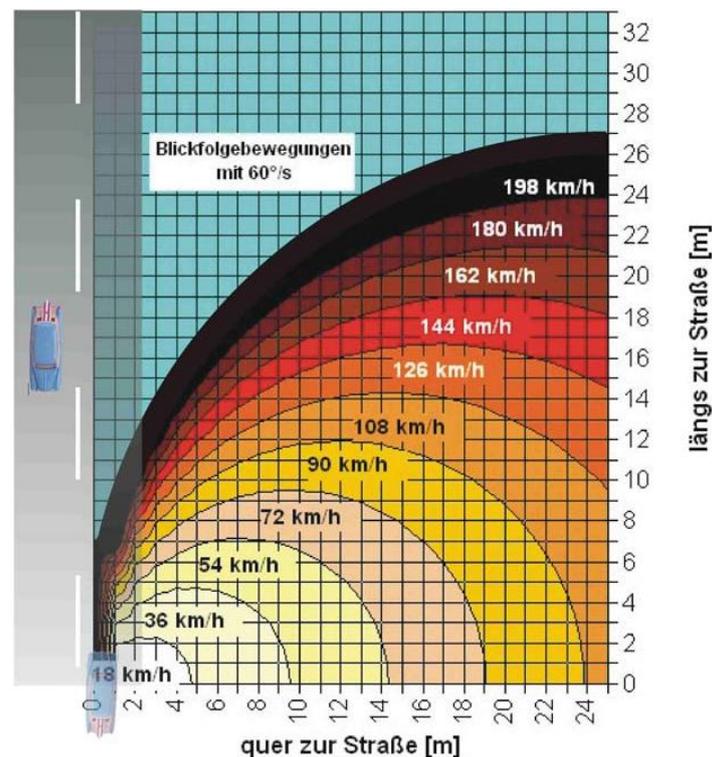


Abbildung 1.4: *Grenzbereiche der Blickfolgebewegung in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit*

punkte dienen zur stabilen Querführung des Fahrzeugs [DEML 2008]. Auch Wiedemann erwähnt ein Pendelverhalten des Blickes um einen Fixpunkt hinter dem vorausfahrenden Fahrzeug [WIEDEMANN 1979].

Übereinstimmung herrscht in der Literatur darüber, dass die visuelle Wahrnehmung die Grundlage für ein sicheres Fahren darstellt. So hält Krajzewicz fest, dass der Fahrer in komplexen Situationen gezwungen ist, seine Ressource Sicht angemessen zu verwalten [KRAJZEWICZ 2004]. Der temporäre Verlust der Wahrnehmungsfähigkeit bei Blickabwendungen steht im Zentrum der hieraus folgenden Überlegungen. Richtet der Fahrer seinen Blick ins Innere des Fahrzeugs, geht dies zu Lasten der Umweltwahrnehmung. Beim Ablesen von Anzeigen oder dem Suchen von Bedienelementen steht nur mehr die periphere Wahrnehmung zur Verfügung. Über die letzte foveale Umweltrepräsentation wird zwar ein erwartetes Szenario prognostiziert, dieses verliert jedoch mit der Dauer der Blickabwendung zunehmend an Genauigkeit. Die fehlende Wahrnehmung von Personen, Fahrzeugen und Objekten innerhalb des Aktionsradius des Fahrzeugs stellt ein Sicherheitsrisiko dar. Naturgemäß erhöht sich dieses Risiko mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit. Dieser Umstand wird später in dieser Arbeit erneut aufgegriffen und in die Argumentationskette eingebunden. An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass die Minimierung der Blickabwendungszeiten im Fokus vieler HMI-Richtlinien und Forschungsaktivitäten steht (z.B. [EU 2008], [AAM 2006], [HAMMER 2007]).

Zusammenfassend lässt sich der Prozess der visuellen Wahrnehmung so beschreiben, dass

die einfallenden Reize durch die Verarbeitung im visuellen Cortex und mit der Erfahrung des Betrachters zu einer Repräsentation der Umwelt modelliert werden. Hierfür ist ein Wechselspiel von Augenbewegungen und Fixationszeiten notwendig. Für eine Situationseinschätzung reicht das periphere Sehen aus. Will man ein Objekt genau analysieren, muss dieses auf der Fovea abgebildet werden. Die periphere Wahrnehmung nimmt mit zunehmender Übung bzw. Erfahrung an Bedeutung zu, wodurch sich die Anzahl der notwendigen Fixationen verringert und die Menge der pro Zeiteinheit erkannten Objekte erhöht.

1.1.2.2 Der auditive Sinneskanal

Über den auditiven Sinneskanal werden Signale über Luftschwingungen aufgenommen. Diese Informationen spielen seit jeher eine zentrale Rolle in der Umfeldwahrnehmung des Menschen. Da das primäre Wahrnehmungssystem, die Augen, nur eingeschränkt und direktional Informationen aufnehmen kann, ergänzt der auditive Kanal durch seinen ungerichteten Charakter die Erfassung der Umgebung. Die aufgenommenen Informationen können zur Lokalisation und Verfolgung einer Schallquelle genutzt werden. Im Folgenden werden der Aufbau des Ohrs und die Verbindung zum auditiven Cortex in der notwendigen Detailtiefe beschrieben. Im Weiteren wird auf die Eigenheit des Menschlichen Ohrs und der auditiven Wahrnehmung eingegangen. Im Anschluss daran wird der Bezug des Hörens zur Tätigkeit Autofahren hergestellt.

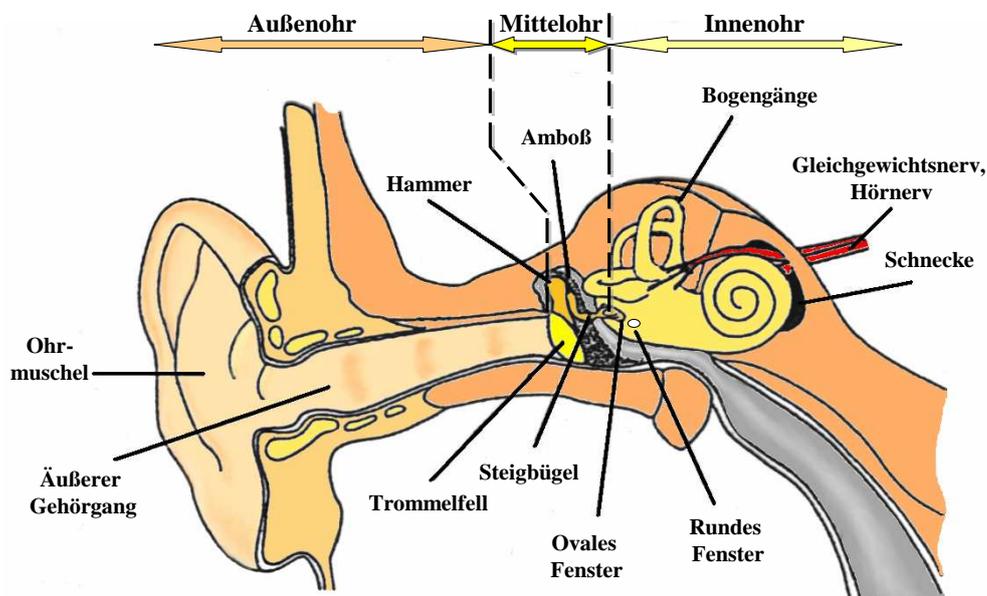


Abbildung 1.5: Aufbau des Ohrs

Der Aufbau der menschlichen Ohrs Das Ohr beinhaltet sowohl das Organ zur Wahrnehmung von Schall als auch das Organ zur Wahrnehmung von Beschleunigungen. In diesem Abschnitt wird jedoch nur die Aufnahme des Schalls betrachtet.

Das Ohr lässt sich in drei Bereiche gliedern: das Außenohr, das Mittelohr und das Innenohr. Das Außenohr umfasst die Ohrmuschel, den Gehörgang und das Trommelfell. Seine primäre Funktion ist die Schallleitung, jedoch dient der Aufbau auch zum Schutz des Trommelfells vor Temperatur oder mechanischen Verletzungen. Der ca. 2,7 cm lange Gehörgang ist spiralförmig gewunden und verstärkt Frequenzen zwischen 2000 und 3000 Hz [BUBB 2005]. Das Trommelfell, eine 0,1 mm dicke Bindegewebsplatte mit einem Durchmesser von 8-10 mm, trennt das Außenohr vom Mittelohr.

Das Trommelfell ist mit der Gehörknöchelkette (Hammer, Amboss, Steigbügel) verbunden. Diese liegen in der sogenannten Paukenhöhle, die über das eustachische Fenster mit dem Nasen-Rachen-Raum verbunden ist. Dadurch herrscht im Mittelohr immer (mit Ausnahme bei einer Verstopfung der eustachischen Höhle durch eine Erkältung o.Ä.) der Umgebungsdruck, was für eine freie Bewegung des Trommelfells notwendig ist. Die auf das Trommelfell einwirkenden Schallwellen versetzen dieses in Schwingung. Diese Bewegung überträgt sich auf den Hammer, der mit dem Trommelfell verwachsen ist, welcher die Schwingungen über gelenkige Verbindungen über Amboss und Steigbügel an das ovale Fenster weiterleitet. Durch Anordnung und Flächenunterschiede von Trommelfell und Steigbügelfuß werden die Schalldruckamplituden im Verhältnis 1:22 verstärkt.

Das ovale Fenster stellt die Grenze zum Innenohr dar, welches aus einem knöchernen und häutigen Labyrinth besteht. Hier befindet sich das Hörorgan, die Schnecke (Cochlea). Die anderen Teile des Labyrinths (Bogengänge, Saccus und Utriculus) beinhalten Rezeptoren zur Wahrnehmung von translatorischen und rotatorischen Beschleunigungen (siehe Abschnitt 1.1.2.3 auf der nächsten Seite). Die knöchernen Schnecke stellt einen gewundenen Gang mit 2,5 Windungen dar, welche im Felsenbein gehalten wird. In der Schnecke befindet sich das eigentliche Sinnesorgan, das Cortische Organ. Durch die Anregung des ovalen Fensters und der Wechselwirkung mit dem runden Fenster gerät das gesamte Flüssigkeitssystem in der Schnecke in Schwingung. Diese Schwingungen werden von den Haarzellen aufgenommen und ermöglichen über ihre Nervenleitungen eine Hörempfindung. Da dieses Flüssigkeitssystem fest mit dem Schädel verbunden ist, erfolgt zusätzlich zum Luftschall über die Gehörknöchelkette auch ein Hören über Körperschall des Schädelknochens. Dies trifft hauptsächlich auf Frequenzen oberhalb von 2000 Hz zu.

Die Nervenfasern bilden den Hörnerv (nervus acusticus), der, gemeinsam mit dem Gleichgewichtsnerv (nervus vestibuli), über die ersten Nervenzellen an der Schnecke (im Spiralganglion) zu den Hörkernen verläuft. Von diesen führen Verbindungen weiter über die Kniehöcker zur primären Hörrinde (auditiver Cortex) [BUBB 2005], [SCHMIDTKE 1993].

Das Richtungshören stellt einen zentralen Bestandteil der Umfeldwahrnehmung dar. Durch die seitliche Anordnung der beiden Ohren am Kopf kann anhand von Laufzeitdifferenzen die Lokalisation der Schallquelle in Relation zur Sagittalebene (vertikale Medianebene durch die Nasenspitze) des Kopfes bestimmt werden. Liegt die Schallquelle genau um 90° versetzt, muss der Schall nach Erreichen des zugewandten Ohrs die Strecke um den Kopf zum anderen Ohr zurücklegen. So ergibt sich bei einem durchschnittlichen Ohrabstand von 22 cm eine maximale Laufzeitdifferenz von ca. 670 ms. Durch die charakteristische Form von Ohrmuschel und Gehörgang ergeben sich bei Schallwellen, die von Quellen auf der

Sagittalebene liegen, unterschiedliche Resonanzen, wodurch eine Lokalisation von vorne, oben, hinten und unten möglich wird.

Das Entfernungshören funktioniert durch Analyse der Pegelunterschiede. So bedient sich das Ohr-Gehirn-System der frequenzabhängigen Dämpfung des Schalls bei größeren Entfernungen. Trotzdem ist die Einschätzung von Entfernungen nur in eingeschränktem Maße möglich [SCHMIDTKE 1993].

Bedeutung für das Autofahren Das Ohr ist, wenn auch in wesentlich geringerem Ausmaß als das Auge, ein wichtiger Bestandteil in der Verarbeitung und Interpretation der Umgebungsreize beim Autofahren. Wobei weniger die Überwachung des Bereiches außerhalb des Fahrzeugs als vielmehr die Aufnahme von Informationen im Fahrzeug im Vordergrund stehen. So kann über das Gehör kontinuierlich der ordnungsgemäße Betrieb des Fahrzeugs kontrolliert werden. Das geht von der Motordrehzahl über das Abrollgeräusch der Reifen bis hin zu Auffälligkeiten, die bspw. auf ein loses Teil oder ein nicht vollständig geschlossenes Fenster hindeuten. Ebenso ist das Verfolgen des Verkehrsfunks oder der Ansage des Navigationssystems ein wichtiger Input, der Einfluss auf die Fahraufgabe hat. Bubb hebt die wichtige Rolle des akustische Signals, in Kombination mit den optischen Eindrücken, zur Einschätzung von Geschwindigkeiten hervor [BUBB 2001]. Ebenso ist die akustische Rückmeldung bei Bedienhandlungen für den Fahrer eine Hilfe, um sein Fahrzeug sicher Bedienen zu können. Das beginnt beispielsweise beim Klicken eines Tasters oder Drehstellers, geht über einen Quittier-Ton bei der Speicherung eines Radiosenders bis zum „Ticken“ des gesetzten Blinkers. Nicht zu vergessen ist die Wahrnehmung von Meldungen, die bspw. im Kombiinstrument dargestellt werden. Da sich diese im peripheren Sichtbereich befinden, kann nicht von einer optischen Registrierung eines Screenwechsels ausgegangen werden. Deshalb werden solche Events mit einer Akustik untermalt, um den Fahrer auf den Inhalt des Displays aufmerksam zu machen. Die Lokalisation der Schallquelle im Kombi-Instrument veranlasst einen Blick dorthin, wo die Information bereit steht.

Zusammenfassend ermöglicht die akustische Wahrnehmung eine kontinuierliche Erfassung der Umgebungsreize, die in Form von Schallwellen im Gehör codiert und im auditiven Cortex interpretiert werden. Diese Interpretation stützt sich, wie schon bei der visuellen Wahrnehmung, auf erlernte und wiedererkannte Muster.

1.1.2.3 Der haptische Sinneskanal

Unter der haptischen Wahrnehmung werden mehrere Wahrnehmungsmodalitäten zusammengefasst. Hier wird auf die Gliederung von Bubb zurückgegriffen, der die einzelnen Rezeptoren und Sinneszellen übergreifend in Funktionsgruppen bündelt. [BUBB 2001]

Kinästhetische Wahrnehmung fasst die Perzeption von Bewegungen und Beschleunigungen des eigenen Körpers im Raum zusammen. Hierfür ist in erster Linie das Vestibularorgan im Ohr zuständig. Dieses befindet sich im Innenohr und umfasst die Bogengänge,

den Sacculus und den Utriculus (siehe auch Abschnitt 1.1.2.2 auf Seite 14). Die beiden zuletzt genannten sind für die Sensierung von geradlinigen Beschleunigungen zuständig. Die durch unterschiedliche Dichten hervorgerufenen Relativbewegungen von den Sinneshaaren und dem Flüssigkeitssystem im Vestibularorgan repräsentieren lineare oder progressive Beschleunigungen in allen der Raumrichtungen inklusive der Schwerkraft.

Auf Rotationsbeschleunigungen reagieren die 3 Bogengänge, die horizontal, lateral und sagittal stehen. Die Bogengänge sind mit Endolymph gefüllt, die durch ihre Trägheit entlang der Bogengangswand entgegen der Bewegungsrichtung strömen. Diese Relativströmungen haben eine Auslenkung der Sinneshaare der in der sogenannten Ampulle liegenden Cupula zur Folge.

Die Informationen aus den jeweiligen Rezeptoren werden im Gleichgewichtsnerv (Vestibularnerv) gebündelt und in alle relevanten Gehirnzentren, die für die Haltungs- und Bewegungsregelung zuständig sind, geleitet.

Zur kinästhetischen Wahrnehmung tragen auch Stellungsrezeptoren in Muskeln und Gelenken sowie Mechanorezeptoren in der Haut bei. So werden beispielsweise angreifende Beschleunigungskräfte auch durch die unwillkürliche Verlagerung der Gliedmaßen oder durch Druckzunahme am Gesäß und Rücken (hervorgerufen durch Abstützung) erkannt.

Tiefenwahrnehmung ist die Wahrnehmung der Körperhaltung und Ausrichtung der Gliedmaßen. Hier werden die Informationen aus den Muskelspindeln und den Gelenkrezeptoren mit denen von Vestibularorgan, Macularorganen und Berührungsezeptoren verrechnet.

Haptische Wahrnehmung erfolgt durch Berührung eines Objektes. Dabei werden dessen Form, Oberflächenkonsistenz und Temperatur erfasst. Die entsprechenden Informationen werden aus den Stellrezeptoren der Muskeln und Gelenke, den Mechanorezeptoren (Druck, Druckänderung und Vibration) und der Thermorezeptoren zusammengefügt [SCHMIDTKE 1993], [BUBB 2001].

Auf eine ausführliche Beschreibung dieser Wahrnehmungsarten wird an dieser Stelle verzichtet. Diese spielen in der weiteren Betrachtung nur eine untergeordnete Rolle.

1.1.2.4 Weitere Sinneskanäle

Zusätzlich verfügt der Mensch über den *Geschmacks-* und *Geruchssinn*. Der Vollständigkeit halber werden diese hier noch erwähnt, spielen aber für diese Arbeit keine weitere Rolle. Trotzdem ist deren Relevanz für das Gesamtfahrzeug nicht zu vernachlässigen. Speziell der Geruchssinn erhält im Automobilbau eine wichtige Bedeutung. Wie aus der sog. Diskomfortpyramide ersichtlich, trägt der Geruch zu einem angenehmen Arbeitsplatz bei, also auch im Cockpit eines Fahrzeugs. Unangenehme Gerüche können durch Ausdünstungen von Kunststoffen und Lederbezügen entstehen, bei denen Weichmacher verdampfen. Diese Aspekte zielen allerdings rein auf Komfortempfindungen und nicht auf die Fahrzeugführung ab [BUBB 2004].

Tabelle 1.1 zeigt eine Gegenüberstellung der bereits beschriebenen und maßgeblichen Sinneskanäle und deren Einfluss auf die Fahrzeugführung.

Information/Situation	Visuell	Akustisch	Haptisch
Fahrgeschwindigkeit	++	+	
Längsbeschleunigung	++		++
Querbeschleunigung	++		++
Spurhaltung ²	++	(+)	(+)
Straßenneigung	++		++
Kurvenfahrt	++		+
Erfassung Fahrbahnoberfläche	+	++	++
Ordnungsgemäßer Fahrbetrieb		++	+
Motordrehzahl	+	++	
Bedienung von Fahrzeugsystemen	++	+	++
Aufnahme von Systemmeldungen	++	++	
:			

Tabelle 1.1: Einfluss der Sinneskanäle auf die Fahrzeugführung und -bedienung

1.1.3 Grenzen der Informationsverarbeitung

Die menschliche Wahrnehmung ist ein komplexes Zusammenspiel aller Sinneskanäle, die ihren unterschiedlich gewichteten Anteil an der Umweltrepräsentation leisten. Trotz der Kombination dieser vielseitigen Sensorik ist auch in optimalem physischen und psychischen Zustand eine hundertprozentige Situationserfassung nicht möglich. Diese Unvollständigkeit kompensiert der Fahrer mit seiner Erfahrung und gelerntem Wissen, wodurch ein weitgehend sicheres Fahren möglich wird.

Werden nun die Ressourcen der Kognition allerdings anders verwendet, leidet darunter die Güte der Wahrnehmung. Wickens beschreibt in seinem Ressourcenmodell, dass die Kapazitäten zur Informationsaufnahme, -Verarbeitung und Handlungsausführungen begrenzt sind und miteinander konkurrieren. Eine negative Interferenz kann jedoch vermieden werden, wenn nicht die selben Dimensionen betroffen sind [WICKENS 1992]. Um diese Theorie zu veranschaulichen, kann der *Performance Operating Characteristic* (POC), der die gegenseitige Beeinflussung von simultanen Aufgaben und deren Erfüllungsgrad bzw. Leistung darstellt, herangezogen werden. Es ist erkennbar, dass ein Multitasking ohne Einbußen der Ergebnisse möglich ist, wenn beispielsweise motorische und auditive Aufgaben kombiniert werden (Abbildung 1.6 auf der nächsten Seite). Vor diesem Hintergrund ist mit einer starken Interferenz beim Autofahren und der gleichzeitigen Aufnahme von System-

²Bei Veränderung der Fahrbahnbeschaffenheit oder bei Fahrspurmarkierungen mit starker Profilierung ist sowohl eine haptische als auch eine akustische Wahrnehmung möglich bzw. erwünscht

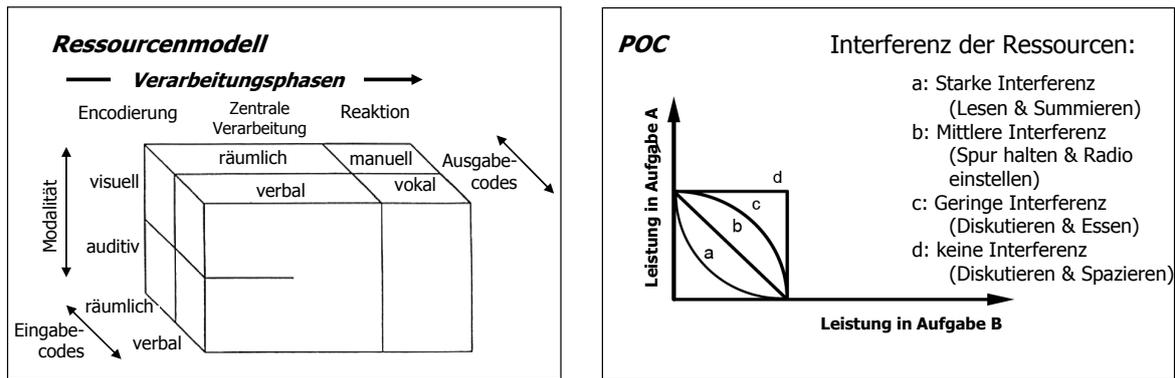


Abbildung 1.6: Ressourcenmodell nach Wickens (links) und Performance Operating Characteristic (rechts)

meldungen zu rechnen. Dieser Umstand soll in weiterer Folge der Arbeit berücksichtigt werden.

1.1.4 Grundüberlegungen zur Fahrzeugdynamik

Der folgende Abschnitt stellt einen kurzen Abriss über die Einflüsse der Physik auf das Fahrzeug dar. Dieses Grundverständnis ermöglicht es, den Einfluss des Fahrzeugs auf den Fahrer-Fahrzeug-Umweltregelkreis zu verstehen. Dies soll so weit gehen, dass fahrerinduzierte Reaktionen des Fahrzeugs in Längs- und Querdynamik nachvollziehbar sind und mit den relevanten Größen Geschwindigkeit, Längs- und Querbewegung, Kurvenradius und Lenkwinkel in Beziehung gesetzt werden. Gerade die Beschleunigungswerte sind von besonderer Bedeutung. Sie sind maßgebend für die Kräfte am Reifen und somit für eine sichere Spurhaltung verantwortlich. Zusätzlich sind sie die Ursache für die auf den Fahrer wirkenden Kräfte und beeinflussen diesen in seiner Fahraufgabe.

Für den weiteren Verlauf der Arbeit sind diese Zusammenhänge darüber hinaus noch von Bedeutung, da hiermit bestimmte Grenzwerte und Schwellen für die modellhafte Betrachtung von Fahrscenarien definiert werden.

Längsdynamik Der Sammelbegriff Längsdynamik fasst die Beschreibung von Bewegungsvorgängen und deren Änderungen in Fahrzeuginnenrichtung zusammen. Dabei spielen sowohl „interne“ (Eigengewicht, Antriebsmoment, Achslastverteilung) als auch „externe“ (Steigung, Wind, Reibung) Faktoren eine beeinflussende Rolle. Die maßgeblichen Größen stellt die Fahrgeschwindigkeit v [$\frac{m}{s}$], sowie die Beschleunigung $\frac{dv}{dt} = \dot{v} = a$ [$\frac{m}{s^2}$] dar. Der Fahrer beeinflusst diese Größen über seine Aktivität an Gas- und Bremspedal.

Über das Gaspedal wird die Drosselklappenstellung und über den gewählten Gang die Antriebsmomente (M_A) an den Antriebsrädern gesteuert. Auf die Darstellung des Prinzips der Kraftübertragung je nach Antriebsart (Standard-, Front- oder Allradantrieb bzw. Schalt- oder Automatikgetriebe) durch die jeweiligen Elemente des Antriebsstrangs (z.B. Kupplung bzw. Wandler, Kardanwelle, Differenzial) wird an dieser Stelle verzichtet. Der interessierte Leser sei bspw. auf Abschnitt 5.4 in [BRAESS 2000] verwiesen.

Die angreifenden Radmomente erzeugen gemäß den tribologischen Randbedingungen die Antriebskraft F_A . Diese Vortriebskräfte müssen, gemäß drittem Newton'schen Axiom, mit den Fahrwiderständen im Gleichgewicht stehen. Diese setzen sich aus aerodynamischen Effekten (F_L), Rollwiderständen (F_{Ro}), dem Steigungswiderstand sowie dem Trägheitsanteil des Fahrzeugs (ma) zusammen. Weitere Anteile im Antriebsstrang wie Reibverluste und Beschleunigungswiderstände werden hier vernachlässigt. Die Herleitung des Zusammenhangs ist in Anhang A dargestellt.

$$F_A = ma + mgsin\gamma + F_L + F_{Ro}$$

Der dominierende Anteil der Geschwindigkeit ist aus dem Zusammenhang für den Luftwiderstand $F_L = c_w \frac{\rho}{2} v^2$ ersichtlich. Hierbei steht ρ [$\frac{kg}{m^3}$] für die Luftdichte und c_w für den dimensionslosen Widerstandsbeiwert.

Die Zugkraft, die ein Fahrzeug zur Verfügung stellt, ist für den jeweiligen Betriebspunkt aus dem Motorkennfeld ersichtlich. Die maximale Zugkraft ist durch die Grenzhypyperbel $F_{x,max} = \frac{P_{max}}{v}$ begrenzt. Die Vollastkurven der einzelnen Gänge sollten sich möglichst lückenlos an diese annähern, um die Leistungsfähigkeit des Motors auszunutzen. Die Kenntnis dieser Zugkraftreserven ist für den Fahrer bei z.B. Überholvorgängen entscheidend, um das Manöver richtig einzuschätzen.

Die auftretenden Längsbeschleunigungen lassen sich anhand folgender Modellrechnung herleiten. Die Beschleunigung leitet sich aus der Geschwindigkeitsänderung pro Zeit her. Bei einem Bremsvorgang von $100 \frac{km}{h}$ ($27,78 \frac{m}{s}$) zum Stillstand ergibt sich ein Bremsweg von 39 Metern (Standardwert bei modernen Fahrzeugen). Die gesuchte Dauer des Bremsvorganges lässt sich mit Hilfe der Bewegungsgleichungen errechnen. Hierfür wird vereinfacht angenommen, dass eine Vollbremsung ($a = a_{max}$) vorgenommen wird und die Verzögerung linear verläuft.

$$v_1 = v_0 - at$$

$$s_1 = s_0 + \int_0^{T_1} (v_0 - at) dt$$

mit $v_1 = 0$ und $s_0 = 0$

$$s_1 = v_0 T_1 - a \frac{T_1^2}{2}$$

$$a = \frac{v_0}{T_1}$$

$$s_1 = v_0 T_1 - v_0 \frac{T_1}{2}$$

$$T_1 = \frac{2s_1}{v_0} = 2,89 sec$$

$$a = \frac{v_0}{T_1} = 9,89 \frac{m}{s^2}$$

Dieser Wert kann als Maximum beim Bremsen herangezogen werden. Bei Beschleunigungsvorgängen treten stets geringere Werte der Längsbeschleunigung auf. So erreicht

nach Herstellerangaben das selbe Referenzauto bei der Beschleunigung von 0 auf $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ in 6,1 Sekunden ein $a = 4,55 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.³

Querdynamik Der Fahrer steuert die Querbewegung seines Fahrzeugs über seine Eingriffe am Lenkrad δ_F . Die Reaktion des Fahrzeugs und somit dessen Position in Fahrbahnquerrichtung ist sowohl von der Lenkübersetzung als auch von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängig. Lenkeingriffe haben immer eine Änderung der Seitenkraftverhältnisse am Reifen und eine Dynamik der Achskonstruktion mit der Karosserie zur Folge.

In der vorliegenden Arbeit kommt der Querbewegung a_y die größte Bedeutung zu. Sie hat sowohl Einfluss auf die Trajektorie und Fahrstabilität als auch auf den Fahrer (siehe Abschnitt 1.1.2.3 auf Seite 16). Dieser Absatz soll die Möglichkeiten der Berechnung der vorherrschenden Querbewegung bei Kurvenfahrt darstellen.

Ein vereinfachtes und hinreichend genaues Werkzeug zur Beschreibung querdynamischer Fahrzeugzustände ist das „lineare Einspurmodell“. Abbildung 1.7 zeigt ein solches Einspurmodell. Dabei werden die beiden Räder einer Achse zu einem gemeinsamen Radelement zusammengefasst.

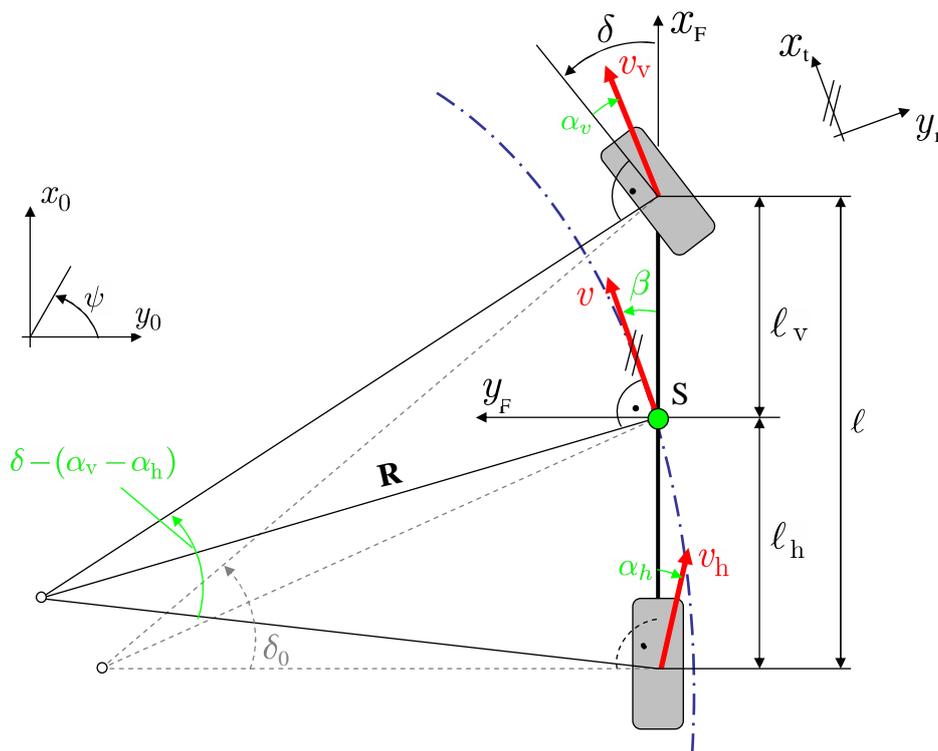


Abbildung 1.7: Lineares Einspurmodell

Die Lenkwinkelvorgabe des Fahrers δ_F wird über das Lenkgetriebe an die Reifen in Form des Radlenkwinkels δ weitergegeben: $\delta = \frac{\delta_F}{i_L}$. Bei Personenkraftwägen liegt dieses Unter-

³Referenzfahrzeug: Audi A5 3,2 FSI quattro

setzungsverhältnis i_L bei 15 bis 20. Lokale Querbewegungen (Drift) der Reifen bauen die notwendigen Seitenführungskräfte auf, die ein Fahren auf einer Kurvenbahn ermöglichen. Diese kleinen Driftabweichungen der realen Fahrtrichtungen von der durch die Radlenkwinkel vorgegebenen Richtungen werden an den Reifen durch den Schräglaufwinkel α beschrieben. Diese treten sowohl an der Vorder- als auch an der Hinterachse auf. Das gesamte Fahrzeug ist demnach um den Schwimmwinkel β um die Bewegungsrichtung verdreht. Dieser lässt sich aus der Längs- und der Quergeschwindigkeit wie folgt berechnen: $\beta = \arctan \frac{v_y}{v}$.

Im Gegensatz dazu beschreibt der Gierwinkel ψ die Verdrehung zwischen dem raumfesten und dem fahrzeugbezogenen Koordinatensystem. In der Praxis ist allerdings nur die Gierrate $\dot{\psi}$ von Bedeutung, welche die Drehung des Fahrzeugs um seine Hochachse darstellt. Da dieses Maß, in Kombination mit den einzelnen Raddrehzahlen, einen Aufschluss über das Fahrzeugverhalten (Unter- oder Übersteuern) erlaubt, wird es in Stabilitätsprogrammen (ESP) benutzt.

Mit Kenntnis der vorgestellten Größen lassen sich die Beschleunigungen bei einer Kurvenfahrt berechnen:

$$\begin{aligned} a_x &= \dot{v} - v_y \dot{\psi} \\ a_y &= \dot{v}_y + v \dot{\psi} \end{aligned}$$

Alternativ ist die Berechnung der Beschleunigungen durch Einführung eines inertialen n,t-Bahnsystems mit dem Schwimmwinkel nach folgenden Regeln vorzunehmen:

$$\begin{aligned} a_x &= a_t \cos \beta + a_n \sin \beta \\ a_y &= -a_t \sin \beta + a_n \cos \beta \end{aligned}$$

Hierbei bezieht sich die Berechnung auf die eingeführten Größen der Normal- und Tangentialbeschleunigung in Bezug zur Bahnkurve.

Über die bekannten Fahrzeuggrößen lassen sich auch Rückschlüsse auf die Fahrbahn schließen. So errechnet sich der Kurvenkrümmungsradius:

$$R = \frac{v}{\dot{\psi} + \dot{\beta}}$$

oder

$$R = \frac{v^2}{a_y}$$

Für langsame Fahrt mit kleinen Lenkwinkeln, bei der Seitenkräfte und Schräglaufwinkel zu vernachlässigen sind, ergibt sich für den Krümmungsradius folgende Berechnung:

$$R = \frac{l_v + l_h}{\delta_v} = \frac{l}{\delta_0}$$

Dabei entspricht δ_0 dem sog. Ackermannwinkel. Für allgemeine Betriebszustände lassen sich die am Rad angreifenden Kräfte wie folgt bestimmen:

$$F_{x,S} = ma_x + \frac{l_h ma_y + J_\psi \ddot{\psi}}{l_l} \tan \delta$$

$$F_{y,v} = \frac{l_h ma_y + J_\psi \ddot{\psi}}{l \cos \delta} - F_{l,v} \tan \delta$$

$$F_{y,h} = \frac{l_v ma_y - J_\psi \ddot{\psi}}{l}$$

Hierbei steht $F_{x,S}$ für die Längskraft, angreifend am Schwerpunkt, $F_{y,v}$ und $F_{y,h}$ jeweils für die Querkräfte an den Rädern vorn und hinten. J_ψ stellt das Gierträgheitsmoment dar.

Reifen Die Reifen stellen das Bindeglied zwischen Fahrzeug und Fahrbahn dar. Mit je einer Aufstandsfläche (Latsch) von etwa einer Handfläche (ca. 12 cm^2) werden sowohl Längs- als auch Querkräfte übertragen. Darüber hinaus muss ein moderner Reifen den Anforderungen an Komfort, Fahrverhalten und Wirtschaftlichkeit genügen [BRAESS 2000].

Der so genannte Kamm'sche Kreis⁴ beschreibt vereinfacht, dass der Reifen ein maximales Kraftübertragungsvermögen besitzt und dieses durch die Summe der Längs- und Querführungskräfte nicht überschritten werden darf. Andernfalls überschreitet der Reifen seine Haftgrenze und beginnt zu rutschen.

Die Kraftübertragung hängt neben dem Reifen vor allem von der Beschaffenheit der Straße ab. Diese ist den Witterungsbedingungen ausgesetzt und kann auch durch weitere Umwelteinflüsse in ihren Eigenschaften beeinflusst werden. Auf diese Thematik wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

1.1.5 Umwelteinflüsse

Hier werden alle Bedingungen behandelt, die auf den Fahrer und das Fahrzeug einwirken. Dazu gehören in erster Linie Witterungsverhältnisse so wie auch durch Jahreszeiten bedingte Gegebenheiten. Ebenso ist die Umgebung und die Straßenführung ein entscheidendes Kriterium in der Fahrzeugführung.

1.1.5.1 Witterung

Wie schon dargestellt, nimmt der Fahrer den größten Teil der Umgebung mit den Augen wahr. Diese Wahrnehmung kann jedoch durch spezielle Lichtverhältnisse negativ beeinträchtigt werden. So kann der Mensch einerseits bei Dunkelheit nur schlecht sehen, andererseits bei Blendung, also zu viel Licht, ebenso die Umgebung nicht mehr in erforderlichem Maße wahrnehmen. Zwar lässt sich das Nahfeld des Fahrzeugs mit den Scheinwerfern ausleuchten, bei nicht vorhandener Umgebungsbeleuchtung (Straßenlaternen o.

⁴Die Grenzwerte des Kraftschlusses in Umfangs- und in Querrichtung unterscheiden sich, weshalb die Grenzkurve eher eine Ellipse beschreibt. Dies ist allerdings für diese Betrachtung nicht von Bedeutung.

Ä.) fehlen aber trotzdem Informationen, die außerhalb der Scheinwerferkegel liegen. So bleiben Informationen in der Ferne oder seitlich der Fahrbahn oft unerkannt.

Regen, Schneefall oder Graupel behindern ebenfalls das Sichtfeld des Fahrers. Durch den Niederschlag an der Windschutzscheibe wird die Sicht aus dem Fahrzeug hinaus erschwert. Ebenso kann es durch Reflexionen an den Wassertropfen zu Blendungen oder verwirrenden Lichteffekten kommen, die den Fahrer stören können. Darüber hinaus verringert der Niederschlag die Sichtweite außerhalb des Fahrzeugs, wodurch ebenfalls eine erhöhte Aufmerksamkeit zur Kompensation vom Fahrer gefordert wird.

Bei Nebel kommt es zwar nur in geringem Maße zu einem Niederschlag an der Scheibe, dafür kann dieser jedoch eine beträchtliche Sichtbehinderung hervorrufen.

Alle angesprochenen Wetterbedingungen haben zusätzlich noch den Effekt, dass sie die Beschaffenheit der Straße dahingehend beeinflussen, dass die Reibungsbeiwerte abnehmen. Auch dieser Umstand ist für den Fahrer wichtig, da, wie im vorigen Abschnitt angesprochen, die fahrdynamischen Kräfte durch die Reibungspaarung Reifen - Straße übertragen werden müssen. Als Beispiel sei hier angeführt, dass ein Wasserfilm von 1 mm den Reibungskoeffizient zwischen Reifen und Straße um 40% verringert.

Eine weitere Einflussquelle auf die Beschaffenheit der Straße können saisonale Gegebenheiten sein. So kommt es im Herbst häufig zu laubbedeckten Straßenabschnitten. Dieses Laub kann in trockenem und besonders in feuchtem Zustand die Haftungsgrenzen zwischen Fahrzeug und Untergrund verringern und speziell in Kurven zu kritischen Situationen führen. Ein ähnliches Phänomen kann im Frühling auftreten, wenn der im Winter gestreute Kies noch auf den Straßen liegt. Auch hier kann der Reifen die notwendigen Abstützkräfte nicht aufbauen, da er auf dem Split wegrollt.

Es lässt sich also festhalten, dass verschiedene Umwelteinflüsse einerseits die Sicht des Fahrers, andererseits die Haftung des Fahrzeugs auf der Straße negativ beeinflussen. Beides hat zur Folge, dass der Fahrer eine höhere Aufmerksamkeit aufbringen muss, um das Fahrzeug sicher durch die erschwerten Situationen fahren zu können.

1.1.5.2 Straßenführung

Die Straßenführung bzw. die Umgebung, durch die die Straße verläuft, haben auch einen Einfluss auf den Regelkreis von Mensch-Fahrzeug-Umwelt. So muss der Fahrer im Ortsgebiet sich auf viel mehr Einzelheiten konzentrieren als auf einer Autobahn. In der Stadt ist üblicherweise die Verkehrsdichte höher. Das umfasst sowohl andere Autos als auch Fahrradfahrer und Fußgänger. Auf alle diese Verkehrsteilnehmer muss geachtet werden. Vorfahrtsregeln, Verkehrsschilder, Ampelanlagen und Aktionen der weiteren Verkehrsteilnehmer müssen identifiziert und darauf entsprechend reagiert werden. Zusätzlich wirken auch noch Reize auf den Fahrer, die nichts mit der eigentlichen Fahrsituation zu tun haben. Darunter fallen auffällige Häuserfassaden oder Reklameschilder. In dieser hochdynamischen und komplexen Situation ist der Fahrer stärker beansprucht als auf einer Landstraße. Hier ist die Entfernung zu weiteren Fahrzeugen größer und es sind weniger Radfahrer und Fußgänger anzutreffen. Kreuzungen kommen seltener vor und die Anzahl

von Hinweis- oder Verkehrsschildern ist geringer. Allerdings ist die Reisegeschwindigkeit höher als im Ortsgebiet. Das bedeutet wiederum, dass die Reaktionszeiten des Fahrers auf eine Gefahrensituation kürzer sein müssen, die Aktionen präziser ausfallen müssen und die möglichen Fehler sich schwerwiegender auswirken.

Auf einer Autobahn hat der Fahrer in diesem Sinne den geringsten Aufwand zur Wahrnehmung der Verkehrssituation. Durch die Fahrbahntrennung muss er sich nicht auf den Gegenverkehr konzentrieren, es kommen nur langgezogene Kurven vor und normalerweise regelt sich das Verkehrsaufkommen zu einem selbständigen Fluss. Aber auch hier ist der Fahrer mit höheren Geschwindigkeiten unterwegs, sodass seine Regeleingriffe richtig und rechtzeitig erfolgen müssen. Dies ist nur mit einer vorausschauenden Fahrweise umzusetzen, was wiederum einer erhöhten Aufmerksamkeit des Fahrers bedarf.

1.2 Fahrerunterstützungssysteme

Welche Systeme können sich in Fahrzeugen befinden und welche Informationen können diese an den Fahrer senden?

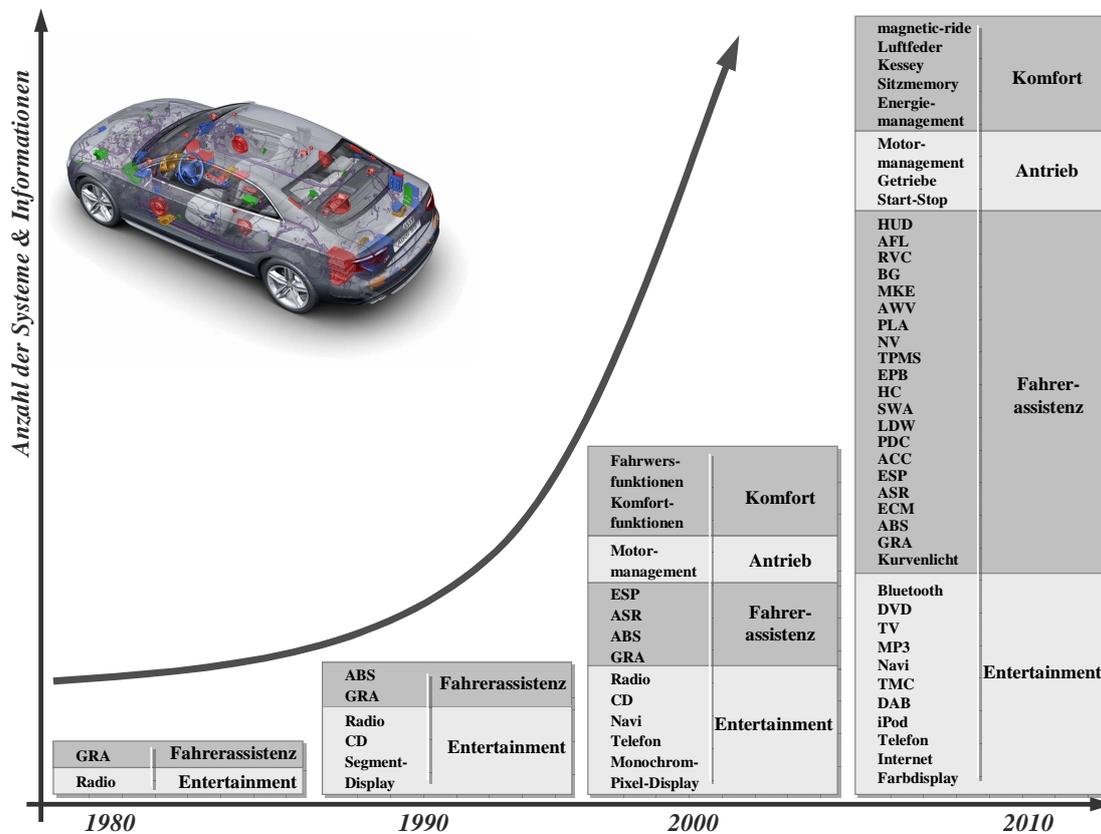


Abbildung 1.8: Zunahme der Fahrzeugsysteme

Unter dem Begriff Fahrerunterstützungssysteme werden alle technischen Systeme zusam-

mengefasst, die den Fahrer in irgendeiner Form informieren, ihm assistieren oder seine Handlungen vervollständigen. Durch die rapide Weiterentwicklung der Elektronikkomponenten haben in den vergangenen Jahren eine Vielzahl solcher Systeme Einzug ins Fahrzeug gehalten (siehe Abbildung 1.8). Dazu gehören beispielsweise die Geschwindigkeitsregelanlage (auch Tempomat genannt), der Airbag, der Gurtstraffer, das Antiblockiersystem ABS, das elektronische Stabilitätsprogramm ESP, der Abstandstempomat ACC (adaptive cruise control), Navigationssysteme, der Bordcomputer etc. Allein diese Aufzählung zeigt, dass die Einsatzgebiete der Systeme stark unterschiedlich sind, weshalb eine Kategorisierung der Systeme nahe liegend ist. Hierzu stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

- Sicherheits- oder Komfortsystem
- Grad der Automatisierung
- Nutzertransparenz
- Verantwortung für Fahraufgabe
- Modalitäten
- Nutzungsdauer
- ...
- Wirkungsbereich und Systemgrenzen
- Ebene der Unterstützung
- Art der Fahraufgabe
- Reaktionserwartung an den Fahrer
- Anzeigeort
- Konsequenzen

Maurer bedient sich zum Beispiel der Unterteilung nach der Zunahme des Automatisierungsgrades der Systeme [MAURER 2004]:

Informierende Systeme - Servosysteme - Automatisch agierende Systeme - Autonom intervenierende Systeme - autonome Systeme

Die Europäische Union unterteilt in ihrer „Empfehlung über sichere und effiziente bordeigene Informations- und Kommunikationssysteme: Neufassung des Europäischen Grundsatzkatalogs zur Mensch-Maschine-Schnittstelle“ (kurz ESoP⁵) in einerseits Informations- und Kommunikationssysteme und andererseits Fahrerassistenzsysteme [EU 2008]. Dieser kundenorientierte Ansatz wird auch in der vorliegenden Arbeit verfolgt. Die Einteilung erfolgt nach dem Nutzen, den das System dem Fahrer bringen soll. Demnach wird an dieser Stelle die Unterteilung der Systeme in

- Fahrerinformationssysteme
- Fahrerassistenzsysteme

vorgenommen. In den folgenden Absätzen werden die Unterschiede der beiden Systemarten sowie deren Ausprägungen erläutert.

Fahrerinformationssysteme Def.: Fahrerinformationssysteme (FIS) stellen dem Fahrer Informationen über Fahrzeugzustand, Umgebungszustand oder allgemeine Themen zur Verfügung, die direkt oder indirekt mit der Fahraufgabe zu tun haben oder das Informations- und Kommunikationsbedürfnis des Fahrers befriedigen.

⁵European Statement of Principles on the design of human machine interfaces

Die Informationen dienen in der Regel zur Situationsanalyse (Geschwindigkeit, Außentemperatur, ...) oder Situationsbewertung (bei Warnungen) und helfen teilweise bei einer Aktionsauswahl (Navigation, Staumeldung, ...). Dabei ist es nicht relevant, in welcher Modalität oder an welchem Ort die Information angezeigt wird. Eine weitere allgemeine Eigenschaft von FIS ist, dass von ihnen keine unmittelbare fahrphysikalische Reaktion gefordert wird. Demnach werden Übernahmeaufforderungen beim Erreichen von Systemgrenzen (Bsp. Maximalverzögerung bei ACC), Ausweichempfehlungen oder ähnliches zur anderen Gruppe der Unterstützungssysteme gezählt.

Fahrerassistenzsysteme Def.: Fahrerassistenzsysteme (FAS) sind technische Zusatzsysteme im Automobil, die autonom oder teilautonom den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützen bzw. teilweise oder vollständig Teilaufgaben der Fahrzeugführung übernehmen. Als Untergruppen der Assistenzsysteme können noch solche definiert werden, die den Fahrer auf der Manöver- bzw. Bahnführungsebene unterstützen, also fahrphysikalisch Eingriffe vornehmen, die vom Fahrer nicht leistbar wären (ESP, ABS, ASR, ...) und jene, welche die Ausführung von Aufgaben erleichtern (Servolenkung, Bremsassistent, Night Vision, ...) oder ganz übernehmen (ACC, HC, ...).

Eine Auswahl dieser Systeme ist in Abbildung 1.9 auf der nächsten Seite dargestellt und gemäß der getroffenen Klassifizierung in *informieren* und *assistieren* sowie die *zeitliche Kritikalität* der Situation zugeordnet. Die Abszisse stellt den Übergang zwischen Information und Assistenz dar. Es kann durch die unterschiedlichen Funktionen und Vielfalt der Systemfunktionalitäten keine klare Grenze gezogen werden. Die Ordinate gibt an, wie zeitkritisch die Reaktionen des Fahrers oder des Systems ausfallen müssen, um einen sicheren Fahrzustand erhalten zu können. Da diese Charakterisierung bei Kontrollleuchten oder Warnmeldungen nur mit Einschränkungen greift, ist ebenfalls die Schwere der zu erwartenden Konsequenzen als „Auswirkung“ angedeutet. Die Position der einzelnen Systeme in diesem Feld soll qualitativ einen Überblick über die Vielfalt an Systemen geben.

Bei Betrachtung der Systeme wird klar, dass diese eine Vielzahl an möglichen Meldungen, Warnungen oder Interaktionen für den Fahrer während einer Fahrt darstellen. Geht man noch einen Schritt tiefer in die Systemlandschaft, kann man davon ausgehen, dass der Großteil der Systeme nicht eine, sondern mehrere Informationspakete für den Fahrer bereithalten. Darunter fallen Statusanzeigen, Funktionsrückmeldungen, Warnmeldungen, Fehlermeldungen, Selbstdiagnose oder beispielsweise Informationen über das System. Daraus lässt sich ableiten, dass die Zunahme an Meldungsmöglichkeiten nicht linear sondern exponentiell mit dem Zuwachs an Fahrzeugsystemen verläuft. Diese Einschätzung lässt sich auch auf andere, für den Fahrer eigentlich nicht ersichtliche, technische Mechanismen, Geräte oder Applikationen umlegen. So entstehen beispielsweise durch den Einsatz eines Rußpartikelfilters bei Dieselfahrzeugen oder die AdBlue-Technologie⁶ mehrere Meldungen.

⁶Unter AdBlue wird ein Harnstoffzusatz verstanden, durch dessen Zugabe in den Abgasstrom eine selektive katalytische Reaktion erzeugt und damit der Schadstoffausstoß von NO_x reduziert wird. Die Harnstofflösung wird in einem extra Tank mitgeführt und muss je nach Verbrauch wieder aufgefüllt werden.

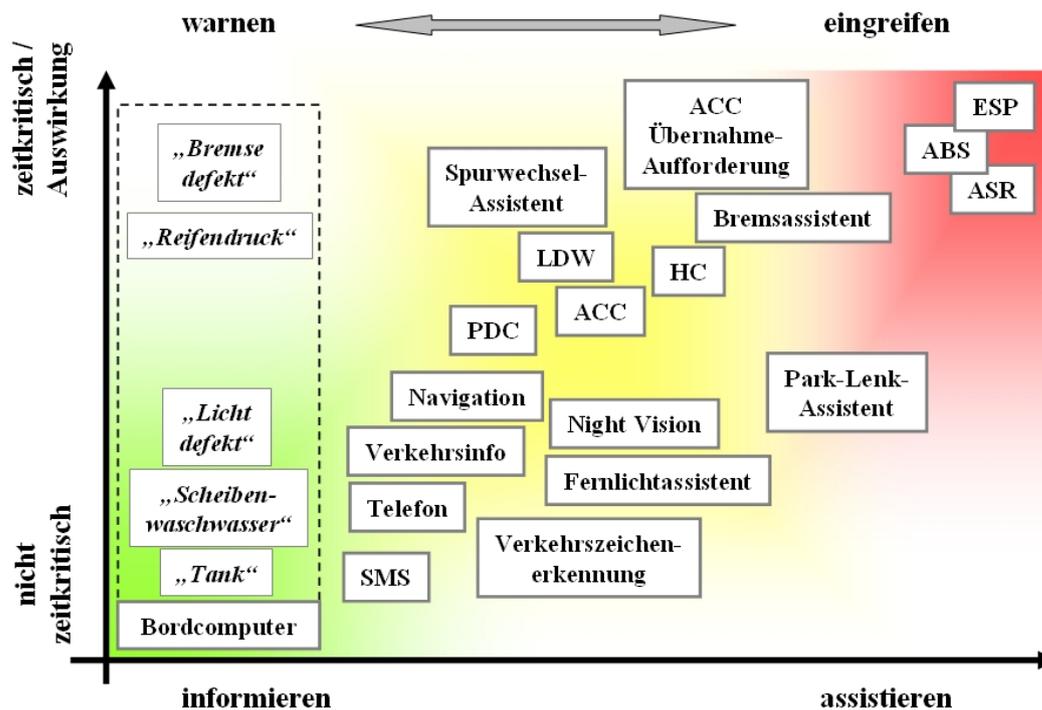


Abbildung 1.9: Fahrerunterstützungssysteme

Auch wird durch den zunehmenden Detaillierungsgrad der Diagnose die Meldungsanzahl vergrößert. Reichte früher eine Anzeige für eine defekte Leuchte am Fahrzeug, wird heutzutage in Abblend-, Fern-, Stand-, Rück- und Tagfahrlicht unterschieden und gegebenenfalls sogar die Position der fehlerhaften Lampe angegeben. All diese Umstände führen dazu, dass in modernen Fahrzeugen über hundert verschiedene Meldungen vorgehalten werden, damit der Fahrer in entsprechenden Situationen diese Informationen bekommt.

Aus dem Abschnitt 1.1.2 ist bekannt, dass in komplexen Fahrsituationen die Aufnahmefähigkeiten bzw. die Informationsverarbeitung des menschlichen Gehirns an seine Grenzen stoßen kann. Unweigerlich drängen sich die Fragen auf:

- Welche Auswirkungen haben Meldungen während der Fahrt auf den Fahrer?
- Kann der Fahrer diese Informationen jederzeit verarbeiten?
- Wird der Fahrer durch situativ ungünstige Meldungen unnötig abgelenkt?
- Kann der Fahrer bei einer weiteren Zunahme der Systeme die vorhandenen Informationen noch verarbeiten?

Diese Fragestellungen führen zu den in der Einleitung bereits angeführten Überlegungen, welche die Grundlage in dieser Arbeit darstellen. Bevor jedoch Hypothesen ausführlich formuliert und deren Hintergrund analysiert werden, soll das folgende Kapitel einen Überblick über den Stand der Technik in diesem Themengebiet liefern.

Kapitel 2

Stand der Technik

Um die Fragestellungen aus dem vorigen Abschnitt umfassend beantworten zu können, müssen zu Beginn dieses Kapitels einige Grundbegriffe erläutert werden. Für ein einheitliches Verständnis ist es unerlässlich, die Begriffe *Belastung*, *Beanspruchung*, *Workload* und *Aufmerksamkeit* gegeneinander abzugrenzen.

Im Anschluss erfolgt ein Überblick über den Stand der Technik zur Thematik Informationsgestaltung im Fahrzeug. Es sollen die bestehenden Erkenntnisse und Forschungsergebnisse bezüglich der Messung von Beanspruchung, des Zusammenspiels von Fahraufgabe mit Nebenaufgaben und einer optimierten Informationsdarstellung erläutert werden. Darüber hinaus werden diese Erkenntnisse mit Resultaten aus der Verkehrsunfallforschung in Verbindung gesetzt. Zu Gunsten der Übersichtlichkeit werden die Inhalte in die vier Kategorien *Beanspruchungsmessung*, *Relevante Beiträge und Studien*, *Bestehende Ansätze von automotivem Informationsmanagement* und *Transfer aus der Unfallforschung* unterteilt.

2.1 Begriffserklärung

Belastung Unter psychischer Belastung versteht man die Gesamtheit der erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und auf ihn einwirken [ISO 2008]. Diese Definition deckt sich weitgehend mit der allgemeinen physikalischen Begriffserklärung, wo unter Belastung alle von außen wirkenden Kräfte zusammengefasst werden. Belastungen sind in der Regel objektiv messbar.

Beanspruchung Beanspruchung ist die unmittelbare, nicht langfristige Auswirkung der psychischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinem jeweiligen überdauernden und augenblicklichen Voraussetzungen, einschließlich der individuellen Bewältigungsstrategien [ISO 2008].

Hellbardt beschreibt den Terminus folgendermaßen: „Unter Beanspruchung versteht man die verschieden starke Ausschöpfung der individuell unterschiedlichen Leistungsfähigkeiten durch die gegebene Belastung“ [HELLBARDT 2000].

Der Zusammenhang der beiden eben vorgestellten Begriffe lässt sich so darstellen, dass eine Belastung eine entsprechende, individuelle Beanspruchung hervorruft. Ein verwand-

ter Begriff, der ebenfalls als Folge von Belastung auftritt, ist Stress. [HERING 1999] beschreibt Stress als Folge extremer, aversiv erlebter Belastung. Darauf aufbauend lässt sich das Führen eines Autos jederzeit als mentale Beanspruchung betrachten. Stress dagegen beschränkt sich auf die Belastungsspitzen in besonderen Verkehrssituationen.

In dieser Arbeit werden die Begriffe Belastung und Beanspruchung nach den getroffenen Definitionen gebraucht und getrennt betrachtet. Teilweise werden in der Literatur beide Begriffe synonym verwendet, was allerdings auf Kosten der Übersichtlichkeit geht.

Workload Für den Begriff Workload oder auch Arbeitsbelastung gibt es je nach Fachrichtung unterschiedliche Definitionen. Ursprünglich aus der IT-Branche stammend, wird der Begriff dort in Zusammenhang mit der Verteilung von Daten und der Zuteilung von Rechenschritten und -Prozessen in Betriebssystemen verwendet. So soll die Arbeitslast ressourcenoptimiert zugeordnet werden.

Hier ist jedoch der Gebrauch in Zusammenhang mit der kognitiven Leistungsfähigkeit und der Arbeitspsychologie von Interesse. Die DIN 33400 fasst die Arbeitsbelastung (Workload) als die Gesamtheit aller Einflüsse, die im Arbeitssystem auf den Menschen wirken, zusammen [ISO 2004].

De Waard beschreibt Workload weiter als das Resultat der Reaktionen auf bestimmte Anforderungen bzw. als den Anteil der mentalen Kapazitäten, der zur Aufgaben- oder Situationsbewältigung notwendig ist. Die Quellen für den Workload eines Fahrers lassen sich sowohl innerhalb als auch außerhalb eines Fahrzeuges finden [DE WAARD 1996].

Die Ursachen für Workload können sehr vielfältig sein. In Tabelle 2.1 sind allgemeine Einflussfaktoren nach [DE WAARD 1996] dargestellt. Die Gliederung ergibt sich aus dem vorherrschenden Fahrerszustand, den individuellen Eigenschaften des Fahrers sowie den Einflüssen der Verkehrssituation und Rahmenbedingungen. Die Auflistung ist exemplarisch und stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Fahrerzustand	Fahrereigenschaften	Umweltfaktoren
Monotonie	Erfahrung	Straßeneinflüsse
Müdigkeit	Alter	Verkehrseinflüsse
Beruhigungsmittel	Strategie	Fahrzeuergonomie
Alkohol	...	Automatisierung
...		Rückmeldungen
		...

Tabelle 2.1: Einflussfaktoren für Workload

Die genannten Faktoren können den Workload sowohl erhöhen als auch verringern. Eine zunehmende Automatisierung im Fahrzeug (Tempomat, ACC, etc.) kann einerseits entspannend sein, andererseits aber auch zu Monotonie oder Ermüdung führen. Ebenso

können bestimmte Situationen den Fahrer überfordern aber genauso gut in einen Zustand hoher Vigilanz versetzen. Diese Beispiele zeigen auf, dass es sowohl einen Bereich oberhalb als auch unterhalb einer optimalen Auslastung des Fahrers gibt. Diesen Umstand stellt De Waard in seinem Regionenmodell dar (siehe Abbildung 2.1)¹.

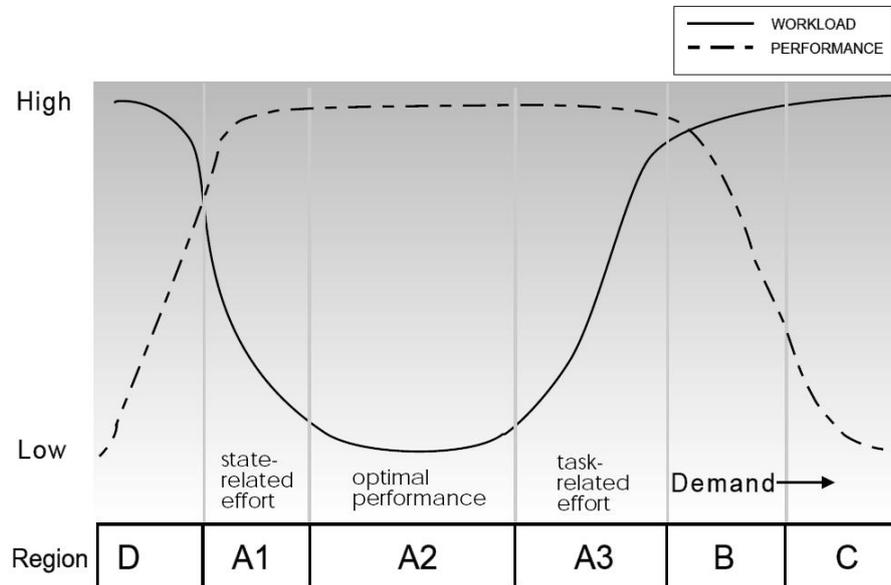


Abbildung 2.1: *Workload-Regionenmodell*

Angetragen ist der Zusammenhang von *Workload* und *Performance*. Die einzelnen Zustände sind in sechs Regionen unterteilt. Die wichtigste Region wird als *A2* bezeichnet. Hier herrscht der optimale Level an Beanspruchung, welches sich in einem Maximum der Effizienz und des Erfüllungsgrads der Aufgabe niederschlägt. Dieser Bereich stellt ideale Arbeitsbedingungen dar um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Die angrenzenden Bereiche *A1* und *A3* stellen solche Zustände dar, bei denen es zwar zu keinen Ergebniseinbußen kommt, dies allerdings nur mit zusätzlichem Aufwand und zunehmender Anstrengung erreicht wird. Die Gründe für diese Zustände können, wie bereits angesprochen, in einer Zunahme der Beanspruchung oder in einer Unterforderung des Menschen liegen. Verschärfen sich diese Bedingungen, steigt der Workload weiter an und als Folge nimmt der Erfüllungsgrad der Aufgabe ab (Regionen *B*, *C* und *D*) [DE WAARD 1996].

Da in der vorliegenden Arbeit in erster Linie die Vermeidung der Überforderung des Fahrers untersucht bzw. erreicht werden soll, wird lediglich der Bereich rechts von *A2*, also das Auftreten und die Eskalation der Überforderung (*A3*, *B* und *C*), betrachtet.

Aufmerksamkeit „Unter Aufmerksamkeit versteht man den psychischen Zustand gesteigerter Wachheit und Aufnahmebereitschaft, bei dem das Bewusstsein auf bestimmte Objekte, Vorgänge, Gedanken ausgerichtet ist. Die Aufmerksamkeit kann willkürlich

¹Das Modell geht zurück auf Untersuchungen von Yerkes & Dodson und wurde später zur sogenannten „Inverted-U hypothesis“ weiterentwickelt [DE WAARD 1996].

(z.B. durch Interessen) gelenkt oder unwillkürlich (passiv) durch Reize erregt werden“ [MEYERS-LEXIKON 2008].

Der Umstand der Aufmerksamkeit begründet sich in der Vielzahl an gleichzeitig auf den Menschen eintreffenden Reizen. Durch seine begrenzten Ressourcen trifft das Gehirn eine Auswahl an Reizen, welche in den kognitiven Fokus gefasst werden. Einzelne Aspekte der Aufmerksamkeit sind Orientierung (Ausrichtung der Rezeptoren in eine bestimmte Richtung, aus der der Hinweisreiz kommt), Filterung (gezieltes Ausblenden bestimmter Reize), Suche (identifizieren eines Targets zwischen Distraktoren) und Erwartung (reagieren auf „verdächtige“ Stimuli) [FUNKE 2009].

Unter Daueraufmerksamkeit wird die Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit auf einem bestimmten Niveau über einen längeren Zeitraum verstanden. Sie kann als Durchschnitt betrachtet werden und liegt demnach mit ihrem Niveau stets unter der gerichteten Aufmerksamkeit.

Ähnlich wie bei Komfort und Diskomfort lässt sich auch Unaufmerksamkeit durch die Abwesenheit von Aufmerksamkeit definieren. Unaufmerksamkeit kann kognitiv als auch physiologisch begründet sein. Beispiele für kognitive Unaufmerksamkeit sind die so genannte Unaufmerksamkeitsblindheit bzw. der „look-but-did-not-see“-Effekt. Bei beiden Fällen sind zwar die Augen auf das zu entdeckende Objekt gerichtet, dieses wird jedoch durch eine Selektion nicht bewusst wahrgenommen. Darüber hinaus kann durch Abwenden von Sinneskanälen (Schließen der Augen, Wegsehen, etc.), evtl. verursacht durch Nebenaufgaben, Unaufmerksamkeit hervorgerufen werden.

2.2 Beanspruchungsmessung

Im Folgenden werden bestehende Untersuchungen bzw. der Stand der Technik zur Messung von Beanspruchung aufgezeigt. Timpe beschreibt das Thema Kraftfahrzeugführung als das, neben der Flugführung, am besten und meisten untersuchte Themenfeld der Mensch-Maschine-Interaktion [TIMPE 2001]. Wegen dieser Vielzahl von Untersuchungen und Forschungsprojekten werden hier nur die wichtigsten und relevanten Arbeiten dargestellt.

Die Verkehrspsychologie beschäftigt sich seit den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts mit der Bestimmung der Fahrerbeanspruchung infolge der Fahraufgabe. Hierzu kommen verschieden Methoden und Messgrößen zur Auswahl. Beim Vergleichen von Ergebnissen muss jedoch beachtet werden, dass die Resultate maßgeblich von der Wahl der verwendeten Indikatoren abhängig sind [HERING 1999].

Die Bestimmung der Fahrerbeanspruchung kann über direkte oder indirekte Methoden erfolgen. Zu den indirekten Methoden zählen meist Leistungsmerkmale, wogegen direkte Methoden über physiologische Parameter den Zustand des Körpers erfassen. Eine wichtige Einflussgröße stellt die Intrusion der Untersuchung dar. Darunter wird die Einwirkung infolge der Versuchsdurchführung oder des Messaufbaus auf das Untersuchungsobjekt,

also den Fahrer, verstanden. Diese soll so gering wie möglich gehalten werden, um die Ergebnisse durch die Messung oder den Versuchsaufbau nicht zu verfälschen.

Im Folgenden werden die Meßverfahren in drei Gruppen eingeteilt:

- Physiologische Messung
- Subjektive Bewertung
- Leistungsmerkmale.

Es folgt ein Überblick über die gängigen Verfahren der einzelnen Gruppen. Am Ende werden die Messmethoden miteinander verglichen und die Anwendbarkeit für die weitere Vorgehensweise in dieser Arbeit diskutiert.

2.2.1 Physiologische Messungen

Die folgenden Möglichkeiten der Beanspruchungsmessung stellen die wichtigsten Methoden dar. Es ist dabei allerdings zu beachten, dass nicht jedes Verfahren für den automobilen Bereich geeignet ist. Die Kriterien, nach denen sich eine Messmethode für den automotiven Einsatz qualifiziert, sind in erster Linie Intrusion, Größe und Komplexität des Versuchsaufbaus und die Sensitivität des Verfahrens.

Herzfrequenz Die Messung der Herzfrequenz gilt als die klassische Methode der physiologischen Beanspruchungsmessung. Die Interpretation der Messwerte besagt: „Je höher die Herzfrequenz, desto höher die Beanspruchung“. In der Literatur sind unterschiedliche Ergebnisse zur Aussagekraft der Herzrate zur Beanspruchungsbestimmung zu finden. Dass bei manchen Probanden allein die Tatsache einer Untersuchung die durchschnittliche Herzfrequenz steigen lässt, stellt ein Problem dar. Hierzu kommt, dass es bei zunehmender Beanspruchung zu einer erneuten Steigerung des Pulses kommt, welche in einer nicht „überwachten“ Situation nicht vorkommen würde. Ein weiteres Manko stellt die Trägheit der Herzrate dar, die nicht auf kurzzeitige Belastungsspitzen reagieren kann [KUETING 1976]. Hering fasst mehrere Veröffentlichungen zusammen, die jeweils die Schwierigkeiten der Interpretation von Herzratenvariabilität oder das eher langsame Normalisieren des Pulses zum Ausgangsniveau beschreiben [HERING 1999]. Dem gegenüber wird beispielsweise in [FÄRBER 1987] beschrieben, dass der Vergleich von Herzfrequenzmessungen zur Bestimmung von Beanspruchung und Expertenbeurteilungen eine deutliche Übereinstimmung aufweist.

Abgesehen von den unterschiedlichen Ergebnissen ist auch die Messung selbst nicht problemlos im Fahrzeug zu realisieren. Aufgrund der ansonsten auftretenden Intrusion kommen nur drahtlose Geräte in Frage. Allerdings stellen auch diese üblicherweise ein zusätzliches Kleidungsstück dar (Brustgurt, spezielle Unterwäsche, etc.). Eine Alternative stellen Messpunkte an Bedienteilen im Fahrzeug wie Lenkrad oder Schalthebel dar. Die Nutzung dieser zieht jedoch eine genau definierte Haltung der Hände an diesen Messstellen nach sich, was das natürliche Verhalten eines Autofahrers beeinflusst.

Blutdruck In Kombination mit dem Puls ließe sich auch der Blutdruck des Probanden messen. Die Methode hat sich in Laborversuchen bewährt, hat allerdings in der Messung der Fahrerbeanspruchung keine Anwendung gefunden.

Atmung Über die Atmung wird das Blut mit Sauerstoff versorgt, welches seinerseits die Organe mit diesem beliefert. Nun folgt der Schluss, dass sich bei einer erhöhten Beanspruchung ein höherer Sauerstoffbedarf und somit auch eine höhere Herzrate einstellen. Dem müsste der Körper mit einer Erhöhung der Atemfrequenz begegnen, um die Versorgung mit Sauerstoff sicherzustellen. Nach Backs und Ryans sind solche Zusammenhänge signifikant, wenn auch nur sehr schwach erkennbar [BACKS 1992]. De Waard findet in seiner Literatursichtung mehrfach das Heranziehen der Atemrate zur Bestimmung stressvoller Situationen [DE WAARD 1996]. Er weist allerdings auch auf die Probleme der Messung hin, die sich aus der hohen Intrusion bei den direkten oder der Beeinflussung von Temperatur, Luftdruck, Störströmungen aber auch Sprache bei indirekten Methoden ergeben. In der Luftfahrt ist die Anwendung einfacher und wird auch durchgeführt, da über die Sauerstoffmaske in Hochgeschwindigkeitsflugzeugen die Voraussetzungen für eine Messung und Auswertung der Atemintensität und -frequenz gegeben sind.

Hautleitwert Der Hautleitwert (elektrodermale Aktivität oder galvanische Hautreaktion) bietet sich als Indikator an, da dieser relativ schnell und auch auf kurzfristige Veränderungen der Beanspruchung reagiert. Die Latenzzeiten liegen zwischen 1,3 und 2,5 Sekunden [DE WAARD 1996]. Der zugrundeliegende Effekt ist die Ausschüttung von Schweiß, der durch seinen Säuregehalt den elektrischen Widerstand der Haut verringert und somit die Leitfähigkeit erhöht. Eine solche Erhöhung der Leitfähigkeit wird als Anzeichen für geistige Anstrengung interpretiert [HERING 1999]. Dieses Prinzip wird bei Lügendetektoren ebenfalls angewandt. Die Messung kann endosomatisch (ohne externe Stromquelle) oder exosomatisch (mit externer Stromquelle) durchgeführt werden.

Allerdings bestehen auch bei dieser Methode geteilte Meinungen über die Aussagekraft solcher Messungen. Als Hauptprobleme dieser Messmethode gelten die Abhängigkeiten des Leitwertes von der Temperatur, Luftfeuchtigkeit, körperlichen Aktivität, Tageszeit, Geschlecht des Probanden, Jahreszeit und auch Emotionen [DE WAARD 1996].

Elektro-Enzephalographie (EEG) Die EEG ist eine Methode zur Messung der Hirnströme, welche die Aktivitäten des Gehirns widerspiegeln. Bei der Analyse der Frequenzbänder ergeben sich vier charakteristische Bereiche: Alpha-, Beta, Delta- und Theta-Bänder. Delta-Wellen (bis 4 Hz) sind typisch für Schlafphasen, wogegen Beta-Wellen (über 13 Hz) charakteristisch für aktive Wachphasen sind. Alpha- (8 bis 13 Hz) und Theta-Wellen (4 bis 8 Hz) werden mit Wachheit oder entspannter Alarmbereitschaft in Verbindung gebracht. Die Annahme, dass sich in beanspruchenden Situationen die Alpha- und Theta-Wellen mehren wird durch verschiedene Studien bestätigt [KRAMER 1991],[SERIVAAG 1993].

Die Messung des Fahrerzustandes über EEG findet sowohl in Laboren, als auch in Realfahrten Einsatz. So beschreibt Kincses ein mobiles Spontan-EEG zur Messung der Müdigkeit bei LKW-Fahrern. Die gewonnen Ergebnisse sind viel versprechend, allerdings auch

mit einem entsprechendem Aufwand (Kalibrierung, Intrusion, aufwändige Artefaktbereinigung, ...) behaftet [KINCSES 2008a], [KINCSES 2008b].

Elektromyogramm (EMG) Im Gegensatz zum EEG wird beim EMG die Aktivität der Muskeln gemessen. Durch mehrere Nadelelektroden werden zwischen den entsprechenden Muskelfasern Potenzialunterschiede gemessen. Der Grad der Intrusion dieser Messung ist der Grund, weshalb diese Methode in Versuchsfahrten nicht zum Einsatz kommt. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass mit Hilfe des EMG, speziell bei Gesichtsmuskulatur, Aussagen über Emotionen und Beanspruchung getroffen werden könnten [DE WAARD 1996].

Blickerfassung Die dominierende Rolle des visuellen Kanals wurde bereits im Kapitel 1.1.2.1 zum visuellen Sinneskanal behandelt. Ebenso wurde der Zusammenhang zwischen der Fixationsdauer und der kognitiven Belastung bereits angedeutet.

Die Blickerfassung kann über die Messung der Aktivität der Augenmuskulatur (Elektro-Okulogramm EOG) oder über bildverarbeitende Systeme erfolgen (siehe [SEIFERT 2001]). Das EOG hat sowohl die starke Intrusion als auch die schwierige Bestimmung der fovealen Blickrichtung als Nachteil.

Deshalb liegt hier der Schwerpunkt auf der optischen Blickregistrierung. Diese erfolgt häufig über ein fahrzeugfestes Kamerasystem, welches im Fahrzeug (Instrumententafel, Kombiinstrument, Innenspiegel, etc.) verbaut ist und so die geringste Intrusion aufweist. Eine andere Möglichkeit stellen fahrerfeste Systeme dar, bei denen über spezielle Brillengestelle die erforderlichen Kameras am Kopf des Fahrers montiert sind und dessen Blickrichtung sowie das Auge aufzeichnen. Diese Systeme sind mittlerweile bauraum- und gewichtsoptimiert sowie drahtlos auf dem Markt erhältlich, stellen aber dennoch eine gewisse Intrusion dar.

Studien über die Zunahme der Fixationszeiten in beanspruchenden Situationen liefern beispielsweise [PANNASCH 2003] oder [O'DONNELL 1986]. Die Ergebnisse von Cohen wurden bereits in Abschnitt 1.1.2.1 auf Seite 12 erläutert.

Der Begriff „Tunnelblick“ beschreibt umgangssprachlich die Einengung des effektiven Sehbereichs als Folge steigender Beanspruchung [MACKWORTH 1970]. Diese Einschränkung des peripheren Blickfeldes ist Gegenstand weiterer Untersuchungen. So zeigte beispielsweise Cohen in mehreren Veröffentlichungen zwischen 1984 und 1987 einen Leistungsabfall der Sehfähigkeit bei zunehmender Reizexzentrizität relativ zur Fovea Centralis durch zunehmende Beanspruchung. In seinen Untersuchungen erwies sich der Straßentyp als gewichtiger Einflussfaktor. Im Umkehrschluss lässt sich daraus folgern, dass die Beanspruchung von der Autobahn über Landstraße hin zum Stadtverkehr zunimmt. Dagegen lässt sich die Fahrgeschwindigkeit nicht mit der Sehfeldeinschränkung, hervorgerufen durch Beanspruchung, in Verbindung bringen (aus [HERING 1999]).

Als weiterer Indikator für die kognitive Beanspruchung des Menschen kann der Pupillendurchmesser untersucht werden (siehe bspw. [SCHULTHEIS 2004]). Es kommt allerdings auch hier zu unterschiedlichen Ergebnissen. De Waard fasst diese so zusammen, dass man zwar über eine Vergrößerung des Pupillendurchmessers eine Zunahme der Beanspruchung identifizieren kann, aber die bedeutend größeren Einflüsse durch Lichtverhältnisse und Reflexionen zu Stande kommen [DE WAARD 1996].

Ein viel versprechender Ansatz zur Erkennung von Müdigkeit ist die Analyse des Lidschlagens bzw. der Lidschlagfrequenz. Beispielsweise werden in [BÜKER 2007] anhand der Charakteristik von Lidschlussignalen Applikationen wie ein Aufmerksamkeitsassistent oder eine ablenkungssensitive Parametrierung von Assistenzsystemen angedacht. Die Ansätze basieren auf einem kamerabasierten System, das mittels Infrarotaufnahmen des Fahrers Aussagen über die Orientierung des Kopfes bzw. Augen und damit die Blickrichtung treffen kann. Ebenso können Mikroschlafereignisse robust mit dieser Technologie erkannt werden, indem Augenlidöffnung, Lidschlagdauer, Länge des Lidschlusses, Schließ- und Öffnungsgeschwindigkeit sowie Blinkfrequenz analysiert werden.

Bei der Betrachtung all dieser Messmethoden wird ersichtlich, dass es durchwegs divergente Ergebnisse oder Interpretationen der Ergebnisse gibt. Erschwerend kommt hinzu, dass viele Methoden für einen Einsatz im Fahrzeug nicht oder nur mit sehr großem Aufwand geeignet sind. Die eingangs gestellte Forderung nach einem Minimum an Intrusion der Messmethode lässt für die vorliegende Arbeit nur die visuelle Erfassung von Kopf, Blickrichtung und Pupille zu. Diese Schlussfolgerung ist für die später beschriebenen Versuchsfahrten ausschlaggebend.

2.2.2 Subjektive Bewertung

Eine Alternative zu den physiologisch gemessenen Indikatoren stellt die Bestimmung der Beanspruchung über subjektive Bewertungsmechanismen dar. Dem zu Grunde liegt die Überlegung, dass jeder Mensch sich und seine Leistungsfähigkeit am besten kennt und einschätzen kann. Demnach sollte er selbst auch am besten in der Lage sein, die vorherrschende Beanspruchung zu interpretieren und zu quantifizieren. Muckler & Stevens als auch Sheridan sehen die Selbsteinschätzung als die beste Möglichkeit, Workload zu bestimmen (zitiert aus [DE WAARD 1996]).

Kritiker hingegen sagen, dass man physiologische und mentale Faktoren nur schwer auseinander halten kann und deshalb eine differenzierte Bewertung für Laien problematisch ist [O'DONNELL 1986].

Zur Bestimmung der Beanspruchung wurden mehrere Vorgehensweisen und Fragebögen entwickelt. Beispiele hierfür sind der *RSME (Rating Scale Mental Effort)* von Zijlstra, der *Basler Befindlichkeitsbogen* von Hobi oder die *Activation scale* nach Bartenwerfer. Am weitesten verbreitet ist der *NASA TLX (Task Load Index)*. Diese multidimensionale

Skala soll über 18-stufige Ratings in den Ausprägungen

- Geistige Anforderung
- Körperliche Anforderung
- Zeitliche Anforderung
- Aufgabenerfüllung
- Anstrengung und
- Frustration

einen Gesamtwert der Beanspruchung produzieren. Zusätzlich wird durch paarweise Vergleiche eine Gewichtung der einzelnen Dimensionen erzielt.

Scheufler beschreibt und vergleicht diese unterschiedliche Methodiken zur Bestimmung von Beanspruchung und kommt zum Schluss, dass die standardisierten Fragebögen eine gute Basis darstellen, diese allerdings durch eine Modifikation auf die vorliegende Fragestellung angepasst werden können und sollen. Zusätzlich schlägt sie die Verwendung mehrerer, sich ergänzender Methoden vor [SCHEUFLER 2002].

Auch de Waard unterstreicht, dass es bei der Auswahl der Bewertungsskala immer auf die benötigten Informationen ankommt. Er stellt unidimensionale und multidimensionale Bewertungsbögen gegenüber und kommt zum Schluss, dass trotz der potenziellen Diagnosevielfalt der multidimensionalen Skalen eine unidimensionale Skala sensibler auf Veränderungen der Arbeitsbelastung reagiert. Seiner Ansicht nach sollte eine Messung durch Einfachheit und Direktheit gekennzeichnet sein und möglichst wenig Spielraum für Interpretationen bieten [DE WAARD 1996].

2.2.3 Leistungsmerkmale

Die Theorie hinter der Beanspruchungsmessung über Leistungsmerkmale setzt voraus, dass sich bei zunehmender Belastung das Ergebnis spezifischer Leistungen verschlechtert. Dieser Umstand entspricht dem POC und dem Workload-Regionenmodell, die auf den Seiten 19 bzw. 31 dargestellt sind. Ein umfangreicher Überblick über die grundlagenwissenschaftlich ausgerichteten Untersuchungen bietet Hering im Kapitel 5 „Das Doppelaufgabenparadigma“ [HERING 1999].

In der Verkehrspsychologie werden die Leistungsmerkmale nach den drei Aufgabentypen, Primär-, Sekundär- und Referenzaufgaben, unterschieden. Bei der Beobachtung der Primäraufgaben werden vorrangig die Anzahl der gemachten Fehler, die Geschwindigkeit und die Reaktionszeit gemessen. Ein Kritikpunkt an dieser Methode ist die Unschärfe der Aussage. So können zwei Probanden sowohl fehlerfrei als auch in vergleichbaren Zeiten eine Aufgabe lösen. Es lässt sich jedoch keine Aussage darüber treffen, ob einer der beiden die Aufgabenerfüllung relativ entspannt schaffte und der andere an den Grenzen seiner Leistungsfähigkeit war [O'DONNELL 1986]. Es ist deshalb ratsam, eine Primäraufgabemessung mit einer weiteren Messmethode zu kombinieren.

Eine solche ergänzende Methode ist die Messung der Leistung bei Sekundär- oder Nebenaufgaben. Hierbei sollen durch zusätzliche Aufgaben die Ressourcen der Versuchsperson ausgeschöpft werden. Beispiele für solche Nebenaufgaben sind Kopfrechenaufgaben, Suchaufgaben, Bedienhandlungen oder Entscheidungsaufgaben. Mit ihnen kann die mentale Beanspruchung des Fahrers gesteigert und seine Leistungsfähigkeit über die Kriterien der Primäraufgabenmessung erfasst werden.

Als Beispiel für eine Doppelaufgabe wird an dieser Stelle der Lane-Change-Test (LCT) erläutert, der üblicherweise in einem Fahrsimulator durchgeführt wird. Hierbei ist das Untersuchungsobjekt in der Regel ein Fahrzeugsystem, welches auf seine Bedienbarkeit und Intuitivität zu testen ist. Das Autofahren stellt die Primäraufgabe, das Bedienen des Systems die Sekundäraufgabe dar. Zur Verschärfung der Situation erhält der Proband die Anweisung, auf eine definierte Spur zu wechseln, sobald er am Straßenrand ein entsprechendes Schild erkannt hat. Die Fahrspur des Probanden wird aufgezeichnet und mit einem normativen Modell verglichen. Das Modell stellt einen „idealen“, linearen Spurwechsel zwischen den drei Fahrbahnen dar und ist durch den Abstand vom Schild und dem Gradienten der lateralen Fahrzeugposition auf der Fahrbahn abhängig. Die Abweichung der gefahrenen Spur von dem normativen Spurwechsel ist als Fläche darstellbar und gilt als Maß der Fahrqualität. Die Fahrqualität hängt von der Wahrnehmung, der Reaktion, dem Spurwechselmanöver und der Spurhaltung ab. Jeder Parameter hat Einfluss auf die Größe der Fläche, die ein Maß für die Ablenkungswirkung oder den Workload darstellt. So verursacht ein stark beanspruchter Fahrer durch späte Reaktion oder schlechte Spurhaltung einen größeren Flächenwert, der einem höheren Workload entspricht (siehe auch [KUHN 2005]).

Diese Methode steht hier stellvertretend für alle Möglichkeiten, welche über künstliche Fahraufgaben und Nebenaufgaben deren Auswirkung auf den Workload des Fahrers zu generieren.

Als dritte Variante der Messung von Leistungsmerkmalen gilt der Vergleich mit einer Referenzaufgabe. Hierbei werden entweder vor oder nach der zu bewertenden Situation standardisierte Abläufe durchfahren und mit der erbrachten Leistung der Hauptaufgabe verglichen. Beispielsweise wird zweimal die selbe Strecke durchfahren, einmal mit und einmal ohne Bedienhandlungen. Bei der Auswertung werden Leistungsmerkmale wie Spurhaltung, Abstand zum Vorderfahrzeug, Lenkkorrekturen etc. verglichen und daraus die Zusatzbeanspruchung des Fahrers durch die Bedienaufgabe abgeleitet. Diese Art der Untersuchung ist weit verbreitet und eignet sich gut für qualitative Vergleiche und Trendaussagen (nach Van Ouwerkerk zitiert aus [DE WAARD 1996]).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Untersuchung der Beanspruchung oder Workload durch die Erfassung von Leistungsmerkmalen qualitative Aussagen zulassen. Speziell bei den Untersuchungen mit Nebenaufgaben darf nicht außer Acht gelassen werden, dass es sich um unnatürliche oder standardisierte Fahrsituationen (z.B. normativer Spurwechsel bei dem LCT) handelt, welche im realen Straßenverkehr nur selten auftreten.

ten. Deshalb muss die Übertragung der Ergebnisse auf die reale Fahrzeugnutzung genau hinterfragt werden.

2.3 Relevante Beiträge und Studien

Im Folgenden werden ausgewählte Beiträge der Literatur angeführt und ein kurzer Überblick über relevante Erkenntnisse gegeben. Die Überschrift der einzelnen Absätze entspricht hierbei immer den Titeln der Beiträge. Anzumerken ist, dass oftmals nicht alle Ergebnisse der Studien erwähnt werden, sondern der Fokus auf relevanten Erkenntnissen für die vorliegende Arbeit liegt.

Indirekte Methoden zur Identifikation des Fahrerleistungsvermögens Bergholz et. al. stellen in zwei Veröffentlichungen zwei unterschiedliche Methoden zur Bestimmung des Fahrerleistungsvermögens (FLV) vor. Einerseits soll das FLV durch die Analyse von Spurverlassungswarnungen erfolgen. Andererseits verfolgen die Autoren den Ansatz, aus dem Fahrerübertragungsverhalten das FLV abzuleiten. Beide Verfahren stellen eine indirekte Messmethode dar.

Bei der Identifikation des FLV durch das Spurverhalten des Fahrers werden die Spurlängengüte und die Spurwechselgüte anhand von Fahrzeugparametern bewertet. Die Versuchsfahrten zeigen, dass sich für jeden Fahrer eine individuelle Spurmitte ergibt, um die er sein Fahrzeug regelt. Diese individuelle Spurmitte entspricht dem gemittelten Fehler der Spurlängung gegenüber der Nulllage der Spurmitte, kurz gesagt dem Effektivwert der Abweichung. Als Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen wird festgehalten, dass mit einem abnehmenden subjektiven Leistungsvermögen eine Änderung der Spurlängung einher geht. Ebenso ist mit zunehmender Fahrzeit eine Annäherung der Querregelung an die Fahrspurmitte und eine Verkürzung der Zeitabstände zwischen den Spurmittendurchgängen zu erkennen. Allgemein formulieren die Autoren die Beobachtung so, dass die Probanden mit abnehmendem Leistungsvermögen sich bei der Spurlängung von ihrer individuellen Spurmitte zunehmend entfernen und vermehrt um die tatsächliche Spurmitte regeln.

Die Identifikation des FLV durch das Fahrerübertragungsverhalten erfolgt über die Betrachtung von Parametern des Mensch-Maschine-Umwelt-Regelkreises. Das FLV wird durch die Änderung der Fahrerhandlung, erfasst durch das Fahrzeugregelverhalten, beschrieben.

Beide Methoden werden als geeignet angesehen, das FLV und dessen Verlauf über längere Fahrzeiten zu erfassen. Als Teilergebnis wird festgehalten, dass sich eine Abnahme des Leistungsvermögens von Fahrern sowohl bei mittellangen als auch bei langen Strecken, unabhängig von Fahrstil und Fahraufgabe, beobachten lässt [BERGHOLZ 2007], [BERGHOLZ 2008].

Situative Assistenz 2015 In diesem Beitrag postulieren Meurle und Willner auf Grund der zunehmenden Vernetzung und der Vielzahl an elektronischen Systemen im Fahrzeug ein Workloadmanager zur Unterstützung der Kommunikation im Fahrzeug. Dieser soll durch situationsabhängige Priorisierung und Filterung dem Fahrer die Informationen möglichst bediengerecht darstellen. Zusätzlich sollte auch die Sensibilisierung von Assistenzsystemen unter Berücksichtigung der Reaktionsfähigkeit des Fahrers und der Verkehrssituation erfolgen. Um dies zu erreichen, muss der Fahrer in die Analyse einbezogen werden. Als Vision stellen die Autoren eine nachhaltige Konditionssicherung des Fahrers in Aussicht, sofern der Fahrer jederzeit eine angemessene Unterstützung erhält [WILLNER 2006].

Die Erfassung von Situationsbewusstsein beim Fahren mit Nebenaufgaben Rauch et. al. stellt bei den beschriebenen Untersuchungen zum Situationsbewusstsein von Fahrern fest, dass es bei einem erhöhten Workload, hervorgerufen durch Nebenaufgaben, generell zu Kompensationseffekten der Fahrer kommt. Dies äußert sich folgendermaßen, dass Fahrer bei Aufteilung ihrer Ressourcen auf Nebenaufgaben geringere Geschwindigkeiten fahren und größere Abstände zum Vorderfahrzeug lassen. Die höhere Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses schlägt sich allerdings auch in einer schlechteren Erinnerungsleistung an weiter zurückliegende Ereignisse nieder. Beispielsweise fehlen Erinnerungen an Beschilderungen o. Ä. [RAUCH 2007].

Obwohl das eigentliche Untersuchungsziel die Untersuchung der Methode SAGAT („Situation Awareness Global Assessment Technique“) und ihrer Eignung für Erfassung des Situationsbewusstseins im Fahrkontextes darstellt, liefern die angeführten Nebenprodukte interessante Erkenntnisse des Fahrerverhaltens bei erhöhter Beanspruchung.

AIDE AIDE steht für **A**daptive **I**ntegrated **D**river-vehicle **I**nterfac**E** und ist ein Förderprojekt der Europäischen Kommission mit den Zielen, die Effizienz und Sicherheitsaspekte von Fahrerassistenzsystemen zu maximieren, den Workload und die Ablenkung des Fahrers durch Fahrerinformationssysteme zu minimieren und die Potenziale neuer Technologien im Fahrzeug auszuweisen [EU 2009]. Auch hier wurden unter anderem Versuche durchgeführt, in denen auf Basis der Herzfrequenz-Indikatoren auf den emotionalen Zustand des Fahrers geschlossen wird. Die Auswertung zeigt, dass bei 9 von 15 Probanden das Szenario außerorts die höchsten Werte der Herzfrequenz und daraus abgeleitet die höchste Beanspruchung erzeugte. Dem gegenüber stehen allerdings die Ergebnisse der subjektiven Befragung (NASA-TLX), bei denen die Stadtszenarien die höchste Beanspruchung aufweisen.

Ein weiteres Teilprojekt beschreibt ein System, das den potenziell überlasteten Fahrer vor einem eingehenden Telefonanruf bewahrt, indem dieser nicht durchgestellt wird. Diese Software soll so die Ablenkung des Fahrers vermeiden sodass sich dieser auf die Fahraufgabe konzentrieren kann [EU 2009].

Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr Mit dem Ziel, ein Verfahren mit der unter realen

Verkehrsbedingungen mentalen Beanspruchung abgeleitet werden kann, zu entwickeln, werden Versuchsfahrten in der Kölner Innenstadt durchgeführt. Als Nebenaufgabe wird eine optische Reizdiskriminierungsaufgabe gewählt, bei der drei von sieben LED-Leuchten jeweils ein entsprechendes Lichtmuster erzeugen. Abhängig von diesem Muster müssen die Versuchspersonen, 31 Frauen und 65 Männer, auf den richtigen von zwei Reaktionsknöpfen drücken. Zur Auswertung werden Fahrzeugdaten (Geschwindigkeit, Drehzahl, Bremsaktivitäten und Lenkaktivitäten), Reaktionszeiten und über ein EKG die Herzrate aufgezeichnet.

Der Autor kommt zur Erkenntnis, dass die Analyse der Fehlerhäufigkeit ungeeignet für die Erfassung von Beanspruchung ist. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass eine Nebenaufgabe die Fahraufgabe stets in irgendeiner Form beeinflusst. Hierbei beruft sich der Autor auch auf Erkenntnisse von Heijer, Brookhouis, Wisum und Dunistee aus dem Jahr 1998. Ergänzend zitiert er u. a. [COHEN 1987], dessen Untersuchungen nahelegen, dass größere Informationsquantitäten durch vermehrte Konzentration oder geistige Anstrengung kompensiert werden können. Die Auswertung der Herzrate und der Reaktionszeiten fällt insgesamt erfolgreich aus. Auf Grund der Parallelität der kognitiven und physiologischen Größen stellt der Autor in Aussicht, bei zukünftigen Untersuchungen auf ein EKG verzichten zu können.

Als wichtiges Teilergebnis wird hervorgehoben, dass sich kein Hinweis auf einen linearen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der Beanspruchung finden lässt. Ebenso finden sich in den Ergebnissen nicht die erwarteten Unterschiede bei Abbiegesituationen nach links bzw. nach rechts wieder. Als Interpretation folgt, dass in den vorkommenden städtischen Kreuzungssituationen unabhängig von der Abbiegerichtung jeweils mehrere Spuren (Fahrbahn, Radweg, Fußgängerweg) zu kreuzen waren und dementsprechend eine besondere Aufmerksamkeit erforderte [HERING 1999].

Fahrerintentionserkennung für Fahrerassistenzsysteme Rückschlüsse auf die Trajektorie stellen für Fahrerassistenzsysteme eine fundamentale Bedeutung für die Kundenakzeptanz dar. Heutige Fahrerassistenzsysteme wie ACC, LDW oder SWA gehen von einer Fahrt innerhalb einer Fahrspur aus. Verlässt der Fahrer diese, wird das meist durch den Blinker angezeigt. Diese Information ist jedoch teilweise unzureichend, da es sowohl zu Fehlbetätigungen als auch zu Spurwechseln und Richtungsänderungen ohne Blinkerbetätigung kommen kann. Eine Aussage über eine zukünftige Fahrerhandlung kann jedoch eine situative Parametrierung der Fahrerassistenzsysteme initiieren, welche den Nutzen der Systeme steigert.

Die Autoren des zitierten Beitrags wählen zur Umsetzung dieser Überlegung einen probabilistischen Ansatz um durch Kombination vorliegender Information auf die Fahrerintention schätzen zu können. Da es sich um Schlüsse, die unter Unsicherheit getroffen werden müssen handelt, untersuchen die Autoren mehrere Methoden hierzu. Die Wahl fällt hierbei auf ein Bayes'sches Netz.

Der Aufbau des Netzes orientiert sich an einem kausalen Drei-Ebenen-Modell, welches über Motivatoren, Inhibitoren und Indikatoren auf alle zu erkennenden Fahrmanöver

schließen lässt. Das Bayes'sche Netz wird mit einem Matlab/Simulink-Modul erstellt und in einem Technikträger validiert. Das aufgebaute Netz sollte Abbiege- und Überholvorgänge erkennen und unterscheiden. Anhand von Probandenversuchen wurden die Inferenzwahrscheinlichkeiten der einzelnen Knoten ermittelt. Neben Fahrzeugumfelddaten wurden auch Fahrgeschwindigkeit, Lenkradwinkel, Lenkradwinkelgeschwindigkeit und die Blinkerbetätigung als Indikatoren erfasst.

Die positiven Ergebnisse der Untersuchungen veranlassen die Autoren, zukünftig das System zu erweitern und auf Basis der Detektion bestimmter Regler und Aktuatorik beeinflussen zu wollen. Als weitere, viel versprechende Ausbaumöglichkeit wird die Erweiterung des Netzes um den Faktor Zeit angesehen. So ein dynamisches Netz könnte Manöverfolgen berücksichtigen und die Zuverlässigkeit der Vorhersage erhöhen [SCHROVEN 2008].

Fahrmanöver-Prädiktion über CAN-Bus Daten Ähnlich wie im vorigen Bericht verfolgen die Autoren das Ziel, die vom Fahrer intendierten Fahrmanöver zu erkennen und so adäquate Assistenzfunktionen oder Warnungen zu ermöglichen. Der Fokus liegt ebenfalls auf den Szenarien „Überholen“ und „Abbiegen“. In diesem Beitrag wird die Situationseinschätzung über ein Fuzzy-Logik-System getroffen, welches in den Versuchen zu 93% das Manöver richtig erkannt hat. Als Informationen standen hierzu die im Fahrzeug vorhandenen CAN-Daten, ein ACC-Radarsensor und prädiktive Streckendaten zur Verfügung. Der Algorithmus erkennt Abbiegemanöver durchschnittlich ca. fünf Sekunden und Überholmanöver im Schnitt etwas über zwei Sekunden vor den auftretenden Querführungsaufgaben der jeweiligen Bahnführung [BLASCHKE 2007], [BLASCHKE 2008b].

Ambulantes psychophysiologisches Monitoring im Strassenverkehr Der Autor beschreibt eine psychophysiologische Messmethode während des Autofahrens, vorrangig zur Verbesserung von Bediensystemen. Als Erwartungen sind eine Komfortverbesserung und ein Sicherheitszuwachs angegeben. Hierzu wird die Grundlage für ein „Aufmerksamkeitsmanagement“ im Cockpit gelegt, indem mit einer Probandenstudie die Blickabwendungszeiten als Maß der Beanspruchung herangezogen wird.

Die Schlussfolgerungen des Motivationsabschnittes stellen einen Workloadmanager als sinnvolle Entwicklung in Aussicht. Das Funktionsprinzip wird folgendermaßen dargestellt:

1. Geographische Positionsbestimmung des Egofahrzeugs und Abgleich in feindigitaler Karte
2. Routenprognose bis zur nächsten Abbiegemöglichkeit, Extrapolation des Fahrschlauches
3. Identifikation der Situationsklasse und des zugeordneten Workload-Index
4. Ableitung der zeitlichen Beanspruchungsprognose aus der räumlichen Abfolge der Workload-Indizes

Nach dieser Einschätzung werden eingehende Telefonanrufe bei Überschreitung einer definierten Schwelle automatisch an die Mobilbox weitergeleitet und nicht zum Fahrer durchgestellt.

Die Einschätzung der Situation beruht auf der Taxonomie von Fastenmeier. Voraussetzung ist demnach eine vorgelagerte Sichtung des Testgebietes, bspw. mit Videoaufzeichnung, um das System mit den a priori Daten zu füttern. Ebenso müssen die Übergänge der Situationen mittels GPS vermessen werden. Für die Bestimmung der Workload-Indizes wird mit „Durchschnittsfahrern“ die Strecke abgefahren und mittels Beanspruchungsmessung die mentale Beanspruchung ermittelt. Hierzu beschreibt der Autor verschiedene Messmethoden. Mit den psychophysiologischen Messungen (EKG, Herzrate, Herzratenvariabilität, EMG, Hautleitwert) konnten keine Unterschiede der Situationen festgestellt werden. Daraus lässt sich schließen, dass diese Methoden auf Grund der Kürze der erlebten Beanspruchungsspitzen nicht geeignet sind.

Signifikante Ergebnisse werden bei dem Sekundäraufgabenmaß beschrieben. Hierbei wird die Anzahl der Blickabwendungen pro Sekunde als Indikator für Beanspruchung verwendet. Basierend auf diesen Erkenntnissen und folgenden Iterationsschleifen im trial-and-error-Verfahren werden die entsprechenden Indizes gewichtet.

In einer anschließenden Evaluationsphase wird der positive Effekt des beschriebenen Workloadmanagers anhand psychophysiologischer Maße gezeigt, dieser ist jedoch nicht signifikant. Hingegen zeigte eine Selbsteinschätzung mit dem modifizierten NASA-TLX keine brauchbaren Ergebnisse zu den Effekten des Systems [PIECHULLA 2004].

Online-Prädiktion der Fahreraufmerksamkeit Ziel der Untersuchung mit 30 Probanden war die Ableitung des Ablenkungspotenzials einer Infotainmentbedienung während der Fahrt. Erwarteter Nutzen der Erkenntnisse sind adaptive Parametrierungen von Assistenten wie Notbrems- und Spurhaltesysteme. Während die Probanden ablenkende Aufgaben erledigen sollten, wurden Lenkradbewegungen, Spurabweichungen und Blickbewegungen gemessen.

Als ersten Indikator untersuchen die Autoren die TLC (time to line crossing). Dieses Maß unterliegt großen interindividuellen Schwankungen, es zeigt sich jedoch kein Zusammenhang mit dem Alter, Erfahrung mit dem System oder der Fahrerfahrung. Als Kernaussage wird abgeleitet, dass die Spurabweichung nicht von der Aufgabe sondern von der Aufgabendauer abhängt. Als Anhaltswert für eine beendete Bedienung lässt sich eine Bedienpause von mehr als 9,2 Sekunden annehmen [BLASCHKE 2008a].

Aus den gezeigten Diagrammen kann des Weiteren qualitativ angenommen werden, dass es nicht ausschlaggebend ist, in welchem Menü der Fahrer gerade bedient, sondern die Tatsache, dass er gerade etwas bedient und daraus sich eine gewisse Ablenkung ableiten lässt. Wegen der in der Realität nicht durchführbaren Unterscheidung von geübten und ungeübten Bedienungen muss der worst-case angenommen werden und dem Fahrer bei jeder Bedienung ein gewisses Mindestmaß an Ablenkung zugerechnet werden.

Measuring distraction: the Peripheral Detection Task Anhand einer Fahrsimulatorstudie untersuchen die Autoren die Potenziale des „Peripheral Detection Task“ (PDT) zur Messung von Workload oder Fahrerablenkung.

Die Annahme lautet, dass plötzlich auftretende Ereignisse die Aufmerksamkeit des Fahrers in „Außenwelt“ und „Fahrzeuginnenraum“ aufteilt und somit Einbußen in der Erfüllung

der Fahraufgabe entstehen. Selbst Meldungen, die den Fahrer nicht zum Blick auf ein Display verleiten, bergen ein Potenzial der Ablenkung in sich. Die Recherche weist den Mangel der meisten Messmethoden auf, kurzzeitige Beanspruchungsspitzen zu erkennen. Ergänzend wird auf die unterschiedliche und problematische Interpretation mancher Messungen hingewiesen. Die Messung der Dauer von Blicken weg von der Straße wird als probates Mittel angesehen, die Ablenkung des Fahrers direkt zu messen.

Schlussendlich entscheiden sich die Autoren für den PDT, um damit die situative, kurzweilige Ablenkungswirkung von Bediensystemen und Situationen zu untersuchen. Stellt sich eine erhöhte Beanspruchung ein, werden die Ressourcen des Fahrers auf mehrere Aufgaben verteilt. Dem entsprechend ist ein kognitiver Tunnelblick bei erhöhtem Workload zu erwarten. Dieser ließe sich so nachweisen, wenn optische Signale im peripheren Blickfeld unter erschwerten Bedingungen nicht mehr wahrgenommen werden können. Die Versuchsfahrten fanden bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h und 120 km/h auf einem simulierten „motorway“ statt. Gemessen wurde die Reaktionszeit der Probanden auf ein optisches Signal. Fiel die Reaktionszeit länger als zwei Sekunden aus, wurde dies als verpasstes Signal gewertet. Die optischen Signale wurden im Bereich der Windschutzscheibe, leicht nach links versetzt und 2°-4° über der Horizontlinie der Instrumententafel mit zufälliger Reihenfolge und zeitlichen Lücken für jeweils zwei Sekunden ausgelöst. Eine längere Reaktionszeit und ein höherer Anteil an verpassten Signalen werden als Resultat von erhöhtem Workload interpretiert.

Die Auswertungen der Daten zeigen, dass sich die Methode PDT als sensibel gegenüber Spitzen des Workload verhält. Diese Spitzen können durch kritische Situationen oder eingehenden Meldungen aber ebenfalls durch Verkehrssituationen und Fahrmanöver verursacht werden. Speziell scharfe Kurven, Überholmanöver, Bremsen hinter einem Vorderfahrzeug und das Stehenbleiben an Stoppschildern werden als beanspruchende Situationen identifiziert [MARTENS 2000].

Workload-Management im Verkehr: Prädizierbarkeit von Fahrerbeanspruchung durch Informationen in digitalen Karten

Die Autoren fordern in Folge bestehender Studien und Erkenntnisse ein Workload-Management im Fahrzeug, welches Aufmerksamkeitsdefizite durch Kapazitätsgrenzen des Fahrers vermeiden soll. Die Funktionalität soll so ausgeführt sein, dass z. B. Informationen oder Meldungen unterdrückt oder zeitlich angepasst werden, solange eine anspruchsvolle Situation vorherrscht. Als notwendige Voraussetzungen werden zum Einen das Auftreten von Variationen in der Fahrerbeanspruchung und zum Zweiten das kontingente Auftreten solcher Variationen in detektierbaren Fahrsituationen sein. Mit Verweis auf [GREEN 2004] soll ein Workload-Manager Situationen der Überforderung oder Ablenkung des Fahrers detektieren und die Aufmerksamkeit des Fahrers so steuern, dass Überforderung und Ablenkung verhindert werden.

Der Fokus des Beitrages richtet sich hin zu einer Vorausschau, um zukünftige Ereignisse prädizieren zu können. Als stabile und zuverlässige Daten werden bspw. straßenbauliche Merkmale in die Überlegungen aufgenommen. Es folgt die Beschreibung einer von der Daimler Chrysler AG beauftragten Studie, welche untersucht, ob Informationen aus digitalen Karten zur Vorhersage von Fahrerbeanspruchung benutzt werden können und

ob mittels Streckeninformationen Beanspruchungsspitzen vorhergesagt werden können. Die Stichprobe umfasst 22 Probanden (elf Frauen und elf Männer), die sechs Abschnitte mit 20 Minuten Fahrtdauer durchfahren müssen. Die Abschnitte unterscheiden sich nach baulichen Merkmalen in Autobahn, Landstraße, Wohngebiet, Innenstadt, Bundesstraße innerorts und Landstraße mit Ortsdurchfahrt. Im Anschluss an jede abgeschlossene Situation werden die Versuchspersonen nach ihrer subjektiven Einschätzung der visuell-kognitiven Informationsverarbeitung befragt. Des Weiteren sollten die Probanden nach jedem Streckenabschnitt ihre eigene Fahrt über ein Video-Verlaufsrating beurteilen.

Die Merkmale der Karteninformationen wurden nach Straßenrang, Fahrtrichtung, Knotenpunkten und Kurven gegliedert und einzeln bewertet. Aus diesen Werten ergibt sich ein so genannter Event-Index bzw. dessen zeitlicher Verlauf (Eventdichte-Index). Dieser wird mit den aus der Probandenstudie ermittelten Beanspruchungsverläufen verglichen. Das Fazit der Untersuchung stellen die Autoren so dar, dass der Schwierigkeitsindex je Event eine gute bis sehr gute Vorhersage der Beanspruchung des Fahrers liefern kann. Dagegen lässt sich aus den fahrdynamischen Kenngrößen nur eine unzureichende Vorhersage ableiten. Der „time-to-collision“ (TTC) wird nur eine geringe und der Bremsaktivität gar keine Vorhersage zugeschrieben. Ebenso lassen sich aus der Verkehrsdichte keine stichhaltigen Prognosen abgeben. Abschließend wird angegeben, dass 75% aller fahrdynamisch-kritischen Situationen auch aus den digitalen Kartendaten an statischen Streckenelementen abzuleiten sind [TOTZKE 2008].

COMUNICAR Information Manager: Ergebnisse der Felduntersuchung Das im Rahmen des 5. Rahmenforschungsprogramm der EU angesiedelte Projekt COMUNICAR (**CO**mmunication **M**ultimedia **U**Nit **I**nside **C**AR) wird das Problemfeld von parallel eingehenden Meldungen, die zu einer Überlastung oder Ablenkung des Fahrers führen, behandelt. Das hierzu entwickelte System umfasst einen Informationsmanager, verschiedene Funktionen der Informations- und Kommunikationstechnik und eine multimediale Mensch-Maschine-Schnittstelle. Der Informationsmanager versucht über einen regelbasierten Ansatz die verschiedenen Informationen aufeinander abzustimmen. Die Entscheidung, zu welchem Zeitpunkt und über welchen Kanal die Information an den Fahrer gesendet werden, basiert auf einer momentanen Belastungsschätzung, Sicherheitsaspekten und der Dringlichkeit der Information. Zur Evaluierung der Systeme wurden zwei Feldversuche mit Versuchsträgern der Firmen Alfa und Volvo durchgeführt. Es sollte die Hypothese untersucht werden, dass ein Fahrer mit dem Informationsmanager durch das System vor Belastungsspitzen bewahrt wird und diese eine Verbesserung der Fahrqualität und der Fahrsicherheit nach sich zieht. Insgesamt nahmen 35 Probanden an den Feldversuchen teil und absolvierten je zwei Fahrten, einmal mit und einmal ohne Informationsmanager. An definierten Streckenpunkten sollten die Versuchspersonen Sekundäraufgaben bearbeiten. Als objektive Messmethode wurde der Peripheral Detection Task gewählt. Nach dem Durchfahren der Strecken wurde mittels Fragebogen die subjektiv erlebte Beanspruchung der Fahrer abgefragt.

Die Ergebnisse der Befragungen ergaben ein geringfügig besseres Ergebnis mit dem System als ohne. Diese Ergebnisse sind jedoch nicht signifikant. Hingegen konnte über den

PDT eindeutig positive Effekte der Stichprobe in Schweden, jedoch nicht in Italien, nachgewiesen werden. Es zeigten sich bei den Fahrern mit aktivem System signifikant kürzere Reaktionszeiten als bei deaktiviertem System. Es konnten auch Kompensationseffekte der Probanden festgestellt werden. Hierbei reduzierten die Fahrer bei deaktiviertem Informationsmanager die Geschwindigkeit des Fahrzeuges in Situationen akuter Belastungsspitzen um diese auf ein akzeptables Niveau zu reduzieren [SCHINDHEIM 2004].

Die unbefriedigenden, unterschiedlichen Ergebnisse der Probandengruppen in Italien und Schweden geben Grund zum Anlass, das Konzept des Systems weiterzuverfolgen, allerdings die Umsetzung als auch die Referenzmessung zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen.

Online-Fahrerbeanspruchungsschätzung Das fehlende Aufmerksamkeits-Management in Automobilen wird von den Autoren anhand von Beispielen und bestehenden Veröffentlichungen analysiert und ein notwendiger Handlungsbedarf identifiziert. In der einleitenden Themenfeldsichtung wird das Projekt GIDS („**Generic Intelligent Driver Support**“) hervorgehoben, bei dem über vorausschauende Information die auf den Fahrer zukommenden Situationen und Fahraufgaben prädiert werden und über einen sogenannten Workload-Estimator die Beanspruchung geschätzt wird. Es folgen kritische Bemerkungen bezüglich einer fehlenden Struktur der Situationsklassifikation und der Bindung des Systems an eine fest definierte Teststrecke.

Im Anschluss wird das Projekt SANTOS (**Situations-Angepasste und Nutzer-Typ** zentrierte **Optimierung** von **Systemen** zur Fahrerunterstützung) beschrieben, welches zehn Jahre nach GIDS mit den selben Grundüberlegungen aber neuen technologischen Voraussetzungen die Thematik untersucht. Mit dem Ziel, Sicherheit und Fahrkomfort zu erhöhen, wurden Ansätze zu individuellen, adaptiven und integrierten Assistenz verfolgt. Darunter kommt es auch zu einer Optimierung von zeitlich sich überschneidenden Informations- und Kommunikationsereignissen. Hier kommt ein Beanspruchungsschätzer, der die Fahrerbeanspruchung vorausschauend schätzt, zum Einsatz. Prognostiziert dieser Beanspruchungsspitzen, werden niedrig priorisierte Meldungen aufgeschoben oder ganz unterdrückt. Für die Vorausschau bedient sich das System aus feindigitalen Karten, welche ein begrenztes Gebiet in ausreichender Genauigkeit abbilden. Die Basis der Beanspruchungsschätzung ist einerseits die Situationsklassifikation, wie sie bereits im Absatz „Ambulantes psychophysiologisches Monitoring im Straßenverkehr“ auf Seite 42 erläutert wurde. Die Nachgewichtung der Szenarien wird über fahrdynamische Daten und Umgebungsfaktoren vorgenommen.

Der so parametrisierte Beanspruchungsschätzer wurde in einer Probandenstudie mit zwölf Teilnehmern evaluiert. Dabei wurde ab Überschreitung einer Schwelle ein eingehender Telefonanruf nicht zum Fahrer durchgestellt. Die mentale Beanspruchung wurde mittels EKG, EMG und über einen subjektiven Fragebogen (NASA TLX) erfasst. Durch die Verlagerung des Telefonanrufes werden erfahrene Fahrer signifikant entlastet, bei den eher unerfahrenen Probanden konnte dies nicht zufallskritisch nachgewiesen werden. Als Erklärungsversuch der unerwarteten Ergebnisse wird auf das fehlende Vermögen von Führerscheinneulingen der Erkennung von kritischen Situationen verwiesen [PIECHULLA 2002b].

Echtzeit-Beanspruchungsschätzer In diesem Beitrag wird mehr auf das Konzept des im SANTOS-Projekt entwickelten Beanspruchungsschätzers eingegangen. Wie schon im vorigen Absatz beschrieben, stützt sich die Schätzung in erster Linie auf Daten aus feindigitalen Karten. Die Nachgewichtung der statischen Erkenntnisse wird mit dynamischen Ereignissen wie die Annäherung an ein Vorderfahrzeug oder starken Bremsvorgängen vorgenommen. Zusätzlich wird versucht, mit Umwelteinflüssen wie Regen, Reibwert und der Unterscheidung zwischen Tag- und Nachtfahrt die Fahrerbeanspruchung auf das richtige Niveau zu schätzen. Eine Validierung mit 20 Fremdbeurteilern zeigt auf, dass eine sinnvolle Prognose der Fahrerbeanspruchung auf diese Weise möglich ist.

Im Anschluss wird die Probandenstudie angesprochen, in der mittels Sekundäraufgabenparadigma die Werte des Systems verglichen bzw. nachgewichtet werden. Die Probanden erhielten Suchaufgaben in einem Lauftext. Aufgezeichnet wurde die Anzahl an Blickzuwendungen zur Sekundäraufgabe, die Aufschluss über die Schwierigkeit der Primäraufgabe, das sichere Fahren, geben soll. Der Belastungsindex errechnet sich aus: $\text{Belastungsindex} = 1 - \text{mittlere Blickabwendungshäufigkeit}$ [PIECHULLA 2002a].

Die so gewonnene Logik wird mit einer Verifikationsstudie untersucht. Diese Studie wurde im vorhergehenden Absatz bereits angesprochen. Weitere Beiträge zum SANTOS-Projekt sind bspw. [PIECHULLA 2001] und [MAYSER 2003] und unter der offiziellen Homepage [SANTOS 2009] zu finden.

Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrverhalten Die Autoren stellen im Rahmen des Berichtes der Bundesanstalt für Straßenwesen einen *Informations-Manager* vor. Dieser verhindert die Überforderung des Fahrers durch ungefilterte Information. Anhand von Fahrzeug und Umweltdaten soll der Informations-Manager prüfen, ob dieser zusätzliche Informationen verarbeiten kann bzw. welche er in der jeweiligen Situation benötigt.

Es erfolgt eine Kategorisierung der Meldungen in

- fahrerinduziert
- fahrzeuginduziert

sowie

- sicherheitsrelevant
- dringend
- aufschiebbar.

Anhand eines Belastungsprädiktors und einer Kategorisierung erfolgt eine Ausgabelogik, welche einen entspannten Fahrstil hervorrufen soll.

Der Belastungsprädiktor ermöglicht aufgrund von Fahrzeugparametern, Aktionen des Fahrers und Umweltbedingungen eine Analyse und Vorhersage der Belastung. Zur Validierung dieser Prognosen wurden Untersuchungen zu Beschleunigungs-, Brems- und Überholmanövern durchgeführt. Diese zeigen die Möglichkeit der Einschätzung des Fahrerzustandes anhand von CAN-Daten und Schalterstellungen (z.B. Licht, Nebelleuchte, etc.).

Zur Erfassung der Fahrerbelastung wird hervorgehoben, dass die physiologischen Methoden nicht ausreichend valide sind. Deshalb sei es wichtig, mit hinreichender Sicherheit

zu erkennen, welches Fahrmanöver der Fahrer plant. So würde ein Informations-Manager Informationen von geringer Priorität in solchen Situationen zurückstellen, bis sich die Situation entspannt hat. Als maßgebliche Grundlage für ein solches System gilt, aus direkt zugänglichen oder abgeleiteten Daten, evtl. in Kombination mit Umwelt- oder Infrastrukturdaten, die Intention des Fahrers zu erkennen. Als Voraussetzung für eine Fahrerabsichtserkennung definieren die Autoren eine Wissensbasis über Straßenverlauf und Verzweigungen.

Als ein Ergebnis der Untersuchungen wird hervorgehoben, dass eine sequentielle Ausgabe von Meldungen einer simultanen Ausgabe klar vorzuziehen ist. Dies wird sogar als Voraussetzung für einen verkehrssicheren Einsatz gesehen. Des Weiteren soll, falls möglich, auf Textmeldungen verzichtet werden, da diese zu einer höheren Ablenkung führen als Icons.

Allgemein werden die Ergebnisse des Systems als positiv empfunden. Der Informations-Manager führt zu einem flüssigeren und gleichmäßigeren Fahrstil. Die Gestaltung von situations- und belastungsabhängigen Informationssystemen erscheint den Autoren als die einzige Möglichkeit, langfristig die zunehmenden Informationen im Fahrzeug mit den Anforderungen der Verkehrssicherheit in Einklang zu bringen [FÄRBER 2003].

IDIS von Volvo Der schwedische Automobilhersteller Volvo hat seit 2004 ein System mit der Bezeichnung IDIS (**I**ntelligent **D**river **I**nformation **S**ystem) in Serie. Die Funktionsweise wird vom Hersteller so beschrieben, dass Telefonanrufe und oder weniger wichtige Information verzögert werden. Dies geschieht in Abhängigkeit der aktuellen Fahrsituation. Solche Situationen sind beispielsweise Beschleunigungs- oder Lenkvorgänge.

Das System ist in zwei Teile gegliedert. Zum einen der "Workload Estimator" und zum anderen der "Information Manager". Der Workload Estimator analysiert die Aktivität des Fahrers und schätzt dessen Beanspruchung. Die Messung der Aktivität erfolgt durch erfassen folgender Parameter:

- Beschleunigung
- Verzögerung (Bremsaktivität)
- Blinkersignal
- Lenkwinkel
- Rückwärtsgang
- Infotainment-Bedienelemente.

Laut Hersteller werden noch weitere Informationen herangezogen, ohne diese jedoch genauer zu benennen. Basierend auf der Einschätzung des Workload Estimator priorisiert der Information Manager eingehende Information und hemmt diese bei entsprechend hoch detektiertem Workload. Wenn ein sogenanntes Event, also hinreichende Aktivität der erfassten Fahrzeugdaten, erkannt wird, werden Anrufe oder Informationen geblockt und nach Abfallen des Beanspruchungslevels durchgelassen. So können Telefonanrufe bis zu fünf Sekunden verzögert werden. Danach wird das selbe Verhalten aktiviert, welches bei

einem bereits laufenden Telefonat vorliegen würde (bspw. Weiterleitung an die Mobilbox).

Volvo gibt an, dass alle Sicherheitsmeldungen auch bei hohem Workload zum Fahrer geleitet werden, aber Fahrzeugmeldungen und Telefonanrufe in oben beschriebener Form verwaltet werden. Das System ist in Auslieferungszustand aktiv, kann aber vom Fahrer deaktiviert werden. Ebenso hat der Fahrer die Möglichkeit, nur die Telefon-Funktion abzustellen [VOLVO 2008].

Die Funktionsweise des IDIS-Systems konnte allerdings weder bei Testfahrten im Rahmen dieser Arbeit, noch bei Benchmark-Versuchen der Firma BMW [LERMER 2008a] identifiziert oder nachgewiesen werden.

Warn- und Informationsmanager (WIM) In [LERMER 2008a] wird der Ansatz einer situationsadequaten Steuerung von Meldungen an den Fahrer beschrieben. Im Rahmen dieses Projektes der BMW Group soll durch Integration eines Informationsmanagements eine Überforderung für den Fahrer ausgeschlossen werden.

Der Ansatz verfolgt eine dynamische Priorisierung von Meldungen, da eine Ordnung nach statischen Kriterien wie Ebenen der Fahraufgaben, Schadensausmaß, Schadenseintrittswahrscheinlichkeit oder ähnlichem sich häufig als schwierig darstellt. Die dynamische Priorisierung orientiert sich dabei an den bereits benötigten Ressourcen des Fahrers und stellt in kritischen Situationen unwichtigere Informationen zurück. Der Aufbau des WIM wird als modular beschrieben, sodass mit zunehmendem Wissen über eine Situation eine bessere Priorisierung vorgenommen werden kann. Neben der Verzögerung von Meldungen kann demnach auch ein Vorziehen einzelner Rückmeldungen bewirkt werden.

Die in dem Beitrag beschriebenen Untersuchungen in einem Fahrsimulator überprüfen die These, dass es bei zeitnahen Meldungen zu Interferenzen bei der Informationsverarbeitung kommt und sich diese in längeren Reaktionszeiten und/oder verändertem Situationsbewusstsein niederschlagen. Für eine Beschreibung des Versuchsdesigns und der Durchführung wird hier verzichtet und auf die angegebene Literatur verwiesen. Die Ergebnisauswertung zeigt, dass bei zeitnahen oder parallelen Meldungen mit der selben Verarbeitungsmodalität (optisch-akustisch) die Probanden signifikant langsamer bremsen als bei alleiniger Ausgabe einer Kollisionswarnung. Hingegen sind bei Ausgaben von haptischen und optisch-akustischen Meldungen keine Unterschiede in der Bremsleistung festzustellen. Daraus abgeleitet liegt der Fokus des WIM auf der Priorisierung und Verwaltung von optisch-akustischen Meldungen, bei denen eine zeitnahe Auslösung verhindert werden soll.

In [LERMER 2008b] beschreiben die Autoren die Validierung der Studienergebnisse des Fahrsimulators in der Realfahrt. Im Rahmen von fünf kritischen Bremsereignissen werden anhand der Indikatoren Bremsreaktion, Situationsbewusstsein und mentale Beanspruchung die Interferenz von kollidierenden, also zeitnahen oder parallelen, Meldungen untersucht. Die Auswertungen ergeben, dass in der vergleichbaren Versuchsdurchführung wie im Simulator bei paralleler Ausgabe von optisch-akustischen Meldungen keine Unterschiede der Bremsleistung zu verzeichnen sind. Allerdings stellt sich bei einer um eine Sekunde versetzten Auslösung der zweiten Meldung bei den Probanden eine signifikant langsamere

Bremsleistung ein. Diesen Effekt führen die Autoren auf den bereits laufenden Verarbeitungsprozess, hervorgerufen durch die erste Meldung, zurück, der durch den zweiten Stimulus unterbrochen wird und der Proband sich neu orientieren bzw. einen erneuten Verarbeitungsprozess ausführen muss. Die Abweichungen der Ergebnisse bei der parallelen Ausgabe zwischen Simulator und Realfahrt werden über die unspezifische Aufmerksamkeitslenkung von Vibration im Realfahrzeug im Vergleich zum Simulator-Mockup erklärt. Übereinstimmung herrscht wieder bei den Ausgaben von optisch-akustischen und haptischen Meldungen, die keine Interferenz aufweisen.

Diese Ergebnisse unterstreichen erneut den Priorisierungsbedarf für Meldungen, die zeitnah vor zeitkritischen Meldungen ausgegeben werden. So wird ein Prädiktor erwähnt, der anhand von Wahrscheinlichkeiten das Bevorstehen einer zeitkritischen Meldung schätzt und ab Überschreitung einer bestimmten Schwelle weniger wichtige Meldungen unterdrückt.

2.4 Transfer aus der Unfallforschung

Die Bearbeitung des Themas Fahrerbeanspruchung und Überforderung streift den Arbeitsbereich der Unfallforschung. Dem menschlichen Fehlverhalten werden bis zu 90% aller Verkehrsunfälle zugeschrieben (nach Ludwig zitiert aus [THEIS 2002]). Nach Bartl entstehen 36% aller Unfälle auf Grund von Unaufmerksamkeit des Fahrers [BARTL 2007]. Vor diesem Hintergrund werden hier wichtige Erkenntnisse der Unfallforschung erwähnt, um die Verkehrssicherheit in die weiteren Betrachtungen mit einzubeziehen.

Grundsätzlich gilt es, die verschiedenen Unfalltypen zu unterscheiden. Gründl listet die Typen folgendermaßen auf [GRÜNDL 2004]:

- Typ 1: Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn
- Typ 2: Unfälle beim Abbiegen (von einer vorfahrtsberechtigten Straße)
- Typ 3: Unfälle beim Einbiegen / Kreuzen (in eine vorfahrtsberechtigte Straße)
- Typ 4: Unfälle mit Fußgängern
- Typ 5: Unfälle durch ruhenden Verkehr (Parkierunfälle, ...)
- Typ 6: Unfälle im Längsverkehr (Auffahrunfälle, Kollision mit Gegenverkehr, ...)
- Typ 7: Sonstige Unfälle (Tierkollisionen, plötzliches Unvermögen des Fahrers, ...).

Generell treten die meisten Verkehrsunfälle von Typ 1, Typ 3, Typ 6 und in etwas geringerem Ausmaß von Typ 2 auf.

In der von Gründl erfassten Stichprobe mit 312 Unfällen und 528 Fahrern wurden die Einflüsse des Alters und des Geschlechts auf die Unfallursache untersucht. Tendenziell ist festzuhalten, dass mit zunehmendem Alter das Unfallrisiko steigt. Als Ursachen hierfür werden in [EGELHAAF 2008] längere Reaktionszeiten, nachlassende Sehkraft und Hörfähigkeit, Einschränkungen der Motorik als auch der Einfluss von Medikamenten angegeben. Bei den Unfallverursachern über 60 Jahre sind hauptsächlich Unfälle des Typs 3 (36%) und 6 (27%) anzutreffen. Jüngere Fahrer bis zu 24 Jahren hingegen kommen am Häufigsten von der Straße ab (35,5%) oder haben Unfälle im Längsverkehr (29,6%). Bei Fahrern

mittleren Alters (zwischen 25 und 59 Jahren) ist die Verteilung relativ ausgeglichen zwischen Typ 1 (21%), Typ 2 (15,4%), Typ 3 (21,5%) mit einem leicht erhöhten Level bei Typ 6 (27,8%). Rund zwei Drittel der Unfälle wurden von Männern verursacht. Die Aussagekraft dieser Zahl wird jedoch als gering eingeschätzt, da der höhere Verkehrsanteil von Männern hier großen Einfluss hat [GRÜNDL 2004].

Betrachtet man die häufigsten Unfalltypen, ist eine klare Tendenz zu solchen Situationen zu erkennen, bei denen es zu Vorfahrtsregelungen kommt und ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeit erforderlich ist (zusammen kommen die Typen 2, 3 und 6 auf ca. 70% aller Unfälle). Dies deckt sich auch mit den Daten aus [EGELHAAF 2008] und [ADAC 2008], bei denen Abbiege-, Einbiege- und Vorfahrtsunfällen zu den häufigsten Karambolagen zählen. Ein ähnliches Bild zeichnen Johnson & Wäfler, indem sie als häufige Ursache für Unfälle das falsche Einschätzen oder Interpretieren einer Gefahr, von Verkehrssignalen oder Markierungen benennen [JOHNSON 2005].

Unternimmt man eine Untersuchung der Fehlerarten nach Rasmussen [RASMUSSEN 1982], lassen sich die Hintergründe der Unfälle analysieren. Die Aufstellung der Häufigkeiten von Fehlerarten aus [GRÜNDL 2005] ist in Abbildung 2.2 auf der nächsten Seite dargestellt.² Bei 77% aller Unfälle lassen sich vorausgehende Informationsfehler identifizieren. Das bedeutet, dass der Fahrer in diesen Fällen eine Information zu spät oder gar nicht wahrgenommen hat. Hierfür kommen mehrere Ursachen in Frage. Gründl beschreibt diese ausführlich in den Abschnitten 4.6 von Seite 142 bis 178 in [GRÜNDL 2005]. Hierzu zählen beispielsweise Einflussfaktoren der Wahrnehmung, der Aufmerksamkeit, von Objekten im Inneren und außerhalb des Fahrzeugs, Alkoholeinfluss, unangepasste Geschwindigkeit oder Emotionen. Explizit erwähnt sind auch kognitive Ablenkung und Müdigkeit.

Als besonderes Beispiel sei hervorzuheben, dass Gründl einen Fall schildert, in dem der Fahrer angibt, durch das Ablesen der Restreichweite des Tankinhaltes im Bordcomputer, initiiert durch eine vorherige Tankwarnung, in einen Auffahrunfall verwickelt wurde. Es wird noch ein weiterer Unfall als unmittelbare Folge einer Meldungsanzeige angeführt. Des Weiteren wird festgehalten, dass von den 20 Unfällen mit der Ursache „Ablenkung durch Objekte / Dinge im Fahrzeug“ 14 (70%) mit Anzeigen, Displays bzw. Bedienungen an Geräten zu tun haben.

2.5 Konzepterstellung und Hypothesen

Anhand der vorliegenden Erkenntnisse aus Kaptitel 1.1.2 muss davon ausgegangen werden, dass es auf Grund einer Vielzahl an Meldungen zu einem Engpass der kognitiven Ressourcen des Fahrers kommen kann. Das bedeutet, der Fahrer wird heute schon und in Zukunft noch stärker durch Informationen beaufschlagt, gestört und im schlimmsten Fall überfordert. Diese Beanspruchung kann einerseits daher kommen, dass zu viele Informationen gleichzeitig vom Fahrer verarbeitet werden müssen, oder der Fahrer durch die

²Bei der Darstellung wurden 312 Unfälle berücksichtigt. Es kann bei einem Unfall zu einer Mehrfachnennung von Fehlerarten kommen.

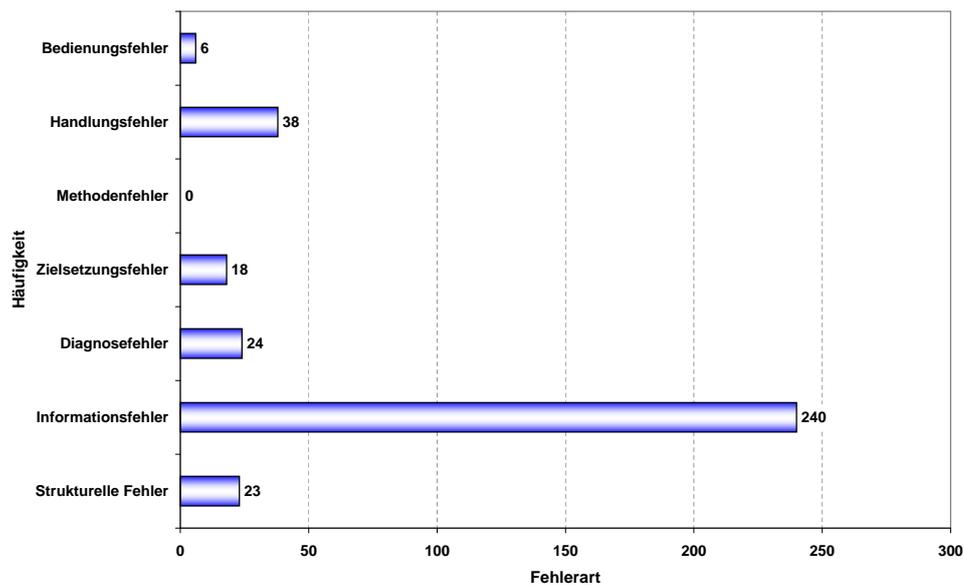


Abbildung 2.2: Häufigkeit der Fehlerarten bei Verkehrsunfällen

Fahrzeugführung kognitiv und motorisch an seinen Kapazitätsgrenzen angelangt ist.

Wie in Kapitel 2 dargelegt, bestehen bereits verschiedene Ansätze, die sich mit der Thematik auseinander gesetzt haben. Allen gemein ist, dass der Fahrer durch ein zusätzliches System vor einer Überforderung oder Ablenkung bewahrt werden soll. Es zeigt sich auch, dass die Erkenntnisse der modernen Unfallforschung die Idee einer solchen regulierenden Instanz unterstützen. Speziell in hochkomplexen Situationen, an denen es auf Grund von Informationsfehlern bereits vermehrt zu Unfällen kommt, sollte das System einen sinnvollen Beitrag liefern können.

Sowohl die unterschiedlichen, teilweise unbefriedigenden Ergebnisse als auch die positiven Effekte bisheriger Ansätze geben den Anstoß für eine Weiterentwicklung des Grundgedanken: *Vermeidung unnötiger Ablenkung des Fahrers durch situativ ungünstige Meldungen.*

Um im Rahmen einer klassischen „Produktentwicklung“ zu agieren, werden an dieser Stelle einzelne Meilensteine formuliert. Die Abarbeitung dieser Meilensteine garantiert ein zielorientiertes Vorgehen, engt jedoch die Arbeitsschritte nicht unnötig ein. Innerhalb der folgenden Auflistung wird die Argumentation für die jeweiligen Zwischenschritte beschrieben.

◆ Analyse der Reaktionsschemata von Fahrern auf Meldungen

Eine grundlegende Information wurde in der gesichteten Literatur nicht gefunden. Die Reaktion der Fahrer auf Meldungen während der Fahrt, im Speziellen der Vergleich zwischen beanspruchenden und nicht beanspruchenden Situationen, ist hier von zentralem Interesse. Prinzipiell ist anzunehmen, dass Fahrer unabhängig von der vorherrschenden Situation

ähnliche Reaktionen auf Meldungen aufzeigen. Die Annahme kommt daher, dass in heutigen Fahrzeugen das akustische Anzeigekonzept nicht selbsterklärend ist und deshalb ein erklärender Text in einem Informationsdisplay angezeigt wird. Nimmt der Fahrer also einen entsprechenden Reiz wahr, blickt er üblicherweise ins Kombidisplay, um den Grund für die Meldung zu erfahren. Daraus lässt sich wie folgt die erste Hypothese formulieren: „*Fahrer blicken unabhängig von der Fahrsituation bei einer auftretenden akustischen Meldung ins Kombidisplay*“.

◆ Identifikation relevanter Situationen für eine Informationsfilterung

Den nächsten entscheidenden Baustein für ein erfolgreiches System stellt die Filterung von Information zum richtigen Zeitpunkt dar. Hier muss identifiziert werden, in welchen Situationen der Fahrer durch die reine Fahraufgabe so beaufschlagt ist, dass er keine zusätzliche Meldung in diesem Moment gebrauchen kann. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen, sind Erkenntnisse aus der Beanspruchungsmessung notwendig.

Wie schon in Kapitel 2.2 dargestellt, existieren viele Möglichkeiten, die Fahrerbeanspruchung zu messen. Es wurde ebenfalls bereits auf die Nachteile einiger Verfahren eingegangen. Hier wird für die Beantwortung der Fragestellung auf die subjektive Befragung von Probanden zurückgegriffen. Dabei werden die Einschätzungen von de Waard, Muckler & Stevens und Sheridan geteilt, wonach jeder Fahrer selbst sein eigenes Leistungs- und Beanspruchungslevel am besten einschätzen kann. Für diese Arbeit wird allerdings nicht auf einen vorgefertigten Standardfragebogen zurückgegriffen, sondern auf Basis einer neuen Überlegung ein entsprechender Fragebogen entwickelt.

Bisherige Ansätze versuchten jeweils, die aktuelle Fahrerbeanspruchung so exakt wie möglich zu messen oder einzuschätzen. In dieser Arbeit wird versucht, anhand einer anderen Ausrichtung einen alternativen Weg zu beschreiten. Allein durch inter- als auch intraindividuelle Schwankungen lässt sich keine sogenannte „workload redline“ bestimmen, ab der ein Mensch als überbeansprucht gilt (siehe [SCHVANEVELDT 1997]³, [DE WAARD 1996]). Rein logisch betrachtet, muss nicht der „absolute“ Wert der vorherrschenden Beanspruchung für die Informationsfilterung herangezogen werden, sondern eine Aussage über den Grad der *benötigten Aufmerksamkeit*.

Da diese Begriffe nahe verwandt sind, soll folgendes Beispiel den Ansatz verdeutlichen. Entscheidend für eine sichere, unkritische Ausgabe einer Meldung ist die gerade benötigte Aufmerksamkeit, die der Fahrer aufbringen muss, um eine ausreichend genaue Repräsentation der Umwelt (Straße, Witterung, Fremdverkehr) zu haben und darauf basierend entsprechend zu reagieren bzw. seine weiteren Handlungen zu planen. Dies ist jedoch unabhängig von seinem potenziellen Beanspruchungsvermögen. Es erscheint wenig sinnvoll, die Aufmerksamkeit des Fahrers durch Meldungen ins Innere des Fahrzeugs zu lenken,

³In [SCHVANEVELDT 1997] wird berichtet, dass die Schwankungen der Vorhersagegenauigkeit einer „workload redline“ je nach Methode und Anwendungsfall zwischen 70% und 95% liegen. Die „workload redline“ wird als jenes Beanspruchungslevel definiert, ab dem das Ergebnis einer Arbeit oder Aufgabe Effekte eines erhöhten Workload aufweist.

wenn er eine komplexe Fahrsituation durchfährt, obwohl diese den Menschen dank seiner Erfahrung nicht übermäßig beansprucht.

Als Ergebnis dieses Arbeitsschrittes wird eine subjektive Klassifikation von verschiedenen Umwelt-, Fahr- und Bediensituationen erwartet.

◆ **Situationsinterpretation anhand vorhandener Sensordaten**

Auf Basis der gewonnenen Gewichtung einzelner Situationen aus dem vorhergehenden Meilenstein soll überprüft werden, wie man im Fahrzeug eine entsprechende Situationsdetektion erreichen kann. Diese soll rein auf bestehenden Fahrzeugdaten beruhen und keine zusätzliche Sensorik voraussetzen. Hierzu wird ein Serienfahrzeug als Versuchsträger herangezogen und an dessen Beispiel die Möglichkeiten aufgezeigt.

Die Herausforderung besteht darin, mit den bisher singular verwendeteten Sensordaten eine sinnvolle Verknüpfung herzustellen und mittels dieser Basis eine hinreichend genaue Situationsrepräsentation zu erreichen.

◆ **Modell der Aufmerksamkeitsbeanspruchung**

Das nächste Arbeitspaket sieht vor, dass anhand der bereits getroffenen Gewichtung der Szenarien und der entsprechenden Situationseinschätzung auf einen *Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert* (ABW) geschlossen werden kann. Dieser gibt an, wie viel Aufmerksamkeit der Fahrer aktuell zur sicheren Bewältigung der Fahraufgabe aufbringen muss.

◆ **Filteralgorithmus für Meldungen in ungünstigen Situationen**

Die Filterung der eingehenden Meldungen kann anhand des in Echtzeit berechneten ABW's vorgenommen werden. Hierzu werden Schwellen definiert, ab denen Meldungen oder Informationen mit bestimmten Prioritätsklassen nicht mehr zum Fahrer geleitet werden. Diese werden verwaltet, bis sich die Situation wieder entspannt hat, reevaluiert und falls die anliegende Meldung noch aktuell ist, dem Fahrer nachgereicht. In einem Satz zusammengefasst lautet das Ziel: „Die passende Information zur richtigen Zeit.“

◆ **Umsetzung in lauffähigen Prototypen**

Um das entwickelte Konzept validieren zu können werden alle notwendigen Bausteine in ein Versuchsfahrzeug implementiert. Mit diesem Fahrzeug werden die einzelnen Funktionalitäten überprüft und nach den gewonnenen Erkenntnissen parametrisiert.

◆ **Validierung und Verifizierung im realen Straßenverkehr**

Abschließend soll das Konzept einer Verifikationsstudie unterzogen werden. Diese verfolgt das Ziel, einen positiven Effekt der situativen Informationsfilterung auf das Komfortempfinden und einen Sicherheitszuwachs nachzuweisen. Hierzu lässt sich folgende Hypothese aufstellen:

„Eine zeitlich-situative Filterung von Informationen im Fahrzeug bewirkt einen positiven Effekt auf das Komfortempfinden des Fahrers. Darüber hinaus kann durch die Vermeidung unnötiger Ablenkung ein Sicherheitszuwachs erzielt werden.“

Kapitel 3

Reaktion auf Warnmeldungen während der Fahrt

Inwieweit eine Ausgabe von Warnmeldungen in ungünstigen Situationen zu einer Ablenkung des Fahrers führen kann, soll diese Studie untersuchen.

3.1 Untersuchungsziele

Es ist davon auszugehen, dass der Fahrer eines Autos in erster Linie mit der Führung des Fahrzeugs durch die komplexe und dynamische Umgebung beschäftigt ist. Die Beanspruchung, die solche Verkehrssituationen hervorrufen, schwankt zwischen hohen und niedrigen Niveaus. Aus Abschnitt 2.2 ist bekannt, dass die Maxima der Beanspruchung nur durch sehr kurzzeitige Niveauspitzen erreicht werden, die durch diverse Veränderungen der Situation innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs entstehen. Ebenso wurde klar gestellt, dass solche Beanspruchungsspitzen vorrangig in Kreuzungssituationen, bei Einbiegevorgängen und ähnlichen Manövern mit Vorfahrtsbeachtung auftreten.

Dies spiegelt sich auch in den Unfallstatistiken wieder, in denen die Abbiege-, Einbiege- und Kreuzungsunfälle als häufigste Unfalltypen zu finden sind. Demnach ist die häufigste Unfallart ein Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug, das abbiegt, einbiegt oder kreuzt (Unfall im Querverkehr). Die primäre Ursache dieser Unfälle sind die sogenannten Informationsfehler. Das bedeutet, dass eine Information, die den Unfall verhindert hätte zu spät, falsch oder gar nicht wahrgenommen wird.

Es ist naheliegend, dass in solchen Situationen, die schon unter herkömmlichen Umständen zu einer Vielzahl von Unfällen führt, eine zusätzliche Beanspruchung des Fahrers durch Meldungen des Fahrzeugs zu vermeiden ist.

Die zu Grunde liegende Frage ist, wie sich Fahrer bei auftretenden Warnmeldungen während der Fahrt verhalten. Von speziellem Interesse ist hier, ob unterschiedliche Verhaltensweisen in Abhängigkeit der vorherrschenden Fahrsituation erkennbar sind. Des Weiteren wird die Auswirkung der unterschiedlich dargestellten Information betrachtet. Daraus lässt sich eine Ablenkungswirkung von Meldungen im Fahrzeug ableiten.

Hinsichtlich dieser Ablenkung durch situativ ungünstige Meldungen werden folgende Hypothesen formuliert:

- Optisch-akustische Meldungen ziehen situationsunabhängig die Aufmerksamkeit des Fahrers ins Fahrzeug.
- Durch eine Filterung von optisch-akustischen Meldungen kann eine Abwendung der Aufmerksamkeit des Fahrers in kritischen Situationen vom Verkehrsgeschehen vermieden werden.

Die durchgeführte Untersuchung im Fahrsimulator soll die oben genannten Hypothesen untersuchen und be- bzw. widerlegen. In weiterer Vorausschau kann man die Ergebnisse als erste Potenzialabschätzung eines situativen Informationsmanagements sehen.

3.2 Fahrsimulator

Die Untersuchung wurde im Fahrsimulator der AUDI AG in Ingolstadt durchgeführt. Abbildung 3.1 zeigt das Mock-Up und die Projektionswand des Simulators.



Abbildung 3.1: *Interieur und Exterieur des Audi Fahrsimulators*

Der Simulator ist statisch und in einem separaten Raum aufgebaut. Das Mock-Up ist aus einem Audi A8 aufgebaut und weitestgehend seriennah gestaltet. Im Interieur sind für ein Eyetracking-System vier Infrarot-Kameras verbaut, die auf das Gesicht des Fahrers ausgerichtet sind. Zusätzlich ist eine weitere Kamera im oberen Bereich der Mittelkonsole angebracht. Diese dient als Backup zum Eyetracking und zeichnet ein normales Videobild des Gesichtsbereichs der Versuchsperson auf. Alle weiteren Abweichungen von einem Serienfahrzeug haben auf den Versuch keinen Einfluss.

Mit fünf Projektoren wird auf einer gekrümmten Leinwand die Umgebung in einem 210° Winkel abgebildet. Zwei zusätzliche Beamer werfen ihr Bild auf je eine Projektionsfläche seitlich hinter dem Mockup, sodass auch in den Rückspiegeln die simulierte Umgebung zu sehen ist und somit der realistische Eindruck verbessert wird.

Die Simulation und alle zusätzlichen Applikationen werden von einem abgetrennten Versuchsstand gesteuert. Dieser befindet sich in einem eigenen Raum, angrenzend an den

Simulatorraum. Von hier aus werden die Simulationsumgebungen und die Fahrzeugparameter definiert. Des Weiteren wird die Datenaufzeichnung von hier aus gestartet und beendet.

3.3 Versuchsdurchführung

Die Stichprobe für die Untersuchung umfasst 22 Versuchspersonen (Vpn). Diese teilt sich in vier Frauen und 18 Männer auf. Unter ihnen befinden sich sowohl erfahrene Simulatorfahrer als auch Novizen. So kann untersucht werden, ob sich durch die bereits eingetretenen Trainingseffekte bei den „Experten“ ein anderes Verhalten ergibt, als bei den Simulatorneulingen. Das Durchschnittsalter der Stichprobe liegt bei 32,5 Jahren bei einer Standardabweichung von 7,2. Die Verteilung spannt sich zwischen 24 Jahren und 52 Jahren auf.

Elf Probanden benutzen eine Sehhilfe, die andere Hälfte trägt keine Brille oder Kontaktlinsen. Generell können die Versuchspersonen als Vielfahrer bezeichnet werden, da 21 Vpn mehr als 10.000 km/a und 15 sogar über 20.000 km/a mit dem Auto fahren.

Für diesen Versuch wurde gezielt eine selektive Strecke gewählt, um ein gewisses „Workload-Grundrauschen“ hervorzurufen (Abbildung 3.2). Darüber hinaus mussten die Probanden nach 25 Navigationsansagen der definierten Strecke folgen. Aus diesem Grund wird auf eine zusätzliche Nebenaufgabe zur Situationsverschärfung verzichtet.



Abbildung 3.2: Strecke der Simulatorstudie

Die Strecke führt durch die Ingolstädter Innenstadt, die realitätsnah gerendert ist. Die Route durchläuft zehn Rechtskurven bzw. Rechtsabbiegesituationen und dreizehn Linkskurven bzw. Linksabbiegesituationen. Die Strecke wird zweimal durchfahren, wobei jeweils fünf Meldungen an unkritisch bzw. kritisch klassifizierten Stellen ausgegeben wurden. Unter einer kritischen bzw. beanspruchenden Situation wird eine Stelle des Fahrbahnverlaufes verstanden, an der ein Lenkeinschlag von mehr als 35° notwendig ist. Damit werden alle Situationen eingeschlossen, die ein erhöhtes Aufmerksamkeitsniveau erfordern (Kreuzungs- und Abbiegeszenarien, Kurvenfahrt, Ausweichmanöver, ...). Zusätzlich beginnen ab diesem Wert die Lenkradspeichen den Blick auf das Kombiinstrument zu verdecken und

behindern den Fahrer bei der Einsicht auf sein primäres Anzeigesystem.

Die simulierten Meldungen entsprechen dem aktuellen Serienstand in Audi-Fahrzeugen des B-Segments. Sie sind nach Wichtigkeit in Prioritätsstufen 1 und 2 sowie Fahrerhinweisen eingeteilt. Diese unterscheiden sich in erste Linie durch die Akustik. Während bei Fahrerhinweisen ein Gong ertönt, erfolgt bei den Prioritätswarnungen ein 1000 Hz Ton. Der Unterschied zwischen den Prioritätsstufen ist die Anzahl der Tonwiederholungen. Bei Prio2-Warnungen erfolgt eine einfache Ausgabe, bei einer Prio1-Meldung wird der Ton dreifach gepulst ausgegeben.

Ein weiterer Unterschied zwischen den verschiedenen Meldungsklassen ist die optische Darstellung. Während bei Fahrerhinweisen nur in Textform die Information dem Fahrer dargeboten wird, erscheint bei den Prio-Meldungen eine Kombination aus einem Icon und erklärendem Text. Diese Icons sind entsprechend ihrer Wichtigkeit farblich in gelb (Prio2) und rot (Prio1) kodiert.

Die Darstellung der Icons und Texte erfolgt nach ähnlichem Prinzip. Der Standardscreen wird beim Ertönen des Warntons durch das Meldungspopup ersetzt. Bei den Fahrerhinweisen wird der gesamte nutzbare Bereich des Displays mit dem Text überblendet. Nach der Mindestanzeigedauer von sechs Sekunden verschwindet das Popup und der Standard-Screen erscheint unverändert. Bei den Prio-Warnungen wird in der Audio-Statuszeile das farbige Icon und im zentralen Anzeigebereich der Text eingeblendet. Im Unterschied zu den Fahrerhinweisen bleibt als Erinnerungsfunktion das Icon in der Audio-Statuszeile solange stehen, bis der Fehler behoben ist. Bei einer weiteren Anzeige einer Prio-Warnung überblendet diese nach demselben Schema alle notwendigen Bereiche. Nach dem Verschwinden des Textes kommt es in der Audio-Statuszeile zu einem Wechseln zwischen den bereits aktiven Icons. Diese so genannte „Rolle“ läuft in einem Rhythmus von drei Sekunden, sodass alle noch aktiven Warnungen dem Fahrer erneut dargeboten werden.

Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wurden die Meldungen sowohl zwischen den beiden Fahrten einer Vpn als auch zwischen den Vpn permutiert.

Nach dem beschriebenen Ablauf ergeben sich 42 verwertbare Datensätze der Versuchsstrecken. Für die Auswertung allgemeiner Kriterien wie durchschnittliche Blickabwendungszeiten etc. können alle Datensätze verwendet werden. Für die Vergleiche der beiden Fahrten eines Fahrers können 20 Fahrtenpaare herangezogen werden.

3.4 Auswertung und Ergebnisse

Für die Auswertung und zur Bearbeitung der eingangs formulierten Hypothesen wird die Blickabwendung als wichtigste Information verwendet. Hierbei ist zwischen der Anzahl der Blickabwendungen und den Blickabwendungszeiten zu unterscheiden. Denn sowohl die Anzahl der Blicke, die pro Meldung getätigt werden, als auch die Dauer der Blickabwendungen von der Straße sind entscheidend.

3.4.1 Datenerfassung

Die Blickerfassung soll mittels vier Infrarot-Kameras und einem System der Firma Smart-Eye erfolgen. Diese nehmen aus verschiedenen Blickwinkeln das Gesicht des Fahrers auf und analysieren die Bilder nach vorher manuell markierten Merkmalen. Werden diese Merkmale erkannt, lassen sich darauf basierend die Kopfstellung und der Sehstrahl errechnen.

In einem „Weltmodell“ sind die relevanten Bereiche im Mock-Up, wie das FIS-Display, das MMI-Display und das zentrale Bedienteil in einem Koordinatensystem definiert. Durch den errechneten Sehstrahl kann mit dem Eye-Tracking System erkannt werden, wann und wie lange der Fahrer in die entsprechenden Bereiche blickt, also die Aufmerksamkeit von der Verkehrssituation abzieht.

Problematisch bei diesem System ist die Bewegung der Fahrer während der Fahrt. Beispielsweise wird durch Handbewegungen, vorbeugen, umschaun, etc. häufig das Gesicht verdeckt bzw. die Gesichtsmerkmale werden nicht oder falsch erkannt. Dies führt dazu, dass die gelieferten Daten nicht valide sind, da viele Blickabwendungen nicht erkannt werden oder im umgekehrten Fall der errechnete Sehstrahl in ein Display zeigt, obwohl die Vpn auf die Straße sieht.

Aus diesem Grund wurde auf die automatische Auswertung der Blickabwendungen verzichtet und die Videostreams, auch von der zusätzlich verbauten Kamera, manuell ausgewertet. Dies geschah mit einer Frame-Rate von 25 fps (Frames per second), welche bei gängigen Filmformaten üblich ist.

Als Start einer Blickabwendung ist der Zeitpunkt definiert, ab dem der Proband in das FIS-Display sieht. Beendet ist die Blickabwendung, sobald der Blick das Display verlässt. Das bedeutet, dass nur die Zeit gemessen wird, in der das Auge fokussiert, der Inhalt des Displays wahrgenommen und die Information kognitiv aufgelöst wird. Nicht darin enthalten sind die Zeiten der Kopf- bzw. Augenbewegung und die Akkommodationszeit zurück auf die Straße, die prinzipiell ebenfalls eine Aufmerksamkeitsabwendung darstellen.

Zusätzlich werden alle Daten des CAN bzw. verfügbare Daten der Simulationsumgebung aufgezeichnet. Hierzu zählen Geschwindigkeit, Lenkwinkel, Lenkwinkelgeschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsaktivität, Spurhaltung, etc. Diese Daten sollen Aufschluss darüber geben, ob sich das Fahrverhalten durch situativ ungünstige Meldungen beeinflussen lässt. Die Auswertung dieser Daten liefert allerdings keine brauchbaren Ergebnisse. So können weder in der Lenkaktivität, dem Bremsverhalten noch in anderen Charakteristika Effekte erkannt werden. Dies kann einerseits an der anspruchsvollen Strecke liegen, andererseits auch auf die Performanz des Simulators zurückgeführt werden.

3.4.2 Blickabwendungen in Abhängigkeit der Prioritätsstufe

Die ausgewerteten Datensätze ergeben eine Anzahl von 396 Blickabwendungen bei 207 ausgelösten Meldungen. Das sind im Durchschnitt 1,91 Blicke pro Meldung. In Abbildung

3.3 ist die Verteilung nach Art der Prioritätsstufe genauer aufgeschlüsselt.

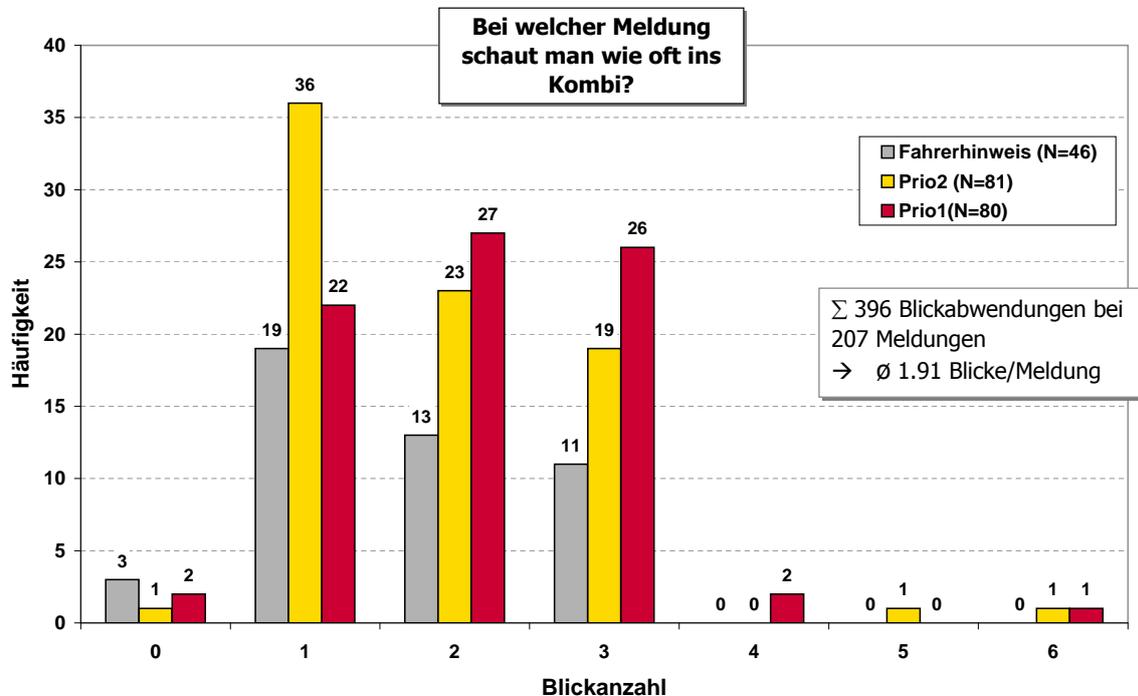


Abbildung 3.3: Verteilung der Blickanzahl je Prioritätsstufe

Erkennbar ist, dass die meisten Probanden zwischen einem und drei Blicke einer Warnung widmen. Auffällig erscheint, dass mit zunehmender Prioritätsstufe und damit bei zunehmender Aufdringlichkeit der Akustik mehr Blicke pro Meldung ins Display gerichtet werden. Dies kann damit zusammenhängen, dass bei einer penetranten Akustik die Vpn eine unmittelbare Gefahr für sich oder das Fahrzeug suggerieren. Um sich ein genaues Bild der Situation bzw. der Fehlermeldung zu machen, wird daher öfter ins Kombiinstrument geblickt. Damit wäre auch die gegenläufige Tendenz zwischen den Prio2- und Prio1-Warnungen zu erklären. Hier werden ebenfalls bei den hoch prioren Meldungen eher mehr Kontrollblicke getätigt, wogegen bei den Prio2-Warnungen der entgegengesetzte Trend erkennbar ist.

Allgemein lässt sich festhalten, dass sechs Meldungen mit keinem Blick gewürdigt wurden. Es lässt sich jedoch nicht klar erkennen, ob dies durch ein Überhören der Akustik oder durch eine temporäre Überforderung durch die Fahraufgabe zustande kommt. Ein Überhören des Tones erscheint allerdings nur bei den Fahrerhinweisen möglich, denn die 1000 Hz Töne der Prio-Warnungen sind bedeutend lauter und heben sich deutlich von Umgebungsgeräuschen ab.

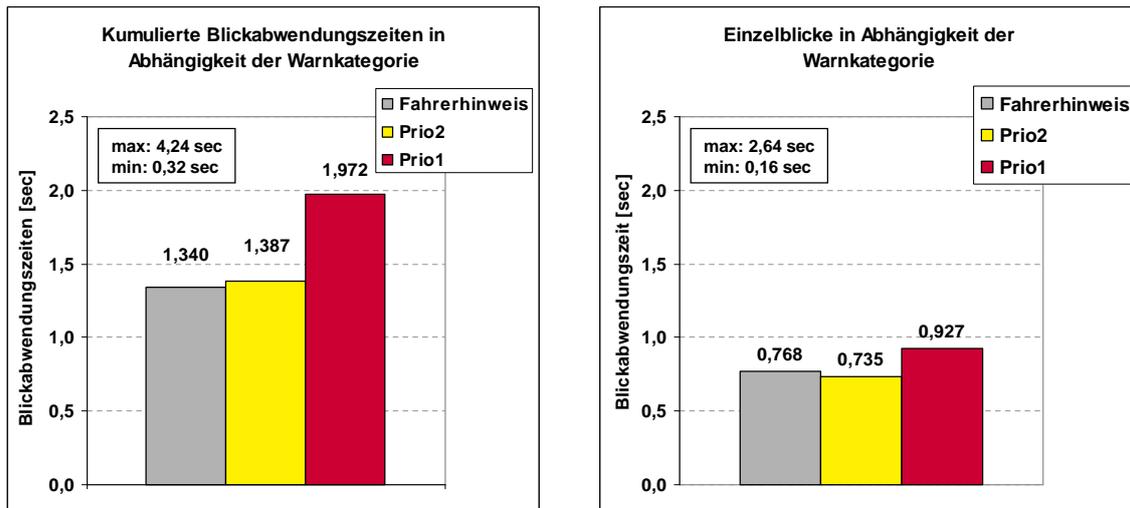


Abbildung 3.4: Blickabwendungszeiten in Abhängigkeiten der Prioritäten

3.4.3 Blickabwendungszeiten

Mit zwei unterschiedlichen Aufschlüsselungen können Aussagen zu den Blickabwendungszeiten getätigt werden. Zum Einen ist die gesamte Blickdauer pro Meldung interessant, unabhängig davon, wie viele Blicke ins Kombiinstrument gerichtet werden. Zum Anderen ist die Dauer jedes einzelnen Blickes von Interesse. In Abbildung 3.4 werden diese Zeiten wie beschrieben dargestellt.

Erneut sind die Blickzeiten nach unterschiedlicher Meldungsart aufgetragen. Betrachtet man das linke Diagramm, ist die Gesamtblickdauer zu erkennen. Die Werte streuen von einem Minimalwert von 320 ms bis zu einem Maximalwert von 4,240 s. Demnach hat ein Proband über vier Sekunden Blickabwendung einer Meldung gewidmet, in der er ohne Sicht auf die Straße gefahren ist.

Bei der Detailbetrachtung ist ersichtlich, dass sich für die Fahrerhinweise und die Prio2-Meldungen in etwa die selben Blickabwendungsdauern ergeben. Dagegen wird bei Prio1-Warnungen mit durchschnittlich 1,972 s um etwa eine halbe Sekunde länger ins Kombi gesehen. Dies deckt sich mit der Annahme aus dem vorigen Abschnitt über die Blickanzahl. Anscheinend vergewissert sich die Vpn bei der sehr aufdringlichen Meldung genauer, was mit dem Fahrzeug nicht stimmt.

Dieselbe Ausprägung ergibt sich aus der Auswertung der einzelnen Blicke im rechten Diagramm. Bei Prio1-Warnungen wird der Blick um einiges länger von der Straße genommen und erwartungsgemäß werden für die beiden anderen Meldungstypen ungefähr die gleichen Blickzeiten erreicht.

Die Unterschiede der Blickabwendungszeiten wurden einer genaueren Untersuchung unterzogen. Hierbei erweist sich die Differenz der Prio-1-Warnung zu den anderen beiden Arten (Paarweiser Vergleich; $p = .000$ bzw. $p = .002$) als signifikant. Prio-2-Meldungen und Fahrerhinweise unterscheiden sich nicht ($p > .05$).

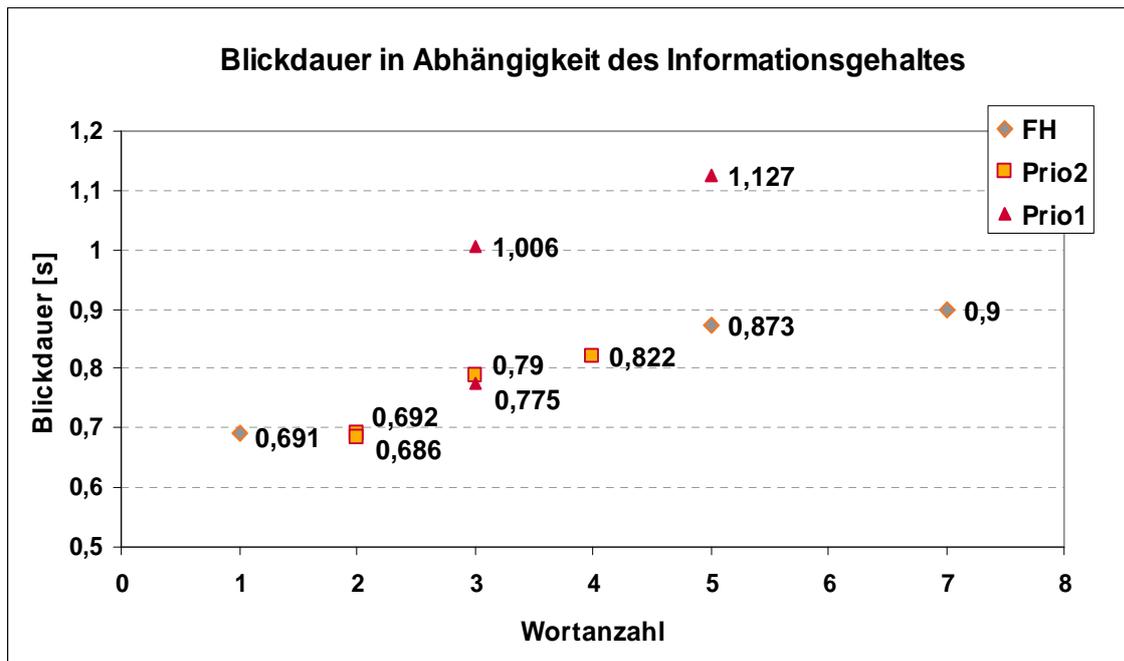


Abbildung 3.5: Blickabwendungszeiten in Abhängigkeiten der Wortanzahl

Extra hervorzuheben ist der Maximalwert der Einzelblicke. So ist eine Vpn 2,64 s im „Blindflug“ gefahren. Eine genaue Überprüfung der Daten des Probanden hat ergeben, dass diese Blickabwendung bei einer unkritischen Situation und einer gefahrenen Geschwindigkeit von 40 km/h stattgefunden hat. Das ergibt einen Weg auf der geraden Strecke von ca. 29 m, die ohne Kontrollblick auf die Straße zurückgelegt werden.

Von diesem Beispiel angeregt, werden die Daten der Vpn auf die maximale Blickdauer während einer kritischen Situation geprüft. Die identifizierte „worst case“-Blickdauer beträgt 2,36 s bei der Durchfahrt einer 90° Abzweigung mit ca. 16 km/h.

Naheliegend ist nun, die unterschiedlichen Meldungen einzeln zu betrachten, um eventuelle Zusammenhänge von Informationsgehalt, Darstellung oder ähnlichem mit der Blickdauer zu untersuchen. In Anhang B sind die einzelnen Meldungen mit den gemittelten Blickabwendungszeiten dargestellt.

Bei allen Meldungstypen ist der direkte Zusammenhang zwischen dem Informationsgehalt (Icon, Wortanzahl, Zeilenanzahl) und der Blickdauer erkennbar. Erwartungsgemäß nimmt die Blickdauer mit zunehmendem Text zu. In Abbildung 3.5 sind die Blickdauern nach Wortanzahl angetragen. Sieht man über den Ausreißer der Generatorwarnung hinweg, zeigt sich bei allen Meldungskategorien der identische Trend.

Zusätzlich ist der Wiedererkennungswert bei den Prio2-Warnungen für Tanken, Waschwasser und Lampenausfall ausschlaggebend. Durch die selbsterklärenden Icons bzw. durch die bekannten Meldungen fallen die Blickabwendungszeiten kürzer aus, als bei vergleichbaren Buchstabenanzahlen unbekannter Meldungen.

Die Werte für die Prio1-Warnungen fallen höher als bei den anderen Meldungen aus. Also

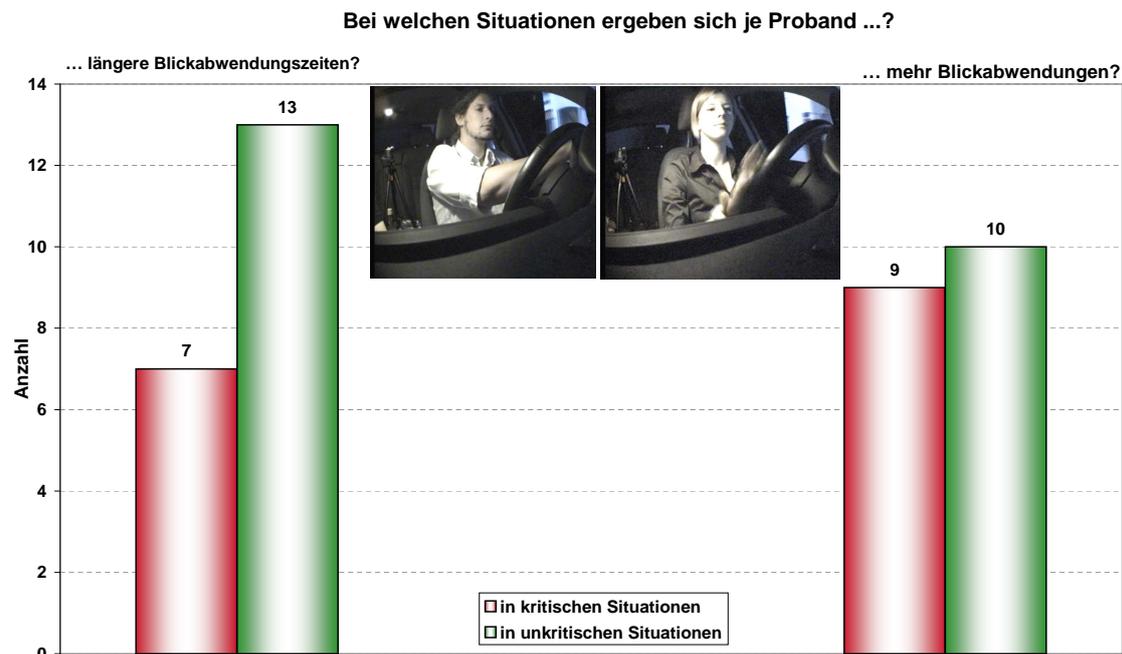


Abbildung 3.6: Vergleich der Blickabwendungen je Situation

bestätigt sich die Annahme der längeren Blickdauer bei penetranteren Meldungen, unabhängig vom Informationsgehalt. Der trotzdem kleine Wert der Generatorwarnung ist durch das intuitive Icon zu erklären. Dieses Symbol ist bei jedem Fahrzeug vor dem Motorstart erkennbar und zeigt an, dass alle Verbraucher von der Batterie gespeist werden. Dieser Wiedererkennungseffekt führt zu einem auffällig niedrigen Wert.

Eine zum Abschluss durchgeführte Analyse soll Abhängigkeiten der Blickabwendungszeiten von Alter, Sehhilfen und Fahrerfahrung aufdecken. Keiner der untersuchten Variablen konnte hierbei ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden. Darüber hinaus wurde eine Untersuchung der Werte über alle Messpunkte vorgenommen. Auch hier konnten keine Effekte (Training o.Ä.) über die Versuchsfahrten hinweg festgestellt werden. Dem entsprechend können die Werte als allgemeine Größen angesehen werden.

3.4.4 Blickabwendung in Abhängigkeit der vorherrschenden Situation

Die eingangs formulierten Hypothesen, die ein unterschiedliches Verhalten der Fahrer je nach Beanspruchung postulieren, werden mit einer Gegenüberstellung der unterschiedlichen Situationen untersucht.

Die Dauer der Blickabwendungen stellt das entscheidende Kriterium dar. Auf der linken Seite von Abbildung 3.6 ist ersichtlich, dass etwa zwei Drittel der Probanden in unkritischen Situationen länger den Blick aufs Kombidisplay richten als in kritischen. Demnach nehmen sich die Personen auf geraden Strecken mehr Zeit für die Kontrolle des Systemzustandes. Das ist auch zu erwarten, da der Fahrer in kritischen Situationen nicht so viel Zeit zu Verfügung hat und sich primär um die Längs- und Querregelung des Fahrzeugs

kümmern muss. Die Abbildungen in der Mitte stellen beispielhaft zwei Probanden dar, die den Blick während einer Lenkbewegung in das Kombiinstrument lenken.

Die rechte Seite des Diagramms zeigt die Anzahl der Blickabwendungen. Die Aufteilung erscheint sehr ausgeglichen. Bei einer Vpn sind mit bzw. ohne kritischen Straßenverlauf gleich viele Blicke ins Display geworfen worden.

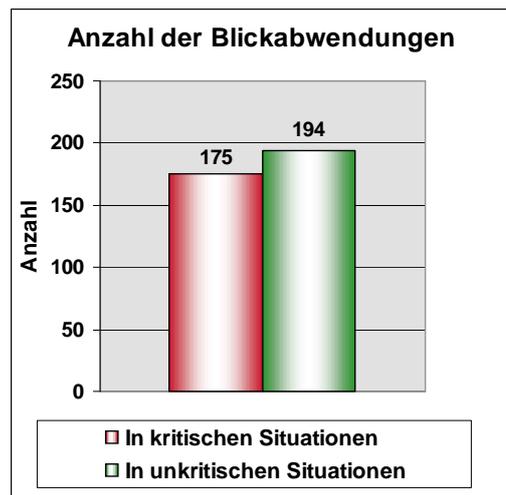


Abbildung 3.7: Vergleich der Blickabwendungen je Situation

Für eine genauere Betrachtung sind in Abbildung 3.7 die absoluten Blicke angetragen. Es zeigt sich, dass die Blickzeiten nicht auf eine auffallend höhere Anzahl an Blicken zurückzuführen sind. Das Verhältnis von 175 Blicken in kritischen Situationen zu 194 in unkritischen, also 47,4% zu 52,5% der Gesamtblicke, zeigt erneut, dass die Vpn in weniger beanspruchenden Situationen mehr Zeit nehmen.

Der gezielte Vergleich der Kurvenfahrten mit Meldungen zu denen ohne zeigt, dass kein Proband ohne externe Reizung (Meldung mit Akustik) während der Durchfahrt einer Kurve den Blick von der Straße ins Kombiinstrument richtet. Stellt man das den 175 Blicken bei Auslösung einer Meldung gegenüber, ist eindeutig erwiesen, dass mit einer Meldung die Aufmerksamkeit sogar in beanspruchenden Situationen von der Straße ins Fahrzeuginnere gelenkt werden kann.

3.4.5 Abschließende Befragung

Im Anschluss an die beiden Versuchsfahrten werden eine kurze Abschlussbefragung der Probanden durchgeführt. Hintergrund hierfür ist, die realen Erfahrungen mit situativ ungünstigen Meldungen der Fahrer herauszufinden. Des Weiteren wird der Frage nachgegangen, ob die jeweilige Akustik der Meldungen in Form einer Optimierung einen positiven Beitrag zu einer entspannten Fahrweise leisten kann. Der einseitige Fragebogen ist in Anhang B abgebildet. Die Art der Befragung kann als teilstrukturiertes Interview angesehen

werden. Den Probanden werden sechs Basisfragen gestellt, die teilweise vorgegebene Antwortmöglichkeiten bieten. Danach folgen freie Kommentare der Befragten, die durch den Versuchsleiter festgehalten werden.

Auf die Frage, welche der beiden Fahrten die Probanden als „stressfreier“ empfunden haben, entschieden sich 16 Personen (80%) für die Fahrt mit den Meldungen in unkritischen Situationen. Bei den vier verbleibenden Probanden wurde durchwegs die Gewöhnung an den Simulator als Begründung ihrer Wahl angegeben. Die Fahrt mit den Meldungen in den Kurven war jeweils die Zweite und die Probanden hatten sich bereits an die Umgebung und die Fahraufgabe gewöhnt.

Dieses eindeutige Ergebnis lässt auf große Komforteinbußen durch situativ unpassende und störende Meldungen schließen. Auch wenn in der Studie eine Extremsituation mit mehreren Meldungen in kurzer Zeit auftritt, werden diese Resultate als qualitativ aussagekräftig angesehen.

Über 70% der Versuchspersonen antworteten auf die Frage, ob sie in der Realität schon Erfahrungen mit zeitlich ungünstigen Meldungen gemacht haben, mit ja. Diese Aussagen bestätigen die Vermutung, dass die gestellten Situationen ein reales Problem darstellen. Darüber hinaus ist es bemerkenswert, dass sich so viele Personen explizit an solche Situationen erinnern. Demnach muss dieser Art von Störung eine entsprechende Gewichtung zugeordnet werden.

Bei den Auswertungen der Kommentare kommt vor allem die Tankwarnung als Beispiel für eine unpassende Warnung vor.

Jeder der 20 Probanden, die den Vergleich beider Fahrten hatten, spricht sich für ein System der situativen Informationsfilterung aus. Speziell in Kurven und Kreuzungen wird eine solche Funktionalität als sehr hilfreich erachtet. Darüber hinaus können sich einige Versuchspersonen vorstellen, dass bei schlechten Witterungsverhältnissen oder auch bei Überholvorgängen eine Informationsfilterung sinnvoll wäre.

Die gezielten Fragen nach der Warnakustik liefern die erwarteten Antworten. Demnach empfinden 17 Probanden die Akustik der subjektiven Priorität der Meldung nicht angemessen. Den Aussagen mehrerer Versuchsteilnehmer zu Folge, werden die Töne als nervig, aufdringlich, penetrant und nicht genug differenzierend empfunden. Auch hier werden als Beispiele in erster Linie die Füllstandswarnungen von Tank, Öl und Waschwasser genannt. Hier wird die Möglichkeit gesehen, mittels entsprechenden akustischen Anzeigekonzepts die Priorität korrekt zu vermitteln. Das kann gerade bei weniger wichtigen Meldungen und Hinweisen zu einer angenehmeren Wahrnehmung der Informationen führen.

3.5 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die durchgeführten Versuche hatten das Ziel, die Ablenkungswirkung von situativ ungünstigen Meldungen zu untersuchen. Hierzu dient der Vergleich von zwei identischen Fahr simulatorstrecken mit unterschiedlicher Anzeigestrategie. Zum Einen werden Warnmeldungen gezielt in beanspruchenden Situationen ausgelöst. Solche Situationen sind so klassifiziert, dass in einer realen Fahrsituation die Aufmerksamkeit auf das Verkehrsgeschehen gerichtet sein soll (Kurven mit kleinem Krümmungsradius, Einbiege- oder Abbiegesituationen an Kreuzungen). Zum Anderen werden in der Vergleichsfahrt die Warnungen erst nach einem solchen Manöver ausgelöst, sodass dies als „unkritische“ Situation klassifiziert werden kann. Für die Auswertung liegen somit Daten aus den kritischen bzw. unkritischen Streckenabschnitten jeweils mit und ohne Meldungsauslösung vor. Die Warnungen selbst sind dem Serienstand nachempfunden und unterscheiden sich in drei Klassen. Die niedrig priorisierten Fahrerhinweise enthalten nur Text und werden mit einem Gong akustisch angezeigt. Die wichtiger eingestuften Prio2-Warnungen enthalten ein gelbes Icon mit Text und erscheinen zeitgleich mit einem 1000 Hz Ton. Die als dringendste Meldungen eingestuften Prio1-Warnungen sind durch ein rotes Icon mit Text und einem dreifachem 1000 Hz Ton charakterisiert.

Die Analyse der Daten ergibt bei einer Gesamtsumme von 207 Meldungen 396 Blickabwendungen, im Schnitt also 1,91 Blicke pro Meldung. Erkennbar ist der Zusammenhang der Meldungspriorität und der Anzahl der Blicke in das Kombidisplay. Je wichtiger bzw. aufdringlicher eine Meldung ausgegeben wird, desto mehr Blicke werden dafür von der Straße ab- und zum Kombiinstrument hingewandt.

Dieser Trend ist auch bei den Blickabwendungszeiten zu beobachten. Gemittelt werden bei einem Fahrerhinweis für 1,34s, bei einer Prio2-Warnung 1,38s und bei einer Prio1-Warnung 1,972s in das Kombi-Display geblickt. Diese Werte stellen die kumulierten Blickzeiten dar. Bei der Aufschlüsselung nach einzelnen Blicken ergibt sich dieselbe Tendenz. Die Einzelblicke für Fahrerhinweise dauern durchschnittlich 0,768s, für Prio2-Warnungen 0,735s und für Prio1-Warnungen 0,927s. Die Extrema der einzelnen Blickabwendungen liegen bei 0,160s und 2,64s. Demnach fuhr ein Proband über zweieinhalb Sekunden, ohne auf die Straße zu sehen.

Ebenfalls bemerkenswert ist, dass der Blick in unkritischen Situationen zwar länger als in kritischen auf die Meldung gerichtet wird, allerdings die Anzahl der Blicke sich in etwa die Waage hält. Daraus ist abzuleiten, dass sich die Probanden, wenn es die Situation zulässt, auch mehr Zeit nehmen, die Meldung zu lesen.

Eine weitere Frage, die durch die Untersuchung beantwortet werden konnte ist, ob sich die Aufmerksamkeit der Fahrer auch in kritischen Situationen gezielt vom Verkehrsgeschehen abziehen lassen kann. Vergleiche von Kurvenfahrten und Kreuzungssituationen haben ge-

zeigt, dass kein Proband ohne einen externen Reiz (Meldung mit Akustik) den Blick von der Straße ins Kombiinstrument richtet. Somit ist nachgewiesen, dass der Großteil der Fahrer instinktiv ins Display sieht, sobald die Akustik ertönt, und dies unabhängig von der Schwierigkeit der Fahraufgabe ist. Dies deutet auf einen verhaltensbasierten Reflex hin (siehe Abschnitt Fahraufgabe auf Seite 6).

Vor diesem Hintergrund erscheint es umso wichtiger, dass bei einer Zunahme von Meldungen im Fahrzeug darauf geachtet wird, dass diese den Fahrer in kritischen Fahrsituationen nicht unnötig ablenken. Wie in [MUIGG 2008] dargestellt, ergeben sich Potenziale sowohl im Fahrkomfort als auch in der Verkehrssicherheit. Es werden exemplarische Szenarien skizziert, in denen ein Fahrzeug mit 30 km/h einen Abbiegevorgang vollführt und im Rahmen einer beispielhaften Blickabwendungsdauer von 0,9 Sekunden in den Aktionsradius von Radfahrern oder Fußgängern gelangt (Abbildung 3.8). Hier wird keineswegs ein Unfall vorausgesagt, sondern auf den Umstand hingewiesen, dass sich die Fahrzeugtrajektorie und die Wege des Fußgängers bzw. des Radfahrers kreuzen und dies zu einer kritischen Situation führen kann.

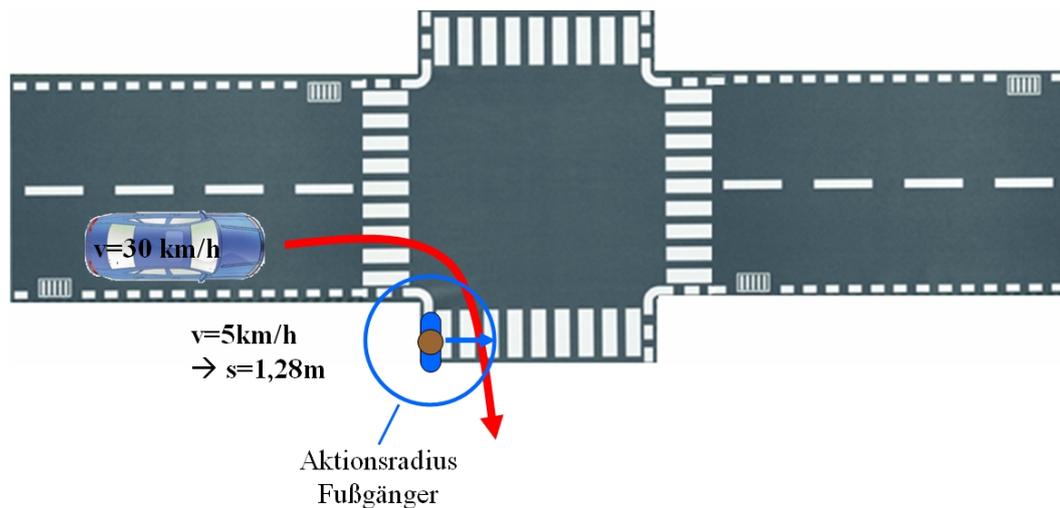


Abbildung 3.8: Abbiegeszenario mit Begegnung eines Fußgängers

Kapitel 4

Konzept eines zeitlich-situativen Informationsmanagements

Dieses Kapitel stellt das Konzept eines zeitlich-situativen Informationsmanagements, auch Workloadmanagement genannt, dar. Vorab werden die Ansprüche an so ein System sowie Zielsetzung geklärt.

Der Abschnitt „Drei-Säulen-Modell des Informationsmanagements“ zeigt das konzeptionelle Grundgerüst eines Workloadmanagers und geht auf die wichtigen Komponenten ein. Daraus wird unter Berücksichtigung der gegebenen Randbedingungen das Konzept des „*impliziten Workloadmanagements*“ abgeleitet. Von diesem Ansatz ausgehend wird eine Studie zur Bestimmung der Aufmerksamkeitsbeanspruchung von Fahrscenarien beschrieben.

Basierend auf diesen Ergebnissen wird die Modellierung der Situationsinterpretation und des Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes mittels eines Bayes'schen Netzes dargestellt.

4.1 Zielsetzung des Systems

Als Anspruch an ein kundenwertiges Informationsmanagement wird die optimale Darstellung der relevanten Nachrichten verstanden. Diese sollen dem Fahrer in der richtigen Situation, möglichst intuitiv und wenig ablenkend dargeboten werden.

Da in dieser Arbeit der Fokus nicht auf der Gestaltung von Meldungen liegt, werden die optischen Inhalte des bestehenden Anzeigekonzeptes im vorhandenen Versuchsfahrzeug übernommen (siehe Abschnitt 5.1.1 auf Seite 119). Diese sollen, abhängig von der benötigten Aufmerksamkeit des Fahrers, situationsangepasst dargestellt werden.

Neben einem inadäquaten Zeitpunkt der Darstellung kann es auch zur gleichzeitigen oder zeitnahen Anzeige von Meldungen kommen. Wie in Abschnitt 2.3 auf Seite 49 beschrieben, kann eine solche zeitnahe Auslösung von Meldungen beim Fahrer negative Auswirkungen hervorrufen. Die Wahrscheinlichkeit einer Kollision von Meldungen erscheint jedoch sehr gering. Eine Analyse der Daten aus den Versuchsfahrzeugen einer umfangreichen Fahrer-Interaktionsstudie ergab ebenfalls, dass es bei einer Fahrtstrecke von über 40.000 Kilometern zu keiner derartigen Überschneidung oder schnellen Folge mehrerer Meldungen gekommen ist [SACHER 2009]. Dem entsprechend wird das Hauptaugenmerk der Funktio-

nalität auf die Filterung in unpassenden Situationen gelegt.

Durch die Ausprägung einer *zeitlichen* Anpassung der Meldungsausgabe auf Grund von *situativen* Gegebenheiten wird der Ansatz zeitlich-situatives Informationsmanagement genannt.

4.2 Drei-Säulen-Modell des Informationsmanagements

Um ein umfassendes Informationsmanagement realisieren zu können, müssen hinreichend viele Informationen über das Geschehen im und um das Fahrzeug vorliegen. Je genauer die Gesamtsituation bekannt ist, desto besser kann anhand dieses Wissens ein System das vom Fahrer erwartete Verhalten abbilden. Um die Analyse der Gesamtsituation strukturiert vornehmen zu können, wird hier ein *Drei-Säulen-Modell* eingeführt. Dieses berücksichtigt die drei Bereiche Fahrzeug, Fahrsituation und Fahrerkondition (siehe Abbildung 4.1).



Abbildung 4.1: 3-Säulen-Modell

4.2.1 Fahrzeug

Welche Meldungen auf Grund welcher Zustände möglich sind, ist ein zentraler Bestandteil des Workloadmanagements. Mit diesem Wissen kann grundsätzlich eine Auswahl getroffen werden, welche Meldungen sich für eine Manipulation des Ausgabezeitpunktes eignen. Hierbei gibt es sowohl rechtliche (z.B. [EU 2008]) als auch technisch bedingte Einflüsse, die eine zeitliche Verzögerung von Meldungen verhindern.

Die Kategorisierung von Meldungen kann in unterschiedlicher Weise erfolgen. Es bieten sich Klassen wie beispielsweise „Auswirkungen und Schadenswahrscheinlichkeit“, „Erwartete Fahrerreaktion“, „Auswirkung auf die Mobilität“ oder „Warnung - Meldung - Hinweis“ an. Ungeachtet dessen, nach welchen Begriffen klassifiziert wird, existieren stets Meldun-

gen mit hoher Priorität, die so schnell wie möglich zum Fahrer kommen müssen. Solche Meldungen scheiden für eine verzögerte Anzeige aus.

Die Meldungen mit niederer Priorität bleiben für eine Manipulation übrig. Aber auch hier muss darauf geachtet werden, dass diese teilweise nicht ohne Einschränkungen in ihrer Anzeigelogik verändert werden dürfen. Zum Einen muss die Transparenz bestehen bleiben, sodass in gleichen Situationen die gleichen Meldungen auftreten. Andernfalls geht dies zu Lasten des Systemverständnisses. Zum Anderen kann die Priorität einer Meldung als Konglomerat zweier orthogonal zueinander stehenden Eigenschaften verstanden werden. Diese sind die grundsätzliche Wichtigkeit und Dringlichkeit. Über den zeitlichen Verlauf kann eine Meldung, die anfangs weniger wichtig ist, an Dringlichkeit zunehmen, was sich in einer höheren Gesamtpriorität niederschlägt. Als einfaches Beispiel sei die Tankwarnung erwähnt. Diese ist zum Zeitpunkt der ersten Auslösung relativ unwichtig, da die Restreichweite in heutigen Fahrzeugen noch mehrere Kilometer beträgt. Ändert sich dann jedoch die Fahrweise hin zu einem höheren Verbrauch, wird ein Nachtanken zunehmend dringender, um die Mobilität zu gewährleisten.

Neben dem „Was kann man beeinflussen?“ kann auch die Frage nach dem „Wie kann man das beeinflussen?“ anhand von Fahrzeuginformationen beantwortet werden. Innerhalb eines Fahrzeugs existieren eine Vielzahl von Sensoren, Steuergeräten und Rechnern, die für ihre Anwendungsfälle bestimmte Umwelt- oder Fahrzeugkenngrößen erfassen, verarbeiten und verwerten. Ein großer Teil dieser Information wird nicht ausschließlich in einer Rechereinheit verwendet, sondern es erfolgt ein Datenaustausch über Bussysteme innerhalb des Fahrzeugs (CAN, MOST, FlexRay, etc.). Diese Informationen sind verfügbar und können als Grundlagen für die zweite Säule herangezogen werden.

4.2.2 Fahrsituation

Um den maximalen Nutzen des Systems erzielen zu können, muss die aktuelle und die unmittelbar bevorstehende Situation bekannt sein. Je detaillierter dieser Anspruch erfüllt werden soll, desto genauer muss die Umweltrepräsentation erfolgen. Hierbei stoßen herkömmliche Sensoren im Fahrzeug an ihre Grenzen. Beispielsweise kann ein ESP-Sensor zwar genau messen, welche Gierrate das Fahrzeug momentan besitzt und ob ein Unter- oder Übersteuern vorliegt. Die Frage nach der Ursache dieser fahrdynamisch kritischen Situation jedoch kann nicht beantwortet werden. So könnte eine glatte Fahrbahn ebenso wie ein zu starker Lenkwinkel Grund für ein Schieben über die Vorderachse sein. Kombiniert man nun jedoch die einzelnen Daten miteinander nach logischen Kriterien, ermöglicht es eine genauere Abbildung der vorherrschenden Situation.

Nach diesem Prinzip soll auch in dieser Arbeit, basierend auf vorhandenen Sensordaten, eine ausreichend genaue Erfassung der Fahrsituation erfolgen. Wie diese durchgeführt wird, zeigt Abschnitt 4.5.

4.2.3 Fahrercondition

Die dritte Säule in diesem Modell befasst sich mit dem Fahrer des Fahrzeugs. Mit Kenntnis über den Zustand des Fahrers kann eine sinnvolle Informationsdarstellung gewährleistet werden. Auch in diesem Zusammenhang gilt, je genauer die Condition des Fahrers bekannt ist, desto besser kann sich das System dem Nutzer anpassen.

Für ein holistisches Workloadmanagement sind alle drei Säulen notwendig. Die Analyse und Bewertung aller Daten ermöglicht es, optimal und situationsgerecht die Information an den Fahrer weiterzureichen. Da dieses Modell den theoretischen Idealfall darstellt, wird in den folgenden Abschnitten darauf eingegangen, wie man mit fehlender Information umgehen kann und wie das bei den Randbedingungen dieser Arbeit umgesetzt wird.

4.3 Implizites Workloadmanagement

Die größte Unsicherheit bei dem eben vorgestellten Modell ist die Fahrercondition. Die Vielfalt an psychologischen und physiologischen Zuständen macht eine genaue Bestimmung aller Ausprägungen sehr komplex. Da somit exakte Erkenntnisse der dritten Säule wegfallen, müssen die beiden verbleibenden Säulen das Informationsdefizit ausgleichen. Die Vorgehensweise, dass über Sensordaten auf den Fahrzeugzustand bzw. die Fahrsituation und darauf aufbauend auf das erforderliche Aufmerksamkeitslevel des Fahrers geschlossen wird, soll als *implizites Workloadmanagement* bezeichnet werden. Es folgt die Erstellung eines alltagstauglichen Konzeptes eines impliziten Workloadmanagers.

Der Abschnitt 2.2 auf Seite 32 ff über die Beanspruchungsmessung hat gezeigt, dass es eine Vielzahl an Methoden und Interpretationen der Messergebnisse gibt. In Abbildung 4.2 werden die verschiedenen Konzepte nochmals gegenübergestellt. In dieser als Kennfeld dargestellten Abbildung ist an der Abszisse die Art der Messung (direkt oder indirekt) und auf der Ordinate der Grad der Intrusion der jeweiligen Methode angetragen. Zusätzlich ist mit dem farblichen Verlauf die Kundenakzeptanz von gelb für „geringe Akzeptanz“ bis grün für „hohe Akzeptanz“ angedeutet. Die Position der angeführten Methoden orientiert sich an den Ausprägungen der drei Kriterien, wobei die Intrusion stark mit der Kundenakzeptanz korreliert.

Auf Grund des Messequipments und der Intrusion werden die psychophysiologischen Methoden wie Herzrate, etc. im rechten unteren Quadranten angesiedelt. Diese scheiden demnach wegen der geringen Akzeptanz für ein alltagstaugliches System aus.

Die visuellen Methoden sind in die zwei Varianten fahrzeug- und fahrerfeste Systeme unterteilt. Die fahrerfesten Methoden verursachen wegen ihrer Befestigung am Kopf des Fahrers einen hohen Intrusionsgrad. Obwohl bei neueren Exemplaren sowohl Bauraum als auch Gewicht optimiert worden sind und mittlerweile auch drahtlose Systeme angeboten

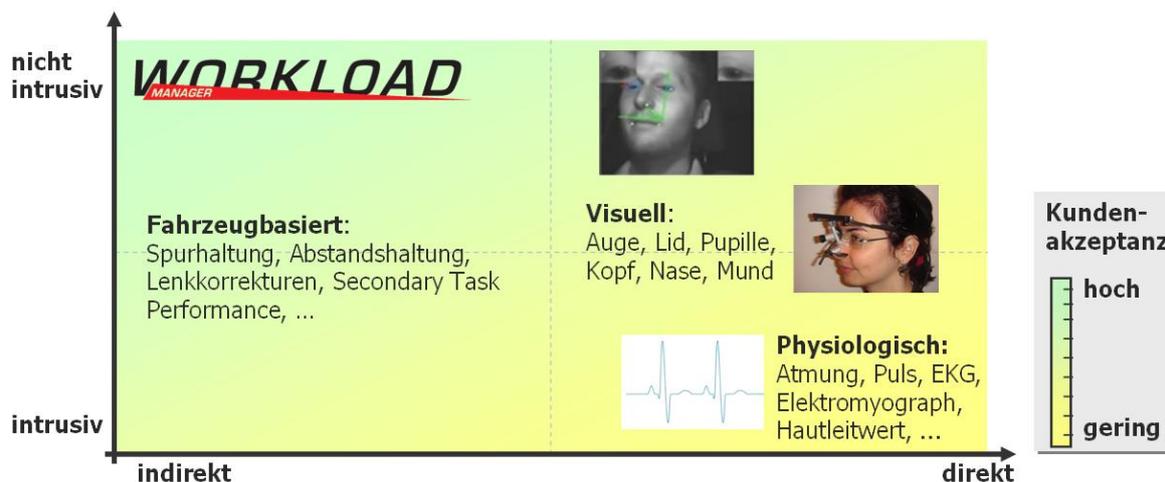


Abbildung 4.2: Methoden der Fahrerbeobachtung

werden¹, ist immer noch ein Rest an Intrusion übrig. Die fahrzeugbasierten Systeme benötigen lediglich einen Kameraaufbau im Bereich der Instrumententafel. Dadurch kann diese Methode als weitestgehend nicht intrusiv angesehen werden. Allerdings sind solche Kamerasysteme heutzutage erst vereinzelt in Oberklassefahrzeugen zu finden und stellen so keinen repräsentativen Stand der Technik dar und werden deshalb für das Konzept nicht herangezogen.

Die Messungen von Leistungsmerkmalen stellen indirekte Verfahren mit teilweise intrusiven, meist jedoch nicht intrusiven Messmethoden dar. Intrusiv sind beispielsweise Methoden der „Secondary Task Performance“, da der Fahrer Handlungen oder Bedienungen ausführen muss, die in der privaten Nutzung nicht notwendiger Weise auftreten.

Die angestrebte Position in dem Kennfeld des hier zu entwickelnden Workloadmanagers ist der linke, obere Quadrant. Dieser soll über ein nicht intrusives Verfahren auf indirektem Weg die Aufmerksamkeit des Fahrers in Bezug zur Fahraufgabe erfassen. Der Fahrer soll das System nicht bemerken und nicht durch Messeinrichtungen oder besondere Systematiken beeinflusst werden. Die vorgestellten Konzepte aus Abschnitt 2 legen nahe, dass über ein Beobachten der Fahrzeugdaten in hinreichend genauer Weise auf die aktuelle Fahrsituation und den Fahrerzustand geschlossen werden kann.

Der folgende Abschnitt geht der Frage nach, welche Situationen den Fahrer belasten und in welcher Ausprägung sie seine Aufmerksamkeit beanspruchen.

4.4 Aufmerksamkeitsbeanspruchung von Fahrerszenarien

Wie bereits angesprochen, ist es für ein implizites Workloadmanagement eine hinreichend genaue Umwelt- und Fahrsituationsrepräsentation notwendig. Dabei ist der Detaillierungsgrad des Modells eine maßgebliche Größe, die Einfluss auf die Leistungsmerkmale des Sy-

¹Das abgebildete Beispiel ist das System Dikablis der Firma Ergoneers GmbH.

stems hat. Um überhaupt zu wissen, welche Situationen für das System ausschlaggebend sind, wird eine Fragebogenstudie durchgeführt. Diese soll einerseits beantworten, welche Szenarien ein Fahrer als übermäßig aufmerksamkeitsbeanspruchend empfindet und andererseits, in welchen Größenordnungen sich diese Szenarien im subjektiven Empfinden des Fahrers bewegen. Diese Vergleichbarkeit der Szenarien ist für die Modellierung des Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes von zentraler Bedeutung.

Die Methode der Fragebogenuntersuchung wurde deshalb gewählt, da die subjektive Einschätzung eine hohe Validität der Ergebnisse verspricht. Diese Annahme stützt sich auf die Aussagen von Sheridan, de Waard oder Muckler (siehe Abschnitt 2.2.2). Nach den Erkenntnissen von Scheufler, wird jedoch auf eine Benutzung vorgefertigter Fragebögen verzichtet und eine eigene Vorgehensweise sowie Bewertungsskala entwickelt.

4.4.1 Deskriptiver Fragebogen

Der erstellte, deskriptive Fragebogen ist in Anhang B dargestellt. Dieser gliedert sich in drei Teile.

Zu Beginn werden allgemeine Daten der Personen erfasst. Anhand derer ist eine Beschreibung der Stichprobe und eine genauere Untersuchung der Ergebnisse nach bestimmten Effekten möglich. So sind in erster Linie das Alter, die Nutzung einer Sehhilfe und die Fahrerfahrung von Bedeutung. Die Beschreibung der Stichprobe erfolgt unter Abschnitt 4.4.2.

Der zweite Teil des Fragebogens ist eine Einzelbewertung von Szenarien. Die beschriebenen Situationen sind in Umwelteinflüsse, Bedienhandlungen, Fahrmanöver und mentale Faktoren unterteilt. Um zu gewährleisten, dass jeder der Teilnehmer der Befragung das selbe Szenario bewertet, ist bei jeder Situation ein Beispielbild abgebildet. Diese Maßnahme soll die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Versuchsteilnehmern sicher stellen.

Der dritte Teil des Fragebogens umfasst die Kombinationsbewertungen mehrerer Szenarien. Durch die zeitliche Abfolge mehrerer Situationen werden diese verglichen und zueinander gewichtet. Im Laufe solcher Situationsfolgen kommen immer wieder Szenarien vor, die solchen der Einzelbewertungen entsprechen. Mit dieser Methode können die Bewertungen verifiziert werden bzw. bei auffälligen Abweichungen nach den Ursachen gesucht werden. Zum Abschluss besteht die Möglichkeit, zusätzliche Bemerkungen oder Ergänzungen in ein Kommentarfeld einzutragen. Von dieser Möglichkeit machten weniger als 5% der Teilnehmer Gebrauch.

Als Skala für die beanspruchte Aufmerksamkeit wurde ein zehnstufiges semantisches Differenzial verwendet. Die Dimension erstreckt sich von „geringster Beanspruchung“ bis „höchster Beanspruchung“. Der Wertebereich erstreckt sich bei der Auswertung von 10% für die geringste Beanspruchung (Grundrauschen) bis 100% für das Maximum der Aufmerksamkeitsbeanspruchung.

Der Vorteil eines semantischen Differenzials liegt darin, dass die Relation der einzeln bewerteten Szenarien zueinander erkennbar ist. So können bei mehrstufigen Bewertungsskalen nur die Ränge, nicht aber das Verhältnis zwischen den Rängen erfasst werden. Darüber hinaus erfolgt durch die Vorgabe der Extremalaussagen eine individuelle Normierung der Bewertungen. Dies macht die Ergebnisse innerhalb der Stichprobe vergleichbar.

Die Durchführung der Befragung erfolgt von den Teilnehmern autonom, ohne Betreuung durch einen Versuchsleiter. Ziel war es, durch möglichst alle Altersgruppierungen einen entsprechenden Querschnitt zu erhalten, da im Vorfeld unterschiedliche Bewertungen in Abhängigkeit des Alters zu erwarten waren. Der Fragebogen wurde deshalb innerhalb der Technischen Universität München, der AUDI AG und dem Bekanntenkreis mehrerer Beteiligter der Untersuchung gestreut.

4.4.2 Stichprobenbeschreibung

Von den Rückläufern der Fragebogenstudie konnten 101 Exemplare für die Auswertung herangezogen werden. Davon waren 76% Männer und 20% Frauen (bei vier Fragebögen wurden keine Angaben zum Geschlecht gemacht). Die Altersverteilung der Stichprobe erstreckt sich von 20 bis 79 Jahren (siehe Abbildung 4.3). Als Durchschnitt ergibt sich ein Alter von 37,06 Jahren mit einer Standardabweichung von 12,64. Aufgeteilt nach Geschlecht zeigt sich, dass die männlichen Testpersonen im Schnitt 34,6 Jahre (Std.: 10,86) und die weiblichen 41,05 Jahre (Std.: 12,68) alt sind.

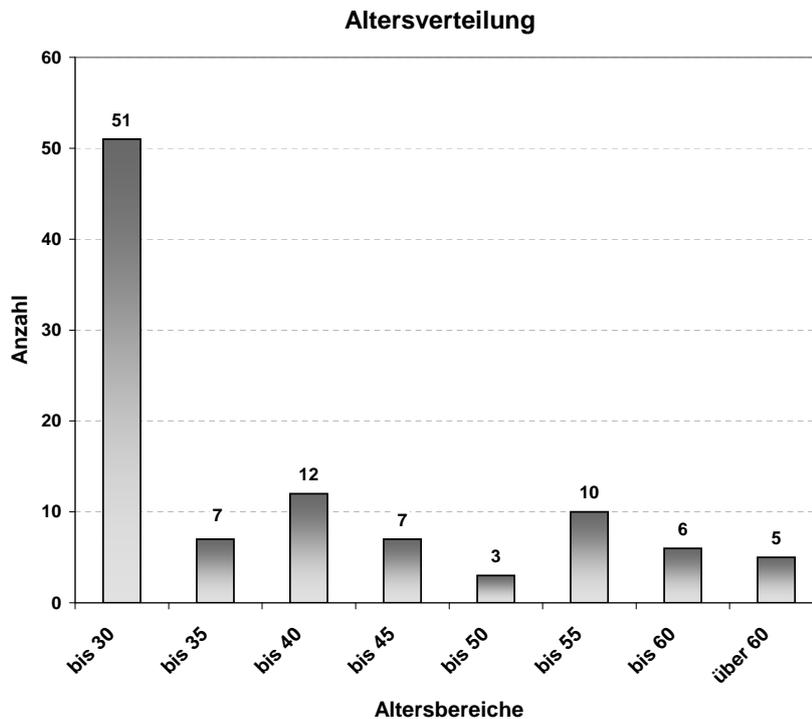


Abbildung 4.3: Altersverteilung der Stichprobe

Für weitere Betrachtungen werden drei Alterskategorien gebildet. Diese reichen bis 40 Jahre für die jungen Probanden ($N_{40} = 70$), von 41 bis 60 Jahre für die mittlere Altersgruppe ($N_{41-60} = 26$) und über 60 Jahre für die älteren Teilnehmer ($N_{60+} = 5$) der Untersuchung. Von den 101 Personen benutzen 65 eine Sehhilfe. Die genaue Betrachtung ergibt, dass davon 73% kurzsichtig und 22% weitsichtig sind. 5% der Personen gaben Kurz- und Weitsichtigkeit an. Die Aufteilung nach Geschlecht zeigt, dass 65% der Männer und 55% der Frauen eine Sehhilfe benutzen.

Abbildung 4.4 zeigt die jährliche Fahrleistung der Stichprobe. Da 71% der Personen mehr als 10.000 Kilometer pro Jahr im Fahrzeug zurücklegen, kann das Probandenkollektiv als erfahren bezeichnet werden. Darüber hinaus geben 65% an, dass sie ihr Fahrzeug an fünf bis sieben Tage pro Woche nutzen.

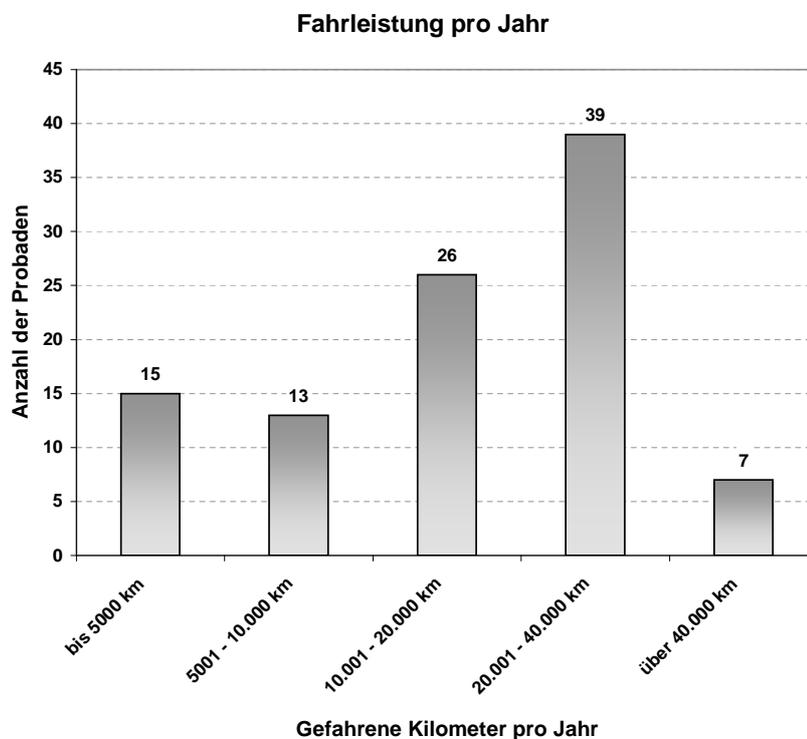


Abbildung 4.4: Fahrleistung der Stichprobe in km/Jahr

4.4.3 Ergebnisse der Fragebogenstudie

Die erfolgte Auswertung der deskriptiven Fragebögen zeigt, welche Situationen den Fahrer am meisten fordern. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt nach den Klassen Umweltfaktoren, Bedienungen und Fahrmanöver. Der Bereich der mentalen Faktoren im Fragebogen wird für die Ergebnisse nicht herangezogen. Diese Aussagen dienen lediglich einer Orientierung, in welchem Bereich sich die Beanspruchung durch solche mentale Zustände bewegen. Des Weiteren lassen sich diese Werte wohl kaum mit denen der anderen, quantifizierbaren Situationen vergleichen.

4.4.3.1 Umweltfaktoren

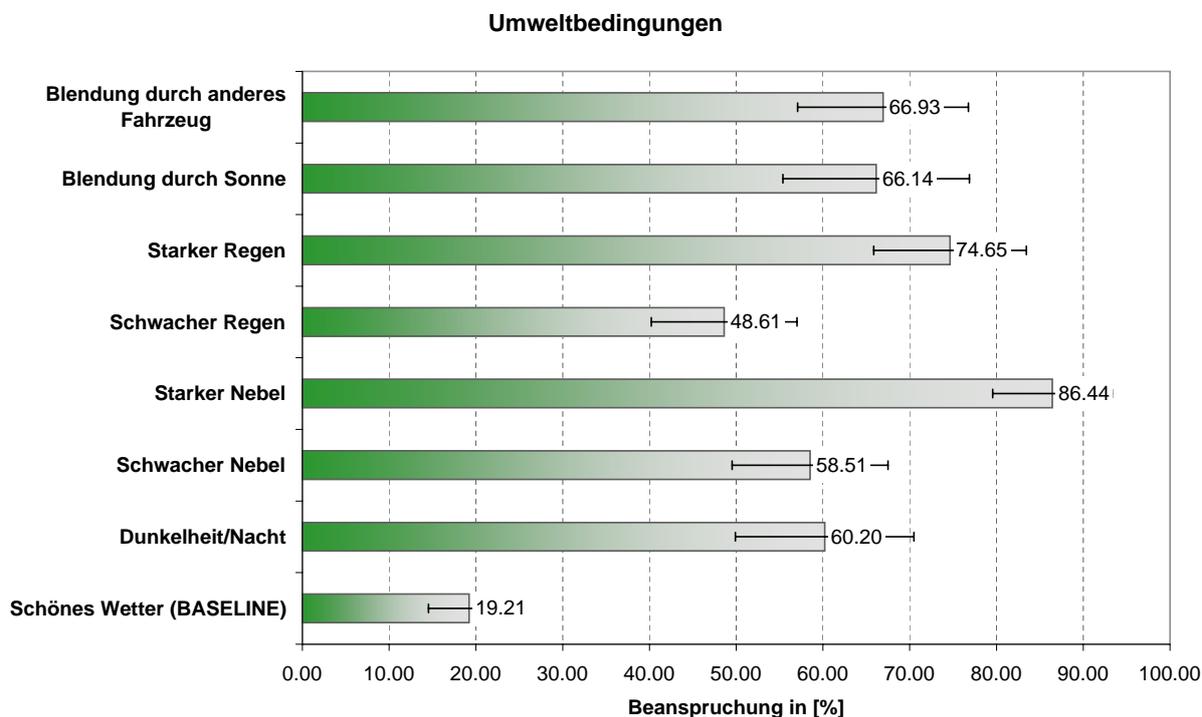


Abbildung 4.5: Bewertungen der Umweltfaktoren

Als erste Erkenntnis wird die Bewertung der sogenannten „Baseline“ hervorgehoben. Diese Situation sollte die Untergrenze der Bewertungen darstellen. Dementsprechend ist die Situation mit einer geraden Strecke, schönem Wetter und ohne zusätzlichen Verkehr als am wenigsten beanspruchend bewertet worden. Die 19,21% auf der 100%-Skala der Beanspruchung sind somit ein Anhaltswert für das „Grundrauschen“ der Aufmerksamkeitsbeanspruchung beim Führen eines Fahrzeugs.

Als am meisten beanspruchende Situation wird die Fahrt in starkem Nebel mit einem Wert von 86,44% beurteilt. An zweiter Stelle folgt starker Regen mit 74,65%. Beide Situationen zeichnen sich durch eine starke Beeinträchtigung der Sichtverhältnisse aus. Dieses Defizit ist auch mit technischen Hilfsmitteln nicht zu beheben, weshalb sich der Fahrer diesen Gegebenheiten anpassen muss. Die gesamtheitliche Betrachtung der Bewertungen zeigt, dass ein Beanspruchungswert über 70% nur selten vorkommt und diesem demnach eine besondere Bedeutung beigemessen werden muss.

Auch die beiden folgenden Situationen beeinträchtigen die Sicht des Fahrers in negativer Weise. Die Blendung durch Sonne (66,14%) oder anderer Fahrzeuge (66,93%) empfinden die Probanden als stark beanspruchend. Durch die nahezu identischen Bewertungen kann in weiterer Folge auf eine Differenzierung der Blendquellen verzichtet werden.

Dunkelheit (60,20%) und schwacher Nebel (58,51%) werden in ähnlichem Maße beanspruchend empfunden. Bei diesen Arten der Sichtbehinderung kann der Fahrer jedoch mittels zusätzlicher Beleuchtung (Fernlicht, Nebelscheinwerfer) die Situation etwas verbessern. Diese Interpretation kann den Unterschied der Bewertungen der bis hier behandelten Sze-

narien erklären. Als letzte der in erhöhtem Maße beanspruchenden Szenarien wird die Fahrt mit leichtem Regen mit 48,61% bewertet. Offenbar scheint eine Regenfahrt mit gelegentlichem Wischereinsatz für die Teilnehmer der Befragung nicht von übermäßiger Beanspruchung zu sein.

Ein paarweiser Vergleich der Werte zeigt, dass sich mit Ausnahme der Fahrt bei Dunkelheit und der Blendungen alle Bewertungen voneinander unterscheiden. Zusätzlich wird mit dem Mann-Whitney-U- bzw. dem Kruskal-Wallis-Test untersucht, ob zwischen den unterschiedlichen Gruppen (Geschlecht, Alter, Fahrzeugnutzung, der Stichprobe Effekte erkennbar sind. Dabei fallen Unterschiede in den Bewertungen der kurzsichtigen und der weitsichtigen Gruppen sowohl bei der Baseline-Situation ($p = .046$) als auch bei der Fahrt mit schwachem ($p = .014$) und starkem Nebel ($p = .010$) auf. Hierbei werden alle Situationen von den weitsichtigen Probanden durchschnittlich als beanspruchender angesehen.

4.4.3.2 Bedienhandlungen

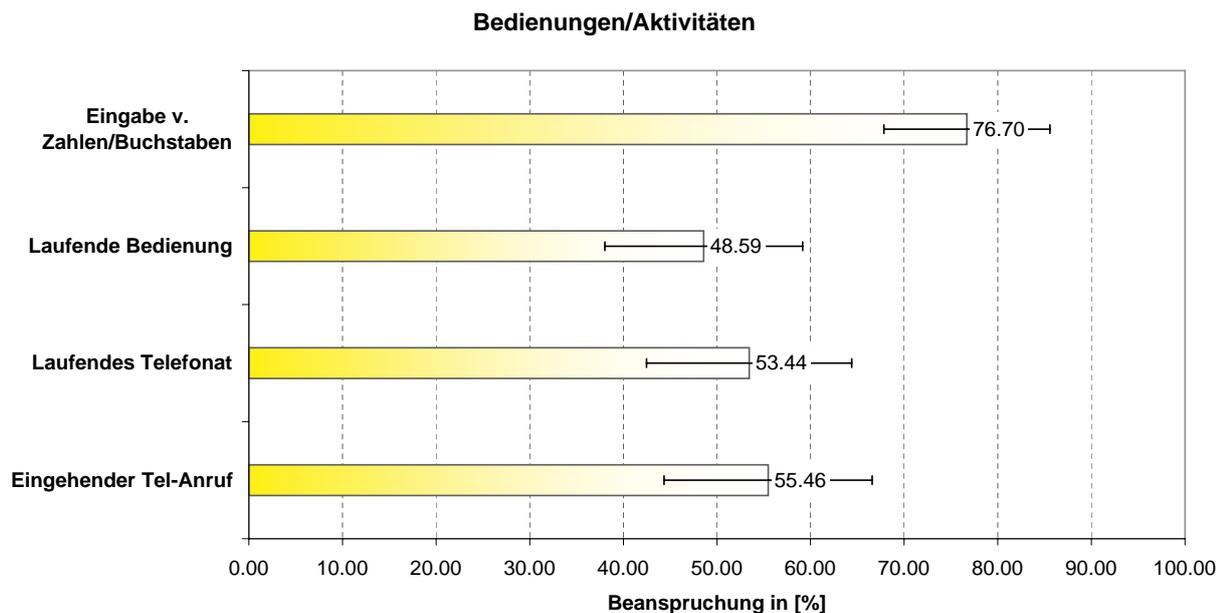


Abbildung 4.6: Bewertungen der Bedienhandlungen

Bei dieser Gruppe werden die Eingaben von komplexen Zahlen- und Buchstabenfolgen mit 76,70% als am meisten beanspruchend benotet. Diese Bewertung bestätigt die Ergebnisse von Blaschke, der solchen Bedienhandlungen (Eingabe von Navigationsziel oder Telefonnummer) die höchste Ablenkungswirkung zuschreibt [BLASCHKE 2008b].

Einfache Bedienungen, wie einzelne Tastendrücke, werden mit einem Beanspruchungswert von 48,59% als durchschnittlich belastend eingeschätzt.

Die Thematik des Telefonierens wird mit zwei Fragen behandelt. Hier wird die Situation eines eingehenden Telefonanrufes mit 55,46% und das Führen eines Telefongespräches

beim Fahren mit 53,44% bewertet.

Der paarweise Vergleich bestätigt die erste Einschätzung, dass sich die Telefonsituationen nicht unterscheiden ($p > .05$). Darüber hinaus scheinen die unterschiedlichen Mittelwerte von dem laufenden Telefonat und der einfachen Bedienung zufällig zu entstehen ($p > .05$). Die klar verschiedene Einschätzung der komplexen Bedienung hält dem zufallskritischen Vergleich mit den anderen Situationen stand ($p = .000$).

Der Vergleich zwischen den einzelnen Untergruppen der Stichproben lässt keine Anzeichen irgendwelcher Effekte erkennen.

4.4.3.3 Fahrmanöver

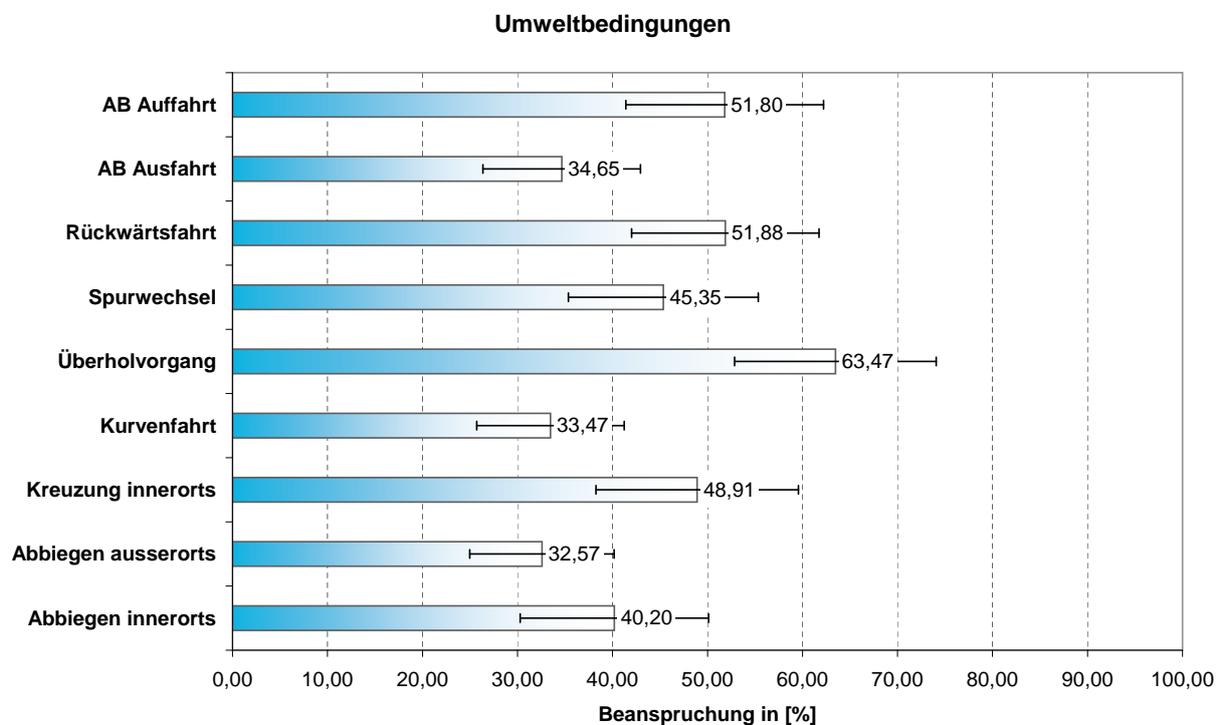


Abbildung 4.7: Bewertungen der Fahrmanöver

Das Fahrmanöver mit der am meisten geforderten Aufmerksamkeit ist der Überholvorgang (63,47%). Da solch ein Manöver die Beobachtung des Längsverkehrs auf der eigenen Spur, der Gegenfahrbahn und der Querführung beinhaltet, entspricht das Ergebnis den Erwartungen.

Die zweithöchste Bewertung bekommt das Rückwärtsfahren mit 51,88%. Auch dieses Ergebnis trifft die Erwartung, zumal sich der Fahrer entgegen seiner herkömmlichen Bewegungsrichtung orientieren und das Fahrzeug sicher steuern muss. Die eingeschränkte Sicht nach hinten, sei es durch relativ kleine Spiegel oder Verdeckungen der C- oder D-Säulen am Fahrzeug, leistet wohl ebenso einen Beitrag zu diesem Ergebnis.

Eine ähnliche Benotung erhalten das Auffahren auf eine Autobahn (51,80%), Kreuzungssituationen innerorts (48,91%) und ein Spurwechsel (45,35%). Diese Situationen zeichnen

sich dadurch aus, dass jeweils auf den Fließverkehr geachtet werden muss und bestimmte Vorfahrtsregeln gelten. Der paarweise Vergleich zeigt, dass in der Bewertung der drei Szenarien keine Unterschiede vorliegen (je $p > .05$).

Die beiden folgenden Situationen zeichnen sich ebenfalls durch ein ähnliches Manöver aus. Sowohl bei einer Autobahnausfahrt als auch bei einer Kurvenfahrt geht es in erster Linie um die Querführung des Fahrzeugs. Die Beobachtung des Fremdverkehrs oder potenzieller Hindernisse spielen eine untergeordnete Rolle. Die Bewertungen liegen bei der Autobahnausfahrt bei 34,65% und bei der Kurvenfahrt bei 33,47%. Auch hier zeigt der paarweise Vergleich, dass sich die Situationen in der Bewertung nicht unterscheiden ($p > .05$).

Bei einer Abbiegesituation außerorts sind ebenfalls keine Unterschiede zu den obigen zwei Szenarien festzustellen. Die Bewertung liegt hier bei einem Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert von 32,57%. Obwohl bei Abbiegevorgängen eine erhöhte Aufmerksamkeit auf mögliche Kollisionspartner gerichtet wird, fällt die Benotung relativ gering aus. Das liegt daran, dass bei solchen Vorgängen außerorts nicht zwangsläufig mit Fußgängern oder Radfahrern gerechnet werden muss. Die Bewertung der Abbiegesituation innerorts mit 40,20% unterstreicht diese Vermutung. Durch die potenziellen Gefahrenquellen, die innerhalb von Ortschaften bei einem Abbiegevorgang auftreten können, wird diese Situation deutlich kritischer bewertet.

Die Analyse der Daten (Mann-Whittney-U-, Kruskal-Wallis-Test) zeigt Auffälligkeiten in den Verteilungen der männlichen und weiblichen Stichproben. Die Szenarien „Abbiegen innerorts“ ($w=31\%$; $m=43,12\%$; $p = .014$), „Abbiegen außerorts“ ($w=26,5\%$; $m=34,29\%$; $p = .015$) und „Kreuzung innerorts“ ($w=38\%$; $m=52,34\%$; $p = .006$) werden von Frauen deutlich niedriger bewertet als von Männern. Es lassen sich keine stichhaltigen Indizien für diese Unterschiede erkennen. Da bei anderen Szenarien solche Effekte nicht auftreten, scheint die Art des Versuchsdesigns nicht als Ursache in Frage zu kommen. Die Frage, ob es geschlechterspezifisch zu grundsätzlich anderen Verhaltensweisen in den beschriebenen Szenarien kommt, soll mit dem Screening der Unfallstatistiken geklärt werden. Hierzu schreibt Gründl, dass er in den von ihm untersuchten Unfällen in Kreuzungs- und Abbiegesituationen keinen signifikanten Unterschied zwischen Männern und Frauen erkennen konnte [GRÜNDL 2005]. In [BARTL 2006] wird auf das Stresserleben der Geschlechter eingegangen. Demnach sollte die Bewertung invers ausfallen, da Frauen statistisch signifikant mehr Stress im Straßenverkehr erleben als Männer. Die bewerteten Szenarien zeichnen sich durch komplexe Manöver unter Beachtung des Fremdverkehrs, einer Richtungsänderung und den damit verbundenen Leistungen in Quer- und Längsführung aus. Dadurch wären diese Situationen für ein erhöhtes Stresserleben prädestiniert. Gleich wie Gründl stellen die Autoren klar, dass es keine Unterschiede im Unfallrisiko zwischen den Geschlechtern gibt.

Der Vergleich der Einflussfaktoren Alter, Fahrzeugnutzung, Fahrleistung oder Sehhilfe deckt keinerlei Effekte auf. Auch bei der Geschlechterverteilung konnte nur ein tendenzieller Effekt bei Autobahnausfahrten entdeckt werden ($p = .051$), welche wiederum die weiblichen Probanden als weniger beanspruchend empfinden ($w=29,5\%$; $m=35,97\%$).

4.4.3.4 Kombinationsbewertung

Die Kombinationsbewertungen sollen dazu dienen, weitere Szenarien abzufragen und teilweise eine Validierung der Einzelbewertungen vorzunehmen. Dabei werden die Ergebnisse der beschriebenen Szenarien mit den korrespondierenden Einzelbewertungen verglichen und somit die Reproduzierbarkeit der Bewertungen überprüft. Hier wird eine Toleranz der Werte in einem Umkreis von 5% als praktikabel angesehen. Da in diesem Teil des Fragebogens auf eine Abbildung der Szenen verzichtet wird, werden größere Streuungen der Bewertungen erwartet. Es werden im Folgenden die zusammengefassten Ergebnisse beschrieben. Die genauen Bewertungen werden nur vereinzelt und bei Besonderheiten angesprochen. Die Darstellung der Ergebnisse ist in Anhang C abgebildet.

Allgemein ist die starke Auswirkung von Regen und Nebel auf die Bewertungen zu erkennen. Wie erwartet, steigen die Aufmerksamkeitsbeanspruchungswerte von Szenen mit gutem Wetter bzw. guten Sichtverhältnissen bei zusätzlichem Auftreten dieser Faktoren. Extra- oder interpoliert man Kombinationen der Einzelbewertungen, ergeben sich größtenteils gute Übereinstimmungen der beiden Fragebogenteile. Trotzdem ergeben sich teilweise inkonsistente Bewertungen. So erzielt eine Fahrt entlang einer Ortsstraße bei Nacht (Frage 7.2) einen ABW von 28,91 %, wogegen bei der Einzelbewertung die Nachtfahrt mit 60,20% zu Buche schlägt. Solche Diskrepanzen geben Grund zum Anlass, jedes Ergebnis der Kombinationsbefragung kritisch zu prüfen.

Hervorzuheben ist die Übereinstimmung der Bewertungen von einer beschriebenen Abbiegesituation innerorts (Frage 5.1) mit 48,91% und der Einzelbewertung von Frage 3.1 (40,20%) bzw. 3.3 (48,91%), welche ebenfalls Abbiege- und Kreuzungsvorgänge innerhalb einer Ortschaft beschreiben. Allerdings halten diese Werte einer zufallskritischen Untersuchung nicht Stand.

Hingegen ist die Übereinstimmung der Vergleiche von Spurwechselsituationen der Einzel- (Frage 3.6; ABW=45,35%) und Kombinationsbewertung (Frage 6.1; ABW=43,07%) nicht zufällig ($p > .05$).

Die Kurvenfahrt auf einer Landstraße (Frage 7.2) wird mit 31,29% gleich bewertet wie die Kurvenfahrt der Einzelbewertung, welche einen Wert von 33,47% erhält. Die Signifikanzuntersuchung zeigt, dass sich die beiden Fragen nicht unterscheiden ($p > .05$).

Die Fragen 10.1 und 12.5 beschreiben jeweils eine Fahrt auf einer Landstraße mit einem Gefälle über 15%. Die Mittelwerte der Einschätzungen liegen bei 47,43% bzw. 51,7%. Unter Berücksichtigung der Toleranz von $\pm 5\%$ können auch diese Fragen als gleich angesehen werden.

Prinzipiell lässt sich sagen, dass die Vergleiche mit den Einzelbewertungen nur teilweise ein nachvollziehbares Ergebnis liefern. Hierbei scheint die Abstraktion der beschriebenen Szenarien zwischen den Probanden zu weit zu streuen.

Dennoch sind brauchbare Ergebnisse vorzuweisen. So sind die Erkenntnisse, dass Baustellenbereiche 63% und Fahrten auf Schneefahrbahn Werte über 76% erreichen, aufschlussreich für eine Modellierung des Aufmerksamkeitsniveaus von Fahrern. Ansonsten

werden die Einstufungen der Einzelbewertung als Anhaltswerte für die weitere Arbeit herangezogen.

4.4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Mittels einer Fragebogenstudie sollen grundsätzliche Erkenntnisse über die benötigte Aufmerksamkeit von Fahrzeuglenkern in typischen Szenarien gewonnen werden. Zu den abgefragten Situationen zählen Umweltfaktoren, verschiedene Fahrmanöver und Bedienhandlungen des Fahrers.

Die befragte Stichprobe umfasst 101 Versuchsteilnehmer. Das Verhältnis von Frauen zu Männern liegt bei 1 : 3,8. Das Alter variiert bei einem Mittelwert von 37,06 zwischen 20 und 79 Jahren.

Der Fragebogen ist in drei Teile gegliedert, wobei im ersten Abschnitt Angaben zur Person abgefragt werden. Der zweite und der dritte Teil befassen sich mit der Bewertung der beschriebenen Szenarien. Über ein semantisches Differenzial mit den Ausprägungen „geringste Beanspruchung“ und „höchste Beanspruchung“ schätzen die Probanden einen Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert, welcher zwischen 10 und 100 Prozent liegen kann. Die Untergrenze ist deshalb mit 10% festgelegt, da von einer Mindestbeanspruchung bei jeder Fahrt ausgegangen wird.

Es zeigt sich, dass in erster Linie Witterungsbedingungen mit einer hervorgerufenen Sichtbehinderung des Fahrers und hohe Straßenglätte die höchsten Bewertungen erhalten. Genauso kritisch sehen die Versuchsteilnehmer die Eingabe von komplexen Buchstaben- und Zahlenfolgen. Dieses Thema soll in den folgenden Zeilen einer kurzen Betrachtung unterzogen werden.

Es leitet sich aus den subjektiven Bewertungen ab, dass die Eingabe von Buchstaben und Zahlen weniger beanspruchend gestaltet werden soll. Die grundsätzliche Schwierigkeit liegt in der visuellen Ablenkung. Um diese zu umgehen, werden Sprachdialogsysteme in Fahrzeugen eingesetzt, welche eine verbale Eingabe von Kommandos durch den Fahrer ermöglichen. Dabei beschränkt sich die Beanspruchung auf den kognitiven Teil der Eingabe, da die motorischen Aktivitäten entfallen. Bei am Markt befindlichen Systemen der ersten Generation weckt die „Command-and-Control-Anwendung“ jedoch auf Unzufriedenheit, da der Fundus an gültigen Kommandos bekannt sein muss. Deshalb sind die Anforderungen an die nächsten Systeme die Annäherung an den natürlichen Sprachdialog, eine intuitive Volltext-Spracherkennung, eine natürliche Interaktion innerhalb des Dialogfensters und eine fehlerfreie Erkennung der Sprache [KISS 2008].

Ein weiterer Ansatz sieht die Eingabe von Buchstaben und Zahlen über ein Medium ohne Blickabwendung vor. Hierfür bietet sich bspw. ein berührungsempfindliches Sensorfeld (touch-pad) an. Aus ergonomischen Gesichtspunkten wird die Eingabe mit einer entsprechenden akustische Rückmeldung gekoppelt. Solche Konzepte sind bereits Gegenstand zahlreicher Studien und stellen in Aussicht, die Eingabe für den Fahrer so ablenkungsarm wie möglich zu gestalten (z.B. [VILIMEK 2007], [FH-TRIER 2009] [AUDI 2007]).

Bei den bewerteten Fahrmanövern wird einem Überholvorgang die meiste benötigte Aufmerksamkeit zugeschrieben. Des Weiteren zeigt sich, dass es bei fahrdynamisch ähnlichen Manövern zu vergleichbaren Bewertungen kommt. Diese Erkenntnis lässt sich dementsprechend verwerten, dass nicht jede Fahrsituation exakt identifiziert werden muss, um eine Aussage über den Aufmerksamkeitszustand des Fahrers zu treffen. Hier reicht es, die Gruppe der Manöver zu kennen und daraus die entsprechenden Werte abzuleiten.

Nach Betrachtung der Ergebnisse kann der Wertebereich in drei Abschnitte unterteilt werden. Der Bereich bis ca. 50% gilt als moderat beanspruchend. Der Bereich zwischen 50% und ca. 65% stellt bereits eine erhebliche Beanspruchung der Aufmerksamkeit des Fahrers dar. Alle Situationen mit einer Bewertung über 65% gelten als sehr anspruchsvoll und hier sollte in besonderem Maße versucht werden, den Fahrer vor unnötigen Ablenkungen zu bewahren.

Einzelne Wortmeldungen im Kommentarfeld ergänzen zudem, dass die jeweiligen Einschätzungen sehr von der aktuellen Verfassung abhängig sind. Ebenso sind die Werte teilweise von der Motorisierung des Fahrzeugs und auch vom Bekanntheitsgrad des befahrenen Terrains beeinflusst.

4.5 Modellierung des Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes

Mit den Erkenntnissen aus Abschnitt 4.4 kann der Versuch einer Modellierung der Fahreraufmerksamkeit unternommen werden. Durch die Kenntnis der subjektiven Bewertung einzelner Situationen und deren Relation zueinander sind grobe Zielwerte festgelegt, an denen sich das Modell in erster Näherung orientieren kann.

Hinter dem Konzept des impliziten Workloadmanagements steht die Prävention, sodass es erst gar nicht zu einer Meldungsanzeige in kritischen Fahrsituationen kommt. Die bekannten Studien versuchen über die „Nichterfüllung“ der Fahraufgabe, d.h. bspw. Abweichung von der Ideallinie, auf einen workloadinduzierten Kapazitätsengpass zu schließen. Dem gegenüber soll der hier konzipierte Workloadmanager basierend auf den Ergebnissen der Fragebogenstudie die benötigte Aufmerksamkeit während der Fahrsituation nachbilden und so eine zusätzliche Belastung mit einer nicht unmittelbar notwendigen Meldung verhindern.

Das Vorgehen kann, vergleichbar mit dem 3-Säulen-Modell des Workloadmanagements, über die drei Ebenen *Fahrzeug*, *Fahrsituation* und *Fahrerkondition* strukturiert werden. Die Verknüpfung und Auswertung vorhandener Informationen schafft ein Abbild der vorherrschenden Situation. Daraus lässt sich anhand der Befragungsdaten der Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert (ABW) herleiten.

Um dieses Vorhaben zu realisieren, muss ein geeignetes Werkzeug zur Modellierung ausgewählt werden. Da die vorhandene Information nur unvollständig und teilweise unpräzise ist, bedarf es einer Methode, die Entscheidungen auf Basis unscharfen Wissens zulässt. Die Entscheidung fällt auf die Modellierung mittels eines Bayes'schen Netzes. Der folgende

Abschnitt zeigt das Prinzip und die Grundlagen dieses wahrscheinlichkeitstheoretischen Modells. Im Anschluss werden der Aufbau und das Parametrieren des Netzes beschrieben.

4.5.1 Bayes'sche Netze

Bei einem Bayes'schen Netz (BN) handelt es sich um ein graphisches Modell. Bevor auf die Besonderheiten dieser Struktur eingegangen wird, sollen die relevanten Grundbegriffe der Graphentheorie erläutert werden.

4.5.1.1 Grundlagen der Graphentheorie²

Unter einem Graph \mathcal{G} versteht man das geordnete Paar von endlichen Mengen von Knoten V und der endlichen Menge der Kanten E :

$$\mathcal{G} = (V, E).$$

Ein Graph \mathcal{G} gilt als *schlicht*, wenn zwischen den Knoten (V_i, V_j) in \mathcal{G} maximal eine Kante vorkommt. Das bedeutet, es gibt keine Parallelkanten und keine Kante startet und endet im selben Knoten.

Eine *gerichtete* oder *einfache* Kante zwischen zwei Knoten V_i und V_j ist dadurch gekennzeichnet, dass $(V_i, V_j) \in E$, aber $(V_j, V_i) \notin E$. Eine gerichtete Kante wird mit $V_i \rightarrow V_j$ gekennzeichnet. Eine Kante, die sowohl $(V_i, V_j) \in E$, als auch $(V_j, V_i) \in E$ erfüllt, wird *ungerichtete* oder *zweifache* Kante genannt. Die Bezeichnung erfolgt über $V_i \sim V_j$.

Ein Knoten V_i ist ein Vorgänger oder Elternknoten (*parent*) von V_j , wenn $V_i \rightarrow V_j$. Dem entsprechend ist ein Knoten V_j ein Nachfolger oder Kinderknoten (*child*) von V_i . Die Menge der Vorgänger des Knotens V_j lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: $pa(V_j) = \{V_i : V_i \rightarrow V_j\}$. Die Menge der Nachfolger von V_i ergibt sich entsprechend zu $ch(V_i) = \{V_j : V_i \rightarrow V_j\}$. Werden die zwei Knoten V_i und V_j durch eine ungerichtete Kante verbunden, werden diese als Nachbarn (*neighbors*) bezeichnet. Die Summe aller Nachbarn erfolgt analog zur Notation der Eltern $ne(V_i) = \{V_j : V_i \sim V_j\}$.

Der *gerichtete* Weg oder *Pfad* zwischen zwei Knoten V_i und V_j im Graphen \mathcal{G} der Länge n entspricht der Kantenfolgen $(V_i, V_1), (V_1, V_2), \dots, (V_{n-1}, V_j)$ für die gilt, $(V_{k-1}, V_k) \in E, \forall k$. Wenn wie in diesem Fall V_i zu V_j *führt*, erfolgt die Kennzeichnung durch $V_i \mapsto V_j$.

Enthält ein Graph nur gerichtete Kanten, bezeichnet man diesen als *antisymmetrischen* oder *gerichteten* Graphen \mathcal{G}^\rightarrow . Analog wird ein Graph mit ausschließlich ungerichteten Kanten als *symmetrischer* oder *ungerichteter Graph* \mathcal{G}^\sim bezeichnet. Ein gerichteter Graph, in dem keine Zyklen enthalten sind, wird *gerichteter, azyklischer Graph* $\mathcal{G}^\mathcal{D}$ genannt.

Die Vorfahren (*ancestors*) eines Knoten V_i sind alle Knoten V_j , von denen ein gerichteter Weg zu V_i führt, es aber keinen gerichteten Weg von V_i zu V_j gibt, also: $an(V_i) = \{V_j : V_j \mapsto V_i, V_i \not\mapsto V_j\}$. Analog hierzu lassen sich alle Nachfahren (*descendants*) des Knoten

²Die Inhalte sowie die Notation dieses Abschnittes sind an [AL HAMES 2008] angelehnt.

V_i folgendermaßen zusammenfassen: $de(V_i = \{V_j : V_j \leftrightarrow V_i, V_i \leftrightarrow V_j\})$. Als Nicht-Nachfahren (*non-descendants*) gelten alle Knoten des Graphen \mathcal{G} ohne die Nachfahren und V_i selbst: $nd(V_i) = V \setminus (de(V_i) \cup V_i)$.

Ein Unter- oder Teilgraph \mathcal{G}' eines Graphen \mathcal{G} wird durch die Knotenuntermenge $V' \subseteq V$ und allen Kanten aus E , die ihren Start- und Endknoten in V' haben, erzeugt: $\mathcal{G}' = (V', E')$ mit $V' \subseteq V$ und $E' = E \cap [V' \times V']$. Nach dieser Definition ist jeder Graph auch sein eigener Untergraph.

Ein Graph \mathcal{G} , als auch ein Untergraph \mathcal{G}' , gilt als vollständig, wenn alle Knoten V untereinander mit gerichteten oder ungerichteten Kanten verbunden sind.

4.5.1.2 Bayes Theorem

Der Algorithmus eines Bayes'schen Netzes basiert auf dem Bayes'schem Theorem, welches im Folgenden hergeleitet wird.

Die Notation $P(A)$ bezeichnet die unbedingte oder a priori- Wahrscheinlichkeit des Wahrheitsgrads der Aussage A . Kommt die neue Information B hinzu, kann nur mehr die bedingte bzw. a posteriori- Wahrscheinlichkeit von A mit gegebenen B behauptet werden: $P(A|B)$. Kommt eine weitere Information C hinzu, lässt sich die bedingte Wahrscheinlichkeit mit $P(A|B \wedge C)$ darstellen. Die Zufallsvariablen können sowohl diskrete oder kontinuierliche Werte annehmen. Im Folgenden beziehen sich die Ausführungen auf diskrete Zufallsvariablen.

Eine bedingte Wahrscheinlichkeit lässt sich über eine unbedingte darstellen:

$$P(A|B) = \frac{P(A \wedge B)}{P(B)},$$

sofern $P(B) > 0$. Durch Umformung der Gleichung erhält man die so genannte Produktregel

$$P(A \wedge B) = P(A|B)P(B).$$

Durch Vertauschen von A und B ergibt sich wegen der Kommutativität der Konjunktion

$$P(A \wedge B) = P(B|A)P(A).$$

Durch Gleichsetzen der beiden Formen der Produktregel erhält man die Gleichung

$$P(B|A) = \frac{P(A|B)P(B)}{P(A)},$$

welche sowohl als Bayes Regel oder auch Bayes'sches Theorem bekannt ist.

Die Notation $\mathbf{P}(X)$ beschreibt die Wahrscheinlichkeitsverteilung von X , d.h. alle möglichen Werte der Zufallsvariablen X . Hierbei gilt $\mathbf{P}(X) = \langle w_1, \dots, w_i \rangle$, mit $P(X = x_i) = w_i$ und stellt die Kurzform von

$$\mathbf{P}(X) = [P(X = x_1), P(X = x_2), \dots, P(X = x_n)]^T$$

dar. Um die Matrix aller Kombinationen der Wahrscheinlichkeiten der Werte von X und Y zu beschreiben, wird die Darstellungsart $\mathbf{P}(X, Y)$ verwendet. Die \mathbf{P} -Notation wird auch für bedingte Wahrscheinlichkeiten benutzt. So stellt $\mathbf{P}(X|Y)$ eine zweidimensionale Matrix mit den Werten $P(X = x_i|Y = y_j)$ für jedes Paar i, j dar.

Ebenso kann die Produktregel auf die Vektor-Notation angewandt werden. Hier stellt

$$\mathbf{P}(X, Y) = \mathbf{P}(X|Y) \star \mathbf{P}(Y)$$

eine Menge von Gleichungen dar, welche die einander entsprechenden Einträge in den zu Grunde liegenden Tabellen zueinander in Beziehung bringen. Der Operator \star stellt eine elementweise Multiplikation von $\mathbf{P}(X|Y)$ mit $\mathbf{P}(Y)$ dar:

$$\begin{aligned} \cdot \star \cdot : \mathbb{R}^{n \times m} \times \mathbb{R}^n &\mapsto \mathbb{R}^{n \times m}; \\ X \star Y &= \begin{pmatrix} x_{11}y_1 & x_{12}y_1 & \cdots & x_{1m}y_1 \\ x_{21}y_2 & x_{22}y_2 & \cdots & x_{2m}y_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1}y_n & x_{n2}y_n & \cdots & x_{nm}y_n \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Der allgemeine Fall des Bayes-Theorems mehrwertiger Zufallsvariablen kann folgendermaßen beschrieben werden:

$$\mathbf{P}(Y|X) = \frac{\mathbf{P}(X|Y)\mathbf{P}(Y)}{\mathbf{P}(X)} \star,$$

wobei gilt:

$$\begin{aligned} \cdot \star \cdot : \mathbb{R}^{n \times m} \times \mathbb{R}^n &\mapsto \mathbb{R}^{n \times m}; \\ \frac{X}{Y} \star &= \begin{pmatrix} \frac{x_{11}}{y_1} & \frac{x_{12}}{y_1} & \cdots & \frac{x_{1m}}{y_1} \\ \frac{x_{21}}{y_2} & \frac{x_{22}}{y_2} & \cdots & \frac{x_{2m}}{y_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{x_{n1}}{y_n} & \frac{x_{n2}}{y_n} & \cdots & \frac{x_{nm}}{y_n} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

So erlaubt die Bayes'sche Regel die Berechnung unbekannter Wahrscheinlichkeiten aus bekannten Wahrscheinlichkeiten. Über die Art und Weise, wie man zu den Wahrscheinlichkeiten kommt, herrscht keine Einigkeit. Folgende Aufzählung soll die verschiedenen Sichtweisen darstellen:

- Frequentistische Wahrscheinlichkeiten stellen relative Häufungen dar, die aus Experimenten und statistischen Untersuchungen gewonnen werden.
- Objektivistische Wahrscheinlichkeiten stellen reale Aspekte und Tendenzen der Verhaltensweisen von Objekten dar.
- Subjektivistische Wahrscheinlichkeiten gelten als Maß der Sicherheit einer persönlichen Einschätzung. Sie müssen keinen externen physikalischen Bedeutungen unterliegen.

Beispiel für die Anwendung der Bayes'sche Regel Die Wahrscheinlichkeit, dass Meningitis einen steifen Hals verursacht, liegt bei 50%. Die a priori-Wahrscheinlichkeit, dass ein Patient Meningitis (M) hat liegt bei $\frac{1}{50000}$. Ebenso liegt die a priori-Wahrscheinlichkeit, dass ein Patient einen steifen Hals (S) hat bei $\frac{1}{20}$. Somit lässt sich die Wahrscheinlichkeit, dass ein Patient mit steifem Nacken auch Meningitis hat, folgendermaßen berechnen³:

$$\begin{aligned}
 P(S|M) &= 0,5 \\
 P(M) &= 0,00002 \\
 P(S) &= 0,05 \\
 P(M|S) &= \frac{P(S|M)P(M)}{P(S)} \\
 &= \frac{0,5 \cdot 0,00002}{0,05} = 0,0002
 \end{aligned}$$

4.5.1.3 Grundlagen Bayes'scher Netze

Ein **Bayes'schs Netz** (BN) ist ein azyklischer Graph mit Knoten und Kanten. Dieses Netz kann zur Repräsentation von Abhängigkeiten zwischen den Variablen einer Domäne genutzt werden.

Die Knotenmenge stellt die Menge der Zufallsvariablen dar. Die Knoten sind durch gerichtete Kanten verbunden, d.h. dass bei einer Kante von Knoten A zu Knoten B ein direkter Einfluss von A auf B vorherrscht. Innerhalb jedes Knotens sind Wahrscheinlichkeitstabellen hinterlegt, welche die Wirkung der Elternknoten (Vorgängerknoten) abbilden.

Ein BN stellt eine abstrakte Wissensbasis dar, welche kausale Zusammenhänge innerhalb einer Domäne mit unsicherem Wissen beschreibt. Die Zusammenhänge werden über die Wahrscheinlichkeitstabelle quantifiziert. Dabei stellen die Zeilen der Tabelle die bedingten Wahrscheinlichkeiten für einen bedingten Fall dar. Dieser Fall entspricht einer möglichen Kombination der Werte der Elternknoten. In den Spalten summieren sich die Fälle für eine Variable zu 1 auf. Die Knoten am Anfang eines Netzes, also ohne eigenen Elternknoten, sind mit a priori-Wahrscheinlichkeiten gefüllt.

Der Wert eines Knotens, bedingt durch seine unmittelbaren Vorgänger, ergibt sich nach der Formel:

$$P(z_1, \dots, z_n) = \prod_{i=1}^n P(z_i | \text{an}(X_i)).$$

Zur Berechnung des Wertes eines Knoten X_i müssen demnach nur seine unmittelbaren Vorgänger $X_1 \dots X_{i-1}$ für die Berechnung herangezogen werden.

Der klassische Aufbau eines BN verläuft nach folgendem Schema (nach [DILGER 2006]):

1. Bestimmung aller relevanten Variablen X_i , die eine Domäne beschreiben
2. Ordnen der Variablen nach Ursache und Wirkung
3. Solange Variablen vorhanden sind:

³Beispiel aus [DILGER 2006]

- a) Wähle eine Variable X_i , entferne sie aus der Menge und füge einen Knoten für X_i in das Netz ein.
- b) Wähle die minimale Menge von den im Netz befindlichen Knoten, für die eine bedingte Unabhängigkeit gilt und definiere sie als Vorgänger von X_i .
- c) Definiere die Tabelle der bedingten Wahrscheinlichkeiten für X_i

Die Füllung der Wahrscheinlichkeitstabellen legt den quantitativen Einfluss der Elternknoten auf die Kinderknoten fest. Bei *deterministischen Knoten* folgen die Beziehungen logischen Schlüssen. Durch seine Vorgänger ist der Wert eines deterministischen Knotens exakt spezifiziert und es kommen keine Unsicherheiten vor. Im Gegensatz dazu herrschen bei so genannten *verrauschten Knoten* unsichere Relationen. Standardmäßig kommen hier ODER-Relationen vor. Demnach hat jede Ursache die Chance, eine Wirkung zu verursachen. Beispielsweise kann Straßenglätte durch Regen, Laub oder tiefe Temperaturen hervorgerufen werden, oder formal: $Strassenglaette \Leftrightarrow Regen \vee Laub \vee Temperatur$. Der Anteil, der die Verursachung einer Wirkung behindern kann, wird Rauschparameter genannt. So ergibt sich nach obigem Beispiel bei einer Wahrscheinlichkeit von Straßenglätte durch Regen 0,6 ein Rauschparameter von 0,4.

Mit BN können auf vier Arten Schlussfolgerungen (Inferenzen) getätigt werden.

- Das Schließen von Wirkungen auf Ursachen wird Diagnostische Inferenz genannt.
- Kausale Inferenzen entstehen beim Schließen von Ursachen auf Wirkungen.
- Interkausale Inferenzen bezeichnet Schlussfolgerungen zwischen den Ursachen gemeinsamer Wirkung.
- Gemischte Inferenzen entstehen aus Kombinationen aus den drei obigen Varianten.

Beispiel für die Berechnung innerhalb eines Bayes'schen Netzes Der Zusammenhang zwischen den Knoten *Nebelscheinwerfer*, *Nebelschlussleuchte* und *Nebel* wird nachfolgend hergeleitet. Über den CAN erhält man die Information über den Status (aktiv, inaktiv) der beiden Arten der Nebelbeleuchtung. Daraus ergeben sich in diesem Fall vier Kombinationen, die für den Kinderknoten *Nebel* von Bedeutung sind. Es werden Intensitätsstufen von Nebel definiert: „kein Nebel“ und „starker Nebel“. Daraus ergibt sich folgende Wahrscheinlichkeitstabelle für den Knoten *Nebel*:

Nebelschlussleuchte	aus		ein	
	aus	ein	aus	ein
<i>kein Nebel</i>	0.99	0.94	0.21	0.0
<i>starker Nebel</i>	0.01	0.06	0.79	1.0

Tabelle 4.1: Wahrscheinlichkeitstabelle *Nebel*

Da in diesem Fall die Nebelbeleuchtung als einziger Indikator für vorherrschenden Nebel herangezogen werden kann, erfolgt eine logische Zuordnung der Zustände. Bei inaktiver

Gesamtnebelbeleuchtung wird auf „kein Nebel“ geschlossen. Bei aktivem Nebelscheinwerfer, jedoch inaktiver Nebelschlussleuchte, kann nur in begrenztem Maß auf Nebel geschlossen werden. Eine Vielzahl an Autofahrern benutzen die aktiven Nebelscheinwerfer als Tagfahrlicht oder als Designelement der Fahrzeugfront.

Die Nebelschlussleuchte wird hingegen als Indikator mit mehr Aussagekraft angesehen. So wird bei einer aktiven Nebelschlussleuchte mit aktivem Nebelscheinwerfer auf vorherrschenden Nebel geschlossen. In diversen Fahrzeugen ist die Aktivierung der beiden Nebelbeleuchtungen aneinander gekoppelt, sodass eine Nebelschlussleuchte einen aktiven Nebelscheinwerfer voraussetzt. Bei einer Bedienlogik ohne diese Zwangskopplung entsteht die Möglichkeit einer aktiven Nebelschlussleuchte bei inaktivem Nebelscheinwerfer.

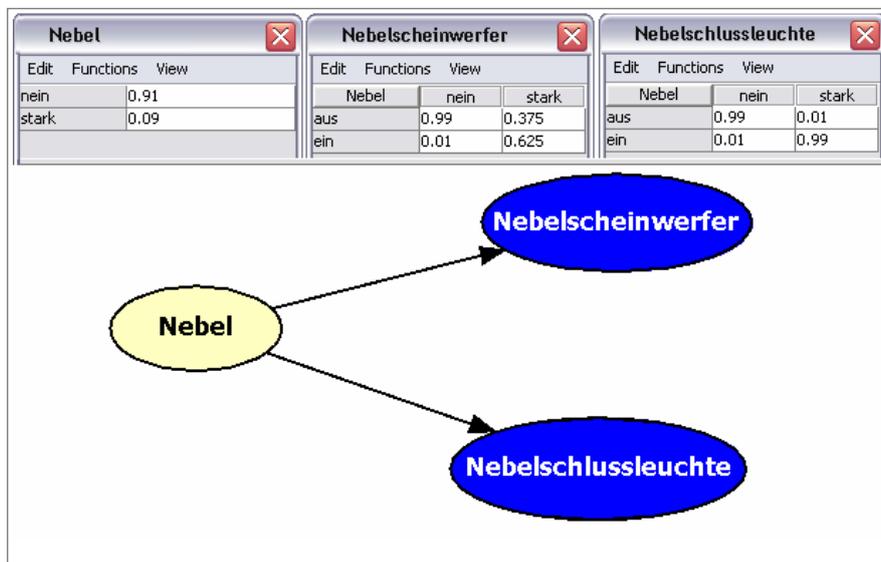


Abbildung 4.8: Beispiel zur Modellierung von Nebel

In diesem Beispiel soll die Wahrscheinlichkeit von Nebel (A) bei inaktivem Nebelscheinwerfer (B) und aktiver Nebelschlussleuchte (C) berechnet werden. Hierzu bedient man sich der Bayes'schen Regel:

$$P(A|B) = \frac{P(A)P(B|A)}{P(B)}$$

Wegen der fehlenden Kenntnis von $P(B)$ bedient man sich des Bayes Theorems:

$$P(B) = P(B|A)P(A) + P(B|\bar{A})P(\bar{A}).$$

Durch die Erweiterung auf den zweiten Knoten nach dem selben Prinzip ergibt sich für die beispielhafte Fragestellung folgende Formel:

$$P(A|B \wedge C) = \frac{P(A)P(B|A)P(C|A, B)}{P(A)P(B|A)P(C|A, B) + P(\bar{A})P(B|\bar{A})P(C|\bar{A}, B)}$$

$$P(A|B \wedge C) = \frac{P(A)P(B|A)P(C|A)}{P(A)P(B|A)P(C|A) + P(\bar{A})P(B|\bar{A})P(C|\bar{A})}$$

$$P(ja_N|nein_{SW} \wedge ja_{SL}) = \frac{P(ja_N)P(nein_{SW}|ja_N)P(ja_{SL}|ja_N)}{P(ja_N)P(nein_{SW}|ja_N)P(ja_{SL}|ja_N) + P(j\bar{a}_N)P(nein_{SW}|j\bar{a}_N)P(ja_{SL}|j\bar{a}_N)}$$

$$= \frac{0.09 * 0.375 * 0.99}{0.09 * 0.375 * 0.99 + 0.91 * 0.99 * 0.01}$$

$$= 0.7876$$

Das selbe Ergebnis produziert das verwendete HUGIN-Tool⁵ mit der entsprechenden graphischen Umsetzung (siehe Abbildung 4.9). Die zwei Evidenzen von Nebelscheinwerfer und Nebelschlussleuchte sind durch das kleine „e“ an der Seite der Knoten gekennzeichnet. In den Tafeln der Knoten werden die Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Zustände numerisch in Prozent und als Balkendiagramm dargestellt. Die farbliche Codierung der Balken beschreibt, dass rot Variablen durch manuelle Setzung und grüne durch Berechnung zu Stande kommen.

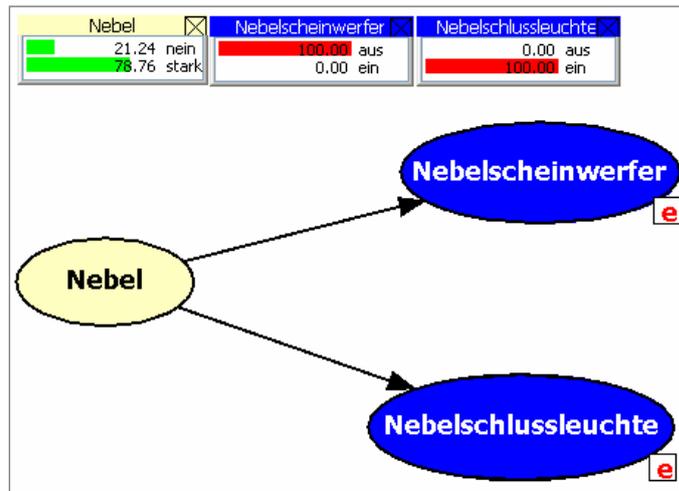


Abbildung 4.9: Nebelwahrscheinlichkeit bei gegebenen Evidenzen

4.5.2 Modellierung mittels Bayes'schem Netz

Ein konzeptionelles Modell stellt eine vereinfachte Nachbildung eines existierenden oder imaginären Systems in einer anderen Ordnung und Umgebung dar. Üblicherweise beschreibt es einen Ausschnitt der Realität mit hinreichender Genauigkeit und dient zur Erlangung von Systemverständnis, Entscheidungsfindung, Simplifizierung oder als Entscheidungshilfe (nach [VDI 2000]).

⁴Durch die statistische Unabhängigkeit von B und C ergibt sich $P(C|A \wedge B) = P(C|A)$, $P(C|\bar{A} \wedge B) = P(C|\bar{A})$.

⁵siehe Abschnitt 4.5.2

Die Modellierung beschreibt die Umsetzung des erstellten Modells in eine simulationsfähige Umgebung. Dieses so genannte Simulationsmodell bildet eine ablauffähige Struktur, mit der Untersuchungen durchführbar sind. Das Experimentieren beschreibt die gezielte empirische Analyse des Modellverhaltens durch wiederholte Abläufe mit systematischer Parametervariation. Ziel dieser Simulation ist der Gewinn von Erkenntnissen, die auf die reale Welt übertragbar sind.

Eine Gültigkeitsüberprüfung des Modells, also sowohl Validierung als auch Verifikation, stellt die Überprüfung der hinreichenden Übereinstimmung des Systems und dessen Verhalten mit der Realität bzw. dem Originalsystem dar. Nur wenn das Modell genau genug und fehlerfrei das Original nachbildet, kann der erwartete Nutzen aus der Modellbildung gezogen werden.

Im Sinne einer ökonomischen Modellbildung muss zu Beginn die Frage geklärt werden, welche Problemstellung untersucht werden soll. Darauf aufbauend kann die Entscheidung getroffen werden, welche Systemaspekte abgebildet werden müssen und welche abstrahiert werden können. Die üblichen Anforderungen an ein Modell sind neben der korrekten Problemlösung die Ergebnisdarstellung, Zeit-, Qualitätskriterien und der Kostenrahmen. Für vertiefte Informationen zur Modellbildung und Simulation sei bspw. auf [BENDER 2004] verwiesen.

Ein Bayes'sches Netz kann als graphisch-mathematische Mischform von Struktur- und Verhaltensmodell bezeichnet werden. Es werden sowohl die inneren Strukturen und das Zusammenwirken der Knoten als auch das beobachtete, deterministische Verhalten von Eingangs- und Ausgangsgrößen modelliert.

Durch die lokale Strukturiertheit eines BN ergibt sich ein kompaktes Beschreibungssystem. Jeder Knoten interagiert nur mit einer bestimmten Anzahl anderer Knoten (Vorfahren und Nachfahren), unabhängig von der Gesamtzahl der Knoten im Netzwerk. Die Komplexität nimmt deshalb bei Wachstum des Systems nicht wie üblich exponentiell sondern lediglich linear zu.

Beim Hinzufügen eines neuen Knotens ist darauf zu achten, dass dieser durch seine Vorgängerknoten repräsentiert wird. Deshalb beginnt die Konstruktion eines BN mit den so genannten „Wurzelursachen“. Darauf basierend lassen sich dann mit Ursachen-Wirkungsketten die Abhängigkeiten darstellen.

Nach diesen Richtlinien muss der Aufbau des Modells der Aufmerksamkeitsbeanspruchung mit den originären CAN-Daten beginnen. Um strukturiert vorzugehen, müssen diese identifiziert und analysiert werden. Danach erfolgt eine Zuweisung, welche Informationen zur Repräsentation der in Abschnitt 4.4 als relevant bezeichneten Situationen herangezogen werden können.

Um die Modellierung anwenderfreundlich zu gestalten, wird das Tool „Researcher“ der Firma HUGIN benutzt. Diese bietet den Vorteil, dass über eine herkömmliche Windows-Oberfläche die Struktur des Netzes erstellt und die Wahrscheinlichkeitstabellen gefüllt werden können. Des Weiteren ermöglicht das Programm den Export des Netzes als Java

oder C++ Code. Dies ist dahingehend vorteilhaft, da so schnell und ohne großen Implementierungsaufwand im Versuchsträger verschiedene Netze getestet werden können.

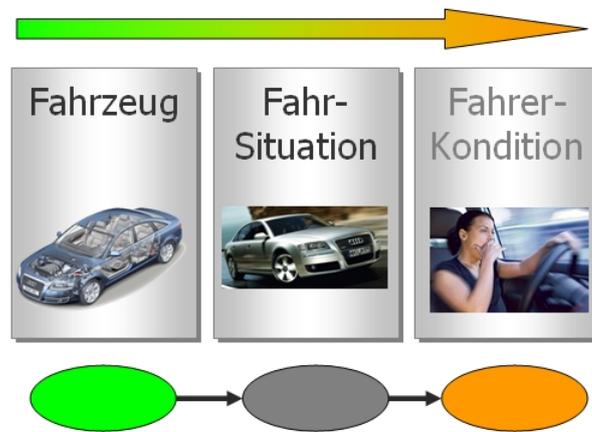


Abbildung 4.10: Modellierungsebenen

Der Aufbau der Struktur des Netzes erfolgt schrittweise über die drei Ebenen Fahrzeug, Situation und Fahrer (siehe Abbildung 4.10). So steht zu Beginn bereits fest, dass es Cluster von Knoten geben wird, die Umweltfaktoren, Fahrmanöver und Bedienhandlungen umfassen. Die Wirkung dieser Gruppen wird in einen zentralen Endknoten münden, der den Aufmerksamkeitsbeanspruchungswert repräsentiert. Da die Struktur des Netzes sowohl Einfluss auf die Wirkungsweisen der Knoten aufeinander, als auch eine qualitative Auskunft über die übergreifende Zusammenhänge gibt, wird festgelegt, dass die Zwischenknoten interpretierbare Zustände darstellen sollen. Das ist vorrangig im Anschluss an die Erstellung der Struktur bei der Festlegung der Übergangswahrscheinlichkeiten von Bedeutung.

Der Modellierung der einzelnen Pfade geht die Überlegung voraus, welche identifizierte, beanspruchende Situation betrachtet werden soll und durch welche Informationen diese repräsentiert wird. Daran anknüpfend wird verglichen, welche Informationen das Fahrzeug zur Verfügung stellt und welche Informationen zur vollständigen Beschreibung fehlen. Da in der Regel keine exakte Situationsbeschreibung möglich ist, muss diese Unschärfe kompensiert werden. Dafür sind Hintergrundinformationen wie Auftretenswahrscheinlichkeit, Fehlerrobustheit oder logische Zusammenhänge heranzuziehen. Für die bleibende Unschärfe gilt es nun, diese als kritisch oder unkritisch für die Aussagekraft eines Knotens zu bewerten.

Um diese Vorgehen zu erläutern soll folgendes Beispiel das Schema darstellen. Dabei wird teilweise auf Einzelheiten der Modellierung und der Systemumsetzung vorgegriffen, welche in den folgenden Abschnitten beschrieben werden.

Erneut wird das Szenario *Nebel* betrachtet. Für eine vollständige und exakte Beschreibung dieses Zustandes sind Informationen zu Temperatur, relative Feuchte bzw. Sättigung der Luft, Kondensationskernen und die Sichtweite des Fahrers notwendig. Darüber hinaus

werden in der Meteorologie noch weitere Einflussfaktoren genannt, die an dieser Stelle jedoch nicht von Bedeutung sind. Das entscheidende Kriterium ist die Sichtweite, die den Fahrer in seiner Umweltwahrnehmung behindert und so die Beanspruchung hervorruft. Von Nebel wird ab einer Sichtweite von 1km gesprochen. Sichtweiten bis 200m bezeichnet man als dichten, starken Nebel und unter 50m als sehr dichten, starken Nebel [MEIS 2004]. Von den angeführten Parametern liefert das Fahrzeug lediglich eine Aussage über die vorherrschende Temperatur. Diese Information stellt sich jedoch für die vorliegende Anwendung als sehr kritisch heraus, da es zu Nebelbildung in einem breiten Temperaturband kommen kann. Es bleiben nur die Informationen über den Status der Nebelbeleuchtungen, welche Rückschluss auf die Sichtweite geben soll. Wie schon im Beispiel für die BN-Berechnung erwähnt, kann der Nebelscheinwerfer nur sehr eingeschränkt für eine Aussage der Sichtweite herangezogen werden. Dennoch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem aktiven Nebelscheinwerfer tatsächlich Nebel vorherrscht. Nach Expertenschätzung beträgt die Wahrscheinlichkeit in diesem Beispiel 6% . Eine aktive Nebelschlussleuchte gilt dagegen als ein stichhaltigeres Indiz für vorherrschenden Nebel. Obwohl die erlaubte bzw. vorgeschriebene Nutzung (je nach Sichtweite und Fahrgeschwindigkeit) international variiert, lässt das Nutzungsverhalten der Nebelschlussleuchte Rückschlüsse auf die Sichtbehinderung zu. Diese Beleuchtungseinrichtung dient in erster Linie dazu, den nachfolgenden Verkehr auf das Ego-Fahrzeug aufmerksam zu machen, da dies durch die vorherrschenden Sichtverhältnisse nicht ausreichend von den Heckleuchten erfüllt wird. Dem entsprechend kann durch die Aktivierung des Fahrers auf seine subjektive Einschätzung geschlossen werden, dass die Sichtweite einen für ihn sicheren Wert unterschritten hat. Auch hier ist allerdings ein Missbrauch durch versehentliche Aktivierung oder vergessener Deaktivierung möglich. Dem entsprechend wird bei einer aktivierten Nebelschlussleuchte auf eine Nebelwahrscheinlichkeit von 79% geschätzt. Da im vorliegenden Beispiel keine Zwangskopplung von Nebelscheinwerfer und Nebelschlussleuchte vorliegt, kann eine versehentliche Aktivierung beider Systeme praktisch ausgeschlossen werden. Entsprechend wird bei einer Kombination der beiden Nebelbeleuchtungen die Nebelwahrscheinlichkeit näherungsweise auf 100% geschätzt.

Diese Abschätzungen stellen die aktuelle Identifikation von Nebel auf Basis von vorhandenen CAN-Daten dar. Um zu entscheiden, ob die vorhandene Unschärfe akzeptabel ist, wird in Anlehnung an eine FMEA⁶ eine Abschätzung von Fehlverhalten und Auswirkungen vorgenommen. Entsprechend der Fehler 1. und 2. Art (falsch-positiv, falsch-negativ) wird hinterfragt, welche Konsequenzen sich bei einer fälschlichen Nebeldetektion bzw. einer Nicht-Erkennung von Nebel ergeben. Durch die Umsetzung der Adaptionstrategien (siehe Abschnitt 4.6.2) wird die Auswirkung des Fehlers 1. Art neutralisiert. Bei einer Nichterkennung von Nebel besteht die Gefahr, dass in mäßig beanspruchenden Fahrsituationen eine Meldung angezeigt wird, welche bei detektiertem Nebel zurückgehalten wird.

⁶Eine FMEA (**F**ailure **M**ode and **E**ffects **A**nalysis) ist eine Methode des Qualitätsmanagements, welche eine Zuverlässigkeit von Produkten (Konstruktion, Hardware, Software), Prozessen und Methoden untersucht.

In diesem Fall wird die vorliegende Unschärfe als akzeptabel erachtet, da der Negativfall lediglich einen Rückfall auf den Status quo der Anzeigestrategie darstellt, jedoch die positiven Effekte einer integrierten Nebelerkennung einen Mehrwert in Aussicht stellen.

Nach dem selben Schema kann die Anwesenheit eines Beifahrers hinterfragt werden. Die Erkennung erfolgt entweder über das belegte Gurtschloss des Beifahrersitzes oder über die Druckmattenerkennung, welche für den sogenannten „seat-belt-reminder“ genutzt wird. Eine falsch-negativ-Erkennung ist praktisch auszuschließen, da dies einen Totalausfall beider Systeme bedeuten würde. Hingegen ist eine fälschliche Detektion eines Beifahrers durch schwere Gegenstände auf dem Beifahrersitz möglich. Diese hätte jedoch zur Folge, dass der besagte „seat-belt-reminder“ eine akustische Warnung ausgibt. Geht man davon aus, dass der Fahrer dies vermeiden möchte, stellt er den Gegenstand entweder zu Boden (keine Erkennung mehr) oder er steckt den Beifahrergurt ins Schloss (weiterhin „Beifahrer erkannt“). Um die Konsequenzen einer Fehlerkennung abzuschätzen, muss der Nutzen der Aussage „*Ein Beifahrer ist im Fahrzeug*“ geprüft werden.

Es zeigt sich bei den Überlegungen keine eindeutige Tendenz bezüglich der Ablenkungswirkung eines Beifahrers. Dieser kann auf Gefahren aufmerksam machen, ein Navigationssystem ersetzen oder durch ein angeregtes Gespräch die Vigilanz des Fahrers aufrecht halten (siehe z.B. [VOLLRATH 2002], [KRÜGER 2009]). Dagegen besteht ebenso gut die Möglichkeit, dass der Beifahrer den Fahrer durch Aktivitäten oder intensive Gespräche von der Fahraufgabe ablenkt (siehe z.B. [BAUMANN 2006], [GRÜNDL 2005]).

Zusätzlich zu diesen divergenten Aussagen über die Anwesenheit von Beifahrern kann nicht festgestellt werden, ob ein Gespräch stattfindet, der Blick des Fahrers zum Beifahrer gerichtet ist o. Ä. Aus diesen Gründen wird auf eine Integration der Beifahrererkennung in die Modellierung des Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes verzichtet.

4.5.2.1 Plausibilisierung relevanter CAN-Daten

Es gilt, aus den mehreren hundert Botschaften, die über die verschiedenen Bussysteme eines Fahrzeugs verfügbar sind, diejenigen herauszufiltern, welche für die gegenwärtige Fragestellung einen Lösungsansatz bieten. In der Tabelle 4.2 werden die Informationen, die schlussendlich als Input der Anfangsknoten des Netzes ausgewählt wurden, dargestellt.

Da bekannt ist, dass Umweltfaktoren kritischer sind als Fahrmanöver, werden Regen, Nebel, etc. kontinuierlich in die Berechnung des ABW einbezogen. Die Fahrdynamik wird erst ab bestimmten Grenzen zum kritischen Faktor. Daher wirken diese Parameter erst ab Überschreiten gewisser Schwellen auf den ABW.

Name des Knotens	CAN-Daten	Gruppen
Local Time	Datum, Stunde, Minute	Lichtverhältnisse
Fernlicht	true / false	Lichtverhältnisse
Nebelscheinwerfer	true / false	Witterung
Nebelschlussleuchte	true / false	Witterung

Wischerhebel	false / Intervall / langsam / schnell	Witterung
Lichtsensord	Beleuchtungsstärke [lx]	Lichtverhältnisse
Regensensord	0 / 42 / ... / 60 [Hübe/min]	Witterung
Temperatur	Temperatur [°C]	Witterung
ESP	true / false	Regelsysteme
ASR	true / false	Regelsysteme
ABS	true / false	Regelsysteme
Notbremsung	true / false	Regelsysteme
Geschwindigkeit	v in [km/h]	Fahrdynamik
Rückwärtsgang	true / false	Fahrdynamik
Lenkradwinkel	Lenkradwinkel δ in [°]	Fahrdynamik
Lenkgeschwindigkeit	$\frac{d\delta}{dt}$ [°/s]	Fahrdynamik
Bremsdruck	Hydraulikdruck [bar]	Fahrdynamik
Querbeschleunigung	a_y in [$\frac{m}{s^2}$]	Fahrdynamik
Gaspedalaktivität	Pedalstellung [%]	Fahrdynamik
Blinker links	false / tippen / rasiert	Situationsänderung
Blinker rechts	false / tippen / rasiert	Situationsänderung
Lenkradbedienung	false / Tasten / Walze	Bedienung
MMI-Bedienung	false / Tasten / Drehdrücksteller	Bedienung

Tabelle 4.2: Relevante CAN-Botschaften

Die folgende Auflistung greift sich die einzelnen Parameter heraus und definiert die jeweiligen Schwellen innerhalb des realistischen Wertebereichs.

LocalTime Unter dem Eingangsknoten *LocalTime* sind die aktuelle Uhrzeit und das Datum zusammengefasst. Diese Information kann mit Kenntnis des ungefähren Standortes zur groben Schätzung der Lichtverhältnisse herangezogen werden. Der Wertebereich wird hier in Jahreszeit und Tageszeit unterteilt. So ergeben sich die Evidenzgrößen „Winter_Morgen“, „Winter_Vormittag“, „Winter_Mittag“, „Winter_Nachmittag“, „Winter_Abend“, „Winter_Nacht“, „Frühling_Morgen“ und so fort.

Die Grundverteilung der Tageszeiten lässt sich anhand der zeitlichen Dauern errechnen. Beispielsweise wird der Zeitraum „Mittag“ als jener definiert, in dem es auf Grund des Sonnenstandes zu keiner frontalen oder seitlichen Blendung im Fahrzeug kommen kann. In der Regel erstreckt sich dieser Zeitraum von ca. 12.00 Uhr und 14.00 Uhr. Demnach lassen sich zwei Stunden bzw. ca. 8,3% des Tages als „Mittag“ festlegen.

„Morgens“ bzw. „abends“ bezeichnet die Dauer des Erscheinens bzw. Verschwindens der Sonne hinter dem Horizont. In Europa dauert der Vorgang ca. vier Minuten. Rechnet man die jeweils angrenzende Dämmerungszeit hinzu, beträgt die Dauer dieser Übergänge der Tag-Nacht-Grenze etwa zwei Stunden oder 8,3%.

Dem „Vormittag“ und dem „Nachmittag“ werden die Phasen des Steigens und Sinkens der Sonne zugeschrieben. Dies geschieht ca. zwischen 8.00 Uhr und 12.00 bzw. 14.00 und

18.00. Dementsprechend entfallen mit jeweils vier Stunden 16,6% auf diese Zeiträume. Die verbleibenden 41,9% werden der Nacht zugeordnet. Auf Grund der beeinträchtigten Sichtverhältnisse wird dieser Tageszeit eine besondere Bedeutung zugeordnet.

Diese Werte gelten für Gebiete in Mitteleuropa und sind grobe Anhaltswerte. Die saisonalen Schwankungen können zu Verschiebungen der Zeiträume und zu Änderungen der Dauern führen. In erster Näherung haben sich diese Anhaltswerte als praktikabel für eine grobe Einschätzung der Lichtverhältnisse erwiesen. In Kombination mit der genauen GPS-Position kann exakt auf den Stand der Sonne gerechnet werden. Da jedoch Informationen aus Navigationsgeräten bzw. GPS-Daten vorerst nicht verwendet werden, wird diese Option nicht weiter verfolgt. Eine exaktere Bestimmung der Lichtverhältnisse liefern die Lichtsensoren, die im Folgenden behandelt werden.

Fernlicht Die Aktivität des Fernlichtes wird als Indikator für Dunkelheit verwendet. Die Nutzung des Aufblendens soll dem Fahrer mangels Umgebungshelligkeit eine erweiterte Vorausschau ermöglichen. Unter diesen Umständen ist grundsätzlich davon auszugehen, dass Dunkelheit ums Fahrzeug herrscht und die Wahrnehmung seitlich zur Fahrbahn befindlicher Objekte beeinträchtigt ist.

Nebelscheinwerfer, Nebelschlussleuchte Die Überlegungen und Zusammenhänge zu den Nebelbeleuchtungen wurden im Abschnitt 4.5.1 anhand eines Modellbeispiels bereits erklärt. An dieser Stelle wird nochmal hervorgehoben, dass die Nebelschlussleuchte den gewichtigen Faktor zur Detektion von Nebel darstellt. Wegen der geringeren Reliabilität des Nebelscheinwerfers fließt dieser mit einer geringeren Gewichtung in das BN ein.

Wischerhebel, Wischergeschwindigkeit Da Regen in Niederschlagsmenge pro Zeit gemessen wird, muss die Ausgangswahrscheinlichkeit von Regen über Wetterstatistiken geschätzt werden. Die Schwankungen der Regentage pro Jahr liegen in Deutschland zwischen 107 Tage in Trier oder Moers und Halle an der Saale mit 266 Tage Regen pro Jahr [NACHRICHTEN 2009]. Der Bundesschnitt liegt bei 138 Regentagen. Über die Jahreszeiten schwanken die Regentage pro Monat zwischen 7 im Juni bzw. Juli und 16 im Februar [DZT 2009]. Auf's Jahr gerechnet ergibt dies eine Regenwahrscheinlichkeit von ca. 38%. Diese Schätzung erweist sich jedoch als nicht brauchbar, da per Definition ein Regentag einer Regenmenge von 0,1 Liter pro Quadratmeter innerhalb von 24 Stunde entspricht. Somit kann bereits ein kurzer Schauer bei Nacht einen meteorologischen Regentag hervorrufen.

Da in den Messstationen nicht die Regenstunden festgehalten werden, soll über die Sonnenstunden und Regenmenge eine weitere Überschlagsrechnung vollzogen werden. Bei 1300 bis 1900 (\varnothing 1550) Sonnenstunden pro Jahr in Deutschland bleiben bei einer Jahresstundenzahl von 8760 noch 7210 potenzielle Regenstunden übrig.

Die durchschnittliche Niederschlagsmenge liegt etwa zwischen 600 und 1000 mm (phy-

sikalisch mm/m^2 , was Liter pro Quadratmeter entspricht)⁷. Mit $0,04\text{ mm}/min$ gilt ein Niederschlag als schwacher Regen, mit $0,29\text{ mm}/min$ als schwerer Regen. Diese Werte werden für die Modellrechnung als Referenzwerte herangezogen.

Folgende Tabelle zeigt die Anhaltswerte, die sich aus der Berechnung $\frac{\text{Niederschlagsmenge}}{\text{Regenintensität}}$ für die Regenstunden ergeben:

Niederschlagsmenge	Regenintensität	
	$0,04\text{ [mm}/min]$	$0,29\text{ [mm}/min]$
600 [mm]	250 [h]	34,48 [h]
1000 [mm]	416,7 [h]	57,5 [h]

Tabelle 4.3: Regenstunden in Deutschland

Die Kombination von $0,04\text{ mm}/min$ Intensität und 1000 mm Niederschlagsmenge würde eine durchschnittliche Regenwahrscheinlichkeit von $4,75\%$ ergeben. Anschaulich lässt sich das mit einem täglichen Regenschauer von $68,5$ Minuten beschreiben.

Da diese Modellrechnung weder Nebel bzw. Schneefall noch andere Faktoren für eine Wischerbetätigung beinhalten, wird der Wert als Untergrenze der Regenwahrscheinlichkeit angesehen.

Je nach Regenintensität lässt sich die Wischergeschwindigkeit in drei Intervallstufen, einen langsamen und einen schnellen Modus einstellen. Die vom Kunden gewählte Wischergeschwindigkeit fließt direkt als Eingangsgröße in das BN ein, da diese die subjektive Sichtbehinderung durch Regen widerspiegelt.

Lichtsensor Die Ergebnisse der Fragebogenstudie zeigen, dass die Lichtverhältnisse einen großen Einfluss auf die subjektiven Bewertungen von Fahrscenarien haben. Um diesen Faktor in das BN zu integrieren, werden die Signale der beiden im Versuchsträger verbauten Lichtsensoren ausgewertet⁸. Ein Sensor erfasst das Licht mit ca. 550 nm Wellenlänge, also im sichtbaren Bereich. Durch die Einbaulage am Spiegelfuß mit Blickrichtung nach vorn, entspricht der gemessene Wert näherungsweise dem Lichtstrom, der auf das Auge des Fahrers fällt. In einem Wertebereich zwischen $0 - 6126\text{ lx}$, mit einer Auflösung von 6 lx , kann die wahrgenommene Umgebungshelligkeit erfasst werden.

Der zweite Sensor misst bei ca. 88 nm Wellenlänge im infraroten Bereich senkrecht nach oben. Der empirisch ermittelte Wertebereich liegt zwischen 0 und 8400 Lux . Durch diese Information kann auf die Einstrahlung der Sonne geschlossen werden. Wird die Sonneneinstrahlung verdeckt (Brückendurchfahrt, Garage, ...) oder ist die Sonne hinter dem Horizont, fällt der Wert auf 0 . In Kombination mit dem ersten Sensor kann so eine bessere Situationseinschätzung getroffen werden.

⁷In den Alpen werden Niederschlagsmengen von über 2000 mm erreicht, da auch Schnee, Reif und Graupel mit einberechnet werden.

⁸Licht- und Regensensor werden in der Probandenstudie aus Kapitel 5 nicht in die Modellierung mit einbezogen.

Die Auflösung des Frontalsensors reicht nicht aus, um eine Blendung genau erkennen zu können. Es wird zwar ein Δ von ca. 370 lx bei einem Aufblenden des entgegenkommenden Fahrzeugs registriert, dies erlaubt jedoch keine Interpretation der Blendwirkung. Bei Dämmerung bzw. Dunkelheit erzeugt ein entgegenkommendes Fahrzeug mit Abblendlicht eine Zunahme des Lichtstromes um ca. 12 lx.

Regensensor In Kombination mit dem Lichtsensor ist im Versuchsträger ein Regensensor verbaut⁸. Das Prinzip des Sensors funktioniert nach den Reflexionsgesetzen. Rund um einen Lichtsensor sind acht Lichtquellen angeordnet, die in bestimmten Frequenzen Licht mit bestimmter Wellenlänge durch die Windschutzscheibe senden. Bei freier Sicht werden diese am Übergang von der Scheibe zur Umgebung zwar gebrochen, aber nicht reflektiert. Benetzen Wassertropfen die Scheibe verändert sich das Verhältnis der Brechzahlen beim Austritt der Windschutzscheibe, sodass Reflexionen durch den Sensor aufgenommen werden. Anhand der Menge der Reflexionen kann die Menge der Wassertropfen und in weiterer Folge die Regenintensität bestimmt werden.

Die Auswertelogik des Sensors steuert die automatische Wischereinstellung. Dementsprechend sind die verwertbaren CAN-Daten die ausgeführten Hübe des Wischers pro Minute. Folgende Werte können angenommen werden: 0, 42, 48, 50, 52, 54, 58, 60 Hübe/Minute. Die empirische Überprüfung der Wischgeschwindigkeiten ergibt für leichten Regen eine Hubfrequenz von 42 bis 50 Hübe/Minute. Eine höhere Hubfrequenz deutet auf starken Regen hin.

Temperatur Die Temperatur hat vorrangig Einfluss auf die Haftgrenzen der Reifen auf der Straße. Hier werden drei Temperaturbereiche definiert, die den Einflüssen und Auswirkungen auf das subjektive Fahrerempfinden entsprechen. Unkritisch ist der „warme“ Bereich über 7°C. Der Bereich zwischen 7°C und 1°C („lau“) gilt als Übergangsphase. Hier kann die Haftung herkömmlicher Sommerreifen bereits abnehmen. In diesem Temperaturbereich können auch Schnee- und Matschverhältnisse vorherrschen, welche die Fahrdynamik beträchtlich beeinflussen. Deshalb sollen Temperaturen in diesem Bereich einen Einfluss auf das BN haben. Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts stellen eine Verschärfung der „lauen“ Temperaturen dar. So werden die Einflüsse des Temperaturbereichs „kalt“ gewichtiger in das Modell des ABW eingerechnet.

ESP, ASR, ABS, Notbremsung Die entsprechenden Assistenzsysteme melden Regelingriffe über den CAN an weitere Steuergeräte. Solche Ereignisse werden im BN so verwertet, dass eine fahrdynamisch kritische Situation vorausgeht. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, soll der ABW nach oben gesetzt werden, um so eine gewisse „Erholphase“ für den Fahrer zu erzeugen, in der er keine unnötigen Meldungen bekommt.

Geschwindigkeit Der Stillstand ist der sicherste Zustand, in dem das Fahrzeug eine Meldung an den Fahrer senden kann. Deshalb wird dieser Wert als so genannter Master auf das Netz wirken, indem der ABW bei Stillstand zwangsläufig auf ein Minimum ge-

setzt wird. Beispielsweise werden so Blinkersignale oder Bremsaktivität „überstimmt“. Die einzige Ausnahme stellt der Rückwärtsgang dar.

Rückwärtsgang Sobald das Einlegen des Rückwärtsganges erkannt wird, wird der ABW auf das korrespondierende Level gehoben. Bei der Rückwärtsfahrt ist die Aufmerksamkeit des Fahrers noch mehr gefordert als bei der Vorwärtsfahrt. Hier soll auch im Stillstand vermieden werden, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers durch eine Meldung von der Fahrzeugumgebung abgezogen wird. Der Orientierung und dem sicheren Manövrieren wird höchste Priorität beigemessen.

Lenkradwinkel Zwei Überlegungen liegen dem Einfluss der Lenkradstellung im BN zu Grunde. Zum Einen ist der Lenkradwinkel entscheidend für die Querführung des Fahrzeugs. Mit der Lenkgetriebeuntersetzung i_L wird der Lenkeinschlag des Fahrers auf die Räder übertragen. Ab einem gewissen Lenkeinschlag bedeutet dies einen entsprechenden Kurvenradius und in weiterer Folge eine gewisse Aufmerksamkeitsleistung des Fahrers. Zum Zweiten beginnt der Fahrer ab einem gewissen Lenkwinkel sein primäres Anzeigemedium für Fahrzeuginformationen mit den Speichen des Lenkrades zu verdecken. Die Erfahrungen aus der Fragebogenbefragung zeigen, dass dieser Wert als relevant gilt. Deshalb wird für die Grundparametrierung des BN ein Grenzwert von 30° festgelegt. Ab diesem Wert beginnen die Armspeichen des Lenkrades das Kombidisplay zu verdecken.

Lenkgeschwindigkeit Die Geschwindigkeit, mit der gelenkt wird, kann als Indikator für die Brisanz der Fahrerreaktion verwendet werden. So konnten Vorversuche zeigen, dass bei Geradeausfahrt auf Autobahn und Landstraße Lenkwinkelgeschwindigkeiten bis ca. $20^\circ/\text{s}$ vorkommen. Bei provozierten Ausweichmanövern kommen Werte bis über $200^\circ/\text{s}$ vor. In niedrigen Geschwindigkeitsbereichen, besonders beim Rangieren, treten Maximalwerte bis über $400^\circ/\text{s}$ auf. Mit diesen Vorkenntnissen wird der Grenzwert in der ersten Parametrierung auf $40^\circ/\text{s}$ festgelegt. Diese Schwelle berücksichtigt sowohl Ausweichmanöver als auch ruckartige Korrekturbewegungen, die bei voraus gehender Unachtsamkeit für die Spurführung notwendig sind.

Bremsdruck Der Festlegung eines Grenzwertes für die Verzögerung gehen folgende Überlegungen voraus. Es wird angenommen, dass jeder Mensch seine individuelle Grenze für ein angenehmes und unkritisches Abbremsen hat. Muss der Fahrer stärker auf das Pedal treten, passiert dies als Reaktion auf ein plötzliches Hindernis oder durch einen vorherigen Einschätzungsfehler. In beiden Fällen ist ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeit vom Fahrer gefordert, da eventuelle weitere Reaktionshandlungen etc. folgen könnten. In der Literatur wird diese Kooperations- oder Komfortschwelle mit $1,5 \frac{m}{s^2}$ angegeben (nach Ehmanns zitiert aus [FREYER 2008]).

Da im Versuchsfahrzeug nur der Bremsdruck, nicht aber die tatsächliche Verzögerung als CAN-Information verfügbar ist, bedient man sich der Überschlagsformel, die besagt, dass die Verzögerung ca. einem Zehntel des Bremsdruckes entspricht: $a_y \approx \frac{p_B}{10}$.

Basierend auf einer Experteneinschätzung wurde die vorläufige Schwelle auf $p_B = 30\text{bar}$, also $a_y \approx 3\frac{m}{s^2}$ festgelegt.

Querbeschleunigung Ähnlich wie beim Bremsdruck wird bei der Querbeschleunigung mit einem individuellen Grenzwert gerechnet. Diese Schwelle beschreibt die Querbeschleunigung, bei der der Körper des Fahrers mit entsprechender Kraft zentrifugal belastet wird, ab dem er subjektiv das Gefühl eines angenehmen und entspannten Fahrens verliert. Anzeichen dieser Schwelle können die unangenehme Abstützkraft an den Sitzwangen oder ein bewusstes Abstützen bzw. Abstemmen des Fußes an der Fußstütze im Pedalraum sein. Dieser Schwellenwert ist sehr abhängig von der Form der Fahrzeugsitze, dem Sitzmaterial (Stoff, Leder) und der aus der Schäumung resultierenden Einsinktiefen des Fahrers. Dem entsprechend sind die Anhaltswerte spezifisch für das benutzte Versuchsfahrzeug. Eine Literatursichtung stellt jedoch klar, dass die Größenordnungen als allgemeine Anhaltswerte genutzt werden können. Beispielsweise werden in [NEUMERKEL 2002] für die unterschiedlichen Fahrertypen „ruhig“, „mittel“ und „dynamisch“ die durchschnittlichen Querkraften in Kurven zwischen $0,1g$ und $0,5g$ ($g = 9,81\frac{m}{s^2}$) angegeben. In [ALBRECHT 2005] werden Querbeschleunigungen von $2,48\frac{m}{s^2}$ als charakteristische Größen der betrachteten Stichprobe erwähnt. Nach [WEISS 1988] treten bei normalen Fahrern Querbeschleunigungen bis maximal $6\frac{m}{s^2}$ auf. Bei Spurwechseln treten je nach Fahrstil Werte der Querbeschleunigung zwischen $0,7$ bis $2,1\frac{m}{s^2}$ auf [SCHIMMELPFENNIG 1985].

In Anlehnung an diese Erkenntnisse wird die Schwelle für die Querbeschleunigung auf $2,5\frac{m}{s^2}$ gesetzt.

Gaspedalaktivität Die Gaspedalaktivität wird in Form einer Prozentzahl des betätigten Pedalweges erfasst. Dieser Wert wird für das Erkennen einer hohen bis maximalen Leistungsanforderung des Motors genutzt. Solche so genannten „Kick down“-Situationen kommen vor allem bei Überholmanövern oder dynamisch anspruchsvollen Situationen vor. Generell ist davon auszugehen, dass der Fahrer in all diesen Situationen nicht von eingehenden Meldungen abgelenkt werden will. Wegen der hohen Motorleistung des Versuchsträgers wird als spezifischer Grenzwert eine 80%-Gaspedalstellung definiert.

Blinker Der Blinker stellt für den Fahrer das Medium dar, mit dem er die Absicht einer Richtungsänderung anzeigt. Dies trifft auf Ab- und Einbiegevorgänge, Spurwechsel, Überholmanöver und Haltevorgänge zu.

In [FREYER 2008] wird von einer Blinkerbetätigung bei Spurwechseln auf der Autobahn von 92% berichtet. Da sich diese Quote jedoch deutlich von Studien (ADAC) mit einer Blinkerbetätigung von 65% unterscheidet, wird dahinter ein Versuchsleitereffekt vermutet. Durch die Anwesenheit des Versuchsleiters wird das natürliche Verhalten des Probanden verfälscht, da dieser eine übereifrige Verhaltensweise zeigt.

Die Ergebnisse einer Versuchsreihe zeigen, dass bei 92% des Spurwechsels die Blinkerbetätigung bis 1,5 Sekunden vor Beginn des Spurwechsels durchgeführt werden. Die durchschnittliche Dauer eines Spurwechsels beziffert Freyer mit 1,82 Sekunden. Dem entspre-

chend kann abgeleitet werden, dass nach Setzen des Blinkers der gesamte Spurwechsellvorgang nach ca. 3,3 Sekunden abgeschlossen ist.

Bei Überholvorgängen ist der zeitliche Verlauf schwieriger zu erfassen. Laut Straßenverkehrsordnung darf nur derjenige überholen, der mit wesentlich höherer Geschwindigkeit als der zu Überholende fährt [STVO 2008]. Die Differenzgeschwindigkeit (v_{rel}) der beiden Fahrzeuge kann jedoch erheblich schwanken. Weitere Einflussfaktoren sind das Beschleunigungsvermögen (a_x) des Fahrzeugs, ein eventueller Schaltvorgang ($s_{Schalten}$), die jeweiligen Fahrzeuglängen (l_F für das Egofahrzeug und l_{VF} für das vorausfahrende Fahrzeug) und die gewählten Trajektorien für das Aus- und Einscheren (s_1, s_3). In [KRETSCHMER 2006] wird die Überholdauer $t_{\ddot{u}}$ folgendermaßen bestimmt:

$$t_{\ddot{u}} = \frac{-v_{rel} + \sqrt{v_{rel}^2 + 2a_x(s_1 + s_3 + l_F + l_{VF} + s_{Schalten})}}{a_x}.$$

Da sich in dieser Abschätzung sowohl der individuelle Fahrstil des Fahrers als auch Unsicherheiten bezüglich des überholten Fahrzeugs befinden, kann diese nicht für die gewünschte Anwendung herangezogen werden.

Ein Überholvorgang kann als doppelter Spurwechsel mit einer dazwischen liegenden Geradeausfahrt angesehen werden. Die Modellierung der Spurwechseltrajektorie kann über das Kreisbogenverfahren, eine doppelte Scheitelklothoide, einer schrägen Sinuslinie oder Polynomansätze erfolgen [FREYER 2008]. Allen Modellen sowie auch der real durchfahrenen Trajektorie liegen ein entsprechendes Lenkmanöver, eine daraus resultierende Querbeseleunigung und idealerweise eine Blinkerbetätigung zu Grunde. Die Kombination der jeweiligen Größen kann eine Repräsentation des Verlaufs eines Überholvorganges darstellen und entsprechende Wirkung in dem BN zeigen.

Bei Ein- oder Abbiegevorgängen gilt das Blinkersignal ebenfalls als Hauptindikator dieses Manövers. Begleitet wird dies in der Regel mit Bremsaktivität und Lenkverhalten.

Zusammenfassend stellt das Blinkersignal eines der wichtigsten Signale für die Berechnung des ABW dar. Der Großteil der fahrdynamisch anspruchsvollen und relevanten Situationen werden durch ein Setzen des Blinkers angezeigt.

Lenkradbedienung Da die Hände am Lenkrad bleiben und keine komplexe Hand-Arm-Auge-Koordination bei störenden Fahrzeuganregungen notwendig ist, wird der Lenkradbedienung die geringste Ablenkungswirkung im Auto zugeschrieben. Die Bedienlogik im Versuchsfahrzeug sieht vor, dass mit den Elementen am Lenkrad nur Inhalte im Kombi-Display manipuliert werden. Da sich diese Anzeige in etwa auf der Sagittalebene des Fahrers befindet, ergeben sich minimale Blickabwendungen beim Lesen oder Bedienen der Anzeige. Der Anspruch an das Workloadmanagement wird deshalb so formuliert, dass es während einer Lenkradbedienung nicht zu einer Meldungsanzeige kommen darf, die nicht unmittelbar mit der Bedienung zusammenhängt.

MMI-Bedienung Die Studie von Blaschke et. al. hat gezeigt, dass für diese Anwendung die Ablenkungswirkung der MMI-Bedienung unabhängig vom Menükontext betrachtet werden kann (siehe 2.3 auf Seite 43 bzw. [BLASCHKE 2008a]). Dennoch sind unterschiedliche Gewichtungen bei den Bedienhandlungen sinnvoll. Hierbei stützen sich die Überlegungen auf die betätigten Bedienelemente. Durch den Menüaufbau des Systems ist davon auszugehen, dass es bei Suchvorgängen in Listen o. Ä. zu einer Betätigung des Dreh-Drückstellers kommt. Dadurch wird der Cursor durch die Listen navigiert. Einer Auswahl in einer Liste geht voraus, dass zuerst das Zielelement gefunden werden muss, um danach die Differenz von Cursor zum Zielelement zu eliminieren. Diese Folgeaufgabe beansprucht kognitive Ressourcen, wodurch der Bedienung des Dreh-Drückstellers ein entsprechendes Gewicht in der Aufmerksamkeitsmodellierung zugeschrieben werden muss. Im Vergleich dazu ist die Bedienung der Tasten einfacher, da lediglich die Funktion der Taste erkannt werden muss und diese eindimensional betätigt wird.

Abgesehen davon bleibt das grundsätzliche Problem (auch bei der Lenkradbedienung), dass alle diese Informationen so genannte „post-trigger“ darstellen. Das bedeutet, dass erst bei einer Betätigung die Information über eine Bedienhandlung vorliegt. Ein beträchtlicher Anteil der Ablenkungswirkung liegt jedoch in der vorausgegangenen Orientierungs- und Suchphase, in der der Fahrer das Display analysiert und seine nächsten Aktionen plant. Da für eine prädiktive Bedienerkennung keine Sensorik (Annäherungssensor, Driver monitoring, etc.) verfügbar ist, muss man sich in dieser Modellierung mit der Erfassung einer laufenden Bedienung begnügen.

4.5.2.2 Implementierung des Bayes'schen Netzes

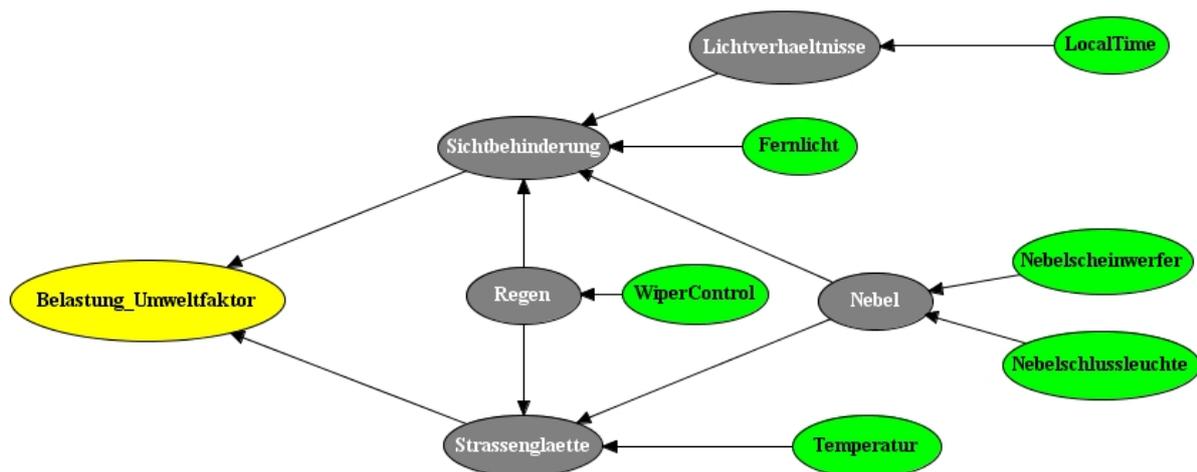


Abbildung 4.11: Beispielhafte Modellierung der Sichtbehinderung

Zur Visualisierung des Modellaufbaus wird in Abbildung 4.11 ein Ausschnitt (Untergraph) eines möglichen BN dargestellt. Die Ausgangsgröße in Form des Knotens *Belastung-Umwelt* wird bestimmt durch die Eingangsgrößen *LocalTime*, *Fernlicht*, *Nebelbe-*

leuchtung und Wischeraktivität. Da die Eingangsknoten ihre Werte von den Steuergeräten erhalten, fließen diese als Evidenzen in das Netz ein. Dieses a priori Wissen legt den Grundstein für die Berechnung im Netz.

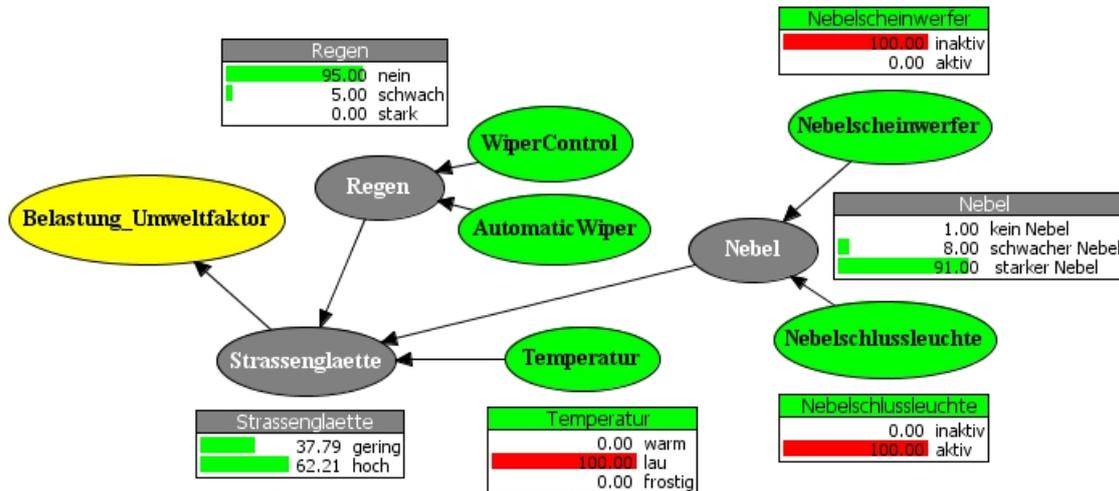


Abbildung 4.12: Modellierung der Straßenglätte

Abbildung 4.12 zeigt exemplarisch den Pfad des Netzes, der zum Knoten *Straßenglätte* führt. In den Rahmen sind die Zustände der jeweiligen Knoten dargestellt. Diese erscheinen rot, wenn es sich um Evidenzen handelt und grün, wenn sich die Werte aus Inferenzwahrscheinlichkeiten errechnen. In dem gegebenen Beispiel liegen die Wahrscheinlichkeitswerte für keinen Nebel bei 1%, schwachen Nebel bei 8% und für starken Nebel bei 91%.

Das a priori Wissen der Knoten *WiperControl* und *AutomaticWiper* liefert eine 95%ige Wahrscheinlichkeit für keinen Regen bzw. eine 5%ige Wahrscheinlichkeit für schwachen Regen. Unter der Annahme, dass die Temperatur zwischen 7°C und 1°C liegt, ergibt sich die Evidenz „lau“. Über die entsprechende Wahrscheinlichkeitstabelle (siehe Abbildung 4.15) ergeben diese drei Elternknoten eine Wahrscheinlichkeit von 37,79% für geringe bzw. 62,21% für erhöhte Straßenglätte.

Das gezeigte Beispiel stellt das Prinzip der Netzkonstruktion mit Graphenstruktur und Inferenzwahrscheinlichkeiten dar. Das Ergebnis der Modellierung der relevanten CAN-Daten ist in Abbildung 4.13 dargestellt. Die grünen Knoten stellen die Eingangsgrößen dar. Diese bilden die Vorfahren der grauen Zustandsknoten, die interpretierbare Szenarien darstellen. Gemäß der Zielsetzung repräsentieren die Zustandsknoten die gelb gekennzeichneten Beanspruchungsknoten, die ihrerseits den orangen Knoten für den ABW als Nachfolger haben.

Es ist erkennbar, dass in dieser ersten Stufe der Modellierung CAN-Daten außerhalb des Serienumfangs von Fahrzeugen nicht berücksichtigt sind. Darunter fallen Licht- und Regensensor sowie Bedienungen über das MMI und das Multifunktionslenkrad.

Nach der Festlegung der Netzstruktur erfolgt die Füllung der Wahrscheinlichkeitstabellen zur Quantifizierung der Abhängigkeiten.

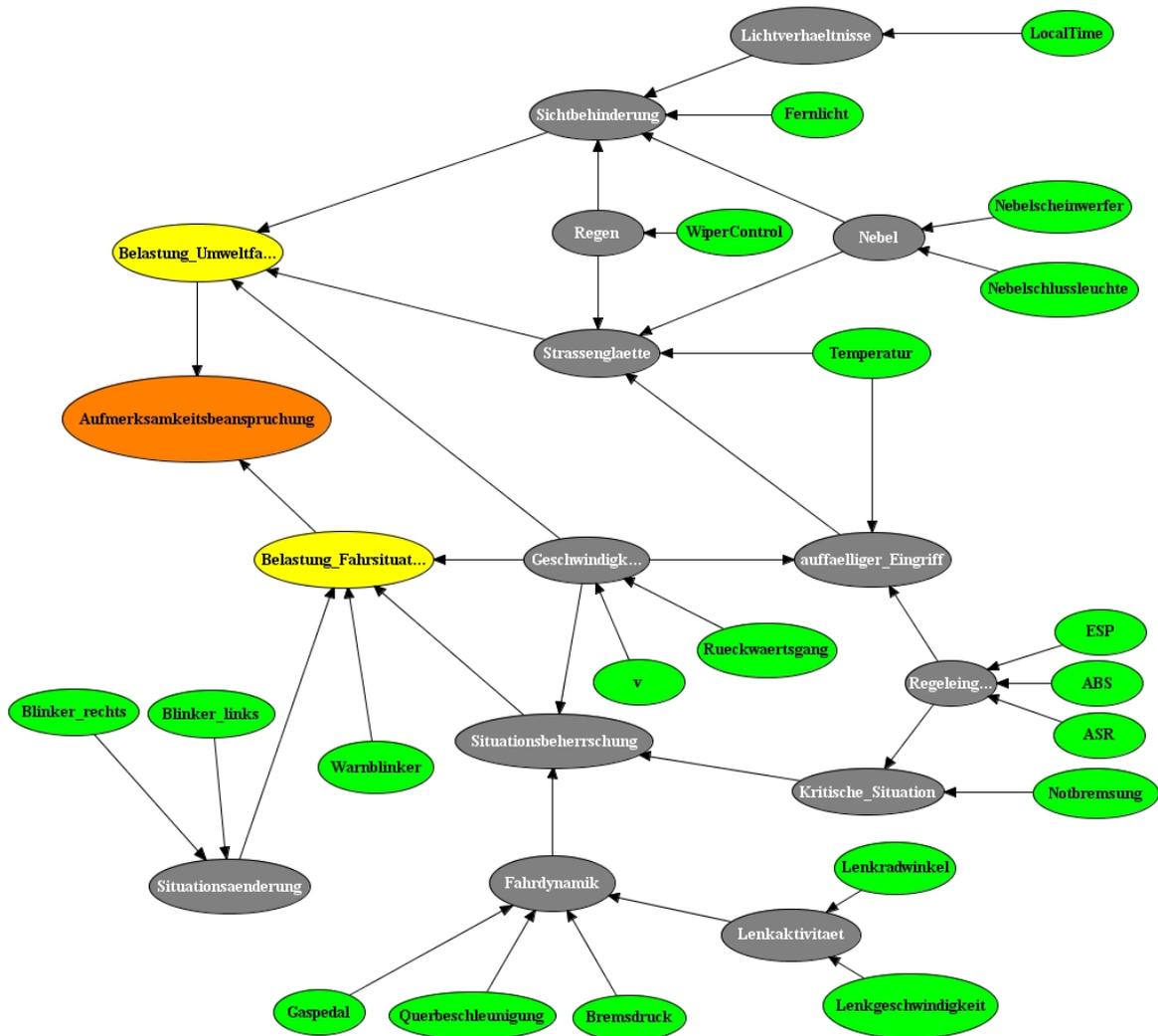


Abbildung 4.13: Modellierung des Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes

4.5.2.3 Zuordnung der bedingten Wahrscheinlichkeiten

Die Bestimmung der Inferenzwahrscheinlichkeiten bei Knoten ohne direkten kausalen Zusammenhang erfolgt unter der Anwendung der Sigmoid-Funktion. Diese ist definiert durch die Formel:

$$\text{sig}(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}}$$

Sie zeichnet sich durch einen S-förmigen Verlauf aus, der sich asymptotisch den Werten 0 und 1 annähert. Die Sigmoidfunktion findet häufig Anwendung bei wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden. Für die vorliegende Arbeit bietet sich die Nutzung der Sigmoidfunktion an, da über den stetigen Verlauf der Wahrscheinlichkeiten der Wahrheitsgehalt einer Annahme abgeschätzt werden kann.

Für die Füllung der Wahrscheinlichkeitstabellen erfolgt je Knoten V_i eine kombinatorische Aufstellung der möglichen Zustände Z_i der Elternknoten $pa(V_i)$. Hierzu werden die einzelnen Zustände mit Wichtungen w_j versehen, die auf den Wahrheitsgrad der Aussage

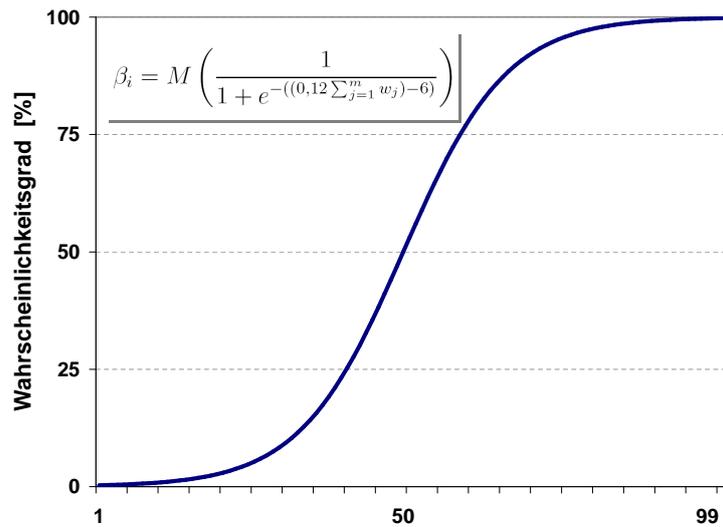


Abbildung 4.14: Angepasste Gewichtungsfunktion

des Kinderknotens Einfluss hat. Für die Bestimmung der Auswirkung einer bestimmten Kombination der Elternknoten $pa(V_i)$ werden die jeweiligen Gewichte zum Wert $\sum_{j=1}^m w_j$ summiert.

Bei einer Sigmoid-Funktion liegt der nutzbare Wertebereich bei $t=-6\dots6$. Für eine praktikable Anwendung wird der Exponent folgendermaßen angepasst $t = 0,12 \sum_{j=1}^m w_j - 6$, sodass der Wertebereich der relevanten Wichtungparameter w_i der Raum der natürlichen Zahlen \mathbb{N} ist und der Startpunkt der Funktion in den Ursprung verschoben wird⁹. Der Faktor 0,12 definiert die Steigung der Funktion und ist so gewählt, dass bei einer Wichtungssumme von 50 der Wendepunkt bei 50% zu liegen kommt¹⁰. Für eine Skalierung der Funktion wird noch der Faktor M eingeführt, der den Maximalwert der Sigmoidfunktion beschreibt, in vorliegendem Fall 100% (siehe Abbildung 4.14). Es ergibt sich demnach für die Füllung der Wahrscheinlichkeitstabelle mit den einzelnen Werten β_i folgende Formel:

$$\beta_i = M \left(\frac{1}{1 + e^{-((0,12 \sum_{j=1}^m w_j) - 6)}} \right)$$

Als Stellschraube für die Modellgüte bleiben die Gewichtungsfaktoren w_j . Diese sollen so gewählt werden, dass das Modellverhalten dem subjektiven Empfinden des durchschnittlichen Autofahrers entspricht. Als Trainingsdatensatz werden die Ergebnisse der Fragebogenstudie benutzt. Die Nachbildung der Szenarien mit dem BN soll im Endknoten hinreichend genau den Werten der Studie entsprechen. Das Trainieren eines Netzes kann sowohl manuell als auch automatisiert erfolgen. Das automatisierte Trainieren des

⁹Die Tatsache, dass sowohl der Wert 0 als auch 1 nie erreicht wird, ist für die praktische Anwendung irrelevant. Da bei nichtkausalen Ursachen-Wirkungs-Zusammenhängen von Knoten stets Unsicherheiten vorkommen, spielen beide Extremwerte keine praktische Rolle.

¹⁰Damit erhält man einen näherungsweise punktsymmetrischen Verlauf mit dem Symmetriezentrum (50,50). Eine mögliche Wichtungssumme über 100 liegt zwar außerhalb des dargestellten Verlaufs, kann jedoch vernachlässigt und näherungsweise auf die theoretischen 100% gerundet werden.

BN ist mit mathematischen Algorithmen (Expectation-Maximisation-Algorithmus, Gradientenverfahren etc.) möglich. Diese Verfahren erzielen über mehrere Iterationen eine optimale Übereinstimmung von Eingangs- und Ausgangsknoten. Dabei werden die Werte der Zwischenknoten auf dieses Verhältnis angepasst. Allerdings wird hierbei nicht mehr auf die semantische Sinnhaftigkeit der Zwischenknoten geachtet. Da jedoch in diesem BN die Zwischenknoten klar beschriebene Zustände darstellen, dürfen diese nur sinnvolle Zustände einnehmen. Um nun auch bei solchen mathematischen Verfahren innerhalb des sinnvollen Wertebereichs zu bleiben, müssen Bedingungen geschaffen werden. Je mehr solcher Bedingungen definiert sind, desto besser können die Zwischenknoten abgebildet werden. Mit diesem Vorgehen nähert man sich jedoch wieder dem Expertenverfahren an, bei dem das Matching manuell erarbeitet wird. Aus dieser Überlegung leitet sich ab, dass analog zur Erstellung der Netzstruktur die Parametrierung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion durch Experteneinschätzung manuell vorgenommen wird. Diese Vorgehensweise wird speziell bei praktischen Fragestellungen angewendet [AL HAMES 2008]. Auch in [SCHROVEN 2008] wird empfohlen, in solchen Anwendungsfällen im Sinne von kausalen Netzen auf ein automatisiertes Lernen des Netzes zu verzichten. Dadurch wird die Weiterentwicklung und Veränderung der Parameter ermöglicht.

Der Vorgang des manuellen Lernens erfolgt, bis zum Aneignen eines gewissen Systemverständnisses, nach dem heuristischen „Trial and error“-Verfahren. Dabei werden schrittweise verschiedene Varianten ausprobiert, bis sich ein gewünschtes Ergebnis einstellt.

Gemäß dem Aufbau der Netzstruktur können in den ersten Übergängen von den Eingangsknoten zu ihren Nachfolgern die Wahrscheinlichkeiten vorwiegend kausal begründet und festgelegt werden. So muss die Parametrierung gewisser physikalischer Zustände nur einmal vorgenommen werden und beim Pflegen des Netzes kann die erste Ebene vernachlässigt werden.

Bei den weiteren Übergängen erfolgt die Gewichtung nach den interpretierbaren Zuständen der Zwischenknoten. Letztendlich erfolgt die Grundparametrierung der Wahrscheinlichkeiten des Endknotens, basierend auf den Auswirkungen von Umweltfaktoren und fahrdynamischen Zuständen (vgl. Abbildung 4.13 auf Seite 104).

Nach der Festlegung der ersten Einzelparmetrierung wird das Verhalten des gesamten Netzwerkes untersucht. Hierzu werden sukzessiv die Szenarien aus dem Fragebogen über die Beanspruchungswirkung nachgebildet und das Ergebnis mit dem modellierten ABW verglichen. Bei Abweichungen vom Zielwert wird der Pfad der einzelnen Zwischenwerte zum Endknoten untersucht und die entsprechenden Gewichte nachjustiert.

Aus diesem Konzept ergibt sich eine Modularität des Netzes, die unabhängig von der Modellierung der nächsten Knoten erfolgt. Kommen neue Informationen hinzu (weitere Sensorik), muss lediglich der Übergang dieser Information zu den betroffenen Knoten aktualisiert werden. Alle weiteren Pfade bleiben unberührt, da sich nur die Aussagekraft über das Vorherrschen einer Situation, nicht aber die Auswirkung dieser Situation auf den Fahrer geändert hat.

Das Ergebnis der Parametrierung ist in Abbildung 4.16 dargestellt (ohne Bedienszenari-

Strassenglaette

Regen	nein									schwach	
Nebel	kein Nebel			schwacher Nebel			starker Nebel			kein Nebel	
Temperatur	warm	lau	frostig	warm	lau	frostig	warm	lau	frostig	warm	lau
aerina	0.9943	0.9834	0.8429	0.9072	0.7685	0.2315	0.6177	0.3543	0.0474	0.9468	0.8581
hoch	0.0057	0.0166	0.1571	0.0928	0.2315	0.7685	0.3823	0.6457	0.9526	0.0532	0.1419

Regen	schwach						stark				
Nebel	kein Ne	schwacher Nebel			starker Nebel			kein Nebel			schwach
Temperatur	frostig	warm	lau	frostig	warm	lau	frostig	warm	lau	frostig	warm
aerina	0.3543	0.5	0.2535	0.0299	0.1419	0.0532	0.0051	0.7465	0.5	0.0832	0.1419
hoch	0.6457	0.5	0.7465	0.9701	0.8581	0.9468	0.9949	0.2535	0.5	0.9168	0.8581

Regen	stark				
Nebel	schwacher Nebel		starker Nebel		
Temperatur	lau	frostig	warm	lau	frostig
aerina	0.0532	0.0051	0.0266	0.0092	0.0008
hoch	0.9468	0.9949	0.9734	0.9908	0.9992

Abbildung 4.15: Wahrscheinlichkeitstabelle des Knotens Straßenglätte

en). Die schwarzen Quadrate an der hellen Linie stellen die Zielwerte aus dem Fragebogen dar. Die weißen Quadrate stellen die modellierten Aufmerksamkeitsbeanspruchungswerte aus dem Bayes'schen Netz dar. Der farblich codierte Hintergrund soll den Beanspruchungsgrad der Situationen darstellen, von grün für entspannt bis rot für sehr aufmerksamkeitsfordernd. Auffallend ist die deutliche Abweichung von Soll- und Ist-Wert bei Situation 3.2. Diese Diskrepanz kommt daher, dass in dieser Ausführung des Systems keine Informationen über die Position des Fahrzeugs vorliegen. Dem entsprechend kann der Unterschied der Situationen innerorts (3.1) und außerorts (3.2) nicht genau genug modelliert werden. In diesem Fall weist das System ein „fail-safe“-Verhalten auf, da es für den Fahrer sicherer ist, den ABW höher zu halten und damit vor Meldungen zu schützen als fälschlicherweise auf eine Informationsfilterung wegen eines zu gering Wertes zu verzichten.

Ansonsten weist das Modell eine hinreichende Genauigkeit auf. Bis auf zwei, für die erste Parametrierung akzeptable Ausnahmen (3.1: Abbiegen innerorts, Δ ABW=6,17; 3.6: Spurwechsel, Δ ABW=7,31) befinden sich die Werte innerhalb der zulässige Abweichung von $\pm 5\%$.

Diese Version des Netzes wird herangezogen, um die Funktionalität in einem Versuchsfahrzeug im Realverkehr testen zu können. Den Aufbau des Versuchsträgers sowie die Implementierung der notwendigen Software wird im Abschnitt 5.1 beschrieben.

4.6 Umsetzung der zeitlich-situativen Informationsfilterung

4.6.1 Filterstrategien

Mit der Modellierung der Aufmerksamkeitsbeanspruchung ist die Basis gelegt, eine fahrerorientierte Filterung von Informationen im Fahrzeug zu gestalten. Diese Anpassung des Informationsflusses kann auf unterschiedliche Art und Weise durchgeführt werden. Im

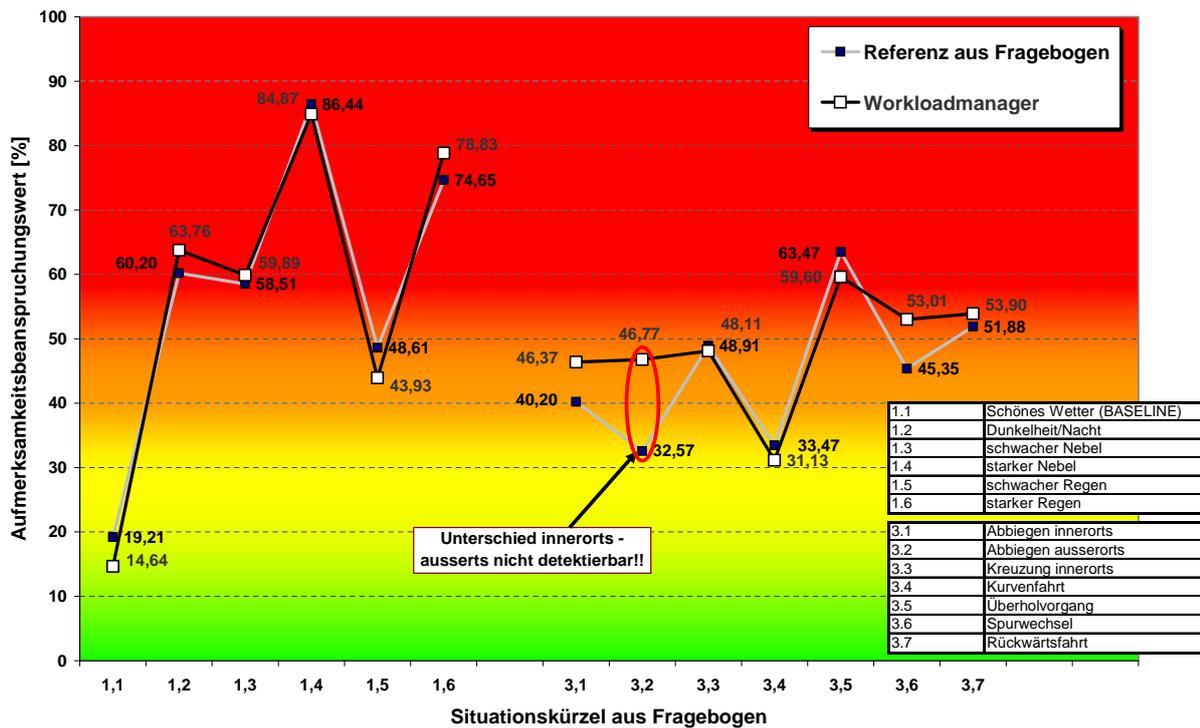


Abbildung 4.16: Analyse des Systemverhaltens

Folgenden werden die verschiedenen Ansätze dargestellt und auf den potenziellen Nutzen eingegangen.

Informationen zeitlich zurückhalten Das Konzept des impliziten Workloadmanagements ist darauf ausgelegt, den Fahrer in beanspruchenden Situationen vor unpassenden Meldungen zu bewahren. Der naheliegende Ansatz, die Meldungen zurückzuhalten und später nachzureichen, wurde bereits in der Simulatoruntersuchung (siehe Kapitel 3) als gangbarer Weg mit positiven Effekten dargestellt.

Die zeitliche Verzögerung der Ausgabe von Meldungen richtet sich in der einfachsten Ausprägung nach einem Schwellenklassifikator. Vor der Durchstellung einer Meldung zum Fahrer wird das aktuelle Niveau des ABW analysiert und betrachtet, ob gewisse Schwellen überschritten worden sind. Ist dies der Fall, wird überprüft, ob die aktuelle Meldung einer Prioritätsklasse über oder unter der höchsten überschrittenen Schwelle angehört. Daraus leitet sich die Anzeigestrategie ab, nämlich ob die Meldung angezeigt wird oder ob sie in eine so genannte Reevaluierungsschleife kommt.

Diese Reevaluierungsschleife ist ein Queue, in dem die Meldung „zwischengespeichert“ wird und bspw. nach Ablauf einer gewissen Zeit oder nach Eintreten bestimmter Events die Abfrageroutine nach Aktualität der Meldung und ABW-Niveau erneut durchgeführt wird. Meldungen werden dem Fahrer nur dann angezeigt, wenn der Klassifikator entscheidet, dass diese Meldung mit ihrer individuellen Priorität in der gerade vorherrschenden Situation für den Fahrer oder die Fahrzeugführung wichtig genug ist.

Die Definition der Meldungskategorien sowie der Schwellenwerte kann auf unterschiedlichste Art und Weise geschehen. In dieser Arbeit erfolgt die Einteilung der Meldungen nach [SIMMENDINGER 2006] in vier Klassen von aufsteigender Priorität: *Komforthinweis*, *Systemhinweis*, *Sicherheitshinweis* und *Gefahrenhinweis*.

Komforthinweise sollen dem Fahrer allgemeine, teilweise fahrbetriebunabhängige Informationen bereitstellen, die keinen Grund zur Beunruhigung erzeugen sollen und, falls fahrzeugbezogen, demnächst eine Handlung nach sich ziehen (Waschwasser nachfüllen, Servicemaßnahmen, etc.). Die Kategorie *Systemhinweise* umfasst Meldungen, welche informativen Charakter haben und deren erforderliche Handlung innerhalb einer kurzen Zeitspanne, aber nicht notwendigerweise sofort oder schnellstmöglich erfolgen müssen (Lampe defekt, Kraftstoff nachfüllen, etc.). *Sicherheitshinweise* informieren den Fahrer über Zustände, welche nicht unmittelbar Lebensgefahr bedeuten, es jedoch zu einer schnellstmöglichen Gegenmaßnahme kommen sollte, da es zu einer Beeinträchtigung der vollen Funktionsfähigkeit des Fahrzeugs kommen kann (Kühlmittelstand niedrig, mäßiger Reifendruckverlust, etc.). Bei *Gefahrenhinweisen* handelt es sich um sicherheitskritische Informationen, die eine unmittelbare Handlung seitens des Fahrers bedürfen. Bei Ausbleiben einer entsprechenden, unverzüglichen Reaktion muss mit einer unmittelbaren Gefahr für Personen oder eine ernsthafte Beschädigung von Objekten gerechnet werden (Störung Bremsanlage, Störung Lenkung, etc.).

Sonderausgaben, die nicht in diese Kategorien fallen, werden in dieser Arbeit nicht behandelt. Hierunter fallen bspw. der Gurtwarner oder die akustische Rückmeldung des Blinkersignals.

Diese Kategorisierung zeigt auf, dass eine stringente Ausgabe von Meldungen zum Zeitpunkt bester Verarbeitbarkeit nicht umgesetzt werden kann (siehe Ende Abschnitt 4.6.2). Sollte die Ursache einer Meldungsauslösung bzw. die möglichen Folgen dermaßen schwerwiegend sein, muss die Information unverzüglich dem Fahrer bereitgestellt werden. Somit entfällt die Anwendung einer Filterstrategie für die Prioritätsstufe *Gefahrenhinweis*.

Um die geeigneten drei Schwellen für die übrigen Klassen zu bestimmen, ist eine Analyse des Systemverhaltens während der Fahrt notwendig. Eine grobe Abschätzung kann statisch, über die Konstruktion definierter Szenarien im BN und Abgleich mit dem ABW, erfolgen. Entscheidend sind aber der Verlauf bzw. die Häufung bestimmter ABW-Niveaus und die Überlegung, ob in diesen Situationen eine Ausgabe der jeweiligen Meldungskategorie angemessen ist. An dieser Stelle sei auf Abschnitt 5.1.3 verwiesen, in dem die Schwellenwerte anhand durchgeführter Testfahrten definiert werden.

Weitere Parameter der Informationsfilterung sind die Reevaluierungszeiten und die Ausgabenfolge. Der Zeitpunkt, an dem eine bereits zurückgestellte Meldung erneut dem Fahrer dargestellt werden soll, ist in einfachster Weise als feste Verzögerungsdauer zu definieren. Demnach wird nach x Sekunden die Abfrage nach ABW und Aktualität der Meldung neu durchgeführt, welche eine Anzeige oder eine weitere Zurückstellung der Meldung zur Folge hat.

Alternativ ließe sich auch ein event-basiertes Reevaluierungsschema realisieren. Basierend

auf der Überlegung, dass die Meldung erst nach Unterschreitung der korrespondierenden Schwelle angezeigt werden soll, kann der Zeitpunkt des absteigenden Schwellenübertritts als Auslösung der Reevaluierung genutzt werden.

Ein gewisses Risiko beider Varianten besteht darin, dass die Unterschreitung der Schwelle zu zeitnah nach einer Zurückstellung erfolgt, sodass der Fahrer keine „Verschnaufpause“ nach einer beanspruchenden Situation hat. Mit einer Anpassung der beiden Strategien kann dieser Fall abgedeckt werden. Das bedeutet, dass eine Reevaluierung erst dann stattfindet, wenn entweder die Verzögerungsdauer abgelaufen ist oder die korrespondierende Schwelle unterschritten wird und ein Sicherheitsfaktor von bspw. zwei Sekunden zur vorhergehenden, beanspruchenden Situation erfüllt ist.

Die selbe Strategie soll bei einer Ausgabenfolge mehrerer Meldungen erfolgen. Die Ausgabe kann seriell, also direkt aufeinander folgend, oder sequentiell, mit entsprechender Zeitlücke dazwischen, realisiert werden. Durch den Umstand, dass eine Meldung unweigerlich die Aufmerksamkeit des Fahrers ins Fahrzeuginnere lenkt, sollte die sequentielle Ausgabe bevorzugt werden. Damit wird dem Fahrer ausreichend Zeit gegeben, sich ein entsprechendes Bild der Fahrsituation zu machen und der Erfüllung der Fahraufgabe nachzukommen, ehe er die nächste Meldung erhält.

Die Werte für die Reevaluierungsdauer und die Sequenzpause werden nach empirischen Versuchen auf acht Sekunden festgelegt.

Parallele Ausgabe von Meldungen Obwohl die Wahrscheinlichkeit einer Kollision zweier Meldungen bereits als sehr gering eingestuft wurde (siehe Abschnitt 4.1), lässt sich so ein Fall nicht gänzlich ausschließen. Ohne eine Prioritätensteuerung kann es theoretisch zu einer parallelen Ausgabe von Meldungen kommen. Aus zwei Gesichtspunkten ist eine solche simultane Ausgabe von Meldungen als kritisch zu betrachten. Einerseits entsteht ein Problem der Anzeige bei gleichen Modalitäten der Meldung. Eine gleichzeitige Anzeige in einem Display erscheint weder sinnvoll noch mit den Rahmenbedingungen der Bildschirmgröße realisierbar. Zum Zweiten ist von einer kognitiven Überreizung des Fahrers auszugehen, wenn er zwei gleichzeitige Meldungen erkennen, verarbeiten und interpretieren muss. Der Mensch stößt voraussichtlich an die Grenzen der Informationsverarbeitung (siehe Abschnitt 1.1.3).

Wie schon mit dem Begriff des POC umschrieben, ließe sich so eine Interferenz nur bei unterschiedlichen Modalitäten der Meldungen vermeiden. Falls dies nicht der Fall ist, könnte man einen Modalitätenwechsel der Meldungen vornehmen. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass durch die unterschiedliche Anzeigestrategie die Erkennung oder auch der Wiedererkennungswert der Meldung nicht negativ beeinflusst wird. Dieser Ansatz wird hier nicht weiterverfolgt, da die Kernfragen der Untersuchung auf das bestehende Anzeigekonzept ausgerichtet sind.

4.6.2 Adaptionstrategie

Die bisherige Filterstrategie enthält den Nachteil, dass Meldungen niedriger Priorität bei anhaltend hohem ABW permanent zurückgehalten werden und es zu keiner Anzei-

Meldung Bezeichnung Priorität	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Bremse	Bremsfl.	Reifendrucke	Ölstand	Zündschloss	Abblendlicht	ESP	Tanken	Waschwasser	Batterie
Prio4 Anzahl Evaluierungen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Wartezeit [ms]	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	7500	10500	10500
Prio3 Anzahl Evaluierungen	0	0	0	0	0	5	1	5	7	5
Wartezeit [ms]	2500	2500	2500	2500	2500	10500	7500	10500	10500	10500
Prio2 Anzahl Evaluierungen	0	0	2	4	7	8	7	10	7	7
Wartezeit [ms]	2500	2500	7500	7500	10500	10500	10500	10500	10500	10500
Zeit bis Prio1 [ms]	0	0	15000	30000	73500	136500	81000	141000	252000	178500

Abbildung 4.17: Parameterliste der Prioritätenanpassung

ge kommt. So wäre bspw. die Anzeige einer Tankwarnung bei nächtlicher Stadtfahrt mit häufigen Kreuzungssituationen in strömendem Regen derzeit ausgeschlossen.

Vorweg erfolgt die Festlegung, dass die Berechnung des ABW unangetastet bleibt. Es bestünde die Möglichkeit, den ABW zu manipulieren, sodass dieser die gesetzten Schwellen unterschreitet und die Meldung angezeigt wird. Das widerspricht jedoch der Grundidee, die benötigte Aufmerksamkeit des Fahrers so genau wie möglich zu erfassen und darauf aufbauend den Informationsfluss zu steuern.

Zum Eingang des Abschnittes 4.2 wurde der Zusammenhang von Wichtigkeit und Dringlichkeit bereits als Merkmal für eine Meldungspriorität erwähnt. Die hier beschriebenen Adaptionsstrategien tragen dieser Überlegung Rechnung. Es werden zwei Möglichkeiten vorgestellt, wie der Konflikt zwischen hohem ABW und zunehmender Dringlichkeit der Meldung gelöst werden kann.

4.6.2.1 Dynamisierung der Prioritäten

Ausgehend davon, dass sich die Priorität einer Meldung aus der Wichtigkeit und der Dringlichkeit ergibt, ist die naheliegende Herangehensweise an das Problem eine dynamische Anpassung der Priorität. Diese spiegelt eine Zunahme der Dringlichkeit auf Grund der zeitlichen Komponente wider.

Für jede Meldung wird individuell festgelegt, in welcher Form die Dringlichkeit und somit die Priorität ansteigt. Der gewählte Ansatz sieht vor, dass über die Anzahl der Reevaluierungen die Dynamisierung gesteuert wird. Wurde also eine Meldung bereits n -mal zurückgestellt, verschärft sich die Priorität um eine Stufe. Abbildung 4.18 zeigt das prinzipielle, vereinfachte Flussdiagramm der Adaptionsstrategie.

Jede Meldung wird nach ihrer Erzeugung auf seine Priorität überprüft und anschließend mit dem aktuellen ABW abgeglichen. Liegt eine Prio1-Meldung vor oder der ABW liegt unterhalb der individuellen Schwelle b wird die Meldung angezeigt. Bei einem ABW-Niveau über der Schwelle b wird die bisherige Anzahl an Rückstellungen der Meldung analysiert. Ist die vorgegebene Reevaluierungszahl d erreicht, wird die Priorität um eine Stufe „erhöht“¹¹. Andernfalls wird die Meldung unverändert in die Queue weitergeleitet. Hier erfolgt die Verwaltung der Meldung für die individuelle Rückstellzeit e .

Nachfolgend ist die beispielhafte Umsetzung dieser Adaptionsstrategie dargestellt. Abbildung 4.17 zeigt die Festlegung der Parameter für eine Informationsfilterung mit dy-

¹¹Im allgemeinen Sprachgebrauch wird die Prioritätsstufe 1 als höchste angesehen. Korrekterweise müsste sich demnach die Prioritätsstufe 2, 3, und 4 um eins *verringern*, um an Bedeutung zu gewinnen.

namisierten Prioritäten. Die Tabelle umfasst zehn exemplarische Meldungen aus allen Prioritätsstufen. Jeder Meldung ist zusätzlich zur Ausgangspriorität (vglb. mit Wichtigkeit) eine Anzahl an Reevaluierungen vorgegeben, bis diese in die nächste Prioritätsstufe wechselt (Zunahme der Dringlichkeit). Ebenso sind die Rückstellzeiten für die jeweilige Meldung angegeben.

In diesem Beispiel ist von einem gleichbleibenden ABW von 56% auszugehen. Die Schwellenwerte der einzelnen Prioritätsstufen liegen bei 47% für Prio 2, 30% für Prio 3 und 20% bei Prioritätsstufe 4. Die letzte Zeile der Tabelle gibt nun an, ab welchem Zeitpunkt die jeweilige Meldung den Status „Prio 1“ erreicht und somit angezeigt wird.

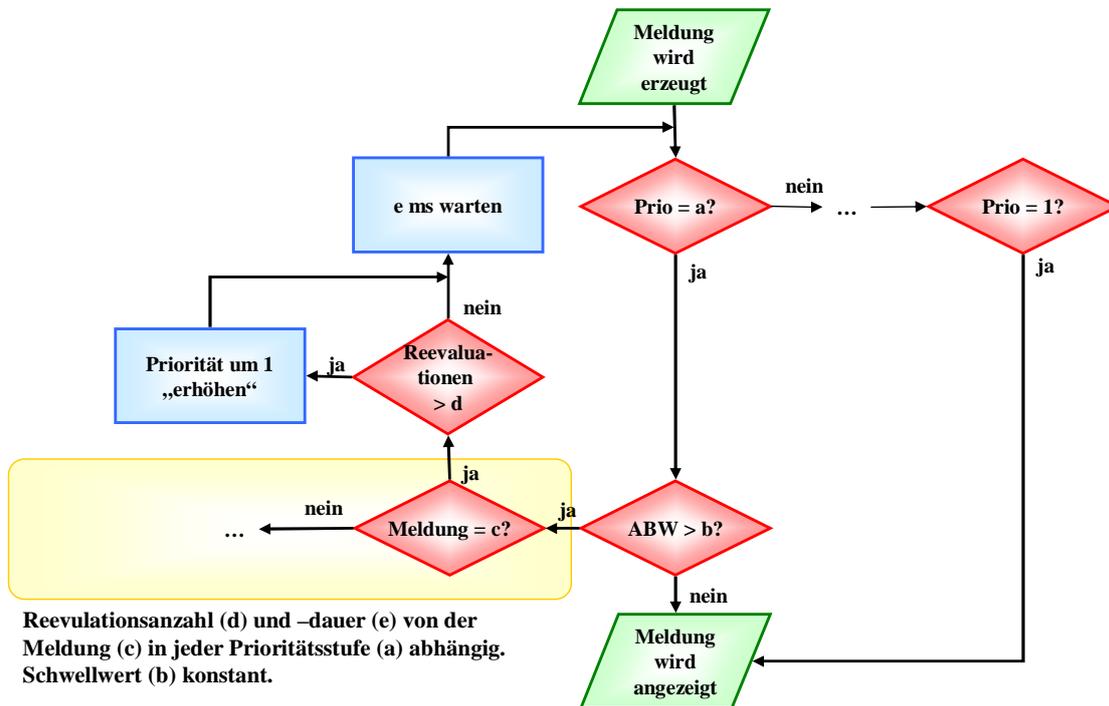


Abbildung 4.18: Flussdiagramm der Adaptionstrategie „Dynamisierung der Prioritäten“

Die Implementierung in Form von Java-Code dieser Adaptionstrategie für Meldungen der Prioritätsstufe 3 ist in Anhang D zu sehen. Die Funktionalität der Adaptionstrategie ist in Abbildung 4.19 dargestellt. Im Sinne der Übersichtlichkeit sind darin nur sechs der zehn Beispielnachrichten abgebildet. Für alle Meldungen ist am Sprung der Kurve erkennbar, zu welcher Zeit diese in die nächste Prioritätenstufe wechseln. So vergehen beispielsweise bei der Meldung 9 („Bitte Waschwasser nachfüllen“) 252000ms (= 4,2min), bis die Prioritätsstufe 1 erreicht wird.

4.6.2.2 Dynamisierte Skalierung der Schwellen

Die zweite Adaptionstrategie basiert auf der Annahme, dass sich der Fahrer bei gleichbleibender Beanspruchung an die Fahrsituation gewöhnt. Solche Gewöhnungseffekte, sensori-

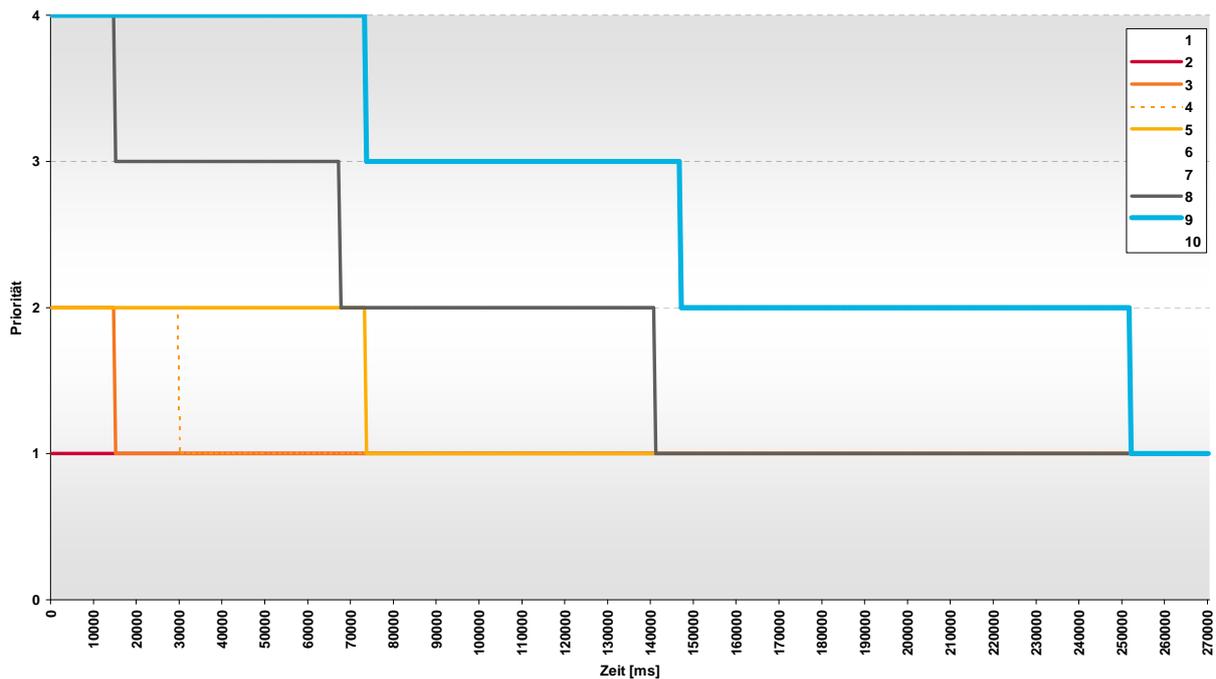


Abbildung 4.19: *Dynamische Priorisierung*

sche Adaptionen oder Habituationen¹² sind als Anpassungsreaktionen in beanspruchenden Szenarien bekannt. In weiterer Folge ist jedoch bei anhaltender Beanspruchung von einer Ermüdung auszugehen (siehe bspw. [HERING 1999]). Ungeachtet dessen, in welcher Form bei erschwerten Bedingungen ein Gewöhnungseffekt eintritt, soll hier die Möglichkeit dargestellt werden, das System darauf abzustimmen.

Um Nachrichten nicht unnötig lange hinauszuzögern, verfolgt diese Strategie den Ansatz, die Schwellen für die einzelnen Prioritätsstufen anzupassen d.h. hochzusetzen. Die dargestellte Variante stellt hierfür entsprechende Parameter zur Verfügung. In Abbildung 4.20 werden erneut exemplarische Schwellen für die Prioritäten 1, 2, 3 und 4 auf die Wert 100%, 47%, 30% und 20% festgelegt. Diese stellen die Startwerte für jede erzeugte Meldung dar. Der Parameter „oberer Grenzwert“ gibt an, wie weit die jeweilige Schwelle nach oben angepasst werden kann und die „Steigung“ entspricht der Skalierungsgeschwindigkeit, mit der sich die Schwelle anpasst.

Priorität	1	2	3	4	
Schwellwert [%]	100	47	30	20	
oberer Grenzwert [%]	100	80	60	50	Gewohnheitsanpassung bei konstantem ABW
Steigung [%/s]	0	0,5	0,25	0,125	
Zeit bis bis Prio1 erreicht [s]	0	66	120	240	

Abbildung 4.20: *Parameterliste der Schwellenskalierung*

Folgendes Beispiel erläutert die Funktionalität. Wird eine Meldung der Priorität 2 norma-

¹²Unter Habituationen versteht man in der Verhaltensforschung die Gewöhnung an wiederholende und sich als unbedeutend erweisende Reize, in Folge dessen sich die Reaktionen auf diese Reize abschwächen. Dieser Vorgang wird auch erlernte Verhaltensunterdrückung genannt [LEXIKON 2009].

lerweise bei 47% ABW geblockt, so soll sie nach obiger Parametrierung nach einer Minute gleichbleibender Belastung nur noch bei einem ABW von 60% geblockt werden. Lag der ABW also zwischen 47% und 60% veranlasst diese Schwellwertanpassung das Anzeigen der Meldung. Da der Schwellwert bis zu einer stärkeren Veränderung des ABW konstant bis zu einem Grenzwert ansteigt, kommen jetzt alle Meldungen mit Priorität 2 sofort durch. Eine Veränderung des ABW über eine Toleranz hinaus soll jedoch die Schwellwertanpassung zurücksetzen und von Neuem beginnen lassen. Abbildung 4.21 zeigt das vereinfachte Flussdiagramm dieser Adaptionstrategie.

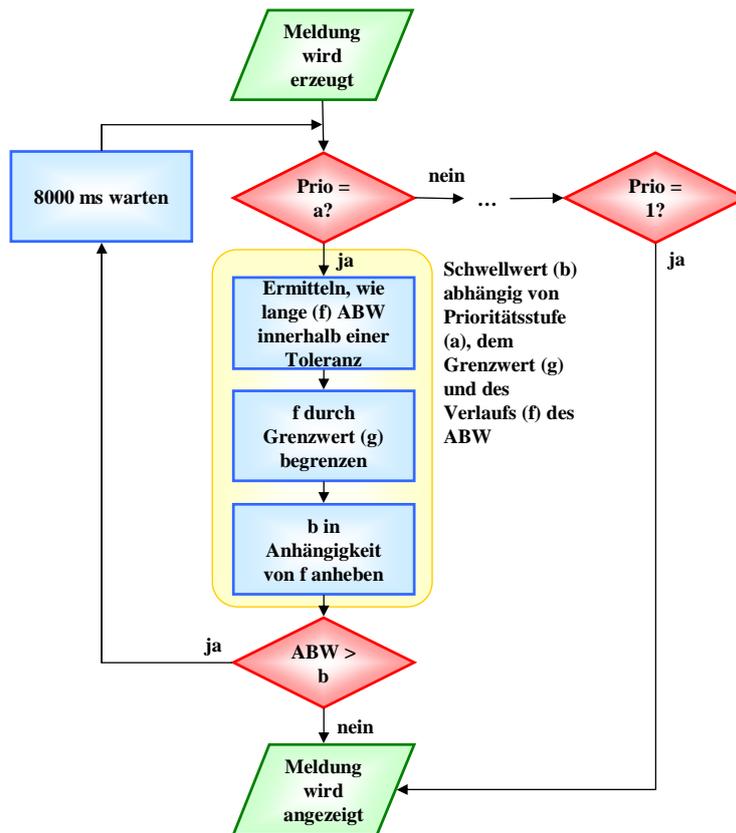
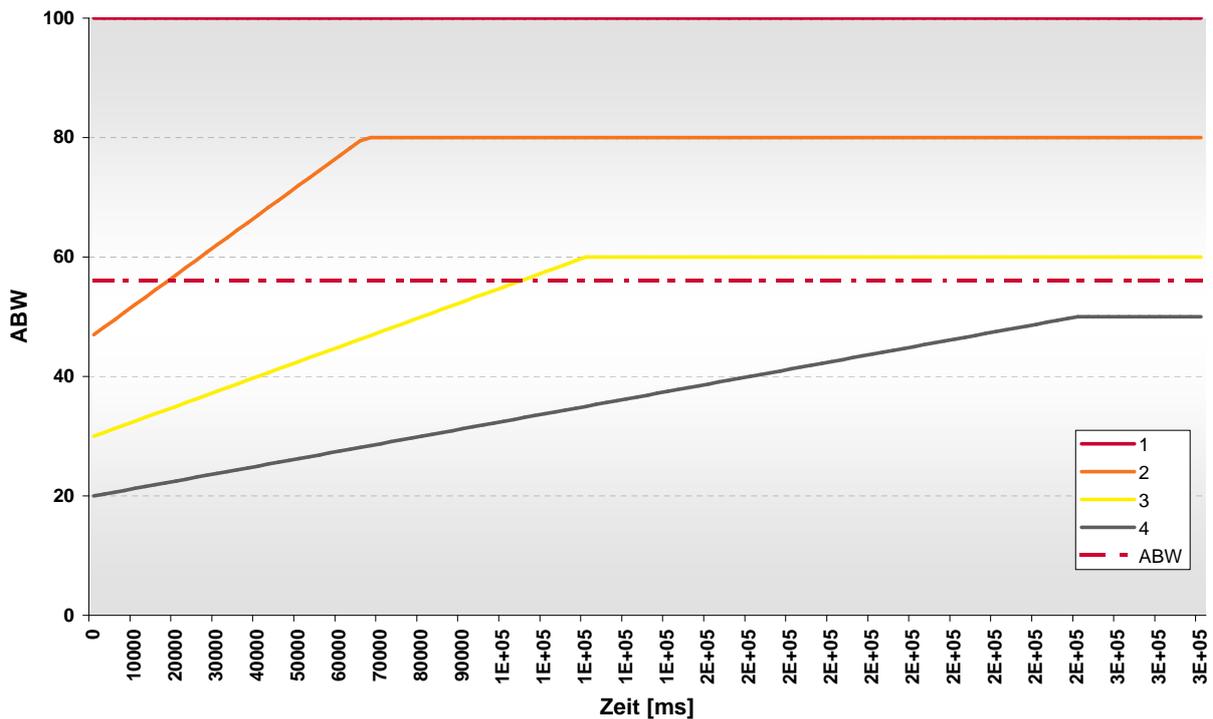


Abbildung 4.21: Flussdiagramm der Adaptionstrategie „Dynamische Skalierung der Schwellen“

Die Realisierung dieser Adaptionstrategie ist in Abbildung 4.22 auf der nächsten Seite zu sehen. Dabei entsprechen die Graphen eins bis vier den gleichnamigen Prioritäten. Die Schwellen der Prioritäten „bewegen“ sich entsprechend der definierten Steigung von ihrem Anfangswert bis zum oberen Grenzwert. Dem Prinzip entsprechend, wird eine Prio-3-Meldung, nachdem ihre Schwellenfunktion das ABW-Niveau überschritten hat, nach $104000ms (= 1,73min)$ angezeigt.

Die Herausforderung besteht darin, den geeigneten Zeitraum zu finden, nach dem sich der Fahrer der Situation angepasst hat jedoch bevor sich Ermüdungserscheinungen, so genannte Vigilanzbeeinträchtigungen, einstellen. Diese Fragestellung könnte als Ausgangspunkt weiterführender Studien dienen.

Abbildung 4.22: *Dynamisierte Schwellenskalierung*

4.6.2.3 Kombinierte Adaptionstrategie

Die zwei vorgestellten Lösungsvarianten der Adaption behandeln unterschiedliche Problemstellungen. Durch die Dynamisierung der Prioritäten wird eine Anzeige von Meldungen mit geringer Wichtigkeit und zunehmender Dringlichkeit bei hohem, schwankendem ABW-Niveau erreicht. Mit der dynamisierten Skalierung der Schwellen kann eine Anpassung an eine gleichbleibend hohe Aufmerksamkeitsbeanspruchung durchgeführt werden und der Informationsfluss frühzeitiger wieder aufgenommen werden.

Die dritte Variante stellt die Kombination der beiden ersten dar. Demnach passen sich bei anhaltend hohem ABW die Schwellen an und die zurückgehaltenen Meldungen nehmen über den zeitlichen Verlauf an Dringlichkeit zu. Der Ablauf im vereinfachten Flussdiagramm ist in Abbildung 4.23 auf der nächsten Seite zu sehen.

Die Auswirkungen auf die einzelnen Beispielmeldungen sind in Abbildung 4.24 zu sehen. Im Sinne der Übersichtlichkeit sind nur fünf der zehn Meldungen dargestellt. Sobald der Graph einer Meldung den ABW-Wert überschreitet, wird diese angezeigt. Am Beispiel der Schwelle der Meldung 9 ist das gesamte Spektrum der kombinierten Adaptionstrategie zu erkennen. Der Graph steigt im Sinne der Schwellenskalierung mit entsprechender Steigung an. Ungeachtet dessen erfolgen in diesem Zeitraum Reevaluierungen der Meldung. Da die Anzahl der Rückstellungen den ersten Grenzwert erreicht haben, wird die Meldung bei ca. $73500ms (= 1,22min)$ auf Priorität 3 gestuft. Da diese Priorität nicht ausreicht, um bei dem gegebenen ABW von 56% angezeigt zu werden, und der ABW sich nicht verändert, erfolgt eine Skalierung der Schwelle mit der Steigung der Prio-3-Meldungen. Der Zeitpunkt des Überschreitens des ABW-Niveaus liegt bei $105000ms (= 1,75min)$ und

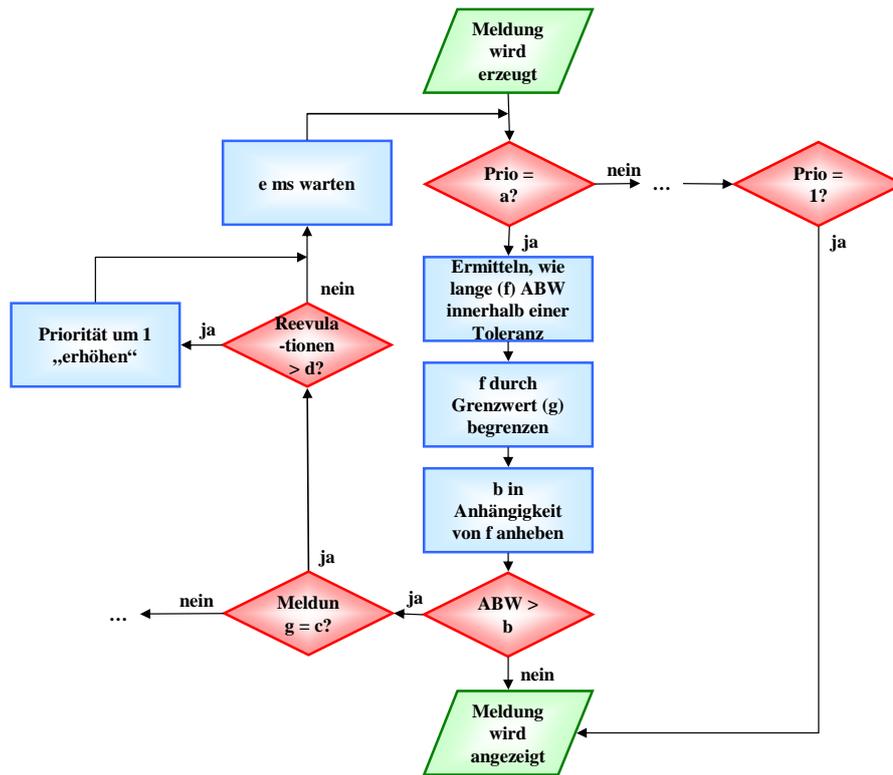


Abbildung 4.23: Flussdiagramm der „Kombinierte Adaptionsstrategie“

entspricht dem Anzeigzeitpunkt der Meldung.

Mit der Möglichkeit der Parametrierung ist es möglich, für jede Meldung einen Zeitpunkt nach der Erzeugung zu definieren, an dem die Meldung spätestens zum Fahrer weitergeleitet werden muss. Eine Festlegung dieser Maximalverzögerungen liegt außerhalb dieser Arbeit. Dies muss von Bauteil- und Systemexperten vorgenommen werden, die mit den Randbedingungen der einzelnen Meldungen vertraut sind und somit die möglichen Auswirkungen abschätzen können. Teilweise kann dies sogar produkthaftungsrelevante Folgen haben. Diese drei Adaptionsstrategien bilden das Werkzeug, mit dem eine entsprechende Anzeigestrategie realisiert werden kann.

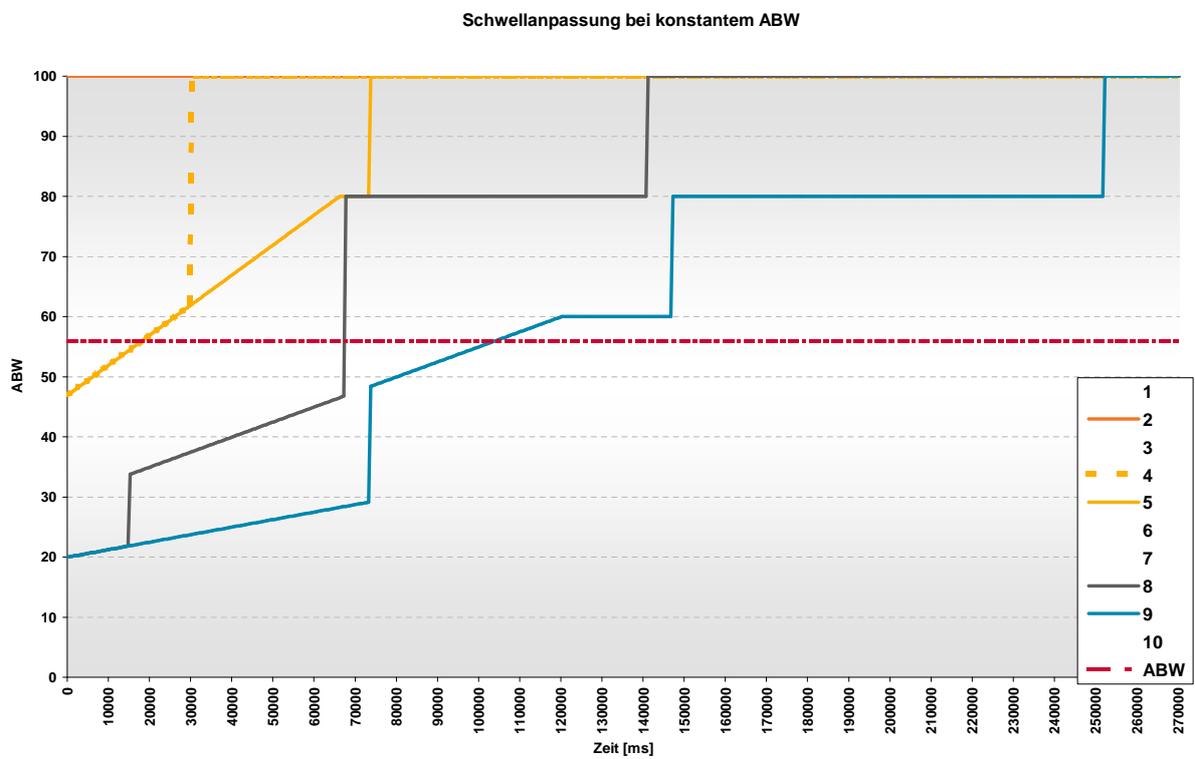


Abbildung 4.24: Kombinierte Adaptionsstrategie

Kapitel 5

Technische Umsetzung und Systemvalidierung

5.1 Technische Umsetzung

Mit den theoretischen Grundlagen und dem Modell der Aufmerksamkeitsbeanspruchung soll das Konzept des impliziten Workloadmanagements im Straßenverkehr erprobt werden. Die Basis hierfür stellt ein Versuchsträger mit der integrierten Logik des Bayes'schen Netzes, einer autarken Meldungsauslösung und mehreren Auswerteanzeigen dar.

5.1.1 Versuchsträger

Als Versuchsfahrzeug steht ein Audi S5 4,2 quattro zu Verfügung. Die Leistungsdaten werden vom Hersteller mit 260 kW bei 7000 $\frac{1}{min}$ und 440 Nm bei 3500 $\frac{1}{min}$ angegeben. Das Fahrzeug verfügt über ein vollsynchronisiertes 6-Gang Handschaltgetriebe mit permanentem Allradantrieb. Für einen pflegeleichten Umgang mit dem Fahrzeug, im Besonderen bei Umbauarbeiten, ist das Interieur in schwarz ausgeführt. Das Infotainment verfügt über ein 7-Zoll-Farbdisplay (MMI-Display) im Zentrum der Instrumententafel, dessen Inhalte über die an der Mittelkonsole platzierten Bedienelemente (multimedia-interface MMI) manipuliert werden. Des Weiteren ist im Kombiinstrument ein 5-Zoll-Farbdisplay verbaut, welches die Inhalte des Bordcomputers als auch Teilumfänge des Infotainments darstellt. Die Bedienung erfolgt über die lenkradfesten Walzen und Tasten sowie über eine Wippe und eine Taste am rechten Lenkstockhebel.

Für die Arbeit relevant sind darüber hinaus Sonderausstattungen wie ein Parkassistent, Licht- und Regensensor und ein Navigationssystem.

Für die Realisierung der geplanten Funktionalität sind mehrere Hardwarekomponenten notwendig. Kernstück ist ein CarPC (Microspace MPXCX47) mit aktiv gekühltem Prozessor. Dieser wird in der Reserveradmulde des Versuchsfahrzeugs verbaut, sodass oberflächlich keine Veränderungen des Fahrzeugs sichtbar sind. Die Displays im Kombiinstrument und in der Instrumententafel werden für eine individuelle Ansteuerung über ihre VGA-Eingänge mit dem CarPC verbunden. Um alternative Akustiken testen zu können, wird ein zusätzlicher Lautsprecher hinter dem Kombiinstrument positioniert. Die Ansteuerung erfolgt über den CarPC und ermöglicht das Abspielen herkömmlicher wav-Dateien.

Im Handschuhkasten ist eine Schalterleiste verbaut, worüber die Ansteuerung der einzelnen Displays erfolgt. Bei Übersteuerung des MMI-Displays werden auch die Bedienteile in der Mittelkonsole von ihrer eigentlichen Funktion entbunden, um darüber Bedienungen in der Workloadmanager-Funktionalität zu ermöglichen. Ebenfalls befindet sich der Schalter für die Stromversorgung und der PC-Hauptschalter in dieser Schalterleiste, die außerhalb des Sichtfeldes positioniert ist. Des Weiteren befinden sich in dieser Leiste die LAN-Anschlüsse, über die man via Laptop sich mit dem CarPC verbinden kann.

Zur Sicherstellung der Mobilität des Fahrzeugs wird eine zusätzliche Batterie ins Fahrzeug verbaut. Die Aufladung erfolgt über die Lichtmaschine, nach Abstellen der Zündung wird sie jedoch galvanisch vom Fahrzeugnetz getrennt. So wird beim Auftreten von Ruheströmen nur die Zusatzbatterie geleert und das Fahrzeug bleibt trotzdem lauffähig.

Zum Auslesen der CAN-Botschaften wird eine so genannte CAN-Spinne der Firma BFFT verbaut. Die hier gewonnenen Daten werden durch ein CarGate der Volkswagen Konzernforschung „übersetzt“, sodass die Informationen durch den CarPC verwertbar sind. Für die offline-Auswertungen der Versuchsfahrten sind die GPS-Koordinaten notwendig. Um die Stabilität des fahrzeugeigenen Navigationssystems nicht zu gefährden, wird ein separates GPS-Modul verbaut.

5.1.2 Workloadmanager Komponenten

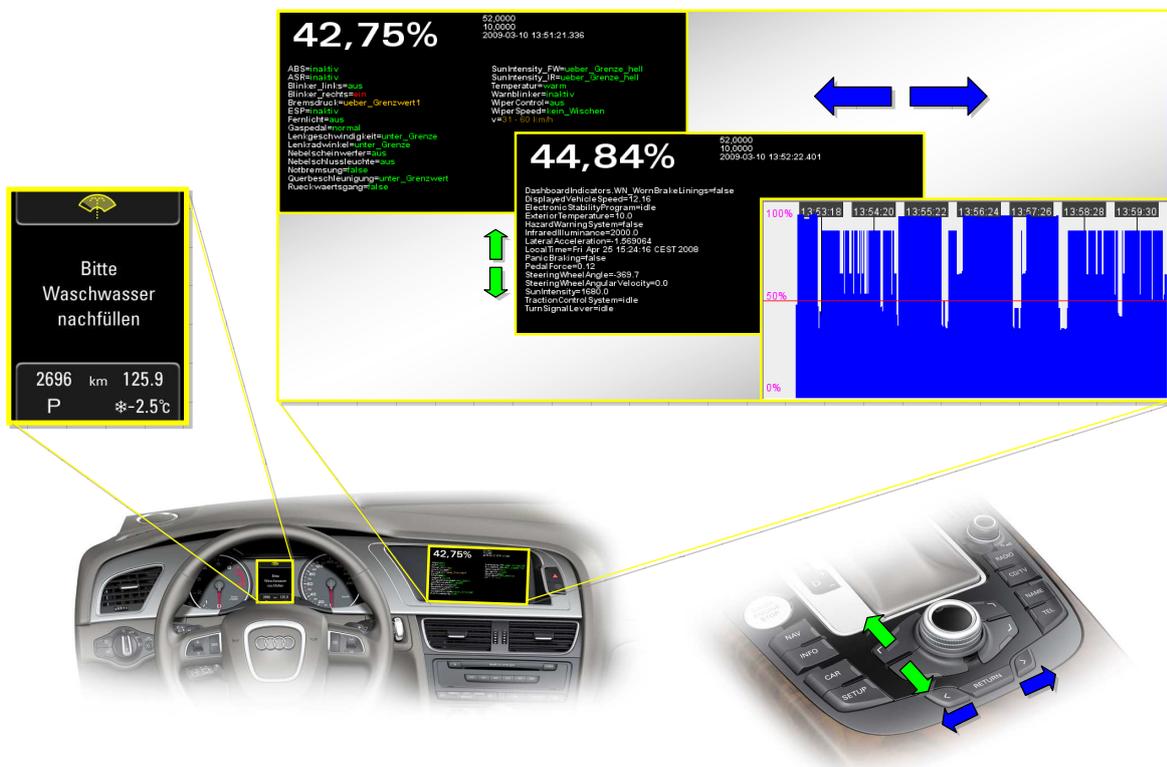


Abbildung 5.1: Applikationen im Versuchsträger

Die einzelnen Applikationen und Zusatzfunktionen, die für Testfahrten und die anschließende Probandenstudie erforderlich sind, werden in den folgenden Absätzen beschrieben.

Message Editor Mit dieser Applikation ist es möglich, individuell und in kurzer Zeit Meldungen mit optischen und akustischen Inhalten zu generieren. Das Design der Meldungen ist dem der originalen Fahrzeugmeldungen nachempfunden. Zu den einstellbaren Parametern gehören die Prioritätsstufe, die minimale und maximale Anzeigedauer der Meldung und die dazugehörige Akustik.

Zu jeder Meldung bzw. Meldungsgruppe können Anzeigeregeln definiert werden. Die Systematik der Regeln wurde in Abschnitt 4.6 bei den Filterstrategien und den Adaptionsstrategien beschrieben. Im Message Editor können Schwellen des ABW, bis zu der eine Anzeige erfolgen darf, für einzelne Meldungen als auch für bspw. alle Meldungen einer Prioritätsstufe definiert werden. Darüber hinaus wird die Reevaluierungszeit festgelegt. Diese beschreibt die Dauer, nach der eine zurückgehaltene Meldung erneut auf Aktualität und ausreichender Priorität überprüft wird. Entsprechend dieser Reevaluierung wird die Meldung angezeigt, erneut zurückgestellt oder ganz verworfen.

Remote Tool Das Remote Tool löst auf Grund unterschiedlicher Trigger bestimmte Meldungen aus. Die einfachste Variante ist die, dass über einen Laptop die Meldungen manuell ausgelöst werden. Alternativ kann eine Auslösung auch über GPS-Koordinaten oder bestimmte Events innerhalb des BN erfolgen.

Des Weiteren dient dieses Programm zum Übertragen von neuen Meldungen, Regeln oder Bayes'schen Netzen auf den CarPC.

Debug-Anzeigen Über den so genannten „Debug-Screen“ können im MMI-Display der aktuelle ABW und die dazugehörigen Werte der Eingangsknoten angezeigt werden. Um Situationsänderungen intuitiver mit den Eingangsgrößen abzugleichen können, sind den einzelnen Zuständen Farben zugeordnet. So fällt es einfacher, eine Änderung bestimmter Werte durch einen entsprechenden Farbwechsel eines Listeneintrags zu entdecken.

Über die zwei Skip-Tasten am MMI-Bedienteil lässt sich das Display auf drei weitere Inhalte umschalten. Im „Mini-Browser“ werden alle aktuell erfassten CAN-Daten mit den zugehörigen Werten angezeigt. So kann online jede einzelne CAN-Information in spezifischen Situationen untersucht werden. Beispielsweise kann der Bremsdruck in [bar] abgelesen werden und so in Echtzeit auf die weiter oben angesprochene Komfortschwelle geschlossen werden. Über die zwei linken Softkey-Tasten kann die mehrseitige Liste nach oben und unten gescrollt werden.

Der dritte Screen beinhaltet einen Zeitschrieb des ABW über die letzten dreieinhalb Minuten. Die digitale Anzeige des ABW im „Debug-Screen“ hat den Nachteil, dass keine zeitlichen Verläufe oder Effekte erkennbar sind. In diesem Screen sind solche Beobachtungen möglich.

Im vierten Screen wird der so genannte „Queue“ abgebildet. Darin ist erkennbar, welche Meldung sich gerade in einer „Warteschleife“ befindet. Sofern nach einer positiven Reevaluierung die Meldung zum Fahrer geleitet wird, wechselt die Meldung vom Bereich

„Zurückgehaltene Meldung“ in „Angezeigte Meldung“. Über diese Anzeigen können das Verhalten der Meldungen bei den entsprechenden Regeln und die Adaptionstrategien (siehe Abschnitt 4.6.2) überprüft werden.

5.1.3 Prüfung des Systemverhaltens

Nach Implementierung des Systems im Fahrzeug erfolgt eine erste Validierung des Systemverhaltens während der Fahrt. Daraus lassen sich die ersten belastbaren Abschätzungen des Systemverhaltens und die Bereiche des ABW im realen Straßenverkehr ableiten. Durch die Unabhängigkeit des Systems von vordefinierten oder vermessenen Strecken ist der Aktionsradius des Fahrzeugs nicht eingeschränkt. Um eine große Variabilität zu erhalten, werden die Testfahrten auf allen unterschiedlichen Straßenklassen durchgeführt.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen lassen sich die Schwellenwerte der einzelnen Prioritätsstufen bestimmen. Abbildung 5.2 zeigt die Auswertung einer solchen Teststrecke. Das Analysetool überträgt die einzelnen Datensätze durch Zuordnung der GPS-Koordinaten in eine Kartendarstellung. Entlang der gefahrenen Strecke wird durch den farblichen Verlauf der ABW zu jeder Position dargestellt. Der zugehörige Zeitschrieb der Testfahrt ist in Abbildung 5.3 zu erkennen. Zum Vergleich ist eine weitere Testfahrt mit Kartendarstellung und Zeitschrieb in Anhang E dargestellt. Dabei ist das erhöhte ABW-Niveau, hervorgerufen durch Dunkelheit, zu erkennen.

Anhand solcher Analysen kann das Systemverhalten offline überprüft werden. Speziell mit der Kartendarstellung kann im Nachgang an eine Fahrt jeder einzelne Messpunkt betrachtet werden und die einzelnen Eingangsgrößen des CAN reproduziert werden.

Nach Analyse von mehreren hundert Testkilometern werden die Schwellen für die Informationsfilterung folgendermaßen festgelegt. Als Orientierung gelten die Baselinewerte des ABW in den unterschiedlichen Ausgangsbedingungen. Diese schwanken je nach Tageszeit bzw. Lichtverhältnissen zwischen 12% am Mittag und 19% am Vormittag bzw. Abend. Um die *Komforthinweise* nur in entspannten Situationen zu bringen, wird er erste Schwellenwert bei einem ABW von 20% festgelegt. So werden Meldungen der Prioritätsstufe 4 beispielsweise ab Überschreitung des ersten Grenzwertes der Querbeschleunigung bereits zurückgehalten. Prio-3-Meldungen (*Systemhinweise*) werden ab Überschreitung eines ABW von 30% zurückgehalten und Prio-2-Meldungen (*Sicherheitshinweise*) gelangen bis 47% ungefiltert zum Fahrer. Wie bereits erwähnt, werden Prio-1-Meldungen stets unverzüglich angezeigt, weswegen hier eine theoretische Grenze von 100% angegeben wird, welche praktisch nie erreicht wird.

Diese Schwellen sind in Abbildung 5.3 dargestellt. In Testfahrten mit gezielter Erprobung der Schwellen und der Filterstrategien erweisen sich die gesetzten Werte als praktikabel und spiegeln ein reproduzierbares Systemverhalten wider. Um diese Einschätzung von Experten zu überprüfen wird eine Probandenstudie zur umfassenden Systemvalidierung durchgeführt.

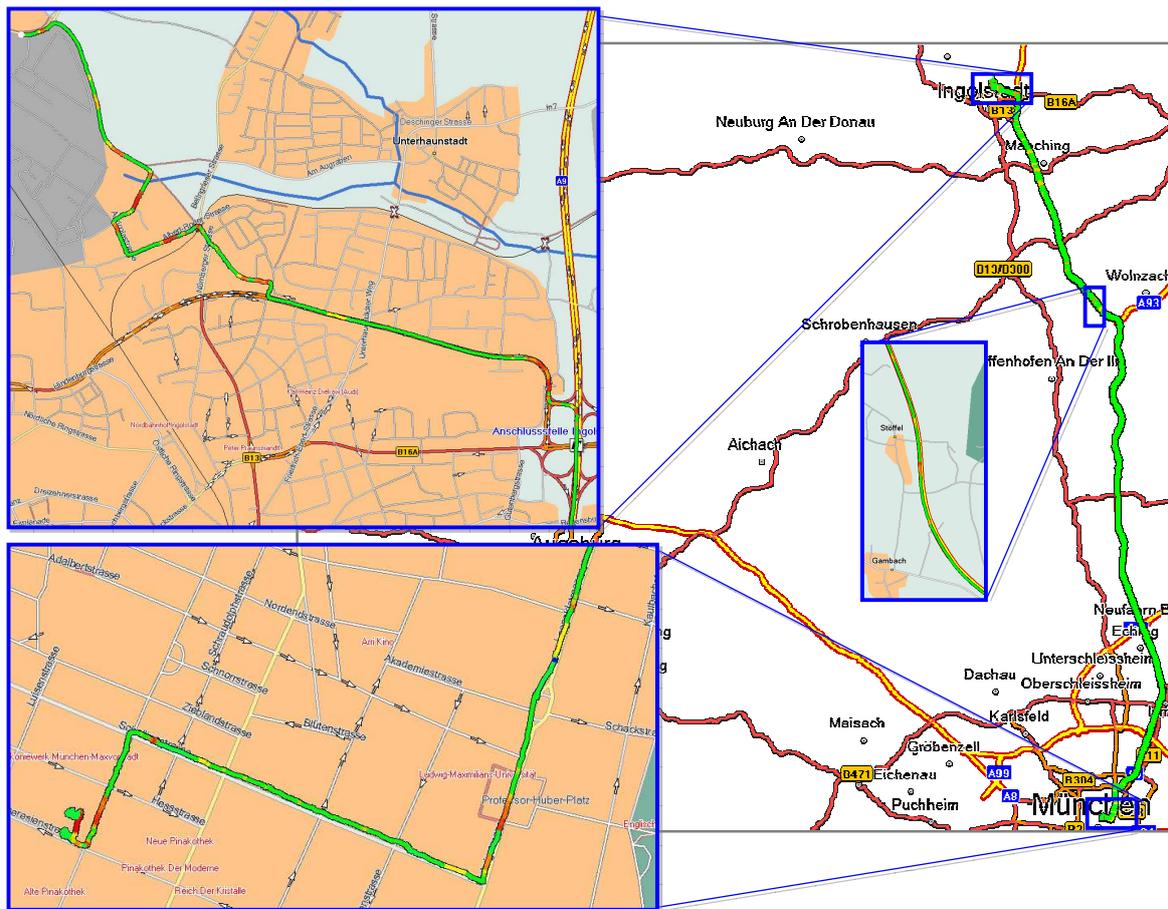


Abbildung 5.2: Kartendarstellung einer Testfahrt von Ingolstadt nach München

5.2 Probandenstudie zur Validierung im Realfahrversuch

Die folgenden Abschnitte beschreiben eine Probandenstudie, die den Workloadmanager im Realfahrzeug untersucht. Es wird auf die drei Teile der Studie und deren Untersuchungsziele eingegangen sowie aus den gewonnenen Ergebnissen eine Optimierung des Systems abgeleitet.

5.2.1 Untersuchungsziele

Die Probandenstudie soll Aufschluss darüber liefern, welches Potenzial das Konzept des impliziten Workloadmanagements aufweist und welche Optimierungen an der hier vorliegenden Umsetzung vorzunehmen sind.

Realversuch Workloadmanager Die erste Fragestellung der Felduntersuchung ist, ob positive Effekte durch die Funktionalität des impliziten Workloadmanagements erkennbar sind. Obwohl solche Effekte bereits im Fahrsimulator nachgewiesen wurden, sind zusätzliche Erkenntnisse oder auch Unterschiede aus der Realfahrt von Interesse. Das Auftreten solcher Effekte setzt eine korrekte Funktionsweise des Systems voraus. So wird einerseits

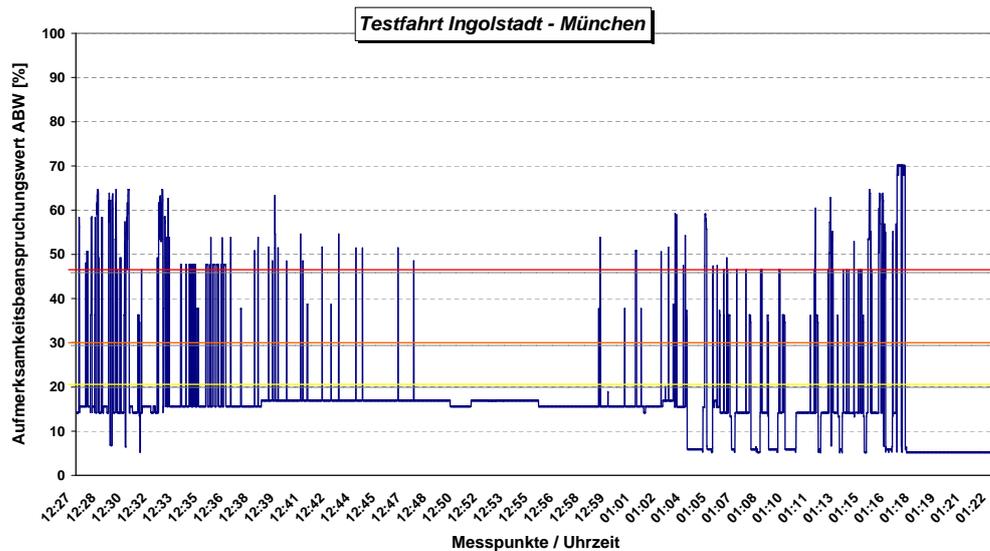


Abbildung 5.3: Zeitschrieb einer Testfahrt von Ingolstadt nach München

die Arbeitsweise des Workloadmanagers überprüft und andererseits der daraus resultierende Kundennutzen erfasst.

Validierung des ABW-Modells Eine weiterer Untersuchungsgegenstand ist die Modellierung der Aufmerksamkeitsbeanspruchung. Da die bisherigen Trainingsdaten des Modells auf den Ergebnissen des Fragebogens basieren, sollen diese durch die subjektiven Einschätzungen der Probanden von real durchfahrenen Szenarien erweitert bzw. verfeinert werden. Um dies zu erreichen, werden auf einer verkehrsarmen Straße relevante Szenarien durchfahren und dabei Erkenntnisse für die Parametrierung des Modells gewonnen.

Grenzwert-Validierung Der dritte Teil der Studie befasst sich mit einzelnen Grenzwerten der Eingangsgrößen des Bayes'schen Netzes. Die Einteilung der Wertebereiche in Klassen erlaubt eine Komplexitätsreduktion des Systems. Die Festlegung der Klassengrenzen obliegt bislang einer theoretischen Herleitung bzw. einer Experteneinschätzung. Auch diese Werte sollen durch das Probandenkollektiv verifiziert werden, um somit eine optimierte Parametrierung zu erhalten.

Diese drei Fragestellungen stehen im Fokus der Untersuchung. Aus den Ergebnissen der Abschlussbefragung der Simulatoruntersuchung lässt sich ein weiterer, potenziell positiver Effekt durch ein optimiertes akustisches Anzeigekonzept ableiten. Um diesen Erkenntnissen Rechnung zu tragen, wird in dem Versuchsfahrzeug auf die entwickelte Meldungsakustik aus [SIMMENDINGER 2006] zurückgegriffen. Dieses akustische Anzeigekonzept versucht über die Art des Warntons die Priorität der Meldung bereits bei der Auslösung zu vermitteln, ohne dass der Fahrer den Inhalt der optischen Anzeige erfassen muss.

Ergebnisse zur Systematik der Tonauswahl und Probandentests mit Vielfahrern sind in [MAUTER 2007] zu finden.

5.2.2 Versuchsdesign, Versuchsdurchführung

Das Versuchsdesign orientiert sich an den obigen Fragestellungen. Nach einer kurzen Instruktion durchfahren die Probanden eine definierte Teststrecke. Dabei werden durch den Versuchsleiter sechs Meldungen manuell ausgelöst. Drei dieser Meldungen werden ungefiltert und somit unmittelbar angezeigt. Den anderen drei Meldungen ist die Workloadmanager-Funktionalität hinterlegt, wodurch diese dem Filteralgorithmus unterliegen und gegebenenfalls zeitlich verzögert werden. Alle sechs Meldungen werden in beanspruchenden Situationen (Kreuzungen oder Kurvenfahrten) ausgelöst. Hierbei obliegt es dem Versuchsleiter, dies im Einklang mit der Verkehrssicherheit und den situativen Gegebenheiten durchzuführen. Aus diesen Sicherheitsüberüberlegungen wird auf eine automatisierte Meldungsauslösung verzichtet.

Um Reihenfolgeeffekte bei den Probanden zu vermeiden, werden die Meldungen voll permutiert. Das bedeutet, dass die Reihenfolge der Prioritäten, der Meldungen selbst und ob mit oder ohne Workloadmanager nach einer Zufallsverteilung variieren.

Nach jeder angezeigten Meldung wird der Fahrer vom Versuchsleiter zu der eben erlebten Situation befragt. Die Fragen zielen auf die kognitive als auch die körperliche Beanspruchung ab. Die Bewertung der Szenarien erfolgt über das selbe semantische Differenzial, welches für die Fragebogenstudie herangezogen wurde. Die Unterschiede der beiden Dimensionen wurden den Probanden während der eingangs durchgeführten Instruktion erklärt. So sollte darauf geachtet werden, ob bei der Meldungsanzeige ein Lenkmanöver, eine Schulterblick oder ähnliches vorgekommen ist („körperliche Beanspruchung“) oder ob sich die Probanden erschreckten, abgelenkt oder durch die Situation „überfordert“ fühlten („kognitive Beanspruchung“). Die subjektive Einschätzung der Probanden wurde vom Versuchsleiter im entsprechenden Fragebogen vermerkt.

Im Anschluss an die Auslösung der sechs Meldungen wurde das Fahrzeug angehalten und es erfolgt eine kurze Anschlussbefragung. Den Probanden wird die ungerichtete Frage gestellt, ob ihnen „irgendetwas an den ausgegebenen Meldungen aufgefallen ist“. Hiermit sollen die bewussten Eindrücke der Probanden bezüglich Meldung, Akustik und Anzeigzeitpunkt erfasst werden. In weiterer Folge wird den Probanden die Funktionalität des Workloadmanagers erklärt und deren Meinung dazu in Form einer Schulnotenskala von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend) dokumentiert. In diesem Zusammenhang werden Verbesserungsvorschläge oder Anregungen abgefragt. Der Fragebogen, welcher auch die Checkliste der Versuchsvorbereitungen und die standardisierte Befragung zum zweiten und dritten Teil beinhaltet, ist in Anhang F abgebildet.

Zum zweiten Teil der Studie wird im MMI-Display der Debug-Screen eingeblendet. Nach Erklärung des ABW und der relevanten Größen in der Liste werden mit den Probanden definierte Szenarien durchfahren und die Berechnung des ABW mit der subjektiven Einschätzung der Fahrer abgeglichen. Über den Versuchsleiter erfolgt die Rücksprache, ob

und in welcher Art und Weise eine Anpassung des Modells vorgenommen werden soll.

Der dritte Teil der Befragung befasst sich mit den jeweiligen Grenzwerten der Eingangsgrößen *Lenkwinkel*, *Lenkwinkelgeschwindigkeit*, *Bremsdruck*, *Querbearbeitung* und *Geschwindigkeit*. Über den „Mini-Browser“ kann der Versuchsleiter die Werte in Echtzeit ablesen und gemeinsam mit dem Probanden analysieren. Es werden erneut definierte Szenarien durchfahren und der Proband gibt Auskunft über seine individuellen Grenzwerte, die als Klassifikationsgrenzen der Modellbildung dienen sollen.

Die Datenaufzeichnung erfolgt über den CarPC, welcher den Verlauf des ABW entlang der gefahrenen Strecke, die einzelnen Eingangsgrößen des BN und die Zeitpunkte der Meldungsauslösung und der Anzeige dokumentiert. Zusätzlich sind zwei Kameras im Fahrzeug verbaut. Eine davon dient zur Blickerfassung des Fahrers und ist an der Instrumententafel mit Blickrichtung Fahrer befestigt. Die zweite Kamera filmt die Umgebung vor dem Fahrzeug und dient zur Rekonstruktion der Fahrsituationen bzw. des Verkehrsgeschehens während der Versuchsfahrt. Die Bildaufzeichnung erfolgt analog zur Simulatorstudie mit einer Frame-Rate von 25 fps.

Die Teststrecke führt über ca. 10 km vom Parkplatz am Tor 9 der AUDI AG über die Ortschaften Unterhaunstadt und Desching zum SE-Park in Ingolstadt (Abbildung 5.4). Die Teststrecke ist so gewählt, dass acht Rechtskurven bzw. Rechtsabbiegesituationen und 10 Linkskurven bzw. Linksabbiegesituationen durchfahren werden. Entlang dieser Strecke befinden sich also insgesamt 18 Abbiege-, Kreuzungs- und Kurvensituationen, in denen der Versuchsleiter eine Meldung auslösen kann. Die Topologie umfasst ein häufig frequentiertes Parkplatzareal, Landstraßenabschnitte sowie Ortsgebiete mit wenig bis durchschnittlich viel Verkehrsaufkommen. Somit werden während der Testfahrt mit Ausnahme einer Autobahnfahrt alle relevanten Umgebungsszenarien abgedeckt. Im Bereich des SE-Parks werden auf den praktisch nicht befahrenen Straßen die Untersuchungen zur Modellierung der Aufmerksamkeitsbeanspruchung und zu den Grenzwerten vorgenommen.

5.2.3 Auswertung und Ergebnisse

5.2.3.1 Stichprobenbeschreibung

Das Probandenkollektiv umfasst 35 Personen, davon neun Frauen und 26 Männer. Das durchschnittliche Alter der Probanden liegt bei 31,34 Jahren bei einer Streuung zwischen 24 und 48 Jahren. 20 der Versuchsteilnehmer tragen eine Sehhilfe. Davon benutzen 8 Personen eine Brille, 5 Kontaktlinsen und 2 beides zu gleichen Teilen. Neben einem Autoführerschein verfügen 16 Vpn über einen Motorradführerschein und sechs über die Berechtigung, einen LKW zu führen.

Die durchschnittliche Fahrleistung der Probanden ist in Abbildung 5.5 zu sehen. Nach dieser Verteilung können die Versuchsteilnehmer als Vielfahrer betrachtet werden. Als bevorzugte Reisegeschwindigkeit ergibt sich auf Autobahnen ein Durchschnittswert von



Abbildung 5.4: Teststrecke der Systemvalidierung

162 km/h und auf Landstraßen durchschnittlich 107 km/h.

5.2.3.2 Ergebnisse „Realversuch Workload Manager“

Blickabwendungen und Blickzeiten Die Auswertung der Videoaufzeichnung gibt Aufschluss über die Anzahl der Blickabwendungen und die Blickzeiten als Reaktion auf angezeigte Meldungen. Bei 202 ausgelösten Meldungen wurden 512 Blicke der Probanden ins Kombi gezählt, also im Durchschnitt 2,53 Blicke pro Meldung (siehe Abbildung 5.6). Dieser Wert unterscheidet sich deutlich von dem Durchschnittswert der Simulatorstudie (1,78 Blicke/Meldung).

Für eine umfassende Interpretation dieser Unterschiede folgt eine Analyse der durchschnittlichen Blickzeiten. Die linke Seite der Abbildung 5.7 zeigt die kumulierten Blickabwendungszeiten in Abhängigkeit der Prioritätsstufe. Wie aus den Ergebnissen der Simulatorstudie zu erwarten, steigt die Dauer der Blickzuwendungen mit zunehmender Priorität an. Dieser Effekt hält jedoch einer zufallskritischen Überprüfung mittels einer Varianzanalyse bzw. einem paarweisen Vergleich nicht Stand.

Generell liegen die Werte deutlich über den Simulatorergebnissen. Die Werte bei der Prio-1-Kategorie sind mit über 2,6sec mehr als eine halbe Sekunde länger als die vergleichbare Gruppe im Simulator. Die Kategorie mit der geringsten Priorität erreicht eine kumulierte Blickabwendungsdauer von ca. 2 Sekunden. Die Unterschiede der Blickdauern haben offensichtlich mit der Fahrt in realer Umgebung zu tun¹.

Die durchschnittlichen Einzelblickzeiten liegen im erwarteten Bereich zwischen 0,8sec und 1sec (rechte Seite der Abbildung 5.7). Demnach lässt sich ableiten, dass die Einzelblicke ins Kombidisplay nicht länger dauern als im Simulator, aber häufiger getätigt werden. So summiert sich die Blickdauer auf die vergleichsweise hohen Werte.

¹Der Unterschied der Meldungen von der Simulatorstudie zum Realversuch liegt rein in der Akustik. Die Textinhalte, Icons sowie Icon-Farbe sind identisch.

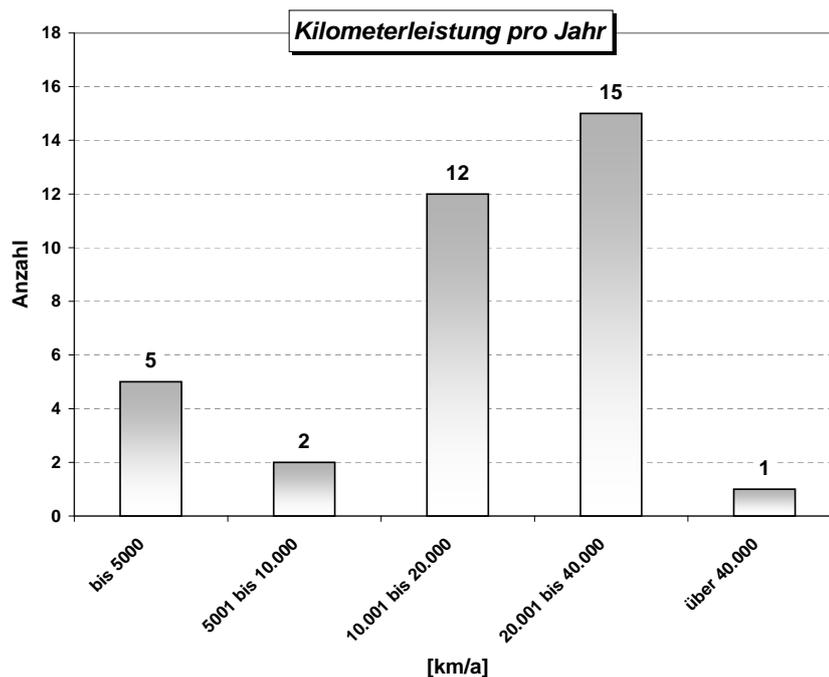


Abbildung 5.5: Fahrleistung der Probanden pro Jahr

Nach den allgemeinen Ergebnissen ist die Unterscheidung der Fahrerreaktionen auf Meldungen mit und ohne Workloadmanager von Interesse. Hierbei sind keine Unterschiede in den kumulierten Zeiten erkennbar. Im Schnitt ist die Gesamtblickdauer mit WLM bei 2,38 sec und ohne WLM bei 2,34 sec. Abbildung 5.8 stellt die Anzahl der Blickabwendungen und die Blickzeiten je Situation (mit oder ohne WLM) gegenüber. Die linke Seite des Diagramms zeigt, dass es in Situationen mit aktivem WLM zu längeren Blickabwendungen kommt als ohne WLM. Auf die Versuchsfahrten übertragen heißt das, dass es bei der Meldungsanzeige nach Kurven und Kreuzungen (mit WLM) zu größeren Blickdauern kommt als während diesen beanspruchenden Situationen (ohne WLM). Dafür scheint es beim Auftreten einer Meldung in einer Kreuzung oder Kurve zu mehr Blicken ins Kombi-Display zu kommen als in entspannten Situationen. Durch die Gesamtaufschlüsselung zu 259 Blicken ohne und 253 Blicken mit WLM kann dies nicht bestätigt werden. Dieses Ergebnis scheint sich mit dem aus der Simulatoruntersuchung zu decken, wonach die Probanden länger ins Kombi sehen, wenn die Fahrsituation dies zulässt. Eine durchgeführte Statistikanalyse (T-Test) der Blickdauern je Prioritätsgruppen und WLM-Status zeigt jedoch, dass diese keine Unterschiede aufweisen. Das bedeutet, dass keine signifikanten Effekte des Workloadmanagers bei den Blickabwendungszeiten erkennbar sind. Dies ist folgendermaßen zu erklären: In der Realfahrt sehen die Fahrer nur so lange ins Kombi, bis der Inhalt der Meldung erfasst worden ist. Das gilt unabhängig von der Situation, wodurch kein Unterschied in den Blickdauern feststellbar ist.

Allerdings ist die Tatsache belegt, dass der Fahrer situationsunabhängig bei einer angezeigten Meldung den Blick von der Straße ins Kombi richtet. Die Analyse der Videoauf-

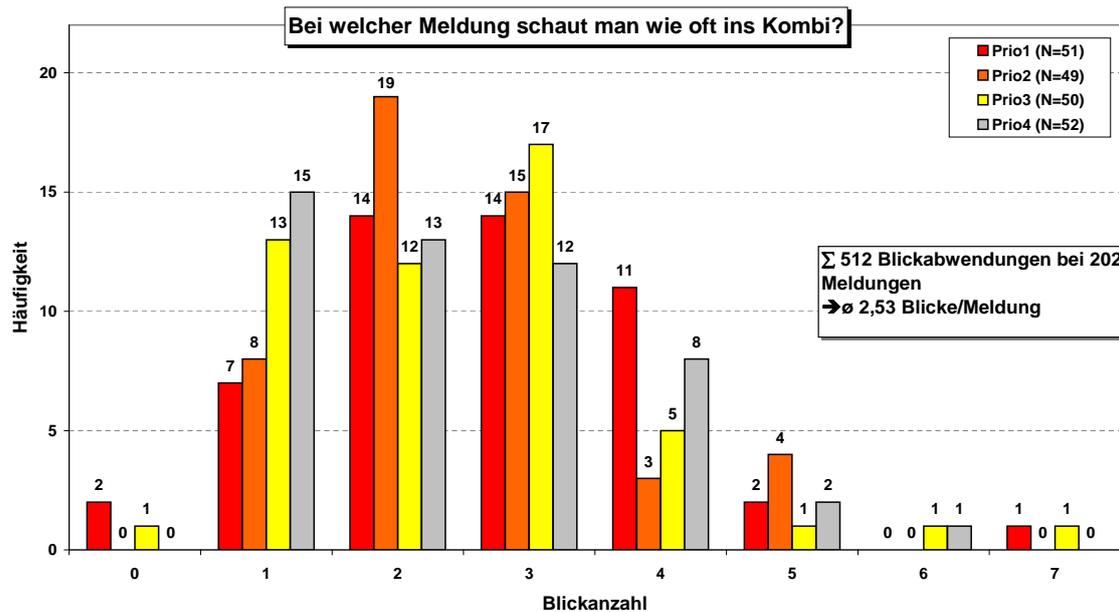


Abbildung 5.6: Verteilung der Blickanzahl je Prioritätsstufe

zeichnungen zeigt analog zum Fahrsimulator, dass kein Proband beim Durchfahren einer Kurve oder Kreuzung ohne externen Reiz (Meldung mit Akustik) den Blick ins Innere des Fahrzeugs wendet. Dem gegenüber stehen 122 Blicke bei Meldungen in besagten Situationen². Die Bildsequenz in der Mitte von Abbildung 5.8 zeigt exemplarisch die Reaktion eines Versuchsteilnehmers auf eine Meldungsanzeige in einer Linkskurve. Anhand der Armspeichenposition des Lenkrades kann die Lenkaktivität in dieser Situation abgeschätzt werden.

Nach diesen Ergebnissen erscheint es umso wichtiger, die Meldungen in wenig beanspruchenden Situationen anzuzeigen, da der Fahrer unmittelbar auf diese reagiert und seine Zeit braucht, den Inhalt zu erfassen und zu verstehen.

Abschließend wird nach Effekten des WLM bei dem jeweils ersten Blick des Fahrers ins Kombi gesucht. Sollte es hier zu verschiedenen Verhaltensweisen kommen, kann dies auf die unterschiedlichen Beanspruchungen bei der Anzeige der Meldungen zurückgeführt werden. Jedoch konnten auch hier keinerlei Unterschiede des Blickverhaltens bei Meldungen mit und ohne WLM festgestellt werden.

Subjektive Situationsbewertung Die Befragung der Probanden nach ihrem subjektiven Empfinden der Beanspruchung durch eine Meldungsanzeige erfolgt jeweils unmittelbar im Anschluss an eine solche Situation. Durch die zeitnahe Konfrontation mit der Situationsbewertung sollen die frischen Eindrücke der Probanden eingefangen werden. Die Unterschiede der erlebten Beanspruchung in den Dimensionen *kognitiv* und *körperlich* je nach aktivem bzw. inaktivem Workloadmanager geben ein Maß für den Nutzen des Workload-

²Die Zahl 122 ergibt sich aus den 101 Meldungen ohne WLM und den 21 Prio-1-Meldungen mit WLM, die ohne Verzögerung auch in Kurven oder Kreuzungen angezeigt wurden.

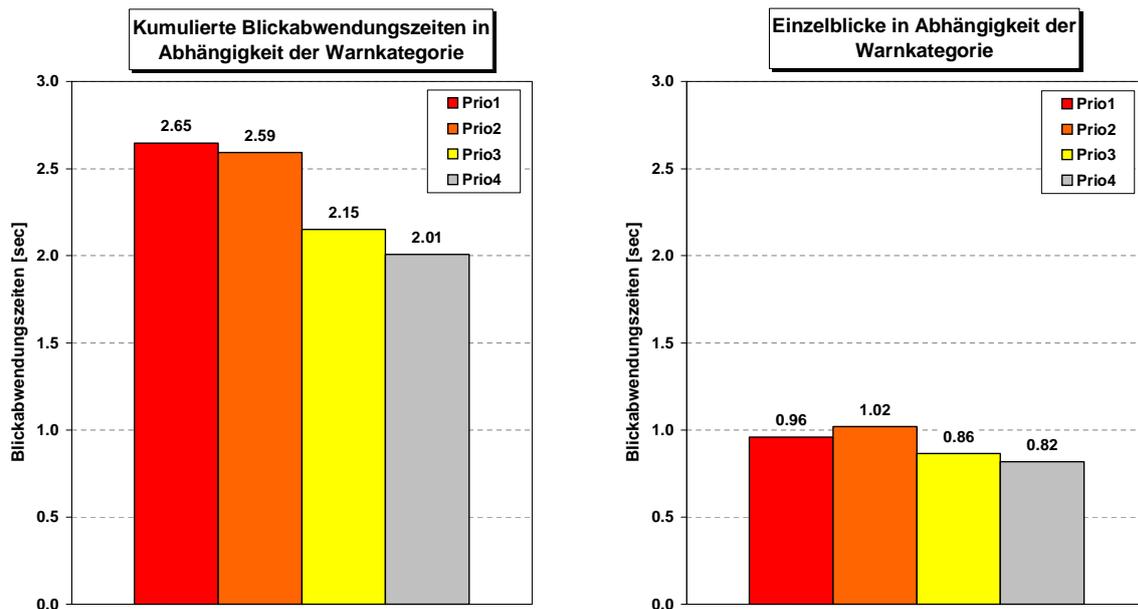


Abbildung 5.7: Kumulierte Blickzeiten (links) und Einzelblickzeiten (rechts) je Priorität

managers ab.

Die Durchschnittswerte der Befragung sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Der durchgeführte T-Test über die einzelnen Prioritätsklassen zeigt bei Prio-2- bis Prio-4-Meldungen Effekte in den Bewertungen. Die empfundene körperliche Beanspruchung wird bei Prio-2-Meldungen ($p=.041$), Prio-3-Meldungen ($p=.006$) und Prio-4-Meldungen ($p=.000$) jeweils mit Workloadmanager als weniger beanspruchend empfunden. Die kognitive Beanspruchung weist bei den Prio-3-Meldungen einen Effekt ($p=.024$) zu Gunsten der Workloadmanager-Funktionalität auf. Eine Summierung der Einzelbewertungen zu einer Gesamtbeanspruchung ergibt ebenfalls bei den niederprioreren Meldungen einen signifikanten Unterschied (Prio3: $p=.004$; Prio4: $p=.009$).

Bei den Prio-1-Meldungen, die sich per Definition in der Anzeigestrategie nicht unterscheiden, können keine Effekte nachgewiesen werden (jeweils $p>.05$).

Nachfolgend wird untersucht, ob sich die Meldungen innerhalb der Klassen „mit“ oder „ohne“ WLM unterscheiden. Bei den Meldungen ohne WLM zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Prioritätsstufen bei den kognitiven und körperlichen Beanspruchungen. Hingegen zeigt eine Varianzanalyse, dass sich die Prio-1-Meldungen mit WLM signifikant bei der kognitiven ($p=.002$ für Prio2; $.000$ für Prio3; $.000$ für Prio4) und der körperlichen ($p=.014$ für Prio2; $.000$ für Prio3; $.000$ für Prio4) Beanspruchung von den anderen Meldungsarten unterscheiden. Dieses Ergebnis ist naheliegend, da mit Ausnahme der Prio-1-Meldungen alle Anzeigen mit Workloadmanager in „entspannten“ Situationen stattgefunden haben. Dass es keine Bewertungsunterschiede der Meldungen ohne WLM auftreten, liegt ebenfalls innerhalb der Erwartungen.

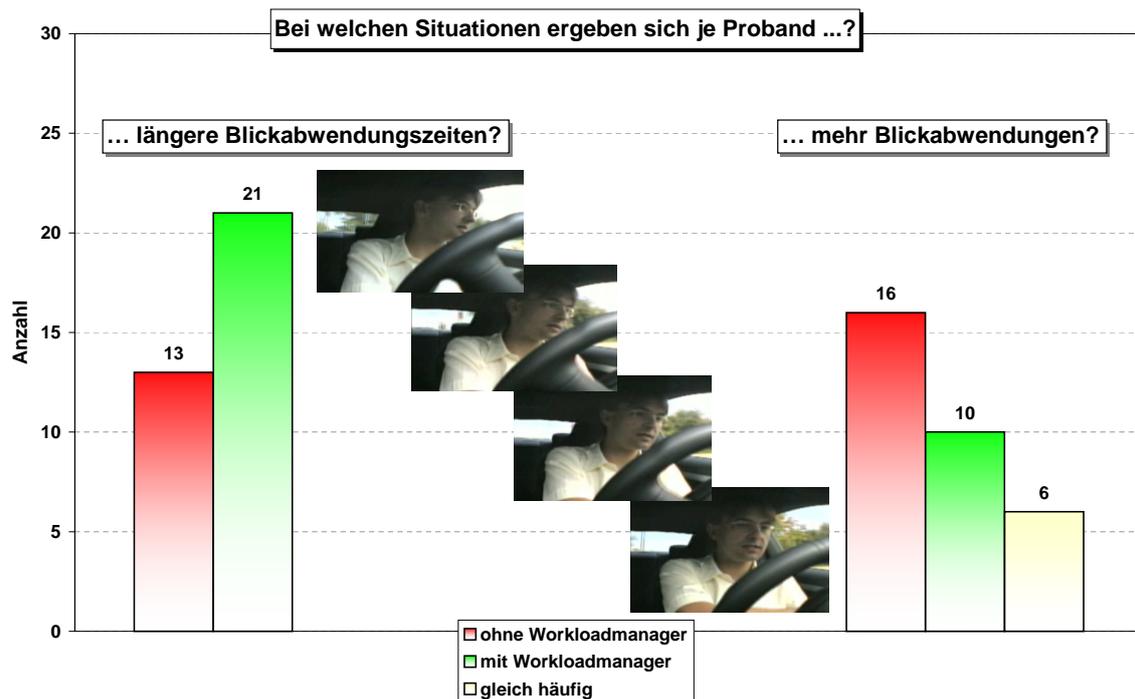


Abbildung 5.8: Gegenüberstellung der Blicke je WLM-Funktionalität

Ein Nebenprodukt der Untersuchung stellt die Herleitung der Blickabwendungszeiten in Abhängigkeit des Informationsgehaltes dar. Der Zusammenhang kann auf Basis der Buchstaben-, der Wort- und der Zeilenanzahl aufgestellt werden. Exemplarisch ist an dieser Stelle das Diagramm bezüglich der Blickabwendungszeiten je Buchstabenanzahl dargestellt (siehe Abbildung 5.9). Die weiteren Diagramme sind in Anhang F abgebildet. Die eingezeichnete Trendlinie stellt die Gerade der minimalen quadratischen Abstände dar.

Für weitergehende Studien können diese Ergebnisse als Anhaltswerte für Blickabwendungszeiten je Meldung extrapoliert werden. Zu beachten ist, dass diese Werte für das Setting aus Position und Größe des Displays im Versuchsfahrzeug gelten. Darüber hinaus können jedoch allgemeine Tendenzen angeleitet werden. Logischerweise steigen die Blickabwendungszeiten mit zunehmendem Informationsgehalt. Kann der Text jedoch mit minimaler Zeilenanzahl dargestellt werden, lässt sich auch die notwendige Blickdauer auf einen Minimalwert halten.

5.2.3.3 Anschlussbefragung

Im Anschluss an die Testfahrt mit den definierten Meldungsauslösungen wurden die Probanden einer kurzen Befragung unterzogen. Zu Beginn erfolgte die ungerichtete Frage, ob etwas Auffälliges an den Meldungen während der Fahrt bemerkt wurde. Als relevante Bemerkungen werden hier jene festgehalten, die von mindestens zwei Probanden angeführt werden. Die Antworten lassen sich in drei Themengebiete gliedern.

			Anzahl Meldungen	Durchschnitt	STD
Prio-1	kognitiv	ohne WLM	30	43,66	15,64
		mit WLM	21	51,9	14,7
	körperlich	ohne WLM	30	27,66	14,54
		mit WLM	21	33,5	17,7
Prio-2	kognitiv	ohne WLM	21	40,00	15,16
		mit WLM	28	37,5	17,34
	körperlich	ohne WLM	21	30,95	16,09
		mit WLM	28	22,5	12,05
Prio-3	kognitiv	ohne WLM	23	42,17	18,57
		mit WLM	28	31,07	15,47
	körperlich	ohne WLM	23	29,13	14,74
		mit WLM	28	18,57	11,45
Prio-4	kognitiv	ohne WLM	27	34,81	13,96
		mit WLM	24	31,66	11,29
	körperlich	ohne WLM	27	27,40	12,27
		mit WLM	24	15,44	7,79

Tabelle 5.1: *Subjektive Bewertung der Anzeigesituationen je Priorität*

Zum Ersten werden die Texte der Meldungen mit zwei Kernaussagen kommentiert. Bei einigen Meldungen werden die Texte als zu lang empfunden (8 Wortmeldungen). Dies bezieht sich insbesondere auf Meldungen, deren Inhalt sich über fünf Zeilen erstreckt. Zum Zweiten wird viermal erwähnt, dass die Handlungsanweisungen der Meldungen als positiv empfunden werden.

Der zweite Themenblock beschäftigt sich mit der Warnakustik. Die Meldungen der Testfahrt sind mit dem akustischen Warnkonzept nach [SIMMENDINGER 2006] hinterlegt. Dieses zeichnet sich durch eine intuitive Modellierung aus, welche dem Fahrer bereits beim Ertönen der Akustik die Priorität der angezeigten Meldung vermitteln soll. Ohne die Probanden darauf hinzuweisen, werden 14-mal die „unterschiedlichen Töne,“ explizit erwähnt. Hinzu kommen weitere 14 Bemerkungen, dass durch die Akustik die „Dringlichkeit erkennbar“ ist. Darüber hinaus wird zehnmal die Bewertung „gut“ für die neue Akustik ausgesprochen.

Berücksichtigt man, dass weder im Vorfeld noch nach der Testfahrt der Fokus der Versuchsteilnehmer auf die Akustik gelenkt wurde, kann dieses Ergebnis als äußerst positiv gewertet werden. Das Vorgehen, einen Teil des Informationsgehalts durch eine entsprechende Akustik bereits vor der optischen Analyse der Meldung zu vergrößern, erweist sich als praktikabel und nachweisbar positiv.

Die restlichen Wortmeldungen werden als allgemeine Hinweise deklariert. Elf Probanden erwähnen das unterschiedliche Anzeigeverhalten „in“ und „nach“ Kurven. Vier mal wird

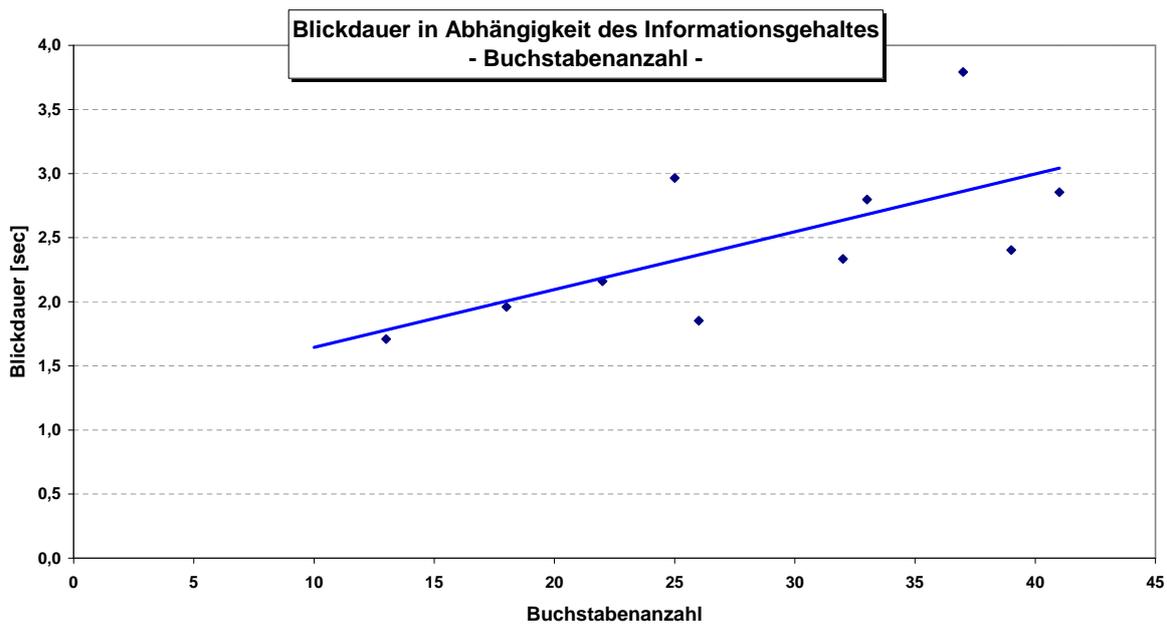


Abbildung 5.9: Blickdauer in Abhängigkeit der Buchstabenanzahl

ein „automatischer Blick ins Kombi“ als Reaktion auf eine plötzlich auftretende Meldung von den Probanden angegeben.

Bei den Meldungen empfinden vier Versuchspersonen die dargestellten Icons als zu klein, jedoch ebenfalls vier die farbliche Codierung als hilfreich und gut. Drei mal wird die Anzeigedauer der Meldungen als zu kurz angegeben³ und mit zwei Wortmeldungen wird sich ein „Reminder“ nach der Fahrt gewünscht.

Nach dieser Stimmungsaufnahme der Probanden erfolgt eine ausführliche Erklärung des Versuchs und des Workloadmanagers. Auf Rückfragen der Probanden wird an dieser Stelle eingegangen. Im Anschluss daran wird der Nutzwert dieser WLM-Funktionalität abgefragt. Die Bewertung erfolgt nach Schulnotenskala von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend). Die Durchschnittsnote ergibt sich zu 1,46 mit einer Standardabweichung von 0,505. Auch bei vorsichtiger Betrachtung dieser Bewertung lässt sich ein eindeutiger und vor allem spürbarer Nutzen durch den Workloadmanager für die Befragten ableiten.

5.2.3.4 Ergebnisse „Validierung „Modell der Aufmerksamkeitsbeanspruchung“

Der zweite Teil der Studie umfasst eine Fahrt mit Debug-Anzeige im MMI-Display. Die Funktionalität des WLM ist den Probanden bekannt und über das Display sind sowohl die relevanten Eingangsgrößen in das BN als auch der darauf basierende ABW ersichtlich. Um die Parametrierung des Modells zu überprüfen werden standardisierte Fahrmanöver durchfahren und der dabei berechnete ABW diskutiert. Die Probanden sollen nach ihrer subjektiven Einschätzung den ABW als *passend*, *zu niedrig* oder *zu hoch* kommentieren.

³Die Anzeigedauer der Meldungen ist in den Versuchsfahrten prioritätenunabhängig mit sechs Sekunden festgelegt.

Im Falle, dass die Modellierung der Aufmerksamkeitsbeanspruchung von der Empfindung des Versuchsteilnehmers abweicht, soll dieser seinen individuellen ABW in den jeweiligen Situationen angeben.

Tabelle 5.2 zeigt das Ergebnis der Untersuchung. Dabei sind die acht Standardszenarien untereinander aufgelistet. Der IST-Wert stellt den zugehörigen ABW, basierend auf der Parametrierung der Testfahrt, dar. Der SOLL-Wert ergibt sich als Durchschnitt aus den subjektiven Beurteilungen. Daneben sind noch die absolute Abweichung Δ von IST- zu SOLL-Werten sowie die Standardabweichung angeführt. Als Toleranzband für die IST-Werte wird $\pm 5\%$ angesetzt. Bei einem größeren Δ (in der Tabelle rot gekennzeichnet) wird im BN über andere Gewichtungen die Modellierung nachjustiert. In Anhang F ist die Darstellung in Form eines Diagramms zu abgebildet.

Szenario	IST-Wert	SOLL-Wert	Δ	STD
Abbiegen mit blinken links	48,11	46,22	1,89	7,63
Abbiegen mit blinken rechts	46,37	44,11	2,26	6,87
Lenkaktivität	45,32	44,41	0,91	7,47
Rückwärtsgang	56,55	63,58	7,03	11,75
Scheibenwischer - tippen	41,77	36,47	5,30	8,32
Scheibenwischer - langsam	68,33	60,14	8,19	12,95
Scheibenwischer - schnell	77,9	73,64	4,26	9,66
Fernlicht	26,52	26,83	0,31	5,33

Tabelle 5.2: Validierung der ABW-Modellierung

Die Auswertung zeigt, dass die Ergebnisse aus der Fragebogenstudie sich weitestgehend mit den Einschätzungen aus der Realfahrt decken. Nachbesserungen erfolgen bei der Rückwärtsfahrt, welche beanspruchender empfunden wird, und bei den Wischergeschwindigkeiten. Die Einschätzungen aus dem Fragebogen bezüglich der Wischeraktivität muss jeweils nach unten korrigiert werden. Offenbar wurde durch die Abbildungen aus dem Fragebogen ein kritischeres Szenario suggeriert, als dies im Fahrzeug bewertet wird. Obwohl auch diese Bewertung ohne realen Regen zu Stande kommt, gelten diese Werte als belastbarer, da die Erhebung der Daten in originalem Umfeld durchgeführt wurde. Des Weiteren kann von den Probanden der direkte Vergleich zu anderen Fahrmanövern gezogen werden, was der Glaubwürdigkeit der Werte zu Gute kommt.

5.2.3.5 Ergebnisse „Validierung der Grenzwerte“

Der dritte Abschnitt der Studie betrachtet eine noch tiefere Ebene des Systems. Es sollen die Grenzwerte physikalischer oder bereits aufbereiteter CAN-Größen als Eingangswerte in das BN festgelegt bzw. überprüft werden. Von Interesse sind hierbei Größen, zu denen es keine eindeutigen Informationen in der Literatur gibt bzw. deren Schwellen für die vorliegende Arbeit verifiziert werden soll. Darunter fallen der Lenkwinkel und die Lenkwinkelgeschwindigkeit, als Maß für die Längsverzögerung der Bremsdruck und die

Querbearbeitung. Zusätzlich wird nach jener Geschwindigkeit gefragt, ab der der Fahrer dermaßen mit der Fahrzeugführung beansprucht ist, dass nur mehr Prio-1-Meldungen zu ihm durchgelassen werden sollen.

Um aussagekräftige Angaben zu erhalten, werden zu jedem Wert entsprechende Fahrmanöver durchfahren. Diese reichen von herkömmlichen Ab- und Einbiegesituationen bis hin zu gestellten Ausweich- und Bremsmanövern. Für die Bewertung der Querbearbeitung wird die Durchfahrt eines Kreisverkehrs mit entsprechender Geschwindigkeit genutzt. Die auftretenden Werte werden vom Versuchsleiter im Mini-Browser abgelesen und mit der Versuchsperson besprochen. Als Ergebnis dieses teilstrukturierten Interviews ergeben sich zu jeder relevanten Größe entsprechende Grenzwerte. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.3 dargestellt.

Grenzwert ⁴	IST-Wert	SOLL-Wert	STD	Median
Lenkwinkel	30	69,1	49,40	56,5
Lenkwinkelgeschwindigkeit	20 - 40	90,3	37,34	87,5
Bremsdruck	30	24,0	7,72	22
Querbearbeitung	2,5	3,4	0,99	3
Geschwindigkeitsschwelle	180	190	12,96	190

Tabelle 5.3: Validierung der Grenzwerte

Die Grenzwerte für Lenkwinkel und -Geschwindigkeit werden gemäß den Angaben der Versuchsteilnehmer nach oben gesetzt. Ebenso werden die Parameter der anderen Werte an die Befragungsergebnisse angepasst.

Mit den neuen Grenzwerten werden die relevanten Manöver besser und eindeutiger erkannt, wodurch sich eine optimierte Modellierung mittels BN ergibt.

5.2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Probandenstudie im Realverkehr soll die Potenziale des vorgestellten Konzepts eines impliziten Workloadmanagements aufzeigen. In drei Teilen werden sowohl die Funktionalität als auch die Parametrierung des WLM untersucht.

Durchgeführt wird die Studie mit dem in Abschnitt 5.1.1 auf Seite 119 beschriebenen Versuchsfahrzeug. Dabei werden im realen Straßenverkehr je drei Meldungen mit bzw. ohne aktivem Workloadmanager ausgelöst und angezeigt und die unterschiedlichen Auswirkungen auf die Versuchspersonen festgehalten. Die Auswertung der Videoaufzeichnungen zeigt, dass die durchschnittlichen, kumulierten Blickzeiten zum Lesen einer Meldung

⁴Bei angegebenen Grenzwertbereichen "von - bis" handelt es sich im BN um zwei Schwellenstufen. Der ermittelte SOLL-Wert wird auf den oberen Schwellwert bezogen und die untere Schwelle an den Minimalwerten der Probandenangaben ausgerichtet.

um ca. eine halbe Sekunde länger sind, als in der Simulatorstudie. Je nach Informationsgehalt liegen die Zeiten zwischen 2 und 2,65 Sekunden. Dabei ist zu beachten, dass die Einzelblickzeiten mit 0,8sec bis 1sec nicht länger dauern als im Simulator. Es zeigt sich also, dass in realen Verkehrssituationen mehr Blicke zum Erfassen einer Meldung ins Fahrzeuginnere gerichtet werden als im Fahrsimulator.

Daran anknüpfend werden bei den unterschiedlichen Meldungen und Prioritätsstufen nach Effekten durch den Workloadmanager gesucht. Eindeutig lässt sich nachweisen, dass auch in der Realfahrt die Aufmerksamkeit des Fahrers sich situationsunabhängig durch eine Meldung ins Innere des Fahrzeugs lenken lässt.

Allerdings lassen sich keine Unterschiede in den Blickabwendungszeiten der einzelnen Meldungen mit und ohne WLM erkennen. Demnach blicken die Probanden bei einer Meldung sowohl in einer beanspruchenden als auch in einer entspannten Situation gleich lange auf das Kombidisplay.

Diese Ergebnisse zeigen das Potenzial des WLM auf, der die Anzeige von Meldungen in beanspruchenden Situationen vermeidet. Da man von einer meldungsspezifischen Blickabwendung ausgehen kann, folgt eine Beeinträchtigung der Situationswahrnehmung. Auf Basis der Erkenntnisse zur optischen Wahrnehmung (siehe Abschnitt 1.1.2.1 auf Seite 9 ff) zeigt Abbildung 5.10 schematisch die Einschränkungen der optischen Informationsaufnahme der Fahrsituation bei einem Blick ins Kombi. Mit zunehmender Entfernung vom Sehzentrum nimmt die Schärfe der Wahrnehmung als auch die Farbinformation ab⁵. Das dargestellte Szenario deutet die Defizite der Wahrnehmung bei gerader Strecke an. Bei bspw. einer Kreuzungssituation mit Fremdverkehr verschärft sich die Situation durch die defizitäre Aufnahme der relevanten Informationen zunehmend.

Über die Abfrage nach der subjektiven Beanspruchung der Probanden bei der Anzeige einer Meldung kann der positive Effekt des WLM signifikant nachgewiesen werden. Demnach empfinden die Versuchspersonen die Meldungsausgaben, welche durch den Workloadmanager manipuliert werden durchwegs weniger beanspruchend.

Im zweiten Teil der Studie wird die Modellierung der Aufmerksamkeitsbeanspruchung hinterfragt. Hierzu werden standardisierte Szenarien mit den Probanden durchfahren und die Berechnung des ABW bewertet. Die Beurteilung der Szenarien ergeben neue Trainingsdaten für das Bayes'sche Netz und optimieren das Modell des ABW. Die Parametrierung des BN auf Basis der neuen Zielwerte erfolgt in Abschnitt 5.3.

Abschließend werden von relevanten Eingangsgrößen des BN die Schwellenwerte verifiziert. Dabei werden erneut definierte Szenarien durchfahren und die Grenzwerte für den Lenkwinkel, die Lenkwinkelgeschwindigkeit, den Bremsdruck und die Querbeschleunigung

⁵Im rechten, oberen Eck der Abbildung ist die Konstruktion des 2°- und des 10°-Kegelschnitts mit der Displayebene zu sehen. Als Auslegungsbasis ist hier der Augpunkt und die Sitzposition des M50mm10 (Mann, 50. Perzentil, mittlere Proportion und mittlere Korpulenz, Bezugsjahr 2010) nach RAMSIS gewählt. Die Konstruktionsdaten des Sitzverstellfeldes und die Flächendaten des Interieurs entsprechen denen aus dem Versuchsfahrzeug.

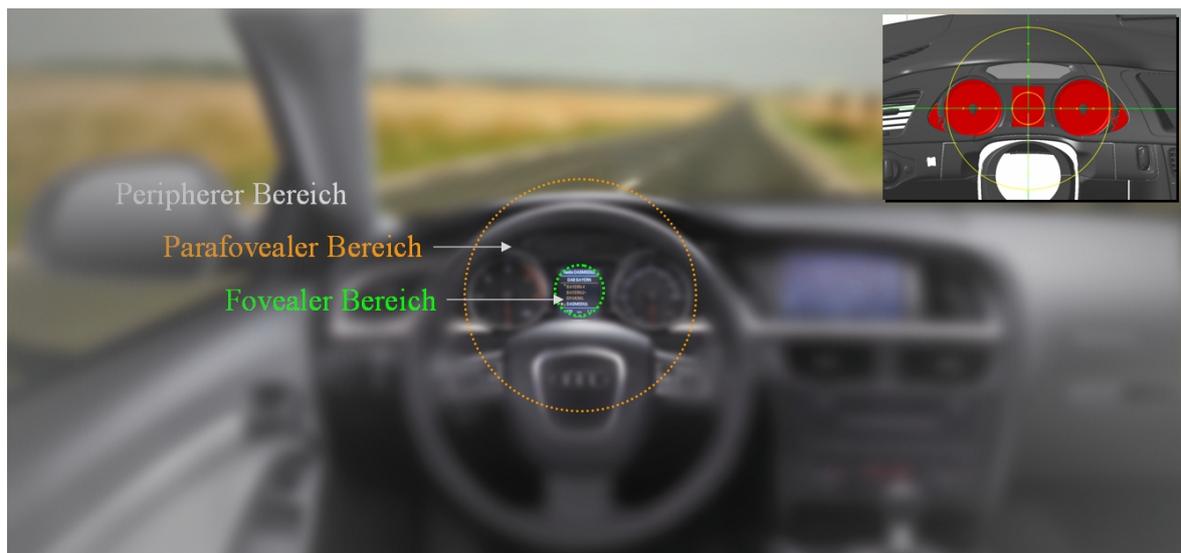


Abbildung 5.10: *Optische Wahrnehmung der Fahrsituation bei Blickabwendung*

festgelegt. Auch diese neuen Grenzwerte fließen in das optimierte Modell ein.

5.3 Systemerweiterungen

In den folgenden zwei Abschnitten wird das bestehende Konzept des Workloadmanagers optimiert und erweitert. Dabei werden im ersten Schritt die Erkenntnisse aus der beschriebenen Probandenstudie in das System eingepflegt und eine neue Parametrierung des ABW-Modells umgesetzt. Im zweiten Schritt wird das System modular um vorhandene Sensorik erweitert.

5.3.1 Umsetzung der Studienergebnisse

Durch die Überschreitung gewisser Schwellen wird anhand der definierten Eingangsgrößen eine Fahrsituation repräsentiert. Auf Basis der Probandenstudie im Realverkehr werden diese Schwellen teilweise angepasst. Dabei handelt es sich um solche physikalische Größen, die je Ausprägung eine unmittelbare Beeinflussung der Fahreraufmerksamkeit darstellen. Die ersten Werte, die angepasst werden betreffen die Lenkaktivitäten des Fahrers. Die ursprüngliche Schwelle des Lenkwinkels lag bei 30° . Diese Festlegung kommt daher, da ab diesem Winkel die Armspeichen des Lenkrades das Display im Kombiinstrument zu verdecken beginnen. Dies wird jedoch von den Probanden noch toleriert, da die wesentlichen Inhalte des Displays im Zentrum noch nicht überdeckt sind. Danach ausgerichtet wird die neue Grenze für den Lenkeinschlag bei 56° festgesetzt. Der Wert folgt aus dem Median der Probandenstudie und einer zusätzlichen Experteneinschätzung. Da in diesem Zusammenhang auch stets die fahrdynamische Komponente berücksichtigt werden muss, wird ein Grenzwert bei 70° , wie es der Mittelwert der Studie ergibt, als zu hoch eingeschätzt. Die Lenkwinkelgeschwindigkeit wird nach den Erkenntnissen der Realfahrt mit drei Grenzwerten ihren Beitrag in das BN geben. Alle Aktivitäten unter $20^\circ/s$ werden als gewöhnliche

Lenkmanöver erachtet. Der Bereich zwischen $20^\circ/\text{s}$ und $40^\circ/\text{s}$ erscheint für eine Erfassung von moderaten Lenkbewegungen eine praktikable Klasse zu bilden. Diese führen je nach Einschlag zu einer spürbaren Aufbauanregung und geben Aufschluss über eine Aktivität über die normale Spurhaltung hinaus. Der Bereich zwischen $40^\circ/\text{s}$ und $87^\circ/\text{s}$ wird für die Erfassung ruckartiger Lenkbewegungen definiert. Die Probandenstudie und zusätzliche Testfahrten ergeben, dass solche Werte bei herkömmlichen Fahrten auf gerader Strecke (Autobahn, Landstraße, gerade Ortsstraßen) nicht vorkommen und deshalb auf ein außergewöhnliches Manöver schließen lassen. Das bedeutet nicht, dass es sich um eine fahrdynamisch kritische Situation handelt, sondern dass der Fahrer zum Führen des Fahrzeugs auf seiner gewünschten Trajektorie einen höheren körperlichen und kognitiven Aufwand betreiben muss. Wird der Wert von $87^\circ/\text{s}$ überschritten, wird von einem entsprechend „scharfen“ Manöver ausgegangen, in welchen eine erhöhte Aufmerksamkeit vom Fahrer abverlangt wird. Solche Werte treten üblicherweise beim Rangieren, Abbiegen oder bei abrupten Richtungswechseln auf.

Für die Eingangsgröße Bremsdruck ist für die Probandenstudie ein Grenzwert bei 30 bar festgelegt. Die Ergebnisse der Grenzwertvalidierung zeigen, dass dieser Wert auf 24 bar und damit $a_y \approx 2,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ korrigiert werden muss. Dies stellt die subjektive Komfortschwelle der Längsverzögerung dar.

Darüber hinaus wird ein weiterer Grenzwert eingeführt. Auf Basis der Verbesserungsvorschläge wird ab einer Bremsaktivität von 2 [bar] der ABW beeinflusst. Da nahezu jede Art der Verzögerung auf externe Einflüsse zurückzuführen ist, sollte auch bei geringen Werten ein gewisses Maß an Aufmerksamkeit der Fahraufgabe zugerechnet werden. Ein anschauliches Beispiel ist das moderate Anbremsen hinter einem Vorderfahrzeug, welches selbst in der Kolonne bremst. Eine plötzliche Zunahme der Verzögerung des Vorderfahrzeugs erfordert eine unverzügliche Reaktion des Fahrers. Deshalb soll auch bereits bei geringen Bremsdrücken der ABW insofern beeinflusst werden, dass Prio-3- und Prio-4-Meldungen entsprechend manipuliert werden.

Der Schwellwert der Querbeschleunigung ist während der Probandenstudie auf $2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ festgelegt. Auch hier geben die Ergebnisse der Studie Anlass dazu, einen zusätzlichen Schwellwert einzuführen. Der unterer Grenzwert liegt bei $2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, wodurch Situationen eher ruhigerer Fahrer abgedeckt werden. Als oberen Grenzwert wird $3,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ festgelegt. Dieser Wert entspricht dem Durchschnittswert der Komfortschwelle der Probandenstudie.

Neben der Anpassung der Grenzwerte der Eingangsgrößen werden für das BN neue Trainingswerte aus der Probandenstudie abgeleitet. Dies betrifft in erster Linie die Auswirkung der Regenintensität auf den ABW und die Rückwärtsfahrt. Ebenso wird der Zielwert für ein Spurwechselmanöver nach oben gesetzt. Abbildung 5.11 zeigt das Ergebnis der angepassten Parametrierung. Darin stellt die Kurve „Referenz aus Probandenstudie“ die neuen Zielwerte dar, die durch das Modell des ABW erreicht werden soll. Für die Erfüllung ist ein Toleranzbereich von $\pm 5\%$ vorgesehen, welcher durch die schwarzen Kreise zum jeweiligen Szenario eingezeichnet ist.

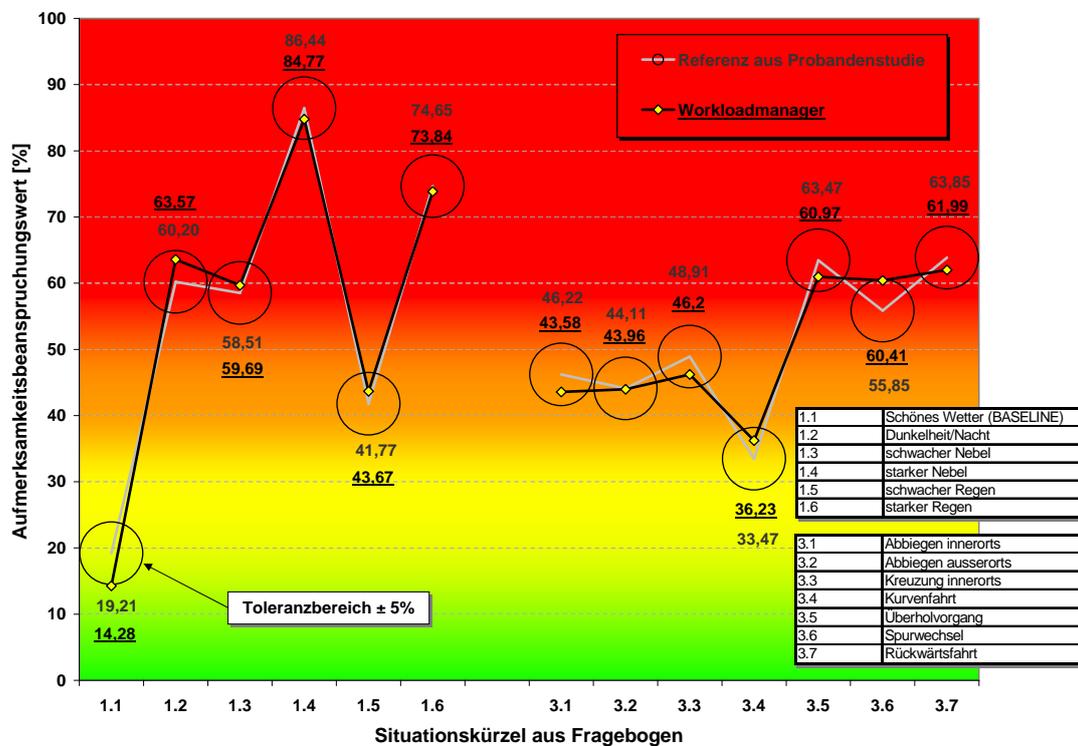


Abbildung 5.11: Optische Wahrnehmung der Fahrsituation bei Blickabwendung

Der Erfüllungsgrad der Zielwerte wird durch die neue Parametrierung erreicht und somit ein optimiertes Systemverhalten des Workloadmanagers realisiert. Darüber hinaus wird durch die Überarbeitung der Grenzwerte jeweiliger Eingangsgrößen eine bessere bzw. fahrerangepasste Situationseinschätzung erreicht. Mit diesem Setting ist das aktuelle Optimum der Funktionalität des Workloadmanagers erreicht. Weitere Verbesserungen können mit zusätzlicher Sensorik erzielt werden. Mit diesen Erweiterungen setzt sich der folgende Abschnitt auseinander.

5.3.2 Erweiterung des Funktionsumfangs

Der Aufbau des Bayes'schen Netzes ermöglicht eine modulare Erweiterung des Modells. Stehen zusätzliche Eingangsgrößen in Form von neuen oder erweiterten Sensoren zur Verfügung, können diese über neue Elternknoten in das Netz integriert werden. Die Generierung der entsprechenden Pfade zu den jeweiligen Kinderknoten tragen zu einer verbesserten Situationseinschätzung bei. Die Anpassung der Wahrscheinlichkeitstabellen der Kinderknoten stellt den Einmalaufwand dar, um den Zusatznutzen zu erzielen. Der Rest des Netzes, insbesondere die Modellierung des ABW aus den einzelnen Beanspruchungsfaktoren, bleibt unangetastet.



Abbildung 5.12: Erweiterungen des Systems mit fahrzeugeigener Sensorik

Fokussiert auf die Möglichkeiten im verwendeten Versuchsträger werden als sinnvolle Zusatzinformationen der Licht- und Regensensor in das Netz integriert. Dadurch erzielt das Modell eine erheblich bessere Einschätzung der Lichtverhältnisse und der realen Witterungsbedingungen. Die Grenzwerte für den Lichtstrom im infraroten Wellenlängenbereich werden bei $6lx$ und $25lx$ festgelegt. Damit ist der Übergang von „heller Sonneneinstrahlung“ über „Dämmerung“ hin zu „keiner Infrarotstrahlung“ im Rahmen der Sensorgenauigkeit abgedeckt. Im sichtbaren Bereich sind die Schwellen bei $6lx$ und $300lx$ empirisch ermittelt worden. Abbildung 5.13 stellt den zeitlichen Verlauf einer Herbsdämmerung mit je einem Bild nach vorne (Sensor im sichtbaren Spektrum) und senkrecht nach oben (Sensor im infraroten Spektrum) dar. Die Abbildungen sollen ein Gefühl für die Größenordnungen vermitteln. Anhand der angegebenen Werte kann man erkennen, dass jeweils ein Messwert von $0lx$ in beiden Spektren keine „absolute“ Dunkelheit darstellen. Ebenso kann ein Eindruck über die beiden unteren Schwellenwerte von je $6lx$ gewonnen werden.

Die verbaute Einparkhilfe (audi parking system, kurz APS) nutzt zur Umgebungserfassung im Niedrig-Geschwindigkeitsbereich bis ca. 10 km/h Ultraschallsensoren im Bereich der Stoßfänger rund um das Fahrzeug. Über Reflexionen an Hindernissen wird deren Lage und Entfernung zum Egofahrzeug bestimmt. Diese Information kann der Workloadmanager nutzen, um bei Schrittgeschwindigkeit oder bei eingelegtem Rückwärtsgang die potenziellen Risiken einer Meldungsabgabe abzuschätzen. Liegen Objekte innerhalb des unmittelbaren Aktionsradius, hier mit 50 cm festgelegt, gelten diese als Risiko. Auch in diesem Fall soll eine unnötige Aufmerksamkeitslenkung ins Fahrzeuginnere vermieden werden. Dem entsprechend wird hier eine Erhöhung des ABW vorgenommen. Diese Funktionalität wurde auch bei den Interviews mit den Vpn der Probandenstudie als gewinnbringende Erweiterung gesehen.

Wie in der Sichtung zum Stand der Technik in Kapitel 2 auf Seite 29 aufgezeigt, kann über die Kenntnis der Position und des Straßenverlaufs eine Prädiktion der Fahrerbeanspruchung vorgenommen werden. Eine solche Erweiterung des Funktionsumfangs erscheint insofern gewinnbringend, da alle bisherigen Eingangsgrößen des BN so genannte *post-trigger* darstellen. Das bedeutet, bei einer Überschreitung der Grenzwerte befindet sich

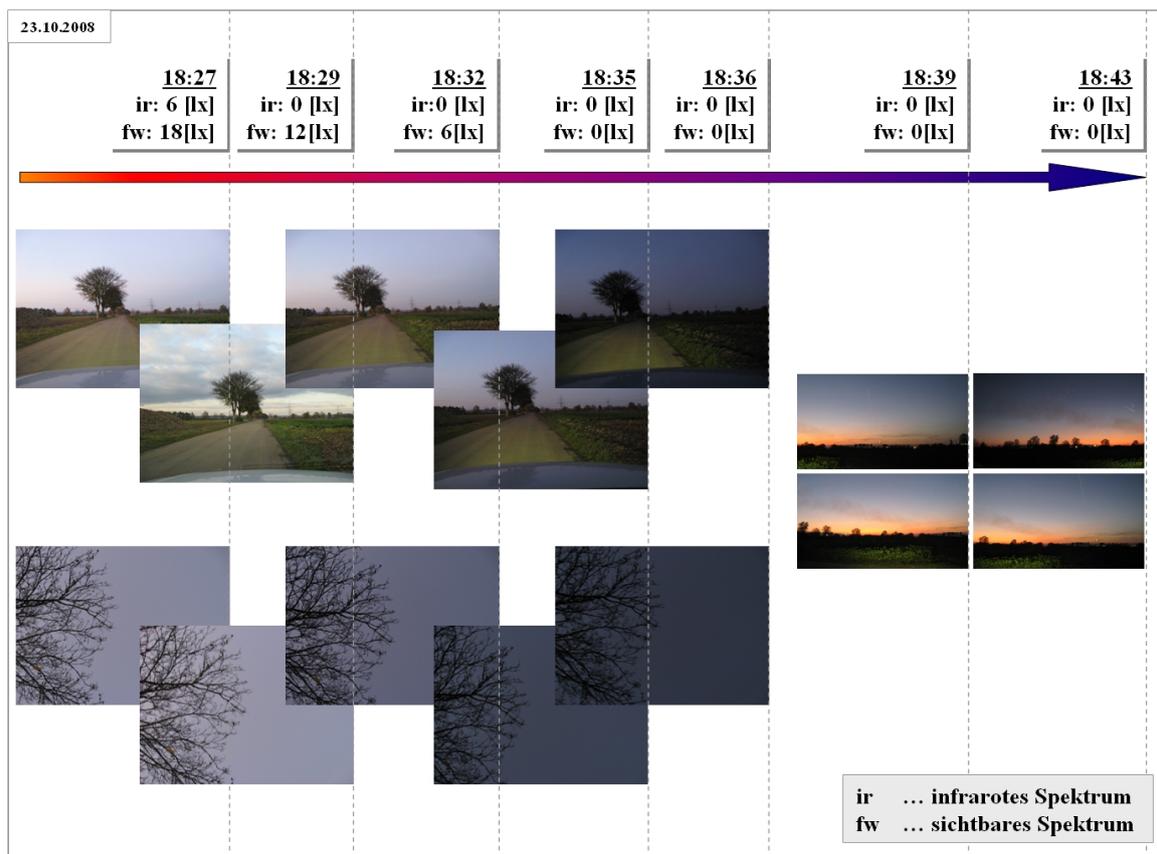


Abbildung 5.13: Erprobung des Lichtsensors

das Fahrzeug samt Fahrer bereits in der zu erkennenden Situation und der WLM kann lediglich reagieren. Durch Einsatz der Navigationsinformationen kann ein antizipatives Systemverhalten realisiert werden. Dies erfolgt durch die Vorausschau auf die befahrende Strecke und ein vorgezogenes Beeinflussen des ABW. So kann bspw. bereits vor der Einfahrt in eine Kreuzung die Anzeige von Meldungen manipuliert werden.

Die Anwendung soll die Entfernung zur nächsten Kreuzung und zu Kurven mit einem Krümmungsradius unter einem Grenzwert errechnen und ab einer definierten Entfernung vor diesen markanten Punkten der Straßenführung den modellierten Aufmerksamkeitsbedarf des Fahrers erhöhen.

Die bekannten Lösungen aus der Literatur sehen eine genaue Vermessung einer Versuchsstrecke und ein DGPS (Differential Global Positioning System) und die Nutzung von feindigitalen Karten vor (z.B. [PIECHULLA 2002a], [PIECHULLA 2004]). In dieser Arbeit ist von Interesse, ob auch ohne diese Aufwände und mit einem serienmäßigen Navigationssystem der erwartete Nutzen erreicht werden kann. In Abschnitt 5.1.1 auf Seite 119 ist erwähnt, dass ein zusätzliches Navigationssystem im Fahrzeug verbaut wird, um die Stabilität des fahrzeugeigenen Systems nicht zu gefährden. Darüber hinaus kann mit dieser Lösung müheloser auf die gewünschten Informationen zugegriffen werden. Für die Berechnung des „elektronischen Horizonts“ werden die im Kartenmaterial hinterlegten Segmente, Kreuzungspunkte und die Straßenklasse herangezogen.

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist das entscheidende Attribut dieser Funktionalität. Um dies zu untersuchen, wird empirisch die Reproduzierbarkeit der GPS-Bestimmung des Versuchsfahrzeugs an definierten Positionen überprüft. Die Ergebnisse zeigen auf, dass die erkannte von der realen Position um bis zu ca. 5 Meter abweichen kann. Diese Werte ergeben sich in gut zugänglichen Umgebungen. Bei eingeschränktem Satellitenempfang kann die Abweichung jedoch bis zu 20 Meter annehmen ([KÖHNE 2009]). Zusätzlich muss noch der systematische Fehler von 3,25 Metern, hervorgerufen durch die Einbaulage im hinteren Bereich des Fahrzeugdachs, berücksichtigt werden.

Aus diesen Daten lässt sich herleiten, dass im schlimmsten Fall damit zu rechnen ist, dass das vordere Ende des Fahrzeugs sich ca. 23 Metern weiter vorn in Fahrtrichtung befindet, als dies vom Navigationssystem ausgegeben wird. Auch die seitliche Abweichung ist für die vorliegende Anwendung relevant, da über einen internen Plausibilisierungsalgorithmus in Abhängigkeit der zuletzt befahrenen Strecke das Fahrzeug auf den Straßenverlauf gesetzt wird. Hierbei können zusätzliche Abweichungen generiert werden. Je nach Straßenklasse ergeben sich mit dieser Unschärfe entsprechende Konsequenzen. Während auf einer Autobahn diese Distanzen bei der Entfernungsmessung zur nächsten Ausfahrt weniger eine Rolle spielen, sind sie innerhalb von Ortschaften durchaus entscheidend für die Funktionalität. Gerade in den Abbiege- und Kreuzungssituationen innerorts ist durch ein antizipatives Systemverhalten ein Nutzen zu erwarten.

Einen weiteren Einflussfaktor stellt die Güte des Kartenmaterials dar. Dabei ist sowohl die Abdeckung des Straßennetzes als auch die Aktualität der Daten entscheiden. Speziell die Dauer der Datenerfassung bis zur Verbreitung als Navigations-Kartenmaterial stellt ein Risiko dar, sobald dazwischen Straßenbaumaßnahmen vorkommen.

All diese Aspekte fließen in eine Bewertung der Zusatzfunktionalität ein. In Anbetracht der Tatsache, dass mit der im Versuchsfahrzeug vorliegenden Technologie keine uneingeschränkt optimale Nutzung der Navi-Informationen gewährleistet werden kann, wird auf eine umfassende Prüfung der Systemerweiterung verzichtet. Es konnten jedoch schon bei dieser suboptimalen Ausführung in einzelnen Versuchen eine positionsbedingte Beeinflussung des ABW erreicht werden. Die Umsetzung und Validierung einer Vorausschau auf Basis eines serienmäßigen Navigationssystems kann Gegenstand weiterer Studien sein.

Diese drei Beispiele der Systemerweiterungen zeigen auf, in welcher Weise die Funktionalität des Workloadmanagers ergänzt werden kann. In Abbildung 5.14 ist die finale Modellierung des ABW dargestellt.

Über dem modularen Aufbau des Bayes'schen Netzes lassen sich neue Technologien und Sensorinformationen in das Modell einpflegen, ohne die Grundstruktur oder Parametrierung anpassen zu müssen. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, komplett neue Pfade zu integrieren. Ein Einbeziehen von zukünftigen Fahrerbeobachtungs-Technologien mit videobasierten Systemen oder ähnlichem bleibt dadurch realisierbar.

Prinzipiell sind alle Informationen hilfreich, die eine optimierte Situationseinschätzung ermöglichen. Je genauer die Umweltrepräsentation, desto besser und adäquater kann der Workloadmanager den Informationsfluss steuern.

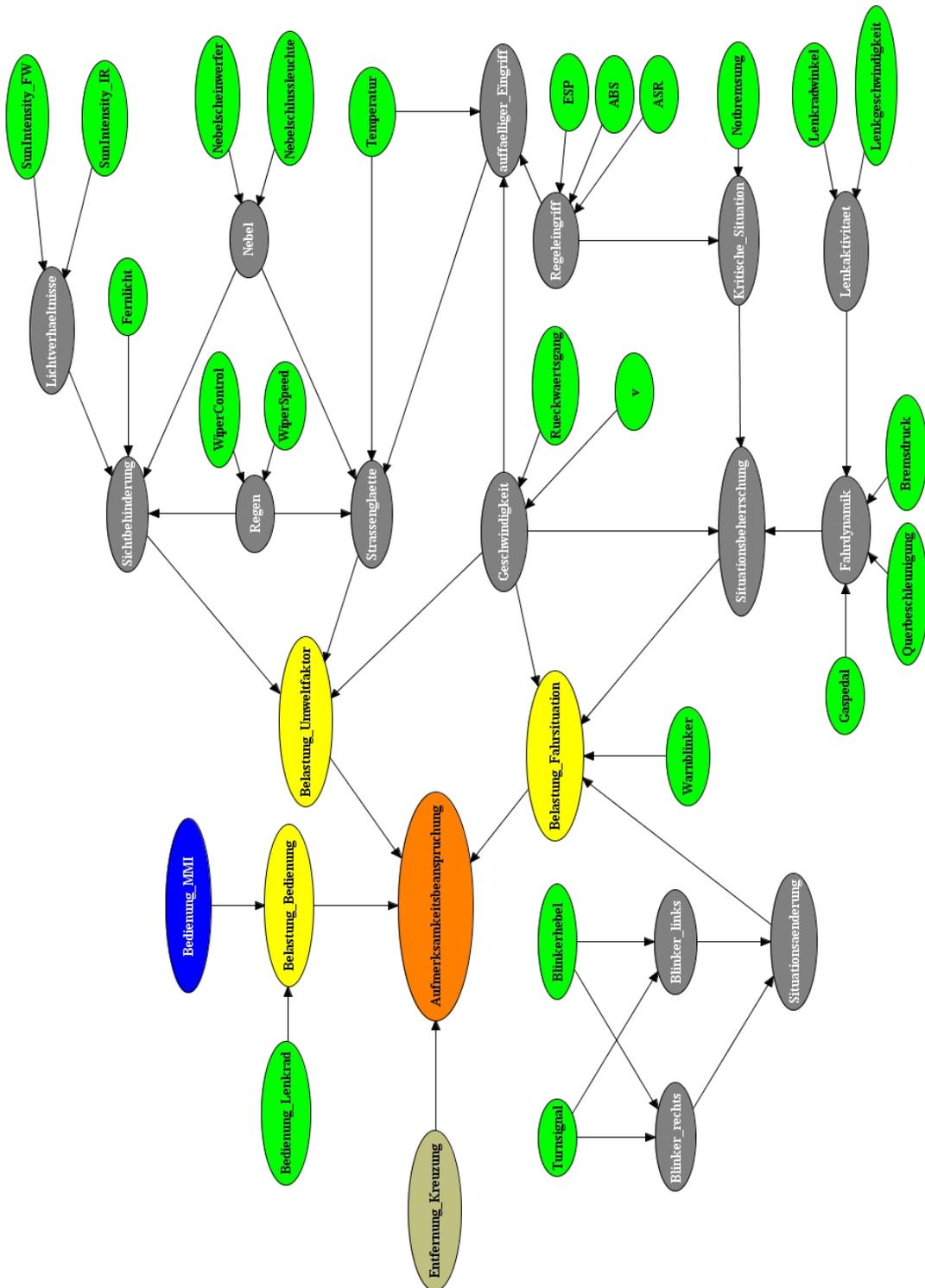


Abbildung 5.14: Vollständige Modellierung des Workloadmanagers

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

Der Ausgangspunkt dieser Arbeit lässt sich so formulieren, dass basierend auf der Fülle an Informationen in Form von Meldungen und Hinweisen im Fahrzeug negative Auswirkungen auf den Fahrer zu erwarten sind. Die Ziele der Arbeit liegen einerseits in der Untersuchung, ob es zu situativ unpassenden Meldungen ausgaben kommt und in welcher Form sich diese auf den Fahrer auswirken. Zum Zweiten wird ein Konzept entwickelt und validiert, welches ein solches Auftreten von unpassenden Meldungen verhindert und den Informationsfluss vom Fahrzeug an den Fahrer situationsspezifisch optimiert.

Hierfür wird im **Kapitel 1** auf das Führen eines Fahrzeugs eingegangen. Das zu Grunde liegende Modell eines Regelkreises und deren Elemente, der Fahrer, das Fahrzeug und die Umwelt, werden analysiert. Hierbei wird ein besonderer Fokus auf die Wahrnehmung des Menschen sowie die Informationsverarbeitung der aufgenommenen Reize gelegt. Allem voran wird der optische Sinneskanal erörtert, um durch das Verständnis der visuellen Wahrnehmung die Auswirkungen bei Blickabwendungen und Ablenkungen einschätzen zu können.

Eine Darstellung moderner Fahrerunterstützungssysteme rundet diesen Abschnitt ab. Hier wird auf die Thematik der Assistenz- und der Informationssysteme eingegangen. Die sich hieraus ergebenden Meldungen der einzelnen Systeme stellen die Handlungsgegenstände in dieser Arbeit dar.

Mit diesem Hintergrund wird in **Kapitel 2** eine umfassende Literaturrecherche beschrieben, welche den Stand der Technik und bestehende Forschungen zu diesem Themengebiet wiedergibt. Eingangs werden die vorkommenden Begrifflichkeiten definiert und voneinander abgegrenzt. So wird die Beanspruchung als individuelle Folge von Belastungen beschrieben. Des Weiteren wird der Begriff Workload als Gesamtheit der Arbeitsbelastung, körperlich und kognitiv, eingeführt. Die Aufmerksamkeit des Fahrers, im Sinne von Wachheit und Aufnahmefähigkeit, wird ebenfalls als wichtiger Ausdruck in diesem Zusammenhang beschrieben.

Um das eingangs postulierte System umzusetzen, werden die gängigen Methoden der Beanspruchungsmessung angesprochen und deren möglicher Einsatz im automotiven Umfeld diskutiert. Es folgen Zusammenfassungen relevanter Beiträge im Kontext von Beanspruchungsmessung, Informationsfilterung und dem so genannten Workloadmanagement. Dieses beschreibt das Manipulieren des Informationsflusses auf Basis des vorherrschenden

Fahrer-Workload. Die Sichtungen von Unfallstatistiken zeigen auf, dass es nachweislich zu Unfällen durch situative Ablenkung, induziert von Fahrzeugmeldungen, kommt.

Diese theoretischen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die folgende Konzepterstellung. Der Leitsatz des Systems wird folgendermaßen formuliert: *Vermeidung unnötiger Ablenkung des Fahrers durch situativ ungünstige Meldungen.*

Um dieses Ziel zu erreichen werden klassisch Meilensteine formuliert, welche den Entwicklungspfad des in weiterer Folge als Workloadmanager genannten Systems darstellen. Der weitere Verlauf der Arbeit orientiert sich an diesen Meilensteinen und bearbeitet die aufgestellten Hypothesen.

Im Vorfeld zur eigentlichen Entwicklung des Workloadmanagers wird eine Grundlagenstudie durchgeführt, welche die Reaktionen von Fahrern auf Warnmeldungen während der Fahrt untersucht. Im **Kapitel 3** wird auf diese Fahrsimulatorstudie, deren Durchführung und die Ergebnisse eingegangen.

Über die Auswertung der Videoaufzeichnungen kann eindeutig abgeleitet werden, dass der Fahrer situationsunabhängig beim Auftreten eines externen Reizes (optische Meldung mit Akustik) den Blick und damit die Aufmerksamkeit ins Fahrzeuginnere lenkt. Dieses Ergebnis allein rechtfertigt den Einsatz eines Workloadmanagers im Automobil. Des Weiteren können Erkenntnisse zu den Blickabwendungszeiten der Fahrer abgeleitet werden. Die Daten zeigen, dass mit zunehmender Penetranz der Akustik die Blickzeiten zunehmen. Dies spiegelt sich in der unterschiedlichen Akustik der vorkommenden drei Prioritätsstufen wider. Naturgemäß steigen die Dauern der Blickabwendungen auch mit zunehmendem Informationsgehalt der Meldung. Auch dieser Zusammenhang lässt sich graphisch darstellen.

Ein weiterer Untersuchungsgegenstand sind unterschiedliche Fahrerreaktionen in Abhängigkeit der Fahrsituation. Hier stellt sich in der Simulatorstudie heraus, dass in entspannten Situationen (gerade Strecke) die Probanden zwar keine längeren, aber mehr Einzelblicke ins Kombiinstrument werfen, um den Inhalt der Meldung zu erfassen. Lässt es also die Situation zu, wird kumulativ mehr Aufmerksamkeit für das Lesen der Meldung bereitgestellt.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wird in **Kapitel 4** das Konzept einer zeitlich-situativen Informationsfilterung erstellt. Dabei wird auf die drei Bestandteile eines umfassenden Workloadmanagements, das Fahrzeug, die Fahrsituation und die Fahrerkondition, eingegangen. Die gegebenen Randbedingungen ermöglichen lediglich das Zurückgreifen auf vorhandene und serienmäßige Technik und Sensorik, weshalb die Fahrerkondition indirekt abgeschätzt werden muss. In diesem Zusammenhang wird das Konzept des *impliziten Workloadmanagements* eingeführt. Dieser Ansatz beinhaltet eine Situationserfassung anhand vorliegender Informationen am Fahrzeug-CAN und der daraus abgeleiteten benötigten Aufmerksamkeit, welche der Fahrer zum sicheren Erfüllen der Fahraufgabe aufbringen muss. Dies stellt den grundlegenden Unterschied zu bestehenden Ansätzen dar, da nicht das absolute Beanspruchungslevel und die verbleibenden Ressourcen des Fahrers in die Betrachtung einbezogen werden. Die Abschätzung über den so genannten

Aufmerksamkeits-Beanspruchungswert legt über die logische Entscheidung, ob die Anzeige einer Meldung in der vorherrschenden Situation aus komfort- und sicherheitsrelevanter Sicht sinnvoll ist, den Informationsfluss zum Fahrer fest. Eine Abschätzung, ob der Fahrer eine zurückgehaltene Meldung auf Grund seiner kognitiven Ressourcen noch verarbeiten könnte, wird nicht vorgenommen.

Um Aussagen über den Grad der benötigten Aufmerksamkeit treffen zu können, wird eine Fragebogenstudie vorgenommen. Diese beantwortet die Fragen, welche Situation den Fahrer wie stark beansprucht und wie die Relationen zwischen den einzelnen Situationen sind. Die abgefragten Szenarien umfassen Umweltfaktoren wie Nebel, Regen und Blendung, Bedienhandlungen wie die Eingabe von komplexen Zahlen- und Buchstabenfolgen (Navigationsziel) und Fahrmanöver wie abbiegen, überholen, das Wechseln einer Spur oder das Rückwärtsfahren. Mittels eines semantischen Differenzials werden die einzelnen Bewertungen erfasst und als Grundlage für die Parametrierung des Modells der Aufmerksamkeitsbeanspruchung verwendet.

Das Konzept des Aufmerksamkeits-Beanspruchungswerts ist in Form eines Bayes'schen Netzes umgesetzt, welches Schlussfolgerungen auf Basis von unscharfen Informationen zulässt. Diese Methode ermöglicht zu dem eine graphische Modellierung, welche die Zusammenhänge der einzelnen Größen in Form von Knoten und Kanten zueinander darstellt. Die Modellierung erfolgt entlang der drei Ebenen des Workloadmanagements, indem über die vorliegenden Fahrzeuginformationen die Fahrsituation identifiziert wird und daraus der Aufmerksamkeits-Beanspruchungswert abgeleitet wird. Für diesen letzten Schritt werden die Erkenntnisse der Fragebogenstudie herangezogen, um eine erste Parametrierung vornehmen zu können.

Der ausgegebene Wert des Modells dient als Entscheidungskriterium, ob eine Meldung angezeigt werden soll oder verwaltet wird. Informationsfilterung kann hierbei über eine Prioritätensteuerung erfolgen. Überschreitet der Aufmerksamkeits-Beanspruchungswert bestimmte Schwellen, werden nur Meldungen mit entsprechend hoher Priorität dem Fahrer angezeigt. Die zurückgehaltenen Meldungen werden reevaluiert und nach Entspannung der Situation nachgereicht.

Um Meldungen mit niedriger Priorität bei lange anhaltender Überschreitung der korrespondierenden Schwelle anzuzeigen, werden zwei Varianten von Adaptionsstrategien vorgestellt. Dabei werden entweder die Prioritäten der Meldungen dynamisch angepasst oder die festgelegten Schwellenwerte zeitabhängig skaliert.

Die Realisierung des entwickelten Konzeptes wird in **Kapitel 5** dargestellt. Hier wird der Aufbau des zu Verfügung stehenden Versuchsträgers beschrieben und auf die Funktionalität des Workloadmanagers im Fahrzeug eingegangen.

Durch die erstmalige Implementierung des Modells im Fahrzeug kann das allgemeine Systemverhalten untersucht werden. Diese Erkenntnisse dienen zur Optimierung der Parameter des Bayes'schen Netzes und zur Festlegung der Prioritätenschwellen. Nachdem diese Optimierungsschleife ein stabiles und erwartungskonformes Modell ergibt, wird im Anschluss eine Probandenstudie im realen Verkehr durchgeführt.

Diese Studie verfolgt drei Ziele. Zum Ersten soll die umgesetzte Funktionalität des implizi-

ten Workloadmanagements validiert und verifiziert werden. Hierfür werden den Versuchsteilnehmern je drei Meldungen mit und ohne Workloadmanager-Funktionalität angezeigt und die unterschiedlichen Reaktionen darauf festgehalten. Zusätzlich werden diese Werte einem Vergleich mit der Simulatorstudie unterzogen. Bezüglich der Blickabwendungszeiten zeigen sich längere kumulierte Blickdauern, jedoch bleiben die Einzelblickzeiten vergleichbar mit der Simulatorstudie.

Der Vergleich der Blickabwendungszeiten bei Meldungen mit und ohne Workloadmanager ergibt keine signifikanten Unterschiede, welche die Durchschnittswerte vermuten lassen. Damit unterscheiden sich die Ergebnisse von der Studie im Fahrsimulator. Das legt nahe, dass Fahrer im realen Straßenverkehr unabhängig von der Anzeigesituation nur so lange ins Kombidisplay blicken, bis sie den Inhalt der Meldung erfasst haben.

Ungeachtet dessen zeigt sich erneut, dass die Fahrer situationsunabhängig beim Erscheinen einer Meldung mit Akustik ins Kombidisplay blicken. Dabei spielt es keine Rolle, ob sich das Fahrzeug in einer Kreuzung, Kurve oder geraden Strecke befindet.

Die subjektive Befragung der Versuchspersonen im Anschluss an jede Meldungsanzeige ergibt signifikant bessere Bewertungen für die Szenarien mit Workloadmanager. Dem entsprechend führt die zeitlich-situative Informationsfilterung zu einem nachweisbaren positiven Effekt in der subjektiven Empfindung der Beanspruchung.

Der zweite Teil der Studie befasst sich mit der Güte des erarbeiteten Modells. Hierbei werden standardisierte Fahrmanöver durchfahren und der errechnete Aufmerksamkeits-Beanspruchungswert mit der subjektiven Einschätzung der Probanden abgeglichen. Diese Verifikation des Modells ist vor allem deshalb notwendig, da die bisherigen Trainingsdaten des Netzes auf den statischen Fragebogenergebnissen basieren. Die so erlangten Zielwerte fließen als optimierte Parametrierung in das Modell ein.

Als letzten Punkt der Studie werden mehrere Grenzwerte von Eingangsgrößen verifiziert. Auch hierfür werden mit definierten Fahrmanövern die jeweiligen Zustände des Fahrzeugs hervorgerufen und Anhaltswerte für die Komfortschwellen von beispielsweise Querschleunigung oder Bremsaktivität ermittelt. Durch das Nachjustieren der einzelnen Eingangsgrößen und deren Grenzwerte wird die Situationsidentifikation besser auf das subjektive Empfinden des Fahrers abgestimmt, was sich in einem besseren Systemverhalten des Workloadmanagers niederschlägt.

Es zeigt sich, dass durch die Nutzung der im Fahrzeug vorhandenen Informationen die Umsetzung eines impliziten Workloadmanagements möglich ist. Der positive Nutzen kann in Bezug auf das Komfortempfinden und der Fahrerablenkung ausgewiesen werden. Durch die Kenntnis der erlernten Reaktion der Fahrer, dass beim Ertönen einer Akustik der Blick von der Straße in das Kombiinstrument geworfen wird, lassen sich die möglichen Sicherheitspotenziale einer zeitlich-situativen Informationsfilterung abschätzen.

Als **Ausblick** soll, wie bereits in Abschnitt 5.3.2 angesprochen, hier auf mögliche Erwei-

terungen des Systems eingegangen werden. Die momentane Beschränkung auf den aktuellen Serienstand von Fahrzeugen ermöglicht eine vergleichsweise rudimentäre Analyse der Fahrzeugumgebung. Mit den Erweiterungen der Sensorik durch bestehende Forschungs- und Entwicklungstechnologien lässt sich die Situationseinschätzung deutlich verbessern. Allen voran kann ein Navigationssystem mit genauer Positionierung und hinreichend genauem bzw. aktuellem Kartenmaterial einen großen Zusatznutzen darstellen. Da diese Umfänge in dieser Arbeit nicht ausführlich untersucht werden konnten, kann diese Systemerweiterung als Startpunkt weiterer Studien dienen. Der zu erwartende hohe Nutzen kann aus den bestehenden Forschungsergebnissen (siehe Kapitel 2) prognostiziert werden. Eine weitere, viel versprechende Technologie stellt die videobasierte Umfeldwahrnehmung dar. Diese Sensorik wird vorrangig für Funktionalitäten von Fahrerassistenzsystemen entwickelt und hat bereits vereinzelt in Fahrzeugen der Premiumklasse Einzug in die Serie gehalten (z.B. Audi Q7, BMW 7, Mercedes S-Klasse). Die gewonnenen Videodaten werden zur Erkennung des Fremdverkehrs, von Straßenmarkierungen oder Verkehrszeichen genutzt und als Basis für Assistenzsysteme der Längs- und Querverführung sowie zur Anzeige der aktuellen Geschwindigkeitsbeschränkung genutzt. Ebenso kann diese Information vom Workloadmanager dazu verwendet werden, den unmittelbaren Aktionsradius des Fahrzeugs nach vorne zu erfassen und bei Situationen mit erhöhtem Aufmerksamkeitsbedarf des Fahrers den Informationsfluss entsprechend filtern.

Ähnliche Anwendung kann ein radarbasiertes System finden, welches heutzutage beispielsweise in ACC-Systemen zu finden ist. Über aktive Sensoren und der Interpretation der empfangenen Reflexionen kann ebenso eine Erfassung des Fahrzeugumfeldes geschehen.

In absehbarer Zeit werden vermehrt Kameras zur Fahrerbeobachtung zum Einsatz kommen. Diese beobachten die Augen und das Lidschlussverhalten des Fahrers und geben die Informationen an ein Müdigkeitswarnsystem weiter. Diese Technologie kann dem Workloadmanager nützliche Informationen zur Fahrerkondition liefern. Durch die direkte Erfassung der Beanspruchung, Müdigkeit oder einer Blickabwendung zur Seite oder nach hinten kann der Workloadmanager situationsadäquat Einfluss auf den Informationsfluss des Fahrzeugs nehmen.

Ebenso können weitere Ansätze, die zur Bestimmung der Fahrerkondition genutzt werden, in das Modell des Workloadmanagers einbezogen werden und die Funktion erweitern.

Weitere Untersuchungen sollten die Möglichkeit der aktiven Meldungsgenerierung berücksichtigen. Der hier vorgestellte Ansatz eines Workloadmanagers manipuliert die auftretenden Meldungen, ohne auf das Anzeigekonzept Einfluss zu nehmen. Weiterführend ist es denkbar, dass der Workloadmanager gezielt Meldungen generiert und so aktiv Einfluss auf den Informationsfluss nimmt, sozusagen eine *kontextabhängige Informationsgestaltung*. Ein plakatives Beispiel hierfür ist die Tankwarnung während einer Autobahnfahrt. Über die Restreichweite des Tankinhaltes und der aktuellen Position des Fahrzeugs kann innerhalb des erreichbaren Horizonts nach Tankstellen gesucht und z.B. nach Marke oder Preis eine Auswahlliste vorbereitet werden. In diesem Fall wäre es denkbar, die Meldung „Bitte Tanken“ früher als normalerweise zu bringen und mit dem Hinweis an eine bevor-

stehende Autobahnausfahrt zu verknüpfen. Ebenso kann die Meldung gezielt vor einer Ausfahrt gezeigt werden, wenn die Restreichweite nicht bis zu nächsten Tankstelle reichen würde und so einen „Liegenbleiber“ verhindern.

Der dargestellte Workloadmanager und die angesprochenen Erweiterungsmöglichkeiten bieten die Möglichkeit, der Vielfalt des Informationszeitalters im Fahrzeug zu begegnen und die Informationsdarstellung kundenorientiert zu realisieren. Es scheint unverzichtbar, zukünftig eine Instanz im Fahrzeug zu installieren, welche dem Fahrer trotz aller Vernetzungen, Systeme und Technologien die Möglichkeit bietet, in Ruhe „die Kurve zu kriegen“.

Abkürzungsverzeichnis

ABW	AufmerksamkeitsBeanspruchungsWert
ABS	Anti-Blockier-System
ACC	AudiCruiseControl
AFL	Adaptive Forward Lighting
AIDE	Adaptive Integrated Driver-vehicle InterfacE
APS	Advances Parking System
ASR	Anti-Schlupf-Regelung
AWV	AnhalteWeg-Verkürzung
BG	Breaking Guard
BN	Bayes'sches Netz
CAN	Controller Area Network
CGL	Corpus Genitalum Laterale = Seitlicher Kniehöcker
DAB	Digital Audio Brodcasting
DGPS	Differential Global Positioning System
ECM	Engine Control Module
EEG	Elektro-EnzephaloGraphie
EKG	Elektro-KardioGramm
EMG	ElektroMyoGramm
EOG	Elektro-OkuloGramm
EPB	Elektronische ParkBremse
ESoP	European Statement of Principles on the design of human machine interfaces
ESP	Elektronisches StabilisierungsProgramm
FAS	FahrerAssistenzSystem
FLV	FahrerLeistungsVermögen
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FIS	FahrerInformationsSystem
fps	frames per second
GIDS	Generic Intelligent Driver Support
GPS	Global Positioning System
GRA	GeschwindigkeitsRegelAnlage
HC	Heading Control
HUD	Head UpDisplay
IDIS	Intelligent Driver Information System
i_L	Lenkuntersetzung
LAN	Local Area Network

LDW	Lane D eparture W arning
LED	Licht E mittierende D iode
LKW	Last K raft W agen
MMI	hier: M ulti M edia I nterface
MKE	Müdig K eits E rkennung
MOST	M edia O riented S ystems T ransport
NASA	N ational A eronautics and S pace A dministration
NV	Night V ision
PDC	P ark D istance C ontrol
PDT	P eripheral D etection T ask
PKW	P ersonen K raft W agen
PLA	P ark- L enk- A ssistent
POC	P erformance O perating C haracteristic
RSE	R ear S eat E ntertainment
RSME	R ating S cale M ental E ffort
RVC	R ear V iew C amera
SANTOS	S ituations- A ngepasste und N utzer- T yp zentrierte O ptimierung von S ystemen zur F ahrerunterstützung
SMS	S hort M essage S ervice
Std	S tandard d eviation = Standardabweichung
SWA	S pur W echsel A ssistent
TLC	T ime to L ine C rossing
TLX	T ask L oad I nde X
TPMS	T ire P reasure M easuring S ystem
TTC	T ime T o C ollision
VGA	V ideo G raphics A rray
Vpn	V ersuchsperson(en)
WIM	W arn- und I nformations M anager
WLM	W ork L oad M anager
Δ	D elta = Abweichung

Abbildungsverzeichnis

1.1	Regelkreis Mensch-Fahrzeug-Umwelt	6
1.2	Handlungsebenen	8
1.3	Aufbau des menschlichen Auge	10
1.4	Grenzbereiche der Blickfolgebewegung in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit	13
1.5	Aufbau des Ohrs	14
1.6	Ressourcenmodell nach Wickens (links) und Performance Operating Characteristic (rechts)	19
1.7	Lineares Einspurmodell	21
1.8	Zunahme der Fahrzeugsysteme	25
1.9	Fahrerunterstützungssysteme	28
2.1	Workload-Regionenmodell	31
2.2	Häufigkeit der Fehlerarten bei Verkehrsunfällen	52
3.1	Interieur und Exterieur des Audi Fahrstimulators	56
3.2	Strecke der Simulatorstudie	57
3.3	Verteilung der Blickanzahl je Prioritätsstufe	60
3.4	Blickabwendungszeiten in Abhängigkeiten der Prioritäten	61
3.5	Blickabwendungszeiten in Abhängigkeiten der Wortanzahl	62
3.6	Vergleich der Blickabwendungen je Situation	63
3.7	Vergleich der Blickabwendungen je Situation	64
3.8	Abbiegeszenario mit Begegnung eines Fußgängers	67
4.1	3-Säulen-Modell	70
4.2	Methoden der Fahrerbeobachtung	73
4.3	Altersverteilung der Stichprobe	75
4.4	Fahrleistung der Stichprobe in km/Jahr	76
4.5	Bewertungen der Umweltfaktoren	77
4.6	Bewertungen der Bedienhandlungen	78
4.7	Bewertungen der Fahrmanöver	79
4.8	Beispiel zur Modellierung von Nebel	89
4.9	Nebelwahrscheinlichkeit bei gegebenen Evidenzen	90
4.10	Modellierungsebenen	92
4.11	Beispielhafte Modellierung der Sichtbehinderung	102
4.12	Modellierung der Straßenglätte	103

4.13	Modellierung des Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes	104
4.14	Angepasste Gewichtungsfunktion	105
4.15	Wahrscheinlichkeitstabelle des Knotens Straßenglätte	107
4.16	Analyse des Systemverhaltens	108
4.17	Parameterliste der Prioritätenanpassung	111
4.18	Flussdiagramm der Adaptionstrategie „Dynamisierung der Prioritäten“ . .	112
4.19	Dynamische Priorisierung	113
4.20	Parameterliste der Schwellenskalierung	113
4.21	Flussdiagramm der Adaptionstrategie „Dynamische Skalierung der Schwellen“	114
4.22	Dynamisierte Schwellenskalierung	115
4.23	Flussdiagramm der „Kombinierte Adaptionstrategie“	116
4.24	Kombinierte Adaptionstrategie	117
5.1	Applikationen im Versuchsträger	120
5.2	Kartendarstellung einer Testfahrt von Ingolstadt nach München	123
5.3	Zeitschrieb einer Testfahrt von Ingolstadt nach München	124
5.4	Teststrecke der Systemvalidierung	127
5.5	Fahrleistung der Probanden pro Jahr	128
5.6	Verteilung der Blickanzahl je Prioritätsstufe	129
5.7	Kumulierte Blickzeiten (links) und Einzelblickzeiten (rechts) je Priorität .	130
5.8	Gegenüberstellung der Blicke je WLM-Funktionalität	131
5.9	Blickdauer in Abhängigkeit der Buchstabenanzahl	133
5.10	Optische Wahrnehmung der Fahrsituation bei Blickabwendung	137
5.11	Optische Wahrnehmung der Fahrsituation bei Blickabwendung	139
5.12	Erweiterungen des Systems mit fahrzeugeigener Sensorik	140
5.13	Erprobung des Lichtsensors	141
5.14	Vollständige Modellierung des Workloadmanagers	143

Tabellenverzeichnis

1.1	Einfluss der Sinneskanäle auf die Fahrzeugführung und -bedienung	18
2.1	Einflussfaktoren für Workload	30
4.1	Wahrscheinlichkeitstabelle Nebel	88
4.2	Relevante CAN-Botschaften	95
4.3	Regenstunden in Deutschland	97
5.1	Subjektive Bewertung der Anzeigesituationen je Priorität	132
5.2	Validierung der ABW-Modellierung	134
5.3	Validierung der Grenzwerte	135

Literaturverzeichnis

- [AAM 2006] AAM, DRIVER FOCUS-TELEMATICS WORKING GROUP (2006). *Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems*. Alliance of Automobile Manufacturers.
- [ADAC 2008] ADAC (2008). *Vor dem Linksabbiegen grundsätzlich anhalten*. http://www.n24.de/news/newsitem_3946971.html. (Verifikationsdatum: 09.10.2008).
- [AL HAMES 2008] AL HAMES, M. (2008). *Graphische Modellierung in der Mustererkennung*. Technische Universität München. Dissertation.
- [ALBRECHT 2005] ALBRECHT, M. (2005). *Modellierung der Komfortbeurteilung aus Kundensicht am Beispiel des automatisierten Anfahrens*. Universität Karlsruhe. Dissertation.
- [AUDI 2007] AUDI (2007). *Audi cross cabriolet quattro - Interieur: Das Bedienkonzept*. http://www.audi.de/de/brand/de/erlebniswelt/design_technologie/designstudien. (Verifikationsdatum: 31.03.2009).
- [BACKS 1992] BACKS, R.W.; RYAN, A.M. (1992). *Multimodal measures of mental workload during dual task performance: energetic demands of cognitive processes*. In: *Proceedings of the human factors society 36th annual meeting*, S. 1413–1417. Santa Monica, CA: Human Factors Society.
- [BARTL 2006] BARTL, G. ; HAGER B. (2006). *Unfallursachenanalyse bei PKW-Lenkern*. Institut Gute Fahrt.
- [BARTL 2007] BARTL, G. (2007). *Fachtagung der WKO Müdigkeit contra Aufmerksamkeit*“, Kap. Müdigkeit contra Aufmerksamkeit - Der potenzielle Unfallenker steckt in jedem von uns: Unaufmerksamkeit.
- [BAUMANN 2006] BAUMANN, M.; PETZOLDT, T.; KREMS J. (2006). *Situation Awareness beim Auto-fahren als Verstehensprozess*. MMI-Interaktiv, Nr. 11, Dez. 2006, ISSN 1439-7854, S. 43–57.
- [BENDER 2004] BENDER, K. (2004). *Modellbildung und Simulation - Grundlagen*. Vorlesungsskriptum. Technische Universität München.

- [BERGHOLZ 2007] BERGHOLZ, J.; HENZE, R.; KÜCÜKAY F. (2007). *VDI Fahrzeug und Verkehrstechnik Jahrbuch 2007*, Kap. Indirekte Methoden zur Identifikation des Fahrerleistungsvermögens, S. 124 – 149. Verein Deutscher Ingenieure e. V.
- [BERGHOLZ 2008] BERGHOLZ, J.; HENZE, R.; KÜCÜKAY F. (2008). *Objektivierung des Fahrerleistungsvermögens*. 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. 07.-08. April 2008, Garching bei München.
- [BÜKER 2007] BÜKER, U.; SCHMIDT, R.; WIESNER S.; SEIFERT K. (2007). *VDI-Berichte 2015*, Kap. Fahrerzustandserkennung und -identifikation mit einer Innenraumkamera, S. 193 – 204. VDI Wissensforum IWB GmbH.
- [BLASCHKE 2008a] BLASCHKE, C.; BREYER, F.; FÄRBER B.; FREYER J.; LIMBACHER R. (2008a). *Online-Prädiktion der Fahreraufmerksamkeit*. <http://www.icct.com/presentation/pdfs/O179.pdf>. (Verifikationsdatum: 29.01.2009).
- [BLASCHKE 2007] BLASCHKE, C.; SCHMITT, J.; FÄRBER B. (2007). *VDI-Berichte Nr. 2015*, Kap. Fahrmanöver-Prädiktion über CAN-Bus-Daten, S. 165 – 177. VDI Wissensforum IWB GmbH.
- [BLASCHKE 2008b] BLASCHKE, C.; SCHMITT, J.; FÄRBER B. (2008b). *Überholmanöver-Prädiktion über CAN-Bus-Daten*. ATZ, 11:1022–1028.
- [BRAESS 2000] BRAESS, H.-H.; SEIFFERT, U. (2000). *Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Braess, H.-H.; Seiffert, U.
- [BUBB 2001] BUBB, H. (2001). *Kraftfahrzeugführung*, Kap. Haptik im Kraftfahrzeug, S. 155–175. Jürgensohn, T.; Timpe, K.-P.
- [BUBB 2004] BUBB, H. (2004). *Produktergonomie*. Vorlesungsskriptum. Technische Universität München.
- [BUBB 2005] BUBB, H. (2005). *Ergonomisches Praktikum*, Kap. Lärmschutz und Audiometrie. Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München.
- [COHEN 1987] COHEN, A. (1987). *Nutzbarer Sehfeldumfang und seine Variation in Feldsituationen*. zitiert in: Hering, K. (1999) Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr; Philosophische Fakultät der Universität zu Köln; Dissertation.
- [COHEN 1998] COHEN, A. S. (1998). *Visuelle Orientierung im Straßenverkehr - Eine empirische Untersuchung zur Theorie des visuellen Abtastens*. Technischer Bericht 34, BFU.
- [DE WAARD 1996] DE WAARD, D. (1996). *The Measurement of Drivers' Mental Workload*. Universit of Groningen. Dissertation.

- [DEML 2008] DEML, B.; NEUMANN, H. (2008). *Prädiktion der Fahrerablenkung durch kognitive Modellierung*. ATZelectronic, (02|2008):26–30.
- [DEUBEL 1994] DEUBEL, H. (1994). *Enzyklopädie der Psychologie*, Kap. Visuelle Verarbeitung und Kognitive Faktoren von Sakkaden, S. 189–253. Nr. 1 Wahrnehmung. Prinz, W.; Bridgeman, B.
- [DILGER 2006] DILGER, W. (2006). *Einführung in die Künstliche Intelligenz*. Technische Universität Chemnitz. Vorlesung.
- [DÖRNER 2001] DÖRNER, D. (2001). *Bauplan für eine Seele*. Rowohlt Verlag GmbH.
- [DZT 2009] DZT (2009). *Klima Deutschland*. <http://www.deutschland-tourismus.de/DE/infocenter/klima.html>. (Verifikationsdatum: 25.02.2009).
- [EGELHAAF 2008] EGELHAAF, M.; ZIMMERMANN, K.; BERG A. (2008). *Unfallgeschehen älterer Verkehrsteilnehmer*. VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, S. 18 – 21.
- [EU 2008] EU (2008). *Empfehlung der Kommission vom 26. Mai 2008 über sichere und effiziente bordeigene Informations- und Kommunikationssysteme: Neufassung des Europäischen Grundsatzkatalogs zur Mensch-Maschine-Schnittstelle*. Amtsblatt der Europäischen Union K 2008 1742 (2008/653/EG).
- [EU 2009] EU (2009). *AIDE - Adaptive Integrated Driver-vehicle Interface*. <http://www.aide-eu.org>. (Verifikationsdatum: 27.01.2009).
- [FH-TRIER 2009] FH-TRIER (2009). *Multimodale Bedienkonzepte im Fahrzeug*. http://www.fvv-trier.de/aktuelle_Projekte/Bedienkonzepte.htm. (Verifikationsdatum: 31.03.2009).
- [FRANK 1997] FRANK, D. (1997). *Mobilität - Grundbedürfnis des Menschen*. Spektrum der Wissenschaft, (6).
- [FÄRBER 1987] FÄRBER, B. (1987). *Geteilte Aufmerksamkeit: Grundlagen und Anwendung im motorisierten Straßenverkehr*. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- [FÄRBER 2003] FÄRBER, B. (2003). *Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrverhalten*. Nr. Heft M149 in *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaften GmbH.
- [FREYER 2008] FREYER, J. (2008). *Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen zur Verbesserung des Spurwechselverhaltens von ACC*. Cuvillier Verlag. Dissertation.
- [FUNKE 2009] FUNKE, J. (2009). *9. Aufmerksamkeit*. www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg/lehre/wct/. Verifikationsdatum: 12.01.2009.

- [GREEN 2004] GREEN, P. (2004). *Driver distinction, telematic design and mental workload managers: safety issues and solutions*. Technischer Bericht, SAE. SAE Paper Number 2004-21-0022.
- [GRÜNDL 2004] GRÜNDL, M.; MECKLINGER, L. (2004). *Psychologische Aspekte von Verkehrsunfällen*. Audi Accident Research Unit.
- [GRÜNDL 2005] GRÜNDL, M. (2005). *Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen*. Universität Regensburg. Dissertation.
- [HAMMER 2007] HAMMER, M.R.F.; DOUGLAS, F.C.; TOBIN D. (2007). *Distracted driving*, Kap. Technology and driver distraction - the need for industry guidelines, S. 525–576.
- [HECKEL 2004] HECKEL, O. (2004). *Sehen III: Visuelle Wahrnehmung*. In: AUGSBURG, UNIVERSITÄT, Hrsg.: *Physik der Sinnesorgane*.
- [HELLBARDT 2000] HELLBARDT (2000). *Vorlesung Software-Ergonomie*. Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- [HERING 1999] HERING, K. (1999). *Situationsabhängiges Verfahren zur standardisierten Messung der kognitiven Beanspruchung im Straßenverkehr*. Philosophische Fakultät der Universität zu Köln. Dissertation.
- [HUANG 2003] HUANG, P. (2003). *Regelkonzepte zur Fahrzeugführung unter Einbeziehung der Bedienelementeigenschaften*. Technische Universität München. Dissertation.
- [HUNZIKER 2006] HUNZIKER, H-W. (2006). *Im Auge des Betrachters*. Transmedia Stäubli Verlag AG Zürich.
- [ISO 2004] ISO, DIN EN (2004). *Gestaltung von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen*. DIN EN ISO 6385.
- [ISO 2008] ISO, DIN EN (2008). *Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung*. DIN EN ISO 10075.
- [JOHNSON 2005] JOHNSON, S.; WÄFLER, S. (2005). *Sicherheit im Strassenverkehr*. <http://visor.unibe.ch>. (Verifikationsdatum: 20.03.2007).
- [JÜRGENSOHN 2001] JÜRGENSOHN, T.; ET. AL. (2001). *Kraftfahrzeugführung*. Jürgensohn, T.; Timpe, K.-P.
- [KARNATH 2003] KARNATH, H.-O.; THIER, P. (2003). *Neuropsychologie*. Karnath, H.-O.; Thier, P.
- [KARSH 1983] KARSH, R; BREITENBACH, F. W. (1983). *Eye movement and psychological functions*, Kap. Looking at the amorphous fixation measure. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.

- [KÖHNE 2009] KÖHNE, A.; WÖSSNER, M. (2009). *GPS-System Genauigkeit*. <http://www.kowoma.de/>. (Verifikationsdatum: 23.03.2009).
- [KINCSES 2008a] KINCSES, W.; HAHN, S.; SCHRAUF M.; SCHMIDT E. (2008a). *Mobiles EKG zur Messung mentaler Fahrerbeanspruchung*. ATZ, (03|2008):204 – 209.
- [KINCSES 2008b] KINCSES, W. (2008b). *Neurophysiologische Ansätze zur Messung des Fahrerzustandes*. In: *Zulieferer Innovativ - 10. Jahreskongress mit Fachausstellung*. Audi Forum Ingolstadt.
- [KISS 2008] KISS, M. (2008). *Gesprochene Sprache - Basis für die Sprachbedienung im Automobils*. In: *VDI-Kolloquium an der TU Braunschweig*.
- [KRAJZEWICZ 2004] KRAJZEWICZ, D.; WAGNER, P. (2004). *Ansätze zur kognitiven Simulation eines Autofahrers*. MMI-Interaktiv, 7:84–97.
- [KRAMER 1991] KRAMER, A.F. (1991). *Multiple-task performance*, Kap. Physiological metrics of mental workload: a review of recent progress, S. 279–328. London: Taylor & Francis.
- [KRETSCHMER 2006] KRETSCHMER, M.; KÖNIG, L.; NEUBECK J.; WIEDEMANN J. (2006). *Erkennung und Prädiktion des Fahrverhaltens während eines Überholvorganges*. 2. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, 2006, Garching.
- [KRÜGER 2009] KRÜGER, H.-P. (2009). *Der Einfluss von Beifahrern und Alkohol bei jungen Fahrern - Unfallanalyse und Verkehrsbeobachtungen*. www.psychologie.uni-wuerzburg.de/methoden. (Verifikationsdatum: 07.04.2009).
- [KUETING 1976] KUETING, H. (1976). *Belastung und Beanspruchung des Kraftfahrers - Literaturübersicht*. In: *Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung*.
- [KUHN 2005] KUHN, F. (2005). *Methoden zur Bewertung der Fahrerablenkung durch Fahrerinformations-Systeme*. http://www.gui-design.de/download/wud_LCT_2005-11_Stuttgart.pdf (Verifikationsdatum: 21.01.2009).
- [LERMER 2008a] LERMER, R.; SCHUMANN, J. (2008a). *Warn- und Inforamtionsmanagement (WIM) im PKW: Zeitkritikalität, Fahrerleistung, Fahrsituation*. 9. Symposium „Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel“, Braunschweig, 13.02.08 - 14.02.08, S. 198 – 214.
- [LERMER 2008b] LERMER, R.; SCHUMANN, J.; FÄRBER B. (2008b). *Priorisierung von Rückmeldung an den Fahrer: Konzept eines fahrsituations- und fahrerleistungsadapativen Warn- und INformationsmanagers*. In: *Beiträge der Ergonomie zur System-Integration*, DGLR-Bericht 2008-04. Deutsche Gesellschaft für Luft und Raumfahrt.
- [LEXIKON 2009] LEXIKON (2009). *Habituation*. <http://lexikon.stangl.eu/35/habituation>. (Verifikationsdatum: 06.03.2009).

- [MACKWORTH 1970] MACKWORTH, J. (1970). *Vigilance and attention*. Hamondsworth: Penguin Books.
- [MARTENS 2000] MARTENS, M.H.; VAN WINSUM, W. (2000). *Measuring distraction: the Peripheral Detection Task*. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/PDF/34.pdf>. (Verifikationsdatum: 30.01.2009).
- [MAURER 2004] MAURER, M. (2004). *Einführung in Fahrerassistenzsysteme*. Vorlesungsskript. Technische Universität München.
- [MAUTER 2007] MAUTER, G.; SACHER, H.; MEURLE J. (2007). *Akustisches Anzeige-konzept*. Vehicle Interaction Summit IV, Stuttgart, 08.11.2007.
- [MAYSER 2003] MAYSER, C.; PIECHULLA, W.; WEISS K.-E.; KÖNIG W. (2003). *Quality of work and products in enterprises of the future. Proceedings of the GFA and the XVII Annual ISOES Conference in Munich*, Kap. Driver workload monitoring, S. 41 – 44. Strasser, H.; Kluth, K.; Rausch, H.; Bubb, H.
- [MEIS 2004] MEIS, J. (2004). *Sichtweite und Nebel*. <http://www.weather-consultant.com/web/Wettererscheinungen>. (Verifikationsdatum: 06.04.2009).
- [MEYERS-LEXIKON 2008] MEYERS-LEXIKON (2008). *Aufmerksamkeit*. <http://lexikon-meyers.de/beosearch/permlink.action?pageId=7490354&version=3>. (Verifikationsdatum 21. Nov 2008).
- [MUIGG 2008] MUIGG, A.; MEURLE, J.; RIGOLL G. (2008). *Negative Auswirkungen von situativ ungünstigen Meldungen*. 3. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz, 7.-8. April 2008, Garching.
- [MUTHIG 1990] MUTHIG, K.-P. (1990). *Enzyklopädie der Psychologie - Ingenieurspsychologie*, Kap. Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung, S. 92 – 120. 3. Hoyos, C.; Zimolong, B., 2 Aufl.
- [NACHRICHTEN 2009] NACHRICHTEN, T-ONLINE (2009). *Regentage pro Jahr*. <http://nachrichten.t-online.de/c/16/29/52/74/16295274,pt=self,si=14,topic=12347296.html>. (Verifikationsdatum: 25.02.2009).
- [NEUMERKEL 2002] NEUMERKEL, D.; RAMMELT, P.; REICHARDT D.; STOLZMANN W.; VOGLER A. (2002). *Fahrermodelle - Ein Schlüssel für unfallfreies Fahren?*. Künstliche Intelligenz, 03:34 – 36.
- [O'DONNELL 1986] O'DONNELL, R.D.; EGGEMEIER, F.T. (1986). *Handbook of perception and human performance*, Kap. Workload assessment methodologie, S. 42/1–42/49. New York: Wiley.
- [PANNASCH 2003] PANNASCH, S. (2003). *Ereignisbezogene Veränderung der visuellen Fixationsdauer*. Technische Universität Dresden. Dissertation.

- [PAPPROTTA 1999] PAPPROTTA, I. (1999). *Selektive Wahrnehmung und Handlungssteuerung*. Ludwig-Maximilians-Universität München. Dissertation.
- [PIECHULLA 2002a] PIECHULLA, W.; MAYSER, C.; KÖNIG W.; GEHRKE H. (2002a). *Information und Mobilität, Optimierung und Vermeidung von Mobilität durch Information*. *Proceedings des 8. Internationalen Symposiums für Informationswissenschaften (ISI 2002)*, Kap. Echtzeit-Fahrerbeanspruchsschätzer, S. 365 – 368. Hammwöhner, R.; Wolff, C.; Womser-Hacker, C.
- [PIECHULLA 2002b] PIECHULLA, W.; MAYSER C.; GEHRKE, H.; KÖNIG W. (2002b). *Online-Fahrerbeanspruchungsschätzung*. 38. BDP-Kongress für Verkehrspsychologen.
- [PIECHULLA 2001] PIECHULLA, W., PEISSNER M. WERSE J.; ZIMMER A. (2001). *Dokumentation zum Informationstag 2001 Mobile Computing. Bericht Nr. 56, Universität Regensburg*, Kap. Diagnose von Fahrerzuständen mittels Fahrverhalten. F. Lehner, K. J. Schäfer.
- [PIECHULLA 2004] PIECHULLA, W. (2004). *Ambulantes psychophysiologisches Monitoring im Strassenverkehr*. www.walterpiechulla.de/onlinePapers/dgps_2004. (Verifikationsdatum: 10.09.2008).
- [RASMUSSEN 1982] RASMUSSEN, J. (1982). *Human errors: A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations*. *Journal of Occupational Accidents*, 4:311 – 222.
- [RASMUSSEN 1983] RASMUSSEN, J. (1983). *Skill, rules and knowledge: signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models*. *IEEE Transaction on systems, man and cybernetics*, SMC-13:257–266.
- [RAUCH 2007] RAUCH, N.; GREADENEGGER, B.; KRÜGER H.-P. (2007). *VDI Fahrzeug und Verkehrstechnik Jahrbuch 2007*, Kap. Die Erfassung von Situationsbewusstsein beim Fahren mit Nebenaufgaben, S. 83 – 102. Verein Deutscher Ingenieure e. V.
- [ROCKWELL 1972] ROCKWELL, T. H. (1972). *Eye movement analysis of visual acquisition in driving: an overview*. *Proceedings of the 6th Conference of the Australian Road Research Board*, (6):316–331.
- [SACHER 2009] SACHER, H. (2009). *Gesamtheitliche Analyse des Bedienverhaltens von Fahrzeugfunktionen in der täglichen Nutzung*. Technische Universität München. Dissertation.
- [SANTOS 2009] SANTOS (2009). <http://www.santosweb.de/>. (Verifikationsdatum 02.02.2009).
- [SCHEUFLER 2002] SCHEUFLER, I. (2002). *Qualitative Bestimmung der situativen Fahrerbelastung*. 38. BDP-Kongress für Verkehrspsychologie Universität Regensburg 2002, Arbeitsgruppe 7: Verkehr und Information: Die Optimierung des Mobilitätssystems.

- [SCHIMMELPFENNIG 1985] SCHIMMELPFENNIG, K.-H.; NACKENHORT, U. (1985). *Bedeutung der Querbesehleunigung in der Verkehrsunfallkonstruktion - Sicherheitsgrenze des Normalfahrers*. Der Verkehrsunfall, Heft 4.
- [SCHINDHEIM 2004] SCHINDHEIM, R.; GELAU, C.; HOEDEMAKER M. (2004). *COMUNICAR Information Manager*. In: *Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz*. 11.-12. März 2004, Garching bei München.
- [SCHMIDTKE 1993] SCHMIDTKE, HEINZ (1993). *Ergonomie*. Carl Hanser Verlag München Wien.
- [SCHOBER 1960] SCHOBER, H. (1960). *Das Sehen*. Nr. Band 1. VEB Fachbuchverlag Leipzig.
- [SCHROVEN 2008] SCHROVEN, F.; GIEBEL, T. (2008). *VDI Fahrzeug und Verkehrstechnik Jahrbuch 2009*, Kap. Fahrerintentionserkennung für Fahrerassistenzsysteme, S. 54 – 58. Verein Deutscher Ingenieure e. V.
- [SCHULTHEIS 2004] SCHULTHEIS, H. (2004). *Pupillengröße und kognitive Belastung*. Universität des Saarlandes. Dissertation.
- [SCHVANEVELDT 1997] SCHVANEVELDT, R.W.; GOMEZ, R.L.; REID G.B. (1997). *Modeling mental workload*. <http://interlinkinc.net/Roger/Papers/Workload.pdf>. (Verifikationsdatum: 02.02.2009).
- [SCHWEIGERT 2002] SCHWEIGERT, M. (2002). *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. Technische Universität München. Dissertation.
- [SEIFERT 2001] SEIFERT, K.; RÖTTING, M.; JUNG R. (2001). *Kraftfahrzeugführung*, Kap. Registrierung von Blickbewegungen im Kraftfahrzeug, S. 208 – 228. Jürgensohn, T.; Timpe, K.-P.
- [SERIVAAG 1993] SERIVAAG, E.J.; KRAMER, A:F.; WICKENS C.D.; REISWEBER M.; STRAYER D.L.; GRENNELL J.F. (1993). *Assesment of pilot performance and mental workload in rotary wing aircraft*. *Ergonomics*, 36:1121–1140.
- [SIMMENDINGER 2006] SIMMENDINGER, T. (2006). *Ergonomische Optimierung des akustischen Anzeigekonzepts von Sicherheits- und Systemsignalen für Fahrzeuge*. Seminarreihe am Lehrstuhl für Ergonomie, 28.04.2006.
- [STVO 2008] STVO (2008). *I. Allgemeine Verkehrsregeln §5 Überholen*. http://www.verkehrsportal.de/stvo/stvo_05.php. (Verifikationsdatum: 27.02.2009).
- [THEIS 2002] THEIS, I. (2002). *Das Steer-by-wire-System im Kraftfahrzeug - Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit*. Technische Universität München. Dissertation.
- [TIMPE 2001] TIMPE, K.-P. (2001). *Kraftfahrzeugführung*, Kap. Fahrzeugführung: Anmerkung zum Thema, S. 9–27. Jürgensohn, T.; Timpe, K.-P.

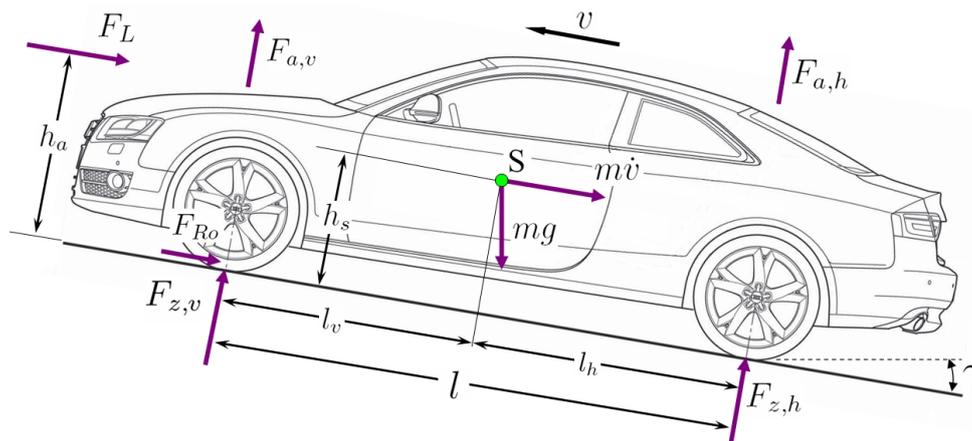
- [TOTZKE 2008] TOTZKE, I.; RAUCH, N.; UFER E.; KRÜGER H.-P.; ROTHE S. (2008). *Fortschritte der Verkehrspsychologie - Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*, Kap. Workload-Management im Verkehr: Prädizierbarkeit von Fahrerbeanspruchung durch Informationen in Digitalen Karten, S. 159 – 182. Schade, J.; Engel, A.
- [VDI 2000] VDI (2000). *VDI 3633 Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen*. VDI Richtlinie. Beuth Verlag.
- [VILIMEK 2007] VILIMEK, R. (2007). *Gestaltungsaspekte multimodaler Interaktionen im Fahrzeug*. Philosophische Fakultät der Universität Regensburg. Dissertation.
- [VOLLRATH 2002] VOLLRATH, M.; MEILINGER, T.; KRÜGER H.-P. (2002). *How the presence of passengers influences the risk of a collision with another vehicle*. *Accident Analysis and Prevention*, 34:649–654.
- [VOLVO 2008] VOLVO (2008). *Volvo'IDIS' Helps the Driver Avoid Distractions in Bus Situations*. www.roadsafe.com/news/article.aspx?article=210. Verifikationsdatum 21.04.2008.
- [WEISS 1988] WEISS, E. (1988). *Untersuchung und Rekonstruktion von Ausweich- und Fahrspurwechselforgängen*. VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [WICKENS 1992] WICKENS, C.D. (1992). *Engineering Psychology and Human Performance*. Harper Collins, New York.
- [WIEDEMANN 1979] WIEDEMANN, R. (1979). *Simulation des Straßenverkehrsflusses*. Schriftenreihe des IfV, Institut für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe, Heft 8.
- [WILLNER 2006] WILLNER, R.-G.; MEURLE, J. (2006). *VDI Fahrzeug und Verkehrstechnik Jahrbuch 2005*, Kap. Situative Assistenz 2015, S. 351 – 365. Verein Deutscher Ingenieure e. V.

Anhang

Anhang A - Ergänzungen zur Fahrdynamik

Die physikalischen Zusammenhänge der Längs- und Querdynamik stellen die Basis der Fahrzeugführung dar. Es soll hier die Herleitung der Formeln aus Abschnitt 1.1.4 auf Seite 19 dargestellt werden. So können die wichtigen Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit, Beschleunigungen, Kurvenradius und Reifenkräften nachvollzogen werden.

Als Basis der längsdynamischen Betrachtung dient die folgende Skizze eines Fahrzeugs. Darin sind die angreifenden Kräfte und die jeweiligen Längenverhältnisse dargestellt.



Durch Aufstellung der Gleichgewichtsbedingungen

$$\begin{aligned} \sum F|_{\perp v} = 0 &: F_{z,v} + F_{a,v} - mg \cos \gamma + F_{a,h} + F_{z,h} = 0 \\ \sum M|_{Vorderachse} = 0 &: -h_a F_L - l_v mg \cos \gamma - h_s m \dot{v} + l F_{a,h} + l F_{z,h} = 0 \\ \sum M|_{Hinterachse} = 0 &: -h_a F_L - l F_{a,v} - l F_{z,v} + l_h mg \cos \gamma - h_s m \dot{v} = 0 \end{aligned}$$

erhält man die dynamischen Achslasten:

$$\begin{aligned} F_{z,v} &= \frac{l_h}{l} mg \cos \gamma - \frac{h_s}{l} (m \dot{v} + mg \sin \gamma) - \frac{h_a}{l} F_L - F_{a,v} \\ F_{z,h} &= \frac{l_v}{l} mg \cos \gamma + \frac{h_s}{l} (m \dot{v} + mg \sin \gamma) + \frac{h_a}{l} F_L - F_{a,h} \end{aligned}$$

Hier stelle F_L die Luftwiderstandskraft und $F_{a,v}$ bzw. $F_{a,h}$ die Auftriebskräfte an der vorder bzw. Hinterachse dar:

$$F_L = c_w \frac{\rho}{2} v^2$$
$$F_{a,v} = c_{a,v} \frac{\rho}{2} v^2$$
$$F_{a,h} = c_{a,h} \frac{\rho}{2} v^2$$

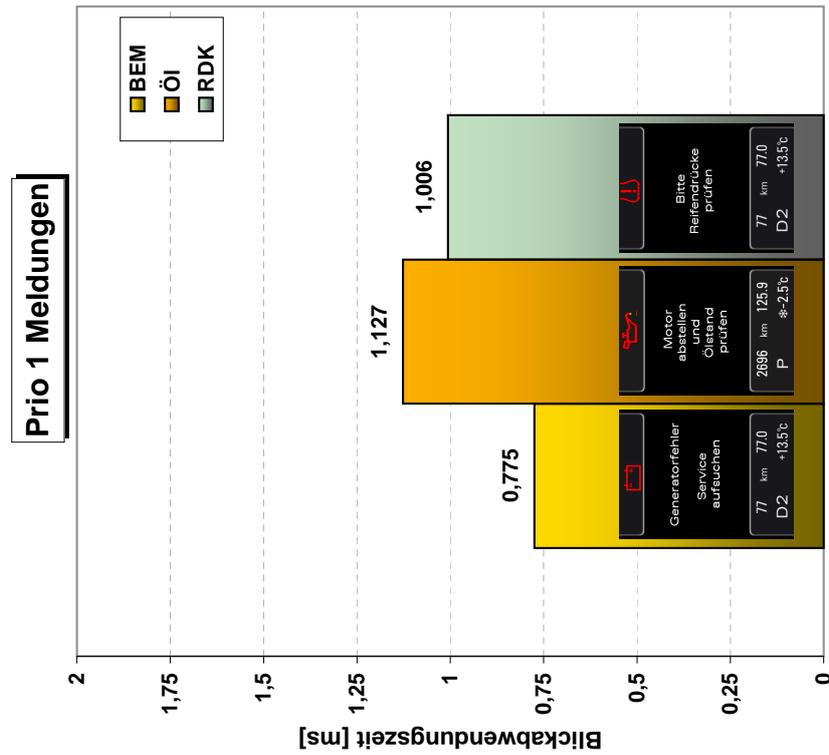
Der c_w -Wert liegt bei modernen Fahrzeugen bei ca. 0,3 bis 0,28. Die Auftriebsbeiwerte sind erheblich kleiner, erhalten allerdings bei höherer Geschwindigkeit eine Bedeutung. Durch ihren Einfluss nehmen die Achslasten ab und die kann die Traktion und Fahr-sicherheit beeinflussen.

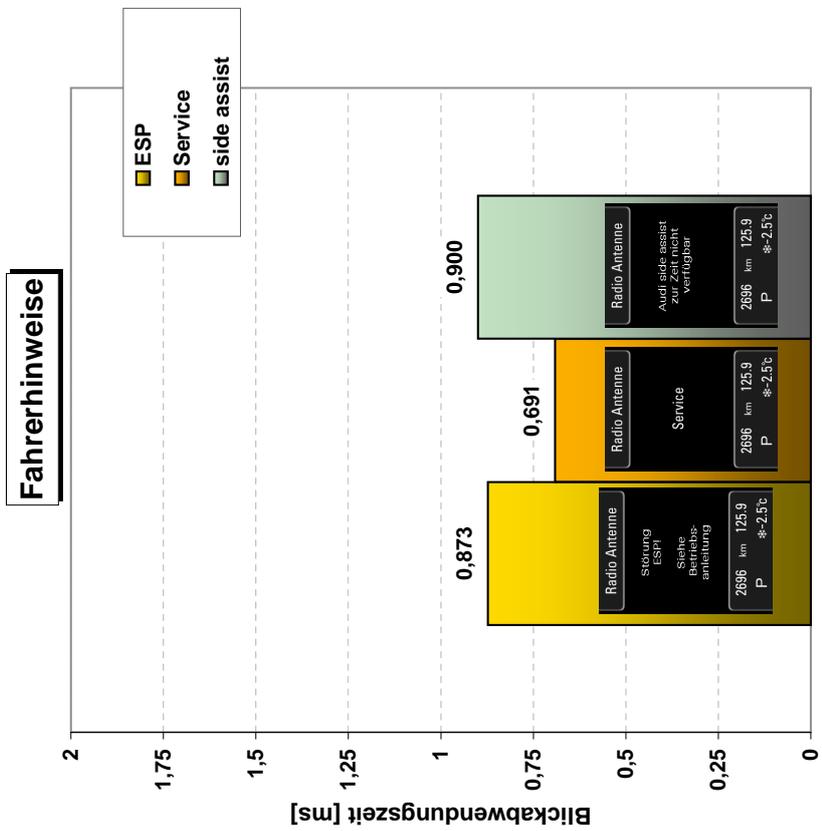
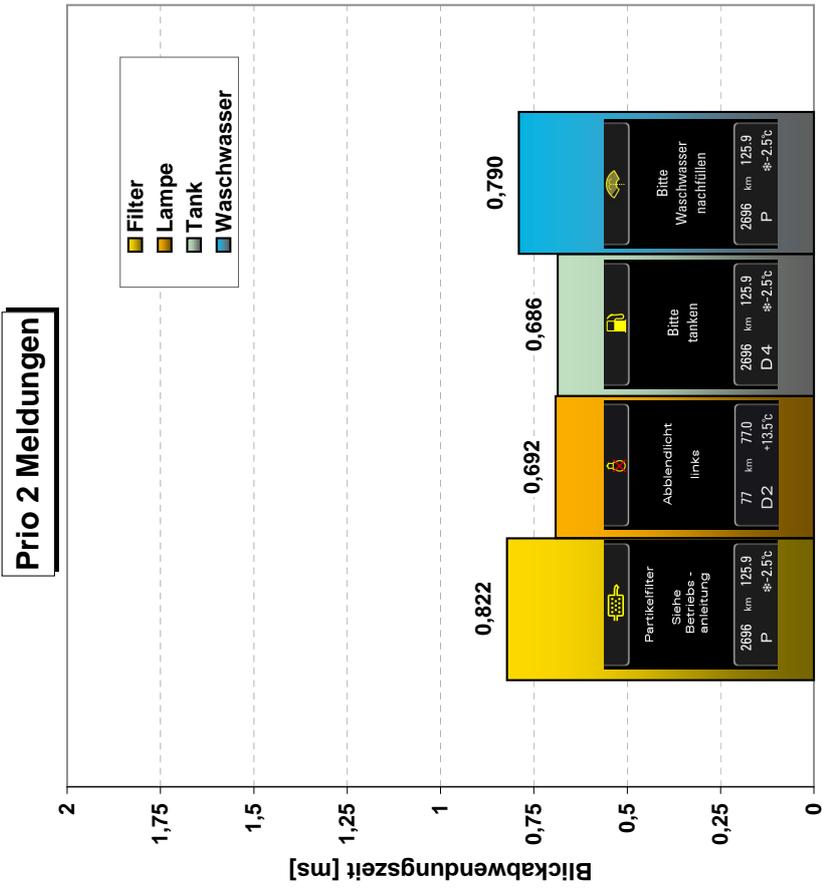
Die Gegenüberstellung der Längskräfte in Richtung der Fahrzeug-X-Achse ergeben die notwendige Antriebskraft F_A in Relation zu den Widerstandskräften:

$$\sum F|_{lv} = 0 : -F_A + m\dot{v} + mgsin\gamma + F_L + F_{Ro} = 0$$
$$\Rightarrow F_A = m\dot{v} + mgsin\gamma + F_L + F_{Ro}$$

Anhang B - Ergänzungen zur Fahrstudie

Im folgenden sind die Einzelauswertungen der Blickabwendungszeiten der Fahrstudie dargestellt. In den Diagrammen ist den einzelnen Werten jeweils eine Abbildung der entsprechenden Meldung beigefügt.







Abschlussbefragung zur Simulatoruntersuchung

1. Wie kamen Sie mit der anspruchsvollen Stadtstrecke zurecht?

2. Welche der beiden Fahrten haben Sie als stressfreier wahrgenommen?

- mit WLM
 - ohne WLM
-

3. Haben Sie selbst bereits Erfahrungen mit situativ ungünstigen Systemmeldungen gemacht?

- nein
 - ja
- Wie?
-

4. Halten Sie ein System zur situativen Informationsfilterung für sinnvoll?

- nein
 - ja
-

5. Finden Sie die heutige Warnakustik der Bedeutung der Meldungen angepasst?

- ja
 - nein
- Warum?
-

6. Können Sie sich vorstellen, dass mittels eines optimierten akustischen Anzeigekonzeptes die Beanspruchung durch Warnmeldungen reduziert werden kann?

- nein
- ja

Anhang C - Fragebogen zur Aufmerksamkeits-Beanspruchung

Hier ist der Fragebogen zur Einschätzung der Beanspruchung des Fahrers durch Verkehrssituationen, Fahrmanöver und Umwelteinflüssen dargestellt. Der Fragebogen umfasst elf Seiten und beginnt mit einleitenden Worten, die Motivation und Hintergründe der Befragung klarstellen. Es folgt die Aufnahme von deskriptiven Daten, anhand derer eine Stichprobenbeschreibung sowie eine Gliederung in unterschiedlichen Klassen (Alter, Geschlecht, ...) möglich ist.

Auf der dritten Seite des Fragebogens folgt die Erklärung der verwendeten Skala. Dabei handelt es sich um ein semantisches Differenzial mit den Extremalaussagen:

geringste Beanspruchung - höchste Beanspruchung

Es folgen vier Seiten der Einzelbewertung von unterschiedlichen Szenarien. Diese Bewertung ist ausschlaggebend für die Modellierung eines Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes.

Auf den restlichen Seiten folgt eine Kombinationsbewertung von Ereignissen. Dabei werden unterschiedliche Szenarien beschrieben und eine Einschätzung der subjektiven Beanspruchung abgefragt. Im Rahmen von kleinen „Geschichten“ verändern sich die Szenarien und es soll jeweils eine neue Einschätzung des Beanspruchungsgrades der Situation erfolgen. Die Kombinationen sind so aufgebaut, dass sich teilweise Fragestellungen aus der Einzelbewertung ergeben. So ist die Kombinationsbewertung, neben der Abschätzung von kombinierter Beanspruchung, auch ein Instrument zur Verifikation der Einzelbewertungen.



Sehr geehrte Damen und Herren,

im Rahmen einer Studie an der Technischen Universität München führe ich eine Befragung durch. Das Themengebiet der Arbeit ist die Beanspruchung des Fahrers auf Grund von Fahrsituationen sowie Umweltfaktoren. Ziel ist es, bestimmten Situationen eine gewisse Bedeutung bzw. einen kritischen Zustand zuzuordnen.

Das Projekt läuft am Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation und wird von Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll betreut.

Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie diese Arbeit durch das Ausfüllen des Fragebogens unterstützen und diesen im Anschluss an mich zurückschicken. Der Zeitaufwand zum Ausfüllen beträgt ca. 20 Minuten.

Die Auswertung erfolgt selbstverständlich anonym und die Daten werden nicht weitergegeben.

Für Rückfragen stehe ich gern jederzeit zur Verfügung.

Vielen Dank!

Andreas Muigg

TU-München
Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation
Theresienstr. 90
80333 München

muigg@mmk.ei.tum.de



Fragebogen zur Person

1. In welchem Jahr sind Sie geboren? 19 _____
-
2. Sie sind ...? weiblich männlich
-
3. Benutzen Sie eine Sehhilfe? nein ja
- 3.a Falls ja, tragen Sie überwiegend ...? Brille
 Kontaktlinsen
 beides zu gleichen Teilen
- 3.b Falls ja, welche Sehschwäche haben Sie? Kurzsichtigkeit
 Weitsichtigkeit
 sonstiges: _____
- 3.c Falls ja, zu welchen Gelegenheiten nutzen Sie Ihre Sehhilfe? immer
 beim Autofahren
 beim Lesen
 beim Fernsehen
 bei der PC-Arbeit
-
4. In welchem Jahr haben Sie Ihren Führerschein erhalten? _____
-
5. Für welche Klassen gilt Ihr Führerschein? Auto
 Motorrad
 LKW
-
6. An wie vielen Tagen nutzen Sie Ihr Fahrzeug? 5 – 7 Tage pro Woche
 3 – 4 Tage pro Woche
 1 – 2 Tage pro Woche
 weniger als 1 Tag pro Woche
-
7. Wie viele km fahren Sie durchschnittlich pro Jahr? bis 5000 km
 5001 – 10.000 km
 10.001 – 20.000 km
 20.001 – 40.000 km
 über 40.000 km
-
8. Welche Geschwindigkeiten bevorzugen Sie bei folgenden Straßentypen?
- Autobahn: _____ km/h
 Landstraße: _____ km/h



Fragebogen zur Einschätzung von Verkehrssituationen

In diesem Fragebogen möchte ich Sie bitten, einige Verkehrssituationen hinsichtlich Aufmerksamkeitsbeanspruchung und Ablenkungspotenzial zu bewerten.

Im ersten Abschnitt sind verschiedene Situationen beschrieben, die einzeln zu bewerten sind.

Im weiteren Verlauf erfolgt dann eine Kombination einzelner Situationen, die ebenfalls hinsichtlich der Auswirkung auf Ihre Einschätzung der benötigten Aufmerksamkeit zu bewerten sind.

Für die Bewertung dient folgende Skala. Je mehr Aufmerksamkeit und Beanspruchung eine Situation erfordert bzw. hervorruft, desto weiter rechts setzen Sie Ihre Markierung (siehe Bsp. unten).

geringste Beanspruchung**höchste Beanspruchung**

Bsp.

Einzelbewertung

Wie bewerten Sie folgende Umwelteinflüsse in Bezug auf die geforderte Aufmerksamkeit bzw. Beanspruchung zum Führen eines Fahrzeuges?

1.1 Schönes Wetter
(Landstraße)

geringste Beanspruchung**höchste Beanspruchung**



1.2 Dunkelheit / Nacht
(Landstraße)

geringste Beanspruchung**höchste Beanspruchung**



1.3 Schwacher Nebel
(Sichtweite über 200m)

geringste Beanspruchung**höchste Beanspruchung**



1.4 Starker Nebel
(Sichtweite bis 50m)

geringste Beanspruchung**höchste Beanspruchung**





1.5 Schwacher Regen
(Wischer in Intervallstellung)

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung



1.6 Starker Regen
(Wischer normal/schnell)

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung



1.7 Blendung durch Sonne

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung



1.8 Blendung durch andere Fahrzeuge

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung



Wie bewerten Sie folgende Szenarien in Bezug auf die benötigte Aufmerksamkeit bzw. Beanspruchung?

2.1 Eingehender Telefonanruf
(mit Freisprecheinrichtung)

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung



2.2 Laufendes Telefonat
(mit Freisprecheinrichtung)

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung



2.3 Laufende Bedienung
(Klimaanlage, ...)

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung



2.4 Eingabe von Zahlen- oder Buchstabenfolgen
(Navigationsziel, ...)

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung





Wie bewerten Sie folgende Fahrsituationen bezüglich der benötigten Aufmerksamkeit bzw. Beanspruchung?

3.1 Abbiegen innerorts
(rechts abbiegen)

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



3.2 Abbiegen außerorts
(rechts abbiegen)

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



3.3 Kreuzung innerorts
(links abbiegen)

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



3.4 Kurvenfahrt

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



3.5 Überholvorgang
(Landstraße)

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



3.6 Spurwechsel
(Autobahn)

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



3.7 Rückwärtsfahrt

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



3.8 Autobahn Ausfahrt

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



3.9 Autobahn Auffahrt
(inkl. einfädeln in den Fließverkehr)

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung





Wie bewerten Sie folgende mentale Zustände bezüglich deren Beanspruchung?

4.1 Arbeitsstress

geringste Beanspruchung höchste Beanspruchung



4.2 Zeitdruck

geringste Beanspruchung höchste Beanspruchung



4.3 Müdigkeit

geringste Beanspruchung höchste Beanspruchung



4.4 Starke innere Gefühle
(Trauer, Euphorie, Wut, ...)

geringste Beanspruchung höchste Beanspruchung



Kombinationsbewertung

Für die Kombinationsbewertung versetzen Sie sich bitte in die beschriebene Situation und bewerten diese.

Stadtsituation

5.1 Sie nähern sich einer Kreuzung, an der Sie rechts einbiegen wollen. Es herrscht kein Niederschlag und die Sicht ist gut. Die Straße ist trocken. Es herrscht reger Stadtverkehr mit anderen Fahrzeugen, Fußgängern und Radfahrern.

Wie schätzen Sie die Beanspruchung zur Bewältigung dieser Situation ein?

geringste Beanspruchung höchste Beanspruchung

5.2 Wie würde sich Ihre Einschätzung der Beanspruchung bei zusätzlichem Regen ändern?

geringste Beanspruchung höchste Beanspruchung



5.3 Wie würde sich Ihre Einschätzung der Beanspruchung ändern, wenn die Ausgangssituation (5.1) bei Nacht (Dunkelheit) stattfinden würde?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

5.4 Wie würde Ihre Bewertung ausfallen, wenn die Ausgangssituation bei Regen und Dunkelheit stattfände?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

Stadtsituation

6.1 Sie fahren nachmittags innerorts entlang einer Vorfahrtsstraße mit zwei Spuren. Es herrscht leichter Niederschlag und durchschnittliches Verkehrsaufkommen. Sie wollen einen Spurwechsel auf die linke Spur unternehmen.

Wie schätzen Sie die Beanspruchung zur Bewältigung dieser Situation ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

6.2 Wie würde Ihre Bewertung ausfallen, wenn die Ausgangssituation (6.1) bei leichtem Regen und Nebel stattfände?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

6.3 Wie würde sich Ihre Einschätzung zur Beanspruchung ändern, wenn die oben beschriebene Situation (6.1) anstelle von Niederschlag starken Nebel aufweist?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

Stadtsituation

7.1 Sie fahren bei Nacht und Regen entlang einer Ortsstraße. Auf Grund der späten Uhrzeit herrscht wenig Verkehr.

Wie schätzen Sie die Beanspruchung durch die Fahraufgabe ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**



7.2 Wie würde Ihre Bewertung ausfallen, wenn die Ausgangssituation (7.1) ohne Regen, bei gutem Wetter stattfände?

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung

7.3 Wie würde Ihre Bewertung ausfallen, wenn die Ausgangssituation (7.1) bei dichtem Nebel stattfände?

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung

Landstraßensituation

8.1 Sie fahren außerorts bei schönem Wetter auf kurviger, trockener Straße. Sie werden durch die tief stehende Sonne geblendet. Die Lenkrad-Einschläge gehen bis 45°. Wie schätzen Sie die zur Bewältigung dieser Situation benötigte Aufmerksamkeit bzw. die Beanspruchung ein?

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung

8.2 Wie Würde sich Ihre Einschätzung der Beanspruchung ändern, wenn keine Blendung vorherrschen würde ?

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung

8.3 Der Straßenverlauf verändert sich, sodass Sie geradeaus fahren. Es herrscht auch keine Blendung mehr. Sie kommen in einen Wolkenbruch mit starkem Regen. Wie schätzen Sie die zur Bewältigung dieser Situation benötigte Aufmerksamkeit bzw. die Beanspruchung ein?

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung

8.4 Im weiteren Fahrtverlauf hört der Regen auf. Sie gelangen nun wieder auf ein kurvigtes Teilstück (vergleichbar wie bei 8.1). Allerdings ist aufgrund der nassen Straße und den Temperaturen knapp über 0°C mit einer glatten Fahrbahn zu rechnen. Wie schätzen Sie die zur Bewältigung dieser Situation die hervorgerufene Beanspruchung ein?

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung



8.5 Stellen Sie sich vor, es beginnt erneut zu regnen. Der Straßenverlauf und die tiefen Temperaturen bleiben wie zuvor (8.4) beschrieben.
Wie würde sich Ihre Einschätzung der Beanspruchung verändern?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

Landstraßensituation

9.1 Sie fahren außerorts bei schönem Wetter auf einer trockenen, geraden Vorfahrtsstraße. Sie nähern sich unmittelbar einer Kreuzung, an der von links und rechts Fahrzeuge auf Ihre Spur einbiegen könnten. Sie wollen geradeaus weiter fahren.
Wie schätzen Sie die zur Bewältigung dieser Situation benötigte Aufmerksamkeit bzw. die Beanspruchung ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

9.2 Wie würde sich Ihre Einschätzung der Beanspruchung verändern, wenn zusätzlich Nebel herrschen würde?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

Landstraßensituation

10.1 Wie schätzen Sie die benötigte Aufmerksamkeit für das Befahren eines starken Gefälles (15% und mehr [vergleichbar mit dem Fernpass]) ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

10.2 Wie schätzen Sie im Gegensatz dazu die benötigte Aufmerksamkeit für das Befahren einer starken Steigung (15% und mehr) ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**



Autobahnsituation

11.1 Wie schätzen Sie die benötigte Aufmerksamkeit bzw. die Beanspruchung für das Befahren einer Autobahn-Baustelle mit verengter Fahrspur?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

11.2 Wie schätzen Sie im Gegensatz dazu die benötigte Aufmerksamkeit bzw. die Beanspruchung für das Fahren in einem Stau mit Stop&Go-Verkehr ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

Autobahnsituation

12.1 Sie fahren bei Nacht und Regen auf einer Autobahn. Sie führen zum Überholen eines anderen Fahrzeuges einen Spurwechsel durch. Wie schätzen Sie die zur Bewältigung dieser Situation benötigte Aufmerksamkeit bzw. die Beanspruchung ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

12.2 Wie würde sich Ihre Einschätzung der Beanspruchung verändern, wenn die Ausgangssituation (12.1) ohne Regen stattfinden würde?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

12.3 Wie würde sich Ihre Einschätzung der Beanspruchung ändern, wenn die Ausgangssituation (12.1) bei Nebel stattfinden würde?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

12.4 Sie fahren weiter auf der Autobahn bei Dunkelheit und Nebel. An der nächsten Ausfahrt wollen Sie die Autobahn verlassen. Wie schätzen Sie die Beanspruchung durch das Abfahren der Autobahn unter der beschriebenen Situation ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**



12.5 Sie fahren weiter auf einer Landstraße. Der Nebel verschwindet und Sie haben klare Sicht. Sie kommen zu einem Teilstück, an dem die Straße ein Gefälle von über 18% (vergleichbar Zirlerberg) aufweist.

Wie schätzen Sie die zur Bewältigung dieser Situation benötigte Aufmerksamkeit ein?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

Landstraßensituation

13.1 Sie fahren im Winter entlang einer Landstraße. Das Wetter ist gut und die Temperaturen unter 0°C. Die Straße verläuft in lang gezogenen Kurven (Lenkeinschläge etwa 10°). Auf Grund der Schneefahrbahn könnte mit erhöhter Straßenglätte gerechnet werden.

Wie schätzen Sie die zur Bewältigung dieser Situation benötigte Aufmerksamkeit bzw. die Beanspruchung ein?

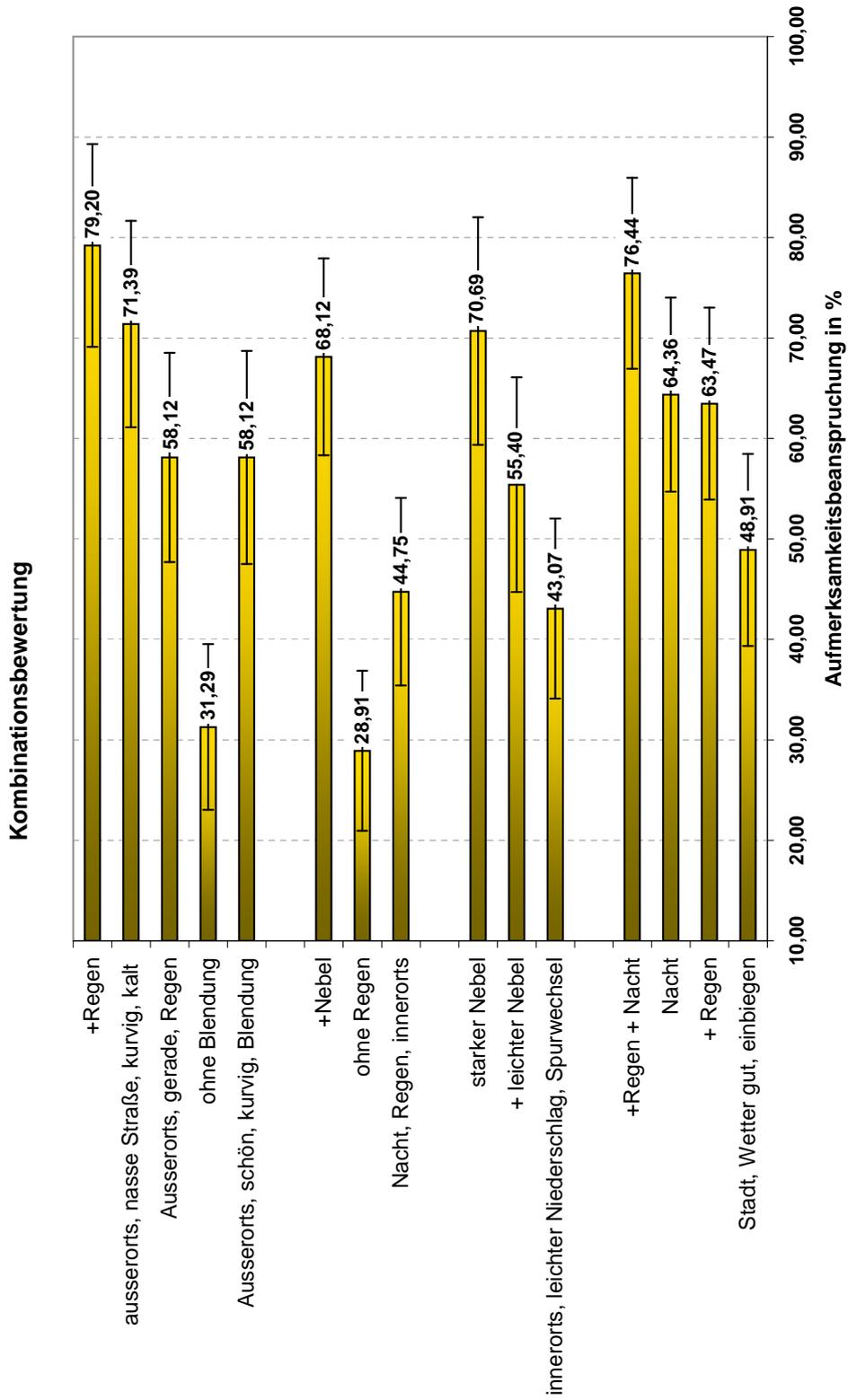
geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

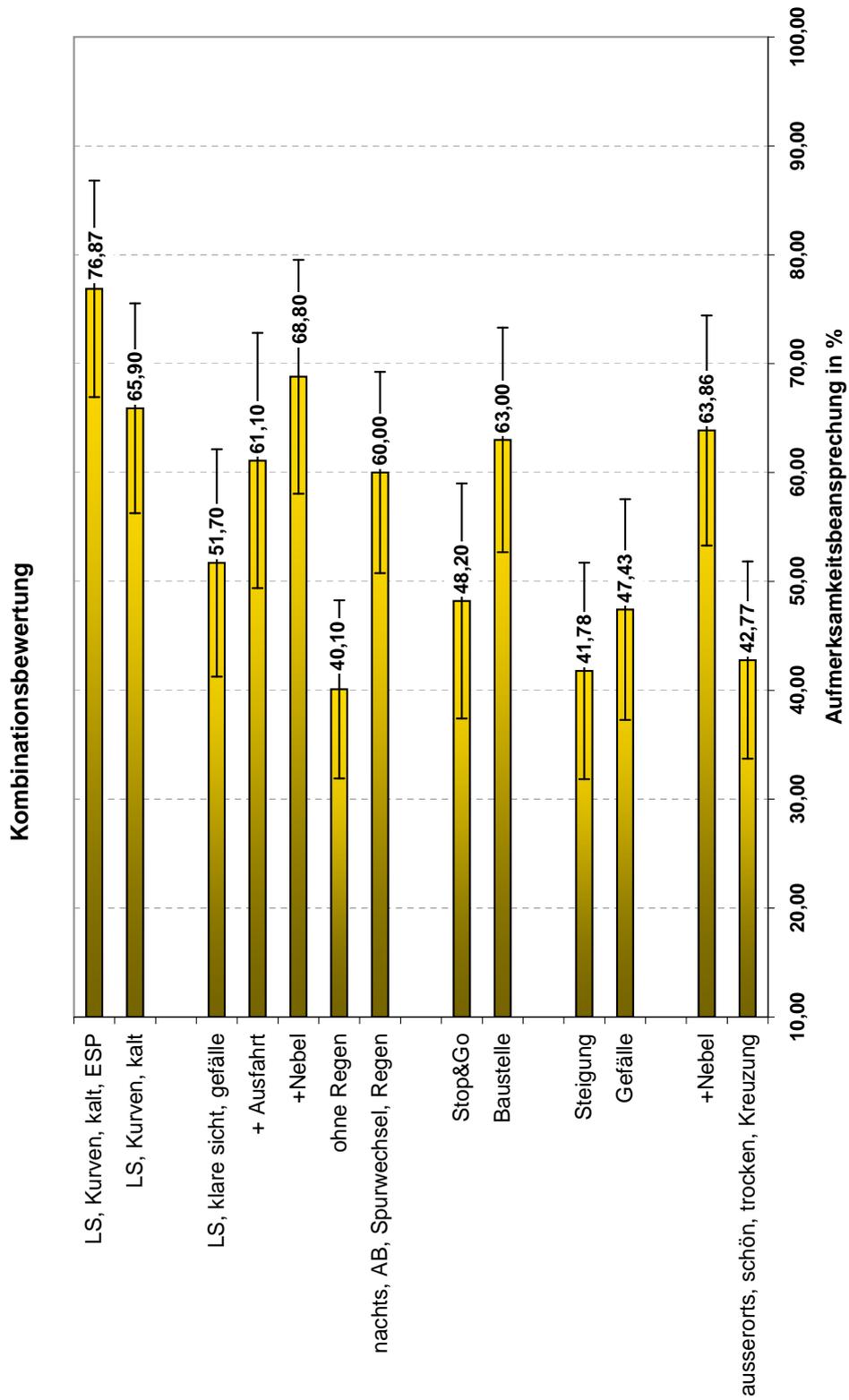
13.2 Im weiteren Verlauf kommen Sie zu einer Kreuzung. Bei dieser biegt ein Fahrzeug auf Ihre Spur. Sie verzögern mit der Motorbremse auf ca. 40 km/h und halten Abstand. Anschließend beschleunigen Sie ebenfalls wie Ihr Vordermann. Dabei bemerken Sie einen Eingriff Ihres ESP. Wie verändert sich Ihre Einschätzung der Beanspruchung durch die Kenntnis, dass eine erhebliche Straßenglätte vorliegt?

geringste Beanspruchung **höchste Beanspruchung**

Ihre Bemerkungen:

Vielen Dank für Ihre Mühe!





Anhang D - Adaptionstrategien

Implementierungsbeispiel „Dynamisierung der Prioritäten“ Im Java-Code sieht man nun die Umsetzung für die Priorität 3. Unterschreitet der ABW (wlmValue) den Schwellwert von 30% nicht, so wird geprüft, ob die Nachricht eine Prioritätenanpassung erfährt oder einfach nur zurückgestellt wird. Die Meldung „6_1_Abblendlicht links“ wird beispielsweise nach 5 Reevaluierungen in der Priorität 3 auf Priorität 2 aufgewertet. In jedem Falle vergehen 8 Sekunden, bis zur nächsten Evaluierung.

Die Meldung „9_1_Waschwasser“ wird erst nach 14 Evaluierungen aufgestuft. Dies folgt daraus, dass diese Meldung ursprünglich Priorität 4 hat und somit schon 7 mal in Prioritätsstufe 4 reevaluiert wurde um überhaupt Priorität 3 zu erlangen. 7 mal ist für die Aufwertung von Priorität 3 auf Priorität 2 notwendig. In Summe sind es also 14 Evaluierungen. Da in `message.getNumberOfReevaluations()` Prioritätenunabhängig die Anzahl der Evaluierungen seit Erzeugung der Meldung hinterlegt wird, ist auch diese Gesamtanzahl notwendig. Der Code wird analog auf die anderen Prioritätsstufen übertragen. In Priorität 4 werden demnach weniger Meldungen betrachtet als hier und Priorität 2 muss noch mehr berücksichtigen. Priorität 1 zeigt einfach jede Meldung an.

```
if (wlmValue >= 0.3) {

int reevs = message.getNumberOfReevaluations() + 1;

if (message.getName().equals("6__1_Abblendlicht links")) {
if (reevs >= 5) message.changePriority(-1);
reevaluate(8000);
} else if (message.getName().equals("7__1_ESP")) {
if (reevs >= 1) message.changePriority(-1);
reevaluate(5000);
} else if (message.getName().equals("8__1_Tanken")) {
if (reevs >= (2+5)) message.changePriority(-1);
reevaluate(8000);
} else if (message.getName().equals("9__1_Waschwasser")) {
if (reevs >= (7+7)) message.changePriority(-1);
reevaluate(8000);
} else if (message.getName().equals("_10__1_BEM_02 small")) {
if (reevs >= (5+5)) message.changePriority(-1);
reevaluate(8000);
}
} else {
accept();
}
```

Implementierungsbeispiel „Dynamisierte Skalierung der Schwellen“ Dieser Code gibt die Reaktion auf eine Meldung der Priorität 3 wieder. Um den ersten Teil zu verstehen braucht es folgende Kenntnis: Der Workload Manager legt im Hintergrund ein Array mit den letzten ABW ab. Der letzte Wert im Array ist der Aktuellste. Die Größe des Arrays wird in der Datei workloadManager.properties festgelegt. rules.evaluator.history beinhaltet die Anzahl der Werte und bayes.calculation.intervall den zeitlichen Abstand zwischen zwei Werten. Das Produkt aus beiden beschreibt also das Zeitvolumen, das aufgenommen bzw. gespeichert wird. Eine entsprechende Parametrisierung für die Einstellungen zur Schwellwertanpassung muss beachtet werden. Bei einem Intervall von 500 (ms) muss eine history von 480 vorhanden sein, um die komplette Entwicklung des Schwellwertes von Priorität 4 (erfordert 240 s) darzustellen. Im ersten Teil des Programms wird nun das Array von hinten so lange nach vorne durchlaufen, bis das geprüfte Element zu stark vom derzeitigen ABW abweicht. Die Variable „anzahl“ speichert die Anzahl der gültigen Elemente. Über den vorher gesetzten Wert bei bayes.calculation.intervall gelangt man schließlich zu der Zeit, über die der ABW nur Änderungen innerhalb der Toleranz erfahren hat. Mit der definierten Steigung und dem Start-Schwellwert lässt sich der neue Schwellwert errechnen. Überschreitet dieser den festgelegten Grenzwert, so wird er auf den Grenzwert zurückgesetzt. Nun wird nur noch analog zur ursprünglichen Strategie ABW und der ermittelte Schwellwert verglichen und je nach dem nach 8000 ms reevaluiert oder die Meldung angezeigt.

```
double toleranz = 0.05;
int anzahl = 0;
int i = wlmHistory.length -1;
if (i>0) {
while((i >= 0)&&(Math.abs(wlmHistory[i]-
wlmHistory[wlmHistory.length-1])<= toleranz)){
anzahl++;
i--;
}
}

double abwLimit = 0.3 + (anzahl * 0.00125);
if (abwLimit > 0.60) abwLimit = 0.60;

if (wlmValue >= abwLimit) {
reevaluate(8000);
} else {
accept();
}
```

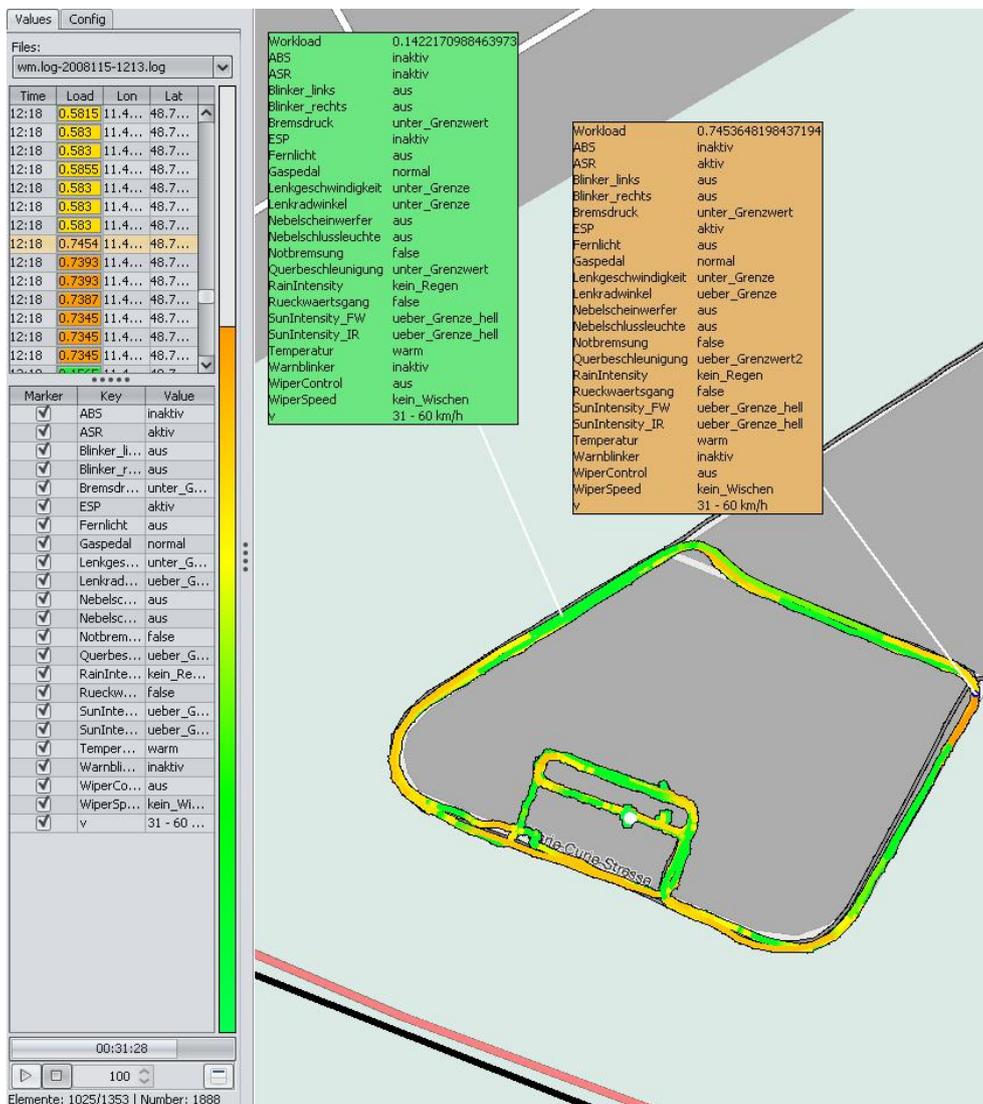
Implementierungsbeispiel „Kombinierte Adaptionstrategie“ Hier werden Programmelemente beider Strategien kombiniert.

```
Properties config = new Properties();
config.load(new FileInputStream("rules.properties"));

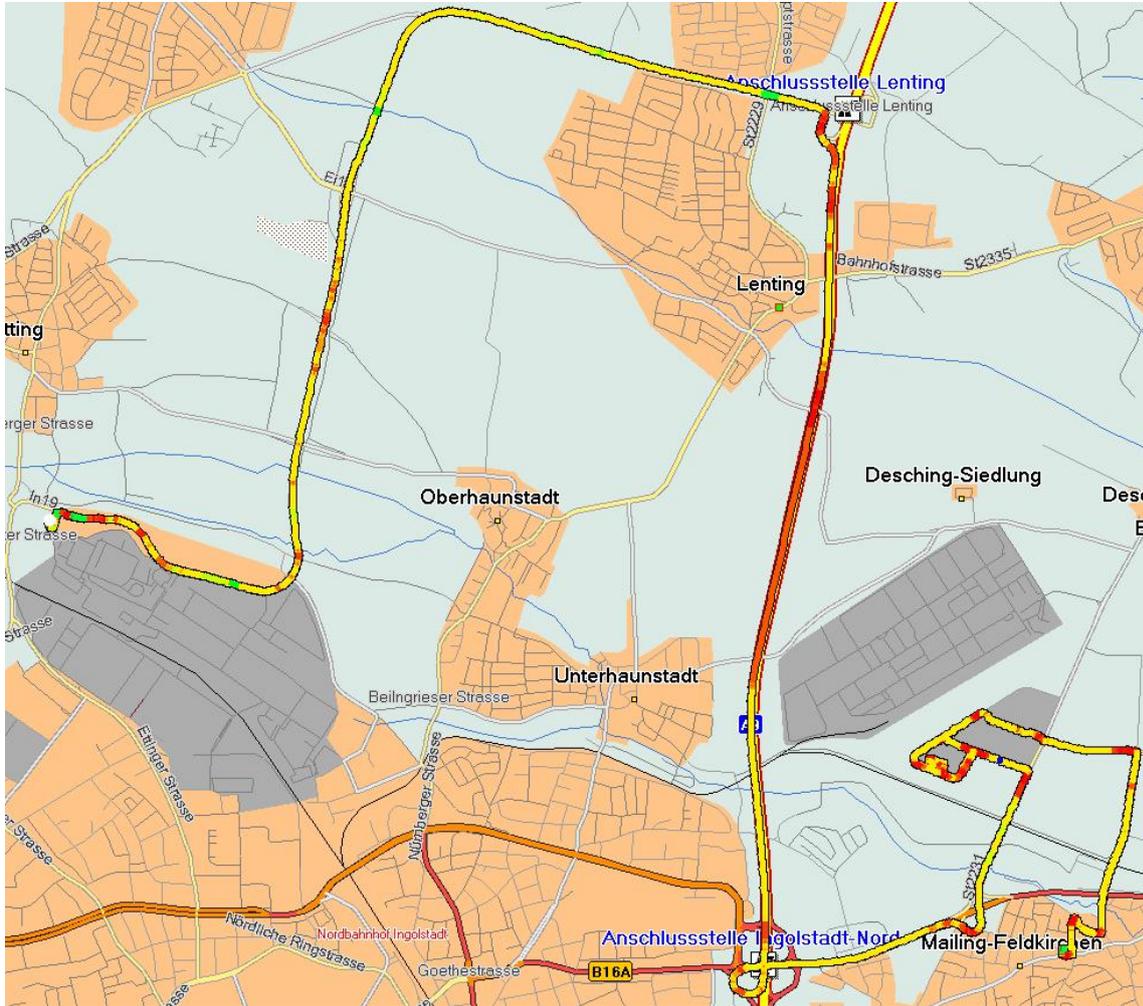
double toleranz = Double.parseDouble(config.getProperty("abwToleranz"));
int anzahl = 0;
int i = wlmHistory.length - 1;
if (i > 0) {
while ((i >= 0) && (Math.abs(wlmHistory[i] - wlmHistory[wlmHistory.length-1])
<= toleranz)) {
anzahl++;
i--;
}
}
double abwLimit = Double.parseDouble(config.getProperty("prio3Schwellwert"))
+ (anzahl * Double.parseDouble(config.getProperty("prio3Steigung")));
if (abwLimit > Double.parseDouble(config.getProperty("prio3Grenzwert")))
abwLimit = Double.parseDouble(config.getProperty("prio3Grenzwert"));
if ((wlmValue >= abwLimit) && (!message.getName().isEmpty())) {
int reevs = message.getNumberOfReevaluations() + 1;
if (message.getName().equals(config.getProperty("m1Name"))) {
if (reevs >= (Integer.parseInt(config.getProperty("m1P3Reevs"))
+ Integer.parseInt(config.getProperty("m1P4Reevs"))))
message.changePriority(-1);
reevaluate(Integer.parseInt(config.getProperty("m1P3Dauer")));
} else if (message.getName().equals(config.getProperty("m2Name"))) {
if (reevs >= (Integer.parseInt(config.getProperty("m2P3Reevs"))
+ Integer.parseInt(config.getProperty("m2P4Reevs"))))
message.changePriority(-1);
reevaluate(Integer.parseInt(config.getProperty("m2P3Dauer")));
...
}
} else {
accept();
}
```

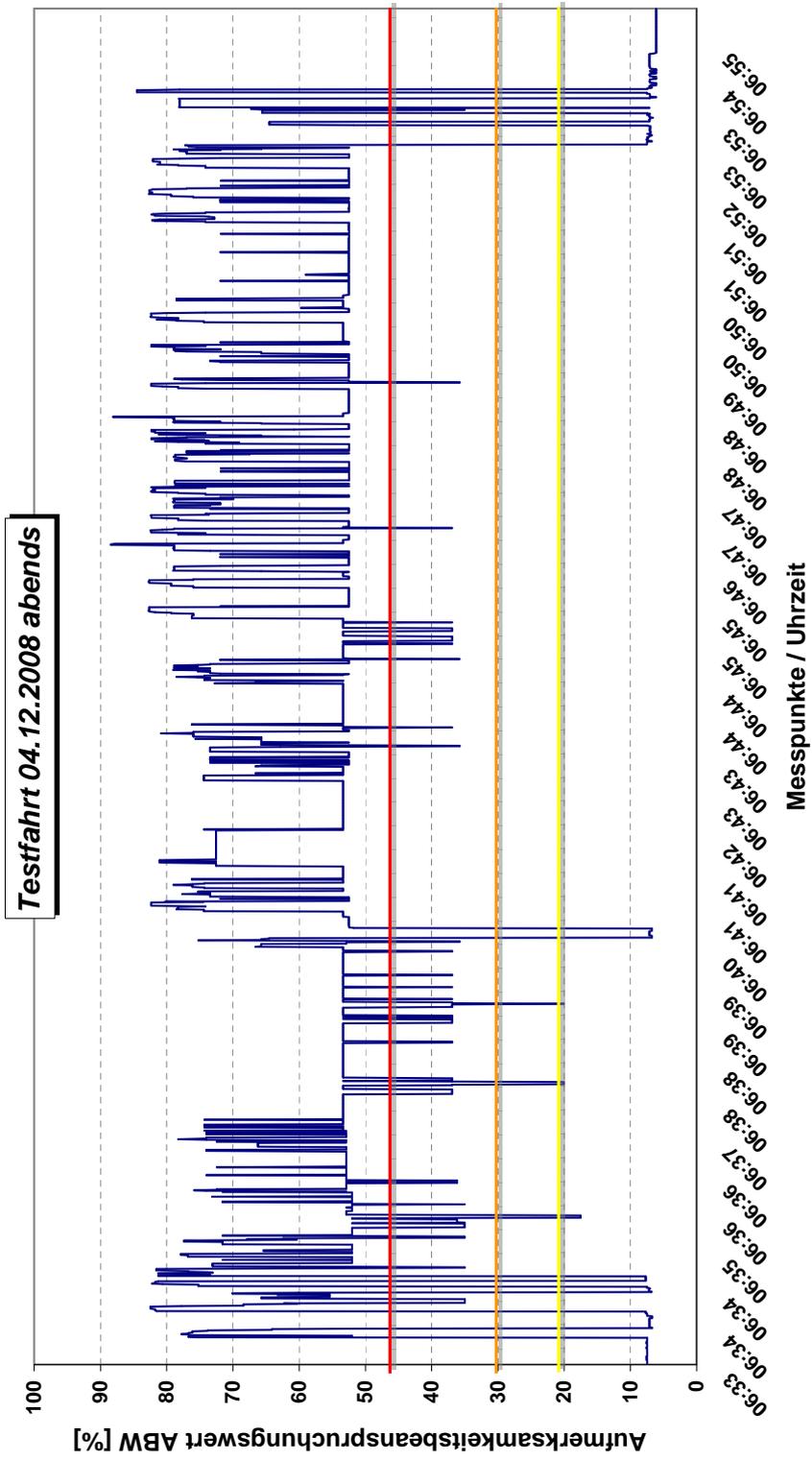
Anhang E - Systemverhalten

Die folgende Darstellung zeigt das Fenster des Analysetools. Am linken Rand ist die Auflistung der einzelnen Messpunkte zu erkennen. Jede Zeile beinhaltet den Zeitstempel, den aktuellen ABW und die GPS-Koordinaten. Darunter sind jeweils die CAN-Werte und damit die Eingangsgrößen für das BN des Messpunktes dargestellt. Rechts neben diesen Informationen ist ein dynamischer ABW-Balken, der durch seine Höhe und Färbung den ABW anzeigt. Im vorliegenden Fall bewegt sich der Balken auf einem Niveau von ca. 74%. Im rechten Teil des Fensters ist die Kartendarstellung mit der farblich codierten Strecke. Diese Einfärbung entspricht der Darstellung des ABW-Balkens und erlaubt die gesamtzeitliche Betrachtung des zeitlichen Verlaufs des Systemverhaltens über die Testfahrt. Exemplarisch sind bei zwei Messpunkten so genannte „Flags“ angezeigt. So können, ohne sich durch die gesamte Liste zu arbeiten, Punkte von besonderem Interesse via Doppelklick hervorgehoben und die dazugehörigen Eingangswerte in das Netz überprüft werden.



Testfahrten bei Dunkelheit Die nachfolgend dargestellte Testfahrt fand im Dezember 2008 bei Dunkelheit statt. Daraus ergibt sich ein erhöhtes Grundlevel des ABW, welches sich in einer häufigen Überschreitung der unteren Schwellenwerte ausdrückt.





Anhang F - Probandenstudie im Realverkehr

Im Folgenden ist der Fragebogen der Probandenstudie im Realverkehr abgebildet. Dieser wird ausschließlich vom Versuchsleiter ausgefüllt.

Dieser beginnt mit Aufnahme der Personendaten zur deskriptiven Stichprobenbeschreibung. Es folgt eine Checkliste für den Versuchsleiter.

Mit einem Beispiel wird in weiterer Folge die Bewertung der kognitiven und körperlichen Beanspruchung erklärt. Die fünfte Seite zeigt die Versuchsstrecke, die mit den Vpn durchgesprochen wird. Die folgenden drei Seiten dienen dem Versuchsleiter zur Kennzeichnung der Meldungsanzeige, zur Aufnahme der subjektiven Bewertungen und zum Festhalten von Besonderheiten.

Die Seite neun umfasst die Anschlussbefragung an die Versuchsfahrt. Dabei werden von den Versuchsteilnehmern Auffälligkeiten in der Versuchsfahrt abgefragt. Im Anschluss an diese ungerichtete Frage wird Funktionalität des Workloadmanagers beschrieben und vom Probanden benotet. Hier besteht die Möglichkeit, Verbesserungsvorschläge und Anmerkungen der Probanden aufzunehmen.

Die Seite zehn dient zur Validierung des Modells des ABW. Hier sind die standardisierten Fahrscenarien beschrieben und die Möglichkeit der Bewertung der vorliegenden Parametrierung gegeben.

Analog dazu umfasst die Seite 11 die Szenarien für die Grenzwertvalidierung. Die angeführten Eingangsgrößen des Bayes'schen Netzes werden angeführt und dem Versuchsleiter steht ein Bereich für Notizen zur Verfügung.



Prob.Nr.:

Sehr geehrte Damen und Herren,

im Rahmen einer Studie an der Technischen Universität München führe ich eine Testfahrt durch. Das Themengebiet der Arbeit ist die Beanspruchung des Fahrers auf Grund von situativ ungünstigen Systemmeldungen. Ziel ist es, ein System zu entwickeln, welches basierend auf CAN-Daten eine automatische Filterung eingehender Meldungen vornimmt. So kann die Fahrt entspannter ablaufen und unnötige Ablenkungen in ungünstigen Situationen werden vermieden.

Das Projekt läuft am Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation und wird von Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll betreut.

Die Auswertung erfolgt selbstverständlich anonym und die Daten werden nicht weitergegeben.

Für Rückfragen stehe ich gern jederzeit zur Verfügung.

Vielen Dank!

Andreas Muigg

TU-München
Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation
Theresienstr. 90
80333 München

muigg@mmk.ei.tum.de



Prob.Nr.:

Fragebogen zur Person

1. In welchem Jahr sind Sie geboren? 19 _____

2. Sie sind ...?
 - weiblich
 - männlich

3. Benutzen Sie eine Sehhilfe? nein ja
 - 3.a Falls ja, tragen Sie überwiegend ...?
 - Brille
 - Kontaktlinsen
 - beides zu gleichen Teilen
 - 3.b Falls ja, welche Sehschwäche haben Sie?
 - Kurzsichtigkeit
 - Weitsichtigkeit
 - sonstiges: _____
 - 3.c Falls ja, zu welchen Gelegenheiten nutzen Sie Ihre Sehhilfe?
 - immer
 - beim Autofahren
 - beim Lesen
 - beim Fernsehen
 - bei der PC-Arbeit

4. In welchem Jahr haben Sie Ihren Führerschein erhalten? _____

5. Für welche Klassen gilt Ihr Führerschein?
 - Auto
 - Motorrad
 - LKW

6. An wie vielen Tagen nutzen Sie Ihr Fahrzeug?
 - 5 – 7 Tage pro Woche
 - 3 – 4 Tage pro Woche
 - 1 – 2 Tage pro Woche
 - weniger als 1 Tag pro Woche

7. Wie viele km fahren Sie durchschnittlich pro Jahr?
 - bis 5000 km
 - 5001 – 10.000 km
 - 10.001 – 20.000 km
 - 20.001 – 40.000 km
 - über 40.000 km

8. Welche Geschwindigkeiten bevorzugen Sie bei folgenden Straßentypen?
 - Autobahn: _____ km/h
 - Landstraße: _____ km/h



Prob.Nr.:

Checkliste

Fahrzeug:

- Stromversorgung
- WLM läuft (Kombi & MMI)
- Kamerasystem läuft
- VirtualDub
- Speicherort in jeweiligem Probanden-Ordner!!
- Remote Tool (klein rechts, Logger links) Meldungen geladen
- Permutationsliste
- VAPI-Browser
- winSCP, putty
- Lautstärke in Alsamixer 68
- event.log verschoben, wlm.log verschoben

Proband:

- Sitzeinstellung
- Lenkradeinstellung
- Gurt

- Fahren nach Straßenverkehrsordnung
- Skala erklären → nächste Seite



Prob.Nr.:

Skala erklären:

Nach jeder ausgelösten Meldung:

Subjektive Einschätzung der Beanspruchung auf einer Skala von 10 – 100 %

Zusatzbemerkungen möglich!



- Kognitive Beanspruchung

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung

- Körperliche Beanspruchung

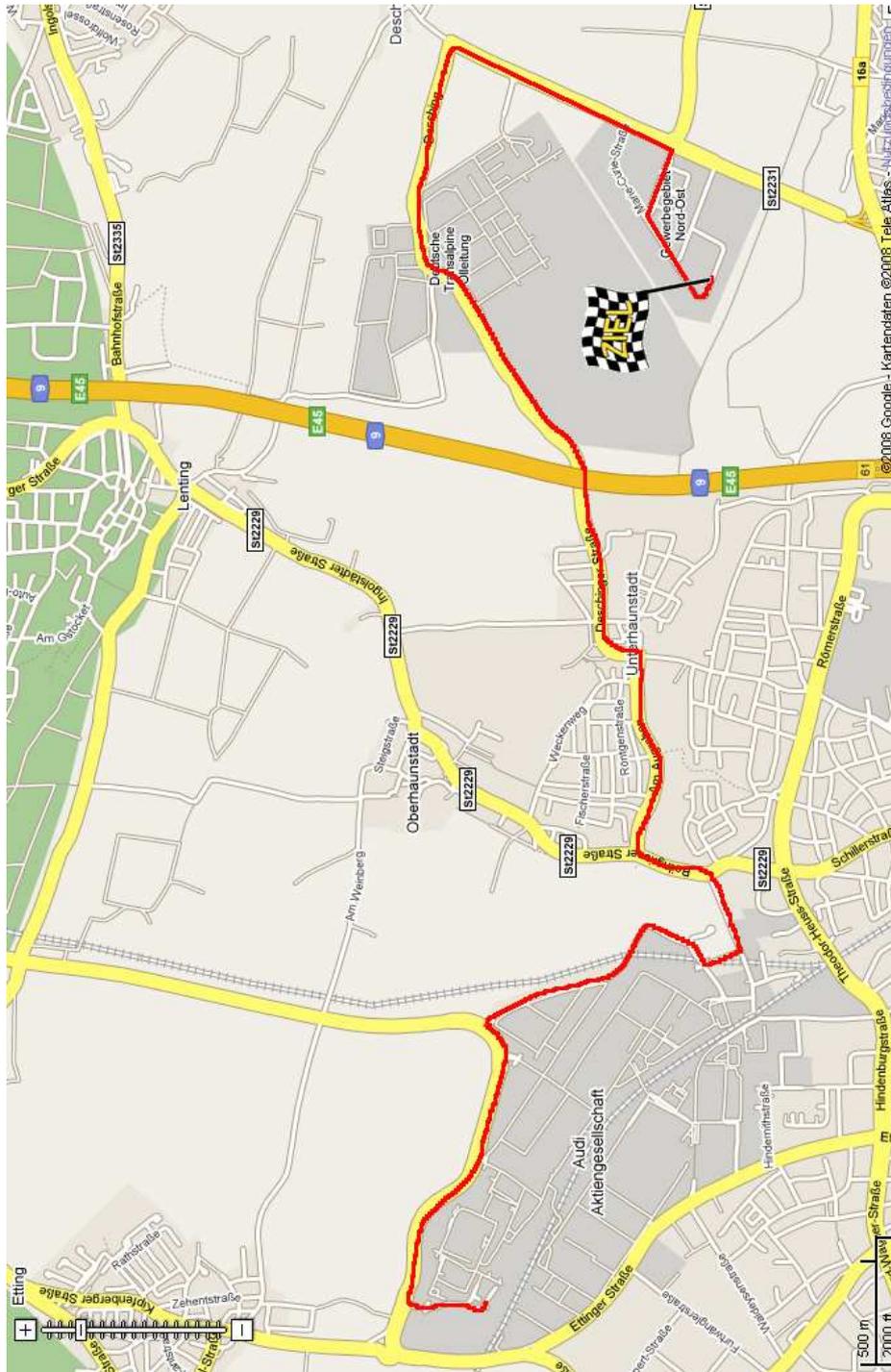
geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



Prob.Nr.:

Teststrecke:





Prob.Nr.:

Part 1: WLM-Testfahrt

Reaktion auf Meldung:

1. WLM an / aus



- Kognitive Beanspruchung

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung

- Körperliche Beanspruchung

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung

2. WLM an / aus



- Kognitive Beanspruchung

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung

- Körperliche Beanspruchung

geringste
Beanspruchung

höchste
Beanspruchung



Prob.Nr.:

Part 1: WLM-Testfahrt

Reaktion auf Meldung:

3. WLM an / aus



- Kognitive Beanspruchung

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung

- Körperliche Beanspruchung

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung

4. WLM an / aus



- Kognitive Beanspruchung

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung

- Körperliche Beanspruchung

geringste Beanspruchung
 höchste Beanspruchung



Prob.Nr.:

Part 1: WLM-Testfahrt

Reaktion auf Meldung:

5. WLM an / aus



- Kognitive Beanspruchung

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung

- Körperliche Beanspruchung

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung

6. WLM an / aus



- Kognitive Beanspruchung

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung

- Körperliche Beanspruchung

geringste Beanspruchung

höchste Beanspruchung



Prob.Nr.:

Einschätzung der WLM-Funktionalität

1.1 Ist Ihnen etwas an den eben ausgegebenen Meldungen aufgefallen?

Nein

Ja

In der gerade absolvierten Testfahrt kamen sechs Meldungen vor. Davon waren drei nach heutigem Anzeigeschema und drei mit der WLM-Funktionalität. Das bedeutet, trotz Auslösung aller sechs Meldungen in beanspruchenden Situationen wurden die drei Meldungen bei aktivem Workload Manager nicht sofort angezeigt sondern verwaltet und nach Entspannung der Situation nachgereicht.

1.2 Wie empfinden Sie diese Funktionalität?

(Skala nach Schulnoten: 1...sehr gut; 2...gut; 5...mangelhaft; 6...ungenügend)

1	2	3	4	5	6
<input type="radio"/>					

1.3 Welche Verbesserungen könnten Sie sich an dem System vorstellen?



Prob.Nr.:

Part 2: ABW-Validierung

Im Folgenden wird Ihnen die Berechnungsgrundlage des Aufmerksamkeitsbeanspruchungswertes im zentralen Display angezeigt. In der Liste sehen Sie die verarbeiteten Werte, die miteinander in entsprechender Gewichtung verknüpft sind. Bei entsprechenden Überschreitungen von definierten Grenzwerten ändern sich die Statuswerte der einzelnen Parameter.

Diese Fahrt soll dazu dienen, die Berechnung des ABW zu verifizieren. Die dabei erzielten Werte lehnen sich an eine Fragebogenuntersuchung an, bei der die Beanspruchung des Fahrers in Abhängigkeit von Verkehrssituationen bewertet wurde.

Um die Funktionalität standardisiert überprüfen zu können, spielen wir folgende Szenarien durch:

2.1 Abbiegen mit blinken links	zu gewichtig	zu wenig gewichtig	ok
2.2 Abbiegen mit blinken rechts			
2.3 Sinuslenken für Querbeschleunigung			
2.4 Rückwärtsgang			
2.5 Scheibenwischer intervall			
2.6 Scheibenwischer langsam			
2.7 Scheibenwischer schnell			
2.8 Fernlicht			



Prob.Nr.:

Part 3: Grenzwertvalidierung

Wie im vorhergehenden Part beschrieben, werden CAN-Daten teilweise mit definierten Grenzwerten binarisiert. Diese Grenzwerte geben den Ausschlag für die Änderung des berechneten ABW.

In diesem Part sollen nun die einzelnen Grenzwerte verifiziert werden. Auch hier erfolgt eine standardisierte Überprüfung der relevanten Werte:

	Grenze zu hoch	Grenz zu niedrig	ok
3.1 Lenkwinkel			
3.2 Lenkwinkelgeschwindigkeit			
3.3 Bremsdruck			
3.4 Querbeschleunigung			
3.5 Geschwindigkeit: Ab welcher Geschwindigkeit (auf der AB) sind Sie dermaßen mit der Fahraufgabe beschäftigt, dass Sie auf zusätzliche Meldungen verzichten möchten?			

