



Fakultät für Elektrotechnik und  
Informationstechnik der  
Technischen Universität München



# Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up Displays im Fahrzeug

Nataša Miličić



TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation

# Sichere und ergonomische Nutzung von Head-Up Displays im Fahrzeug

Nataša Miličić

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

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Werner Hemmert

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Rigoll
2. Univ.-Prof. Gudrun J. Klinker, Ph.D.

Die Dissertation wurde am 08.10.2009 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik am 01.04.2010 angenommen.



*„Angesichts von Hindernissen  
mag die kürzeste Linie zwischen zwei Punkten  
die krumme sein.“*  
(Bertolt Brecht - Leben des Galilei)



## DANKSAGUNG

Bei der Danksagung kann man an einer früheren oder späteren Stelle im Leben ansetzen. Diese fängt im Jahre 1991 an:

Trotz vieler Hindernisse, danke ich Deutschland für eine gute und kostenlose Bildung und in diesem Rahmen der TU-München, auf der ich mein Studium abschließen durfte. An der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik hat der Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation meinen Weg entscheidend geprägt. Daher möchte ich Prof. Gerhard Rigoll für die Ermöglichung meiner Diplom- und Doktorarbeit danken. Sein unkomplizierter und menschlicher Umgang ist besonders lobenswert. Prof. Gudrun Klinker hat ebenso diese zwei Eigenschaften gezeigt und die Zweitkorrektur dieser Dissertation übernommen. Dafür möchte ich ihr herzlich danken.

Der nächste Schritt auf meinem Lebensweg hat mich zur BMW Forschung und Technik geführt. An dieser Stelle möchte ich mich als erstes bei Dr. Dirk Wisselmann für seine Unterstützung, Hilfe und das geschenkte Vertrauen bedanken. Ich werde mir Mühe geben, nur annähernd eine so gute Führungspersönlichkeit zu werden wie er.

Prof. Klaus Bengler möchte ich für die Zusammenstellung eines tollen Teams und das gute Forschungsumfeld, das mir die Dissertation in der Industrie ohne viele zusätzliche Belastungen ermöglicht hat, ein großes Lob aussprechen. Vor allem danke ich ihm für alle kritischen Anmerkungen, die das Niveau dieser Arbeit aus psychologischer Sicht deutlich angehoben haben.

Die Leitung dieses tollen Teams hat Dr. Bernhard Niedermaier übernommen und ist der anvertrauten Aufgabe mehr als gerecht geworden. Ich danke ihm für die hilfreichen Tipps und die Unterstützung in den letzten Zügen der Ausarbeitung!

Wenn wir schon beim tollen Team sind, möchte ich meine Mädels, Dr. Verena Broy, (Dr.) Mariana Rakić und (Dr.) Genovever Brunner, die die Frauenquote der BMW Forschung und Technik entscheidend angehoben haben, erwähnen. Ich danke euch für eure Unkompliziertheit, die immer vorhandene Hilfsbereitschaft und natürlich für die schönen Mädelsabende.

Ich möchte auch allen meinen Jungs danken. Jeder hat seinen Beitrag zum tollen Arbeitsklima geleistet. Ich werde leider nicht alle namentlich erwähnen... Trotzdem:

Danke an (Dr.) Ronald Ecker für die konstruktiven, produktiven, effektiven und effizienten Pausen.

Danke an Dr. Stefan Hoch für die warmherzige Hilfe bei allen ZIO-Problemen und die Organisation gemeinsamer Events.

Danke an (Dr.) Stephan Thoma für eine tolle Tisch-Nachbarschaft, alle intelligenten Anmerkungen, programmierten Gimmicks (z.B. automatische Antwort-Email) und nicht zu vergessen die Beschwerdebriefe.

Danke an meinen Psychologen (Dr.) Frederik Platten, der mit mir in zahllosen Stunden im Matlab-Raum keine Musik hören wollte.

Danke an meinen Programmier-Master und HUD-Experten (es lebe GHUD) Marc Breisinger für das viele geteilte Wissen und die große Hilfsbereitschaft.

Einen ganz besonderen Dank möchte ich (Dr.) Thomas Lindberg für eine bedingungslose Unterstützung und fantastische Betreuung in diesen drei Jahren

aussprechen. Ich habe das Vergnügen gehabt, viel von ihm gezeigt zu bekommen und dementsprechend auch viel zu lernen. Danke für die Begleitung auf allen Ebenen!  
Als letztes möchte ich mich im Arbeitsumfeld bei allen Studenten, die bei mir „schufteten“ mussten, für Ihren Beitrag bedanken. Ich hoffe ihr habt etwas mitnehmen können. Von ihnen allen möchte ich ganz besonders (Dr.) Christian Raubitschek und Janko Potežica von ganzem Herzen für ihren selbstlosen Einsatz danken. Ihr habt alle Erwartungen übertroffen!

Nach drei Jahren in der ZT kann ich mich als glücklich schätzen, so viele tolle Menschen täglich an meiner Seite gehabt zu haben. Ich habe von jedem von euch (auch von den namentlich nicht Erwähnten) sehr viel gelernt und jeder hat auf seine Art und Weise zu dieser Arbeit beigetragen. Danke für die tolle Zeit in und auch außerhalb der BMW-Welt!

Und am Ende danke ich den besten Eltern und der tollsten Schwester auf der ganzen Welt. Eine größere und bessere Unterstützung kann man sich nicht wünschen! Meine Liebe euch gegenüber ist, so wie euer Beistand in den letzten 27 Jahren, grenzenlos. Aus diesem Grund ist diese Arbeit euch gewidmet! Hvala!

Und an dieser Stelle endet die Danksagung im Jahre 2009.



## ZUSAMMENFASSUNG

Das Head-Up Display ist im Fahrzeug eine innovative Technologie, die von den Nutzern sehr gut angenommen wird. Negative Effekte, die mit dem HUD in Verbindung gebracht werden, sind aus der Flugforschung bekannt. In dieser Dissertation wird eine Versuchsreihe vorgestellt, die sich kritisch mit diesen negativen Effekten im automotiven Kontext auseinandersetzt. Damit wird ein weiterer Grundstein für die zukünftige Nutzung des Head-Up Displays im Fahrzeug gelegt. Die Motivation für diese Arbeit bilden die Sicherheits- und Komfortvorteile, die das HUD mit sich bringt.

Dabei wurden folgende Fragestellungen untersucht:

1. *Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?*
2. *Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?*
3. *Treten negative Effekte auf, wenn im HUD eine größere Anzeigefläche zur Verfügung steht?*

Diese drei Fragestellungen wurden anhand der theoretischen Grundlagen aus der Literatur analysiert und mit Hilfe unterschiedlicher methodischer Ansätze in fünf Experimenten untersucht.

Es wurde anhand der Ergebnisse eine Guideline für die Informationsdarstellung abgeleitet. Weiterhin wurde ein Anzeigebedienkonzept entwickelt und in mehreren Versuchen im Fahrsimulator, sowie in einem Feldtest untersucht. Dabei wurde das Fahr-, Bedien- und Blickverhalten der Fahrer analysiert. Es konnten keine negativen Effekte gemessen werden, solange die Informationsgestaltung der Guideline entsprochen hat. Weiterhin wurde ein Versuchsträger aufgebaut, der eine größere Anzeigefläche im Head-Up Display für diese Untersuchungen ermöglicht hat. Aufgrund dieser Untersuchungen ist eine Verbreiterung der Anzeigefläche in der Horizontalen bis zu 12° nach rechts zu empfehlen.



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung und Problemstellung .....	2
1.3 Aufbau und Abgrenzung der Arbeit .....	4
<b>2 Stand der Technik</b> .....	<b>7</b>
2.1 Grundlagen der HUD-Technologie .....	7
2.1.1 Aufbau und Funktionsweise .....	8
2.1.2 Auslegung des optischen Systems und technische Realisierung..	11
2.1.3 Anforderungen an die Abbildungsleistung .....	15
2.2 Lösungsansätze für die Umsetzung einer größeren Anzeigefläche .....	18
2.2.1 Grundlegende Optikkonzepte für die Realisierung eines HUDs ....	18
2.2.2 Lasertechnologie als Bild- und Lichtquelle des HUDs .....	21
2.2.3 Holographie im HUD .....	24
2.3 Aufbau des Prototypen .....	26
2.3.1 Simulation .....	26
2.3.2 Einbau .....	30
2.3.3 Integration in die Fahrzeugarchitektur .....	31
<b>3 Randbedingungen für ergonomische Informationsgestaltung im HUD</b> ...	<b>35</b>
3.1 Grundlagen aus der Literatur .....	35
3.1.1 Grundsätze der Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeug .....	35
3.1.2 Menschlichen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung .....	38
3.1.3 Anforderungen an HUD-Konzepte .....	45
3.2 Untersuchungen zu Anzeigeninhalten und Informationsgestaltung .....	49

3.2.1	Statistische Grundlagen .....	49
3.2.2	Aufbau im Fahrsimulator .....	53
3.2.3	Experiment 1: Anwendung von Gestaltungsmittel für die Informationsdarstellung im HUD .....	56
3.2.4	Experiment 2: Wechsel vom Präsentations- zum Interaktionsmedium .....	60
3.3	Gudeline für die Anzeigengestaltung im HUD .....	77
3.3.1	Gestaltungsregeln .....	77
3.3.2	Struktur der Interaktion .....	78
3.3.3	Design und Gestaltung der Interaktion .....	79
<b>4</b>	<b>Anzeigebedienkonzept.....</b>	<b>81</b>
4.1	Zusammenspiel der Anzeigeflächen im Fahrzeug .....	82
4.2	Konzeptableitung für eine Mensch-Maschine-Interaktion im HUD .....	84
4.2.1	Gesetze der Einfachheit .....	85
4.2.2	Intuitivität .....	86
4.2.3	Metaphern .....	86
4.2.4	Mentale Repräsentation .....	86
4.2.5	Animation und Kontinuität.....	87
4.2.6	Prinzipien der Gestaltungspsychologie.....	87
4.3	Orion: Konzept für die exklusive Darstellung von Menüinteraktion im vergrößerten HUD.....	88
4.4	Sisco: Integration der Menübedienung in die Anzeigen im Primär-HUD ..	89
4.4.1	Generic Head-Up Display .....	90
4.4.2	Prioritätenmanagement .....	91
4.4.3	Konzept .....	95
4.4.4	Experiment 3: Vergleich vom Primär und Sekundär-HUD .....	96

<b>5 Bewertung des Systems.....</b>	<b>99</b>
5.1 Experiment 4: Einfluss der Anzeigehalte im HUD auf das Situationsbewusstsein während der Fahrt .....	99
5.1.1 Theoretische Grundlagen zum Situationsbewusstsein.....	100
5.1.2 Versuch zum Situationsbewusstsein .....	103
5.1.3 Zusammenfassung und Diskussion.....	117
5.2 Experiment 5: Auswirkungen des Systems auf das Fahr- und Blickverhalten im realen Straßenverkehr .....	118
5.2.1 Theoretische Grundlagen.....	119
5.2.2 Versuch zur Beanspruchung im realen Straßenverkehr.....	120
5.2.3 Fazit .....	143
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>145</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>149</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>150</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>158</b>
<b>Diagrammverzeichnis .....</b>	<b>159</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>160</b>
<b>Formelverzeichnis.....</b>	<b>160</b>



# 1 EINFÜHRUNG

Seit dem Einzug des Head-Up Displays (HUD) in die Automobilindustrie, hat es sich zu einem innovativen und attraktiven Anzeigeort im Fahrzeug entwickelt [BMW 05].

Einer der größten Vorteile der virtuellen Überlagerung der Fahrszene ist die geringere Ablesezeit der angezeigten Information gegenüber Anzeigen innerhalb des Fahrzeugs, wie z.B. in einem Kombiinstrument. Dadurch werden die Sicherheit und der Komfort für den Fahrzeugführer erhöht.

Es werden jedoch auch negative Effekte mit dem Head-Up Display in Verbindung gebracht. Die Überlagerung der Fahrszene kann zu Ablenkung führen. Aufgrund dieser Tatsache ist es notwendig mit diesem Medium sehr bewusst und kritisch umzugehen. Diese kritische Betrachtungsweise bildet die Grundlage der vorliegenden Dissertation.

## 1.1 Motivation

Das Head-Up Display (HUD) ist ein Projektionssystem, welches das Sichtfeld mit zusätzlichen Informationen überlagert. Diese Technologie wurde erstmals in den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts für die Luftfahrt entwickelt, um den Piloten einen Überblick über alle relevanten Informationen, jedoch ohne Abwendung von der Flugszene, zu ermöglichen. Dieser Ansatz hat 40 Jahre später den Weg ins Automobil gefunden. In den späten 80er Jahren wurde das erste Mal ein HUD bei General Motors verbaut.

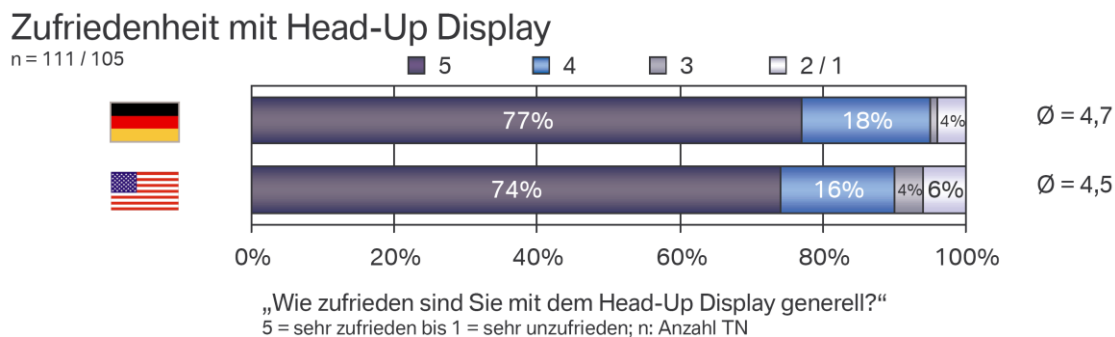
Bei BMW wird das HUD seit 2003 in den Oberklasse-Modellen als Sonderausstattung angeboten. Bis heute werden an diesem Anzeigeort die Geschwindigkeit, Navigation und Fahrerassistenzsysteme wie in Abbildung 1, dargestellt. Bei Bedarf werden im HUD auch akute Warnmeldungen eingeblendet.



Abbildung 1: Fahrszene mit den HUD-Anzeigen eines BMW 5er (E60) [Raub 08]

Die Bezeichnung Head-Up deutet auf die Eigenschaft hin, dass der Blick „oben“ bleibt und beim Betrachten der Abbildung nicht von der Straße bzw. dem Flugeschehen abgewendet werden muss. Analog hierzu werden die Instrumente, die einen Blick nach „unten“ ins Fahrzeuginnere erfordern, wie das Kombiinstrument oder die zentral angeordnete Informationseinheit „Central Information Display“ (CID) im oberen Bereich der Mittelkonsole, Head-Down Displays genannt (HDD).

Die Akzeptanz des HUDs wurde in Deutschland und den USA mit Hilfe von Kundenbefragungen durchgeführt [BMW 05]. Diese sind fast ohne Ausnahme mit dem HUD zufrieden, wie im Diagramm 1 zu sehen ist.



**Diagramm 1: Zufriedenheit mit dem HUD**

Die Meinung, dass die Sicherheit aufgrund der geringeren Blickabwendung erhöht wird und die Anzeige in jeder Fahrsituation hilfreich ist, ist unter den Nutzern weit verbreitet.

Die entscheidenden Fragen sind, ob das Potenzial der Sicherheits- und Komfortverbesserung, welche das HUD bietet, genügend ausgeschöpft ist und wie man in der Zukunft dieses Medium einsetzen kann, um einen weiteren Mehrwert zu generieren.

## 1.2 Zielsetzung und Problemstellung

Die Vorzüge des HUDs resultieren aus der Positionierung des virtuellen Bildes, die durch den Aufbau bedingt ist. Die HUD-Komponente befindet sich unterhalb der Instrumententafel, wie in der Abbildung 2 zu sehen ist. Von dort aus wird ein Bild in die Windschutzscheibe des Fahrzeugs projiziert. Im Gegensatz zu Flugzeugen, bei denen ein zusätzlicher Combiner<sup>1</sup> für die Bilddarstellung eingesetzt wird, verwendet man im Fahrzeug die Windschutzscheibe als Reflexionsmedium. Das dort reflektierte Bild kann von der Fahrerposition wahrgenommen werden.

Die größten Vorteile des HUDs sind die geringere Ablesezeit [Geng 97], sowie signifikant schnellere Erkennung und Reaktion auf unerwartete Ereignisse auf der Straße gegenüber Head-Down Displays (HDD), wie z.B. Kombiinstrument [Kief 00] [Horr 03-1]. Diese Effekte basieren auf dem kleineren Winkel zwischen der Fahrszene und der angezeigten Information, dem reduzierten Adaptationsaufwand des Auges aufgrund der

<sup>1</sup> Ein Combiner, bestehend aus einer spiegelnden und lichtdurchlässigen Scheibe, überlagert Informationen der Umwelt mit künstlich erzeugten Informationen.



gleichen Lichtverhältnisse und der geringeren Akkommodationsleistung des Auges, die auf der virtuellen Entfernung von 2,2 m beruht. Diese Relationen sind in der Abbildung 2 angetragen. Die Auswirkungen dieser Vorteile korrelieren mit dem Alter [Kief 00] [Adis 98]. Besonders ältere Fahrer schätzen den Sicherheits- und Komfortbeitrag des HUDs.

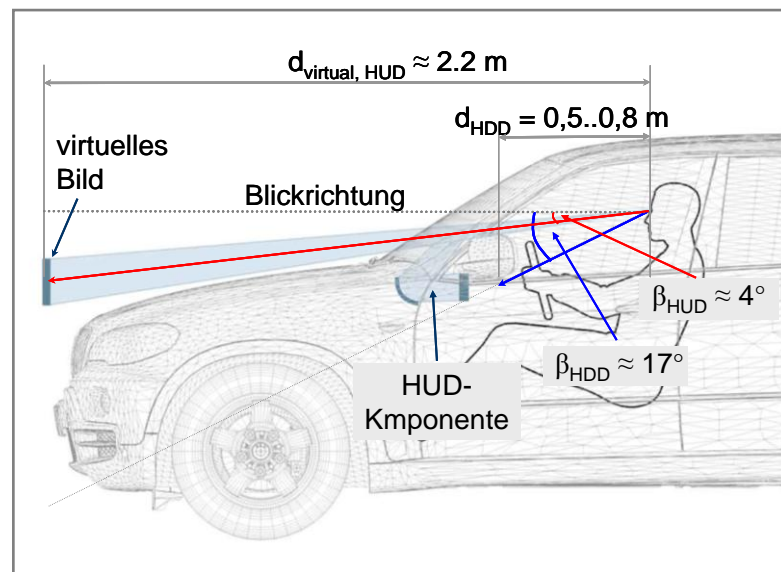


Abbildung 2: Positionierung des virtuellen Bildes

Andererseits ist ein virtuelles Bild, das die Verkehrsszene überlagert, attraktiv, kann somit den Fahrer ablenken und eine kognitive und visuelle Beanspruchung verursachen. **Cognitive Capture** ist der am häufigsten genannte Nachteil des HUDs [Gish 96] [Tufa 97] [Wein 92] und beschreibt das Phänomen der unbewussten Aufmerksamkeitsverschiebung des Fahrers von der Straße weg auf das HUD. Die daraus resultierende Verengung des peripheren Sichtfeldes wird als **Perceptual Tunneling** bezeichnet.

Ein ineffizienter Wechsel zum Verkehrsgeschehen kann zu verspäteten Reaktionen oder sogar dem Ausbleiben dieser führen. Weiterhin wird mit dem HUD im Fliegerbereich eine Verringerung des Situationsbewusstseins in Verbindung gebracht [Hain 91].

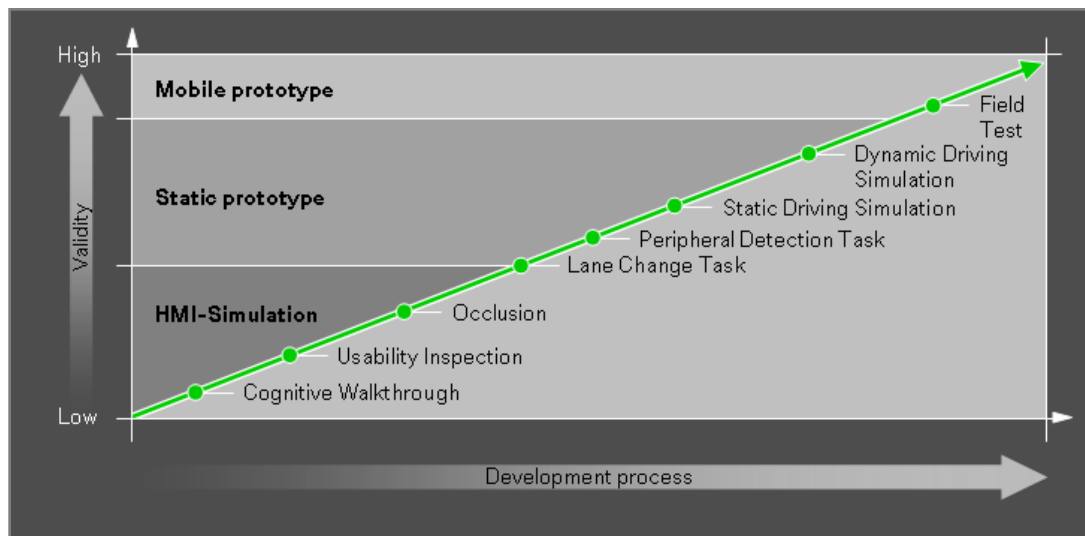
Aus diesen Gründen empfehlen bestehende Studien die reine Präsentation statischer Informationen im HUD, die auf die Primäraufgabe bezogen sind [Adis 98]. Zusammenfassend kann man sagen, dass das HUD Vorteile bietet, aber jede neue Anwendung auf die oben erwähnten Risiken geprüft werden muss. Das primäre Ziel ist es, immer eine sichere Nutzung des HUDs im Straßenverkehr zu gewährleisten.

Das Potential dieses Anzeigortes ist vor allem im automotiven Kontext noch nicht ausreichend untersucht und ausgeschöpft. Aus der Schlüsselfrage „**Wie geht man in Zukunft mit diesem Anzeigort im Fahrzeug um?**“ lassen sich unter anderem folgende drei Fragestellungen, die im Rahmen dieser Arbeit behandelt werden, ableiten:

1. **Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?**
2. **Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?**
3. **Treten negative Effekte auf, wenn im HUD eine größere Anzeigefläche zur Verfügung steht?**

An diese Fragestellungen kann man mit verschiedenen Methoden herangehen. Abhängig von den genauen Zielen werden Experimente unterschiedlicher Komplexität und mit verschiedenen Untersuchungsschwerpunkten umgesetzt. In der Abbildung 3 sind

die unterschiedlichen Evaluierungsschritte im Entwicklungsprozess von Mensch-Maschine-Schnittstellen im Fahrzeug angetragen. Auf der y-Achse ist die Validität der Ergebnisse abhängig von der Untersuchungsumgebung angetragen. Die meisten der hier aufgezeigten Methoden wurden in den Versuchen dieser Arbeit angewendet und werden in den jeweiligen Kapiteln ausführlich behandelt.



**Abbildung 3: Methoden für die Evaluierung von ABKs im Fahrzeug**

Dabei werden Anzeigebedienkonzepte (ABK) nach einer Simulation unter Laborbedingungen, auch während der Fahrt im Simulator untersucht. Fahrsimulatoren werden in statische und dynamische unterteilt. Der dynamische Simulator eignet sich für die Untersuchung von Fahrerassistenzsystemen, die kinestatische Rückmeldung der Fahrumgebung erfordern. ABKs können in den meisten Fällen mit einer genügenden Validität im statischen Simulator untersucht werden. Der Aufbau eines mobilen Prototyps und die Erprobung im Feld stellen die höchsten Anforderungen an die Reife des Konzeptes. Ein Feldtest kann aufgrund der hohen Validität als die finale Prüfung für ein ABK gesehen werden.

Die sicherheitsorientierte Bewertung von ABKs muss sowohl bezüglich der Auswirkung auf das Blickverhalten, als auch auf die Fahrgüte während der Bearbeitung der entsprechenden Bedienaufgabe erfolgen [Raki 06]. Daher ist neben der Untersuchung des Fahr- und Bedienverhaltens die Analyse des Blickverhaltens von Fahrern bei der Nutzung des HUDs ein weiterer Baustein dieser Arbeit.

### 1.3 Aufbau und Abgrenzung der Arbeit

HUD ist eine junge und innovative Art der Informationsdarstellung im Automobil, die viele, vor allem sicherheitsrelevante, Vorteile bietet. Die Head-Up Technologie unterscheidet sich vor allem durch die halbtransparente Darstellung der Anzeigehalte und die Abbildungsentfernung von den im Fahrzeuginneren verwendeten Anzeigen. Die Fragen, ob das Head-Up Display in dieser Hinsicht eine Sonderstellung unter den Displays im Fahrzeug einnimmt und wie mit diesem Anzeigeort umzugehen ist, werden

im Rahmen dieser Arbeit beantwortet. Dabei wird die Kontaktanalogie<sup>2</sup> nicht adressiert. Der Schwerpunkt liegt auf den in der nahen Zukunft umsetzbaren Anwendungen und der Anzeigengröße.

Explizit werden Antworten auf die drei oben herausgearbeiteten Fragen gegeben. Dabei wird jede Fragestellung mit unterschiedlichen Methoden beleuchtet.

### **1. *Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?***

Es gibt nicht viele Vorschriften, wie Informationen im HUD dargestellt werden sollen. Aufbauend auf ergonomischen Gesichtspunkten, dem Stand der Wissenschaft, den Rahmenbedingungen durch die menschliche Wahrnehmung, sowie dem gesetzlichen Rahmen für die Anwendung von HUDs, wird eine Zusammenstellung aller relevanter Vorgaben erstellt. Dabei werden offene Fragestellungen aus der Literatur herausgearbeitet und zu Untersuchungsschwerpunkten erklärt.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen werden zwei Experimente vorgestellt, die als Grundlagenuntersuchungen für den Umgang mit der Anzeigefläche dienen. Abgeleitet aus allen Erkenntnissen, wird eine Guideline für die Anzeigengestaltung im HUD herausgearbeitet.

### **2. *Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?***

Im Head-Up Display werden aktuell bevorzugt statische Informationen, bezogen auf die primäre Fahraufgabe, dargestellt [ATIS 98]. Um das Potential des Anzeigortes weiter zu untersuchen, wird der nächste Schritt in der Weiterentwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im HUD vollzogen. Dieser Schritt enthält die Interaktion mit Informationen, statt der bloßen Präsentation. Aus diesem Grund wird die Interaktion mit Informationen während der Fahrt aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet. Ein weiterer Schwerpunkt ist die kognitive und visuelle Beanspruchung, die durch eine Bedienung im HUD verursacht wird. Weiterhin werden eventuelle Ablenkungseffekte, wie Cognitive Capture und Perceptual Tunneling, quantifiziert und ein Vergleich mit dem CID gezogen. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird ein für das HUD optimiertes Anzeigebedienkonzept implementiert und in einem Fahrsimulator- als auch in einem Feldversuch untersucht.

Das Fahrsimulatorexperiment adressiert den Einfluss des HUDs auf das Situationsbewusstsein, das als eines der möglichen Nebeneffekte aus der Flugforschung bekannt ist. Im Rahmen dessen wird der Umgang mit dem System in kritischen Situationen analysiert.

Das Ziel des Versuchs im realen Straßenverkehr dagegen ist eine hohe externe Validität der Ergebnisse, um das natürliche Bedienverhalten der Fahrer zu untersuchen und die Unterschiede zwischen der Interaktion im HUD und CID herauszuarbeiten.

### **3. *Treten negative Effekte auf, wenn im HUD eine größere Anzeigefläche zur Verfügung steht?***

Wenn man über die Zukunft des HUDs nachdenkt, kommt man nicht an der Vergrößerung der Anzeigefläche vorbei. Im Moment befindet sich das virtuelle Bild im Bereich von 5,6° x 2,5°, was einer Fläche von ca. 18 cm x 10 cm in einer Entfernung von 2,20 m entspricht. Hier gilt es zu klären, ob die Vergrößerung der Fläche einen Mehrwert bringt, und ob die Anzahl der dann möglichen Informationen eine negative Auswirkung auf die Fahrleistung hat. Dafür werden vergleichende Untersuchungen zum Einfluss des

---

<sup>2</sup> Kontaktanalogie: Kontext- bzw. situationsabhängige Überlagerung des menschlichen Sichtfelds mit virtuellen Informationen. Beispielsweise anzeigen von virtuellen Hinweisen oder Richtungspfeilen des Navigationssystems direkt auf der Fahrbahn.

HUDs bei verschiedener Anzeigegröße durchgeführt. Neben der experimentellen Analyse wird auch zu den verschiedenen Technologien, die in der Zukunft für diesen Anzeigort relevant werden, Stellung genommen. Dabei wird neben den technischen Realisierungsmöglichkeiten eine Prognose für die Umsetzbarkeit einer Vergrößerung der Displayfläche erarbeitet. Um die gesetzten Fragestellungen auch unter realen Bedingungen zu testen, wird im Rahmen dieser Arbeit prototypisch ein Fahrzeug mit einer größeren HUD-Anzeigefläche umgesetzt.

Resultierend aus den Fragestellungen hat die vorliegende Arbeit den folgenden Aufbau: Nach der Einführung in die Thematik werden zuerst die Technologie und die Umsetzung einer größeren Anzeigefläche behandelt. Sie stellt die technische Grundlage für das Verständnis der Funktionsweise eines HUDs und die Beantwortung der Fragestellung nach der Flächenvergrößerung der HUD-Anzeige. Dabei werden zukünftige Technologien und verschiedene Umsetzungsmöglichkeiten diskutiert, um eine Abschätzung der Verbreiterung der Anzeigefläche eines HUDs zu ermöglichen. In diesem Kapitel wird auch der aufgebaute Prototyp, der in den weiteren Untersuchungen die notwendige Architektur darstellt, vorgestellt.

Nach der technischen Lösung und den somit erfüllten Voraussetzungen für die Untersuchung des Einflusses des HUDs, wird der Fokus auf die Gestaltung der Informationen im HUD gelegt. Dabei spielt der Stand der Wissenschaft in mehreren Bereichen, wie z.B. Verkehrspsychologie und menschliche Wahrnehmung, bei der Anwendung von HUDs eine große Rolle. Aus der Literatur werden noch nicht beantwortete Fragen herausgearbeitet und zu Untersuchungsschwerpunkten erklärt. Es werden zwei Experimenten vorgestellt, die zusammen mit den Erkenntnissen aus der Literatur das Ziel haben, eine Guideline für die Gestaltung von Informationen in einem HUD herauszuarbeiten und die Grundlage für die weitere Arbeit bilden.

Im vierten Kapitel wird ein für das HUD optimiertes Anzeigebedienkonzept, das sich auf die entwickelte Guideline stützt, vorgestellt. Dabei wird das Zusammenspiel der Anzeigeflächen im Fahrzeug behandelt und das HUD in die Anzeigenlandschaft im Fahrzeug in einen Gesamtzusammenhang positioniert. Die Ergebnisse eines Fahrsimulatorversuches, der zur Absicherung dieses Konzeptes diente, werden vorgestellt.

Die weiterführende Bewertung und Absicherung des Konzeptes erfolgt anhand zweier Versuche mit unterschiedlichen Schwerpunkten, die im Kapitel 5 präsentiert werden. Der Umgang mit dem System wird abhängig vom Anzeigort (HUD vs. CID) in kritischen Situationen analysiert. Dieses Experiment im Fahrsimulator adressiert den Einfluss des HUDs auf das Situationsbewusstsein. Dieser Nebeneffekt ist aus der Flugforschung bekannt und wurde bis dato noch nicht im automotiven Kontext untersucht. Den Schwerpunkt des Versuchs im realen Straßenverkehr bildet das natürliche Fahr-, Bedien- und Blickverhalten. Dadurch ist eine hohe externe Validität der Ergebnisse gegeben, um die Unterschiede zwischen der Interaktion im HUD und CID herauszuarbeiten.

## 2 STAND DER TECHNIK

Bevor die Auswirkungen einer größeren Anzeigefläche auf den Fahrer untersucht werden, ist es notwendig die Realisierung und die Machbarkeit eines solchen Systems im automotiven Kontext zu analysieren. Dazu gehören neben dem mechanischen Aufbau auch die in Frage kommenden Technologien für die Umsetzung eines solchen optischen Systems. Dabei sind die Vorgaben beim Fahrzeugbau, wie z.B. Bauraum und Kosten, in die Analyse mit einzubeziehen.

### 2.1 Grundlagen der HUD-Technologie

Die genaue Funktionsweise des HUD im Fahrzeug ist für diese Arbeit aus zwei Gründen von entscheidender Bedeutung: Einerseits stellt diese die Basis für die Weiterentwicklung und die zukünftigen Technologien des HUDs. Die Umsetzbarkeit einer größeren HUD-Fläche in der nahen Zukunft ist eine der Fragestellungen dieser Arbeit. Andererseits ist der Aufbau eines Prototyps, der auf dieser Funktionsweise basiert, eine entscheidende Voraussetzung für die weiteren Untersuchungen. Aus diesem Grund wird zunächst die Funktionsweise des heutigen HUDs erläutert. Im Anschluss werden die Anforderungen an die Abbildungsleistung behandelt. Diese sind unabhängig von der technischen Realisierung und haben einen entscheidenden Einfluss auf die Auslegung des optischen Systems.

Das System baut auf vier Kerntechnologien auf, die erst seit einigen Jahren die Anforderungen für den Industrieinsatz erfüllen. [Blum 06]

- TFT Display
- LED Leuchtquelle
- Optisches System
- Gehäuseabdeckung (Glaretrap)

Die Bilderzeugung basiert auf den Regeln der Strahlenoptik. Ein erzeugtes Bild wird über einen Spiegel im Gehäuse des Head-Up Displays gefaltet und über einen gekrümmten Umlenkspiegel in die Windschutzscheibe gespiegelt. In der Abbildung 4 ist eine mögliche Realisierung des Aufbaus abgebildet und dient zur Veranschaulichung des Strahlenganges von der Quelle bis zum Auge des Betrachters.

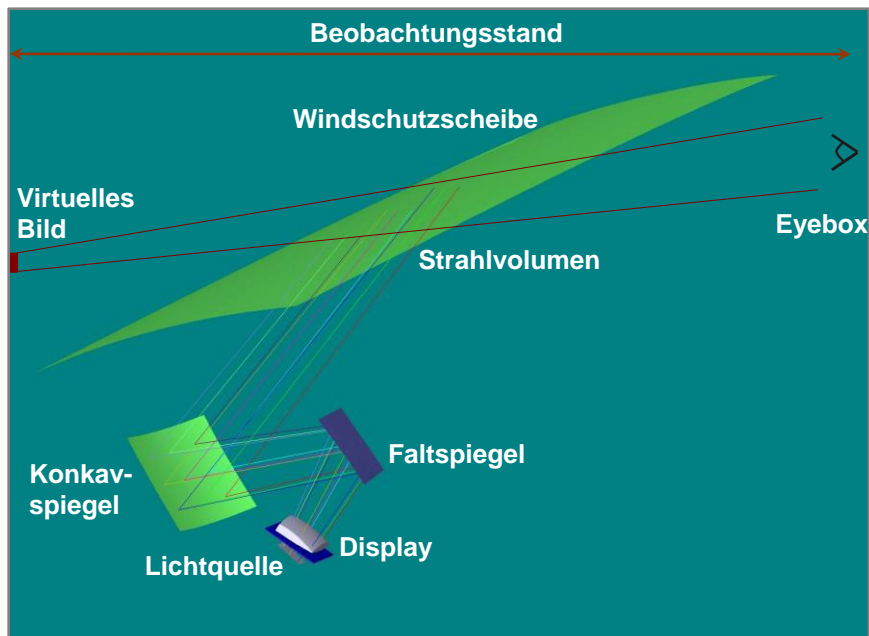


Abbildung 4: HUD-Strahlengang [Maye 05]

Durch das optische System wird der Strahlengang künstlich verlängert. Der Konkavspiegel parallelisiert die Lichtstrahlen, vergrößert die Abbildung und gleicht Verzerrungen aus, die durch die Krümmung der Windschutzscheibe entstehen. Mit dem zweiten Spiegel wird der Strahlengang gefaltet. Durch diese Maßnahmen wird erreicht, dass das virtuelle Bild im Abstand von etwa 2,2 m Entfernung vom Betrachter knapp über der Motorhaube sichtbar wird. Das Display und die Optik befinden sich in einem streulichtarmen, geschwärzten Gehäuse. Aus diesem Grund nimmt der Fahrer nur das leuchtende Displaybild wahr. Dieser kann das virtuelle Bild des HUDs nur aus der Position der sogenannten Eyebox betrachten, also nur in dem Bereich, in dem die Lichtstrahlen des abgebildeten Strahlengangs verlaufen. Die Auslegung des Systems ermöglicht beim Fahren eine gewisse Kopfbewegung von etwa 10 cm horizontal und 13 cm vertikal bevor es zum Bildbeschnitt kommt. Die horizontale Lage des Bildes ist fest. Die Vertikale kann auf die Bedürfnisse des Fahrers angepasst werden. Somit wird der unterschiedlichen Körpergröße der Fahrer Rechnung getragen.

### 2.1.1 Aufbau und Funktionsweise

Die folgenden Grundlagen stützen sich auf die Informationen aus den Produktinformationen zum HUD [BMW 06]. In der Abbildung 5 gezeigte HUD-Komponenten werden im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert.

Der Einbauort des Head-Up Displays liegt oberhalb der Lenksäule, unmittelbar hinter der Instrumentenkombination. Das aus Kunststoff gefertigte Gehäuse hat eine Dimension von 180 x 230 x 215 mm (H x B x T) und besteht aus einem Unterteil und der Abdeckung. Das Unterteil ist ein Aluminiumkörper mit Kühlrippen an dem die elektrische Versorgung befestigt ist (Abbildung 5a). In die Abdeckung ist das Deckglas integriert (Abbildung 5a).



Abbildung 5: HUD-Komponenten [BMW 06]

Im nachfolgenden Abschnitt sind alle Bauteile, Komponenten des Fahrzeugs und Bedienelemente, die mit dem HUD zusammenspielen, erläutert.

## BAUTEILE

### Deckglas

Das Deckglas (Abbildung 5a) ist aus kratzfestem, beschichtetem Polycarbonat mit einer Mottenaugenstruktur und bildet den oberen Abschluss des HUDs. Das Glas ist in Kombination mit der Blende (Glare Trap) so geformt, dass einfallendes Licht nicht zum Fahrer reflektiert wird. Ferner ist eine ungehinderte Projektion der Informationen im Display, zum Beispiel durch Streulichteffekte, auf die Frontscheibe gewährleistet.

### Spiegel

Im Head-Up Display sind zwei oder mehr Spiegel verbaut (Abbildung 5b). Über sie wird die Information vom Display auf die Frontscheibe abgebildet. Der asphärische Spiegel (gefertigt aus Kunststoff) gleicht die Krümmung der Frontscheibe aus und beeinflusst die Größe und den Abstand des Bildes. Die Herstellung von Spiegeln mit Freiformflächen ist durch neue Zerspannungstechnologien mit Genauigkeiten im nm-Bereich möglich. Die Spiegel selber werden in Spritzgusstechnik hergestellt. Der Planspiegel (gefertigt aus Glas) ist ein Umlenkspiegel, um den Strahlengang im Bauraum zu halten und den zurückgelegten Weg des Lichtes zu vergrößern.

### LED-Netzteil

Das Schaltnetzteil versorgt das LED-Array mit einer Spannung von 30 V, die aus der Bordnetzspannung transformiert wird.

### LED-Array

Für eine gute Wahrnehmung der HUD-Abbildung ist es wichtig, dass die Leuchtdichte des virtuellen Bildes immer größer ist als die Lichtstrahlen der Gegenstandspunkte der natürlichen Umgebung. Die Beleuchtung des Bildes wird durch das LED-Array erzeugt. Dieses besteht aus acht bis zwölf weißen Hochleistungs-Leuchtdioden und hinterleuchtet das TFT Projektionsdisplay. Die maximale Bildhelligkeit beträgt 5000 – 7000 cd/m<sup>2</sup>. Die Helligkeit ist sowohl von System- als auch von Fahrerseite aus adaptierbar und richtet sich nach der Umgebungshelligkeit, der Dimmerstellung der Instrumentenbeleuchtung und der vom Benutzer explizit eingestellten HUD-Helligkeit. Dadurch werden sowohl Helligkeitssprünge (z.B. bei Einfahrt in einen Tunnel) als auch Blendung bei Nacht vermieden.

### TFT-Projektionsdisplay

Die Auflösung des 1,6“ TFT RGR Displays (Abbildung 5c) beträgt 480 x 240 Pixel (B x H). Dargestellt werden die Farben Rot, Gelb und Grün, sowie deren Mischfarben. Ein Blauanteil ist nicht vorgesehen. Die Maße des virtuellen Bildes entsprechen ungefähr 10

x 20 cm (B x H). Dieses Bild scheint in einem Abstand von ca. 2,20 m vor dem Fahrer über der Motorhaube zu schweben. In Grad entspricht dies einer Bildgröße von  $2,6^\circ \times 5,2^\circ$ .

### *Masterplatine*

Die Masterplatine enthält eine K-CAN-Schnittstelle, eine MOST-Schnittstelle, einen Prozessor (CPU), einen Grafikkontroller, einen EEPROM-Speicher und eine Spannungsversorgung. Über den K-CAN und den MOST gelangen die Bildinformationen auf die Masterplatine. Die Elektronik zur Bilderzeugung wertet die eingehenden Daten aus. Die aufbereiteten Bildinformationen werden an das Display weitergeleitet. Die Masterplatine erzeugt die Signale für die Ansteuerung der LEDs, um die nötige Helligkeit für die HUD-Inhalte einstellen zu können.

## *KOMPONENTEN DES GESAMTSYSTEMS*

### *Windschutzscheibe (WSS)*

Die WSS ist Bestandteil des optischen Systems. Durch die erste Reflexion (20%) des polarisierten Lichtbündels der HUD-Optik an der Innenseite der Windschutzscheibe und eine zweite Reflexion beim Austritt des Lichtbündels an der Außenseite entstehen Doppelbilder. Diese werden mit einer keilförmigen Kunststoffolie in der zweischichtigen Glasscheibe für den Fahrer deckungsgleich überlagert. Die Foliengeometrie wird durch den Einfallswinkel, die Bildweite und die Eyebox-Lage bestimmt. Beim E70 hat die Keilspitze eine Stärke von 0,8 mm und das obere Ende 1 mm. Ab 2/3 der Scheibenhöhe ist die Folie planparallel. Die Gesamtstärke der Scheibenunterkante beträgt 4,5 mm und die der Scheibenoberkante 4,7 mm.

### *Blende*

Die Blende (Glare Trap) ist in Kombination mit dem Deckglas (Mottenaugenstruktur) dafür verantwortlich, dass einfallendes Licht nicht zum Fahrer zurückreflektiert wird.

### *Lichtmodul*

Das Lichtmodul stellt das Signal über den Systemzustand dem K-CAN zur Verfügung.

### *Regen-Lichtsensoren*

Der Regen-Lichtsensoren stellt das Helligkeitssignal über den LIN-Bus dem Funktionszentrum Dach zur Verfügung. Dieses leitet das empfangene Helligkeitssignal über die Junctionbox (Gatewayfunktion) auf den K-CAN.

### *Bildquellen*

Die Bildquellen und Displayinhalte für die Anzeige im HUD werden von folgenden Steuergeräten bereitgestellt:

Navigationssignale über MOST von Multi-Audio-System-Kontroller (M-ASK), Central Headunit And Multimedia Platform (CHAMP), Car Communication Computer (CCC)

Geschwindigkeit und Check-Control-Meldungen über K-CAN von der Instrumentenkombination (KOMBI) und der Dynamischen Stabilitäts Kontrolle (DSC).

## *BEDIENELEMENTE*

- Der Ein-/ Austaster im Lichtschaltzentrum ist widerstandscodiert und direkt an das HUD geführt.
- Der Lichtschalter im Lichtschaltzentrum aktiviert das Lichtmodul.
- Der Dimmer der Instrumentenbeleuchtung - Die Einstellung des Dimmers wird bei aktivem Fahrlicht für das HUD mitverwendet.



- Controller - Einstellung der Helligkeit und der Höheneinstellung des HUDs über das CID.

Diese Zusammenfassung der Funktionsweise gilt als Grundlage für das weitere Vorgehen.

### 2.1.2 Auslegung des optischen Systems und technische Realisierung

Nachdem die Technologien und die Funktionsweise des HUDs behandelt wurden, wird auf die Auslegung des optischen Systems näher eingegangen. Die optischen Elemente tragen dazu bei, dass die im nachfolgenden Kapitel aufgeführten Anforderungen an die Abbildungsleitung erfüllt werden, andererseits muss die technische Realisierung so einfach wie möglich gehalten werden.

Wenn nicht anderes vermerkt, beruhen die Angaben in diesem Kapitel auf den Informationen aus [Maye 03], [Maye 05] und [Blum 06].

Der Fahrer betrachtet durch die Windschutzscheibe (WSS) und die HUD-Optik die Bildquelle aus TFT-Display und Diodenlichtquelle. Das optische System erzeugt ein aufrechtes virtuelles Bild, das vom Fahrer binokular<sup>3</sup> wahrgenommen wird. In Abbildung 6 sind alle Einflussfaktoren auf das Design des optischen Systems abgebildet.

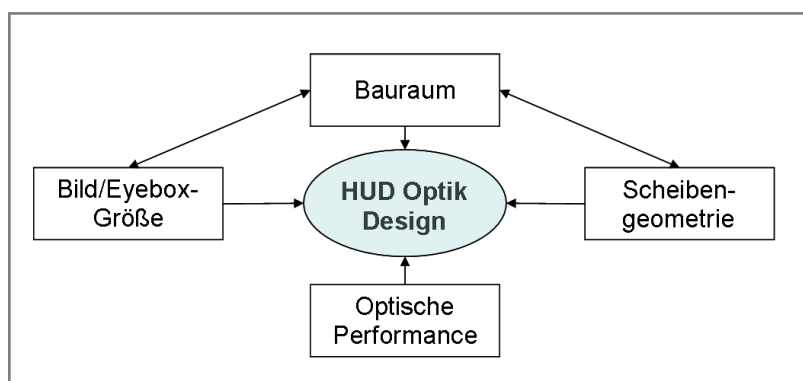


Abbildung 6: Einflussgrößen auf die HUD-Optik

Die Größe der Eyebbox beschreibt den Bewegungsfreiraum des Kopfes und wird durch den zur Verfügung stehenden Bauraum, der Bildgröße und dem Abstand Fahrer-Scheibe bestimmt.

Die Verbundglaswindschutzscheibe ist ein wesentlicher Bestandteil der Optik und muss insbesondere im Hinblick auf eine unverzerrte, toleranzunempfindliche Auslegung des Gesamtsystems optimiert werden.

Die optische Performanz wird maßgeblich durch die Homogenität, Verkippung, Verkantung, Verzerrung, Wölbung, Astigmatismus, Schärfe und Disparität des Bildes bestimmt. Die aufgeführten Kriterien gelten für eine gleichmäßige Verteilung über das gesamte Bild. Große Gradienten auf kurzen Strecken sind nicht akzeptabel.

Der Bauraum ist als einer der begrenzenden Faktoren anzusehen.

<sup>3</sup> Als binokular wird ein optisches System bezeichnet, das das Betrachten eines Gegenstandes über zwei getrennte Strahlengänge mit beiden Augen gleichzeitig ermöglicht. Dieses stereoskopische Sehen erlaubt einen plastischen, dreidimensionalen Tiefeneindruck.



$c$ :  $c = \frac{1}{R}$  Krümmung (Radius) an der Achse

$k$ : Kegelschnittkonstante ( $k=0$  Kugel;  $k=-1$  Paraboloid...)

$p_n$ : Polynomkoeffizient

In Abhängigkeit der geometrischen Form der WSS werden die Deckglaskrümmung und Glare Trap (Absorber) berechnet, um Streulichteeffekte zu minimieren. Dabei wird das Deckglas so ausgelegt, dass alle von der Eyebox kommenden Strahlen auf den Absorber reflektiert werden (siehe Abbildung 7).

Um ein für das Auge tolerierbares Bild zu erzeugen, muss die, durch die WSS verursachte, Verzerrung mit Hilfe optischer Elemente innerhalb des HUDs ausgeglichen werden. Diese optischen Elemente, die nach dem Fermat'schen Prinzip<sup>4</sup> funktionieren, können reflektive, refraktive oder catadioptrische Eigenschaften aufweisen. Je nach Anforderungen werden die Anzahl und die Art der optischen Elemente bestimmt. In der nachfolgenden Tabelle sind einige dieser Eigenschaften aufgelistet.

	REFLEKTIV (SPIEGEL)	REFRAKTIV (LINSEN)	CATADIOPTRISCH
<b>Funktionsweise</b>	Reflektion von Lichtstrahlen	Brechung von Lichtstrahlen	Kombination aus reflektiven und refraktiven Optiken
<b>Flexibilität bei der Korrektur der Optik</b>	sehr groß	groß	sehr groß
<b>Bauraumbedarf</b>	groß	mittel...klein	mittel...klein
<b>Chromatische Bildfehler</b>	keine	problematisch	beherrschbar
<b>Aufwand</b>	mittel	sehr groß	groß
<b>Rückreflexverhalten bei externem Lichteinfall</b>	günstig	problematisch	beherrschbar
<b>Gewicht</b>	mittel	groß	mittel

**Tabelle 1: Eigenschaften von optischen Elementen**

Die Berechnung der weiteren optischen Komponenten hängt von dem zur Verfügung stehenden Bauraum und der genutzten Optik ab. Mit der Kombination der reflektiven und refraktiven Eigenschaften lassen sich die Vorteile beider Gruppen vereinen. Darauf aufbauend ist die trigonometrische Strahlendurchrechnung die Grundlage für die Bestimmung der Abbildungseigenschaften des Systems.

Durch den Einsatz nichtrotationssymmetrischer asphärischer Flächen ist es möglich, zwei bis drei sphärische optische Elemente zu ersetzen.

Asphärische Flächen sind alle nicht kugelförmigen Flächen. Dagegen sind nichtrotationssymmetrische Flächen solche, deren zwei zu einander senkrecht stehende Schnittflächen unterschiedliche Krümmungen aufweisen. Die ermöglicht unterschiedlich große Bildweiten der sagittalen und tangentialen Fokusebene. Durch diese Eigenschaft kann man den systembedingten Astigmatismus minimieren (siehe Kapitel 2.1.3 Anforderungen an die Abbildungsleistung).

Die allgemeine Gleichung der asphärischen Fläche für die Meridiankurve hat die folgende Form [Naum 87]:

<sup>4</sup> Licht durchläuft eine Strecke auf dem kürzesten optischen Weg (oder in der kürzesten Zeit)

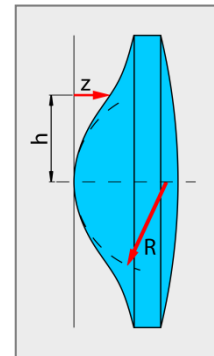
**Formel 2: Gleichung für die Meridiankurve einer asphärischen Fläche**

$$z(h) = \frac{c \cdot h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k) \cdot c^2 \cdot h^2}} + a_4 \cdot h^4 + a_6 \cdot h^6 + a_8 h^8 + \dots$$

$c$  :  $c = \frac{1}{R}$  Krümmung (Radius) an der Achse

$k$  : Kegelschnittkonstante ( $k=0$  Kugel;  $k=-1$  Paraboloid...)

$a_i$  : Asphären-Parameter



**Abbildung 8:**  
**Asphärische**  
**Linse mit**  
**Pfeilhöhe z**

Durch die Asphären-Parameter wird die Abweichung der Kurvenform vom gewählten Kegelschnitt in verschiedenen achsensenkrechten Ebenen beschrieben.

Da die Verzerrungen der Freiformfläche der WSS ausgeglichen werden sollen, hat das erste optische Element, wie in der Abbildung 4, innerhalb des Gehäuses ebenfalls eine nichtrotationssymmetrische, asphärische Form, die an die Krümmungen der Scheibe angepasst ist. Dieses Element wird als Konkavspiegel oder Asphäre bezeichnet.

Durch die Anwendung des Brechungsgesetzes und des Reflexionsgesetzes wird unter Nutzung geeigneter Formelsätze der Strahlenverlauf durch die weiteren Systemflächen bestimmt.

Die Optik hat die Aufgabe, alle im nächsten Kapitel aufgeführten Anforderungen zu erfüllen und die Fehler zu korrigieren. Aus theoretischen Betrachtungen ist es bekannt, dass man zur Korrektur eines Bildfehlers einen Freiheitsgrad benötigt, sofern man mit reflektiven Optiken arbeitet. Neben der Geometrie der Oberflächen ist es ebenfalls wichtig, die räumliche Anordnung der Spiegel hinsichtlich der Kompensationswirkung und des Bauraumbedarfs zu optimieren. Dabei ermöglichen Systeme mit einem erzeugten Zwischenbild in der Regel einen kompakteren Bauraum.

Aufgrund der Asymmetrie des Systems und der Komplexität der Oberflächen ist eine Auslegung der Optik von Hand nicht möglich. Diese wird mit dafür entwickelten Programmen durchgeführt. Die Schwierigkeit bei der Optimierung liegt in der Definition einer geeigneten Zielfunktion für den numerischen Optimierungsprozess. In diesen Optimierungsprozess müssen in Form von Parametern alle folgenden Anforderungen einfließen.

### 2.1.3 Anforderungen an die Abbildungsleistung

Die Anforderungen an die Abbildungsleistung richten sich hauptsächlich nach der Leistung und Funktionsweise des menschlichen Auges. Die Optik muss ein für das Auge angenehmes virtuelles Bild für binokulares<sup>5</sup> Sehen ermöglichen.

Die Parameter für ermüdungsfreies Sehen sind durch physiologische Gegebenheiten des Sehorgans vorgegeben. Näheres über das Auge ist im Kapitel 3.1.2.2 nachzulesen.

Die Definition eines schönen Bildes ist eine subjektive Bewertung, die Schwankungen, wie z.B. durch Sehkraftunterscheide zwischen dem linken und rechten Auge, stark unterliegt.

Ein wichtiger Parameter für ein schönes bzw. unschönes Bild sind dynamische Verzerrungen des virtuellen Bildes, die bei Kopfbewegung aufgrund der Asymmetrie der Scheibe leicht entstehen können. Von Bedeutung sind aber auch Verzerrungsunterschiede des virtuellen Bildes zwischen dem linken und rechten Auge.

Diese Zusammenstellung gibt einen Überblick über die wichtigsten Bildparameter, die für einen stimmigen Gesamteindruck des virtuellen Bildes entscheidend sind. Die Anforderungen bauen auf den Quellen [Bubb 92], [Maye 03] und [Heri 99] auf.

#### *Bildgröße*

Der zur Verfügung stehende Bauraum und die Scheibengeometrie sind die hauptsächlich begrenzenden Faktoren für die Bildgröße. Stark gekrümmte Scheiben ermöglichen größere Bilder bei gleichbleibendem Bauraum. Andererseits erfordern diese einen größeren Aufwand bei der Entzerrung.

#### *Effektive Projektionsdistanz*

Diese Größe entspricht dem Beobachtungsstand aus Abbildung 4. Die Distanz der virtuellen Abbildung sollte mindestens 2 m betragen. Dadurch wird eine optimale Entfernung für entspanntes Sehen, vor allem für ältere Autofahrer, erreicht. (siehe Kapitel 3.1.3)

#### *Sphärische Abberation (Öffnungsfehler)*

Dieser Abbildungsfehler entsteht wenn nur achsennahe Strahlen an der Abbildung beteiligt sind und ein Objektpunkt auf der optischen Achse weiter von einer Sammellinse entfernt abgebildet wird. Das bedeutet, die Strahlen werden nicht in einem Brennpunkt vereinigt, was sich negativ auf die Bildschärfe auswirkt. Da Konkavlinen eine zur Konvexlinen umgekehrte sphärische Abberation zeigen, kann durch geeignete Zusammenstellung der optischen Elemente der Abbildungsfehler minimiert werden.

#### *Astigmatismus und Bildflächenwölbung (Zweischalenfehler)*

Geometrie und Neigung der WSS bewirken in einem unkorrigierten Bild deutliche Unterschiede in Lage und Form der sagittalen und tangentialen Fokusebene. Das bedeutet, dass die horizontale und vertikale Bildebene unterschiedlich große Bildweiten aufweisen. Wenn diese Unterschiede zu groß sind, ermüdet das Auge, da es ständig versucht auf die unterschiedlichen Ebenen zu fokussieren. Es wurde festgestellt, dass der Unterscheid zwischen der tangentialen und sagittalen Fokussagen nicht größer als 50 mm sein darf. Es ist aber auch wichtig, dass der Unterschied für das linke und rechte Auge gleich groß ist und sich innerhalb der Eyebox nicht ändert.

<sup>5</sup> Über zwei getrennte Strahlengänge wird das Betrachten eines Gegenstandes mit beiden Augen ermöglicht. Somit wird stereoskopisches Sehen mit dreidimensionalen Tiefeneindruck ermöglicht.

*Koma (Asymmetriefehler)*

Schräg zur optischen Achse einfallende parallele Lichtstrahlen werden nicht in einem Punkt vereinigt. Ein Objektpunkt wird als eine ovale Figur mit einem Schweif (Koma) abgebildet. Jede Linsenzone entwirft von einem zur optischen Achse senkrecht stehenden Flächenelement ein Bild in anderer Größe. Durch die Erfüllung der Sinusbedingung (aplanisch), die in der nachfolgenden Formel abgebildet ist, kann Koma beseitigt werden. Eine Linse kann nur für einen bestimmten Objekt- und Bildabstand aplanische Abbildungen liefern.

**Formel 3: Sinus-Bedingung**

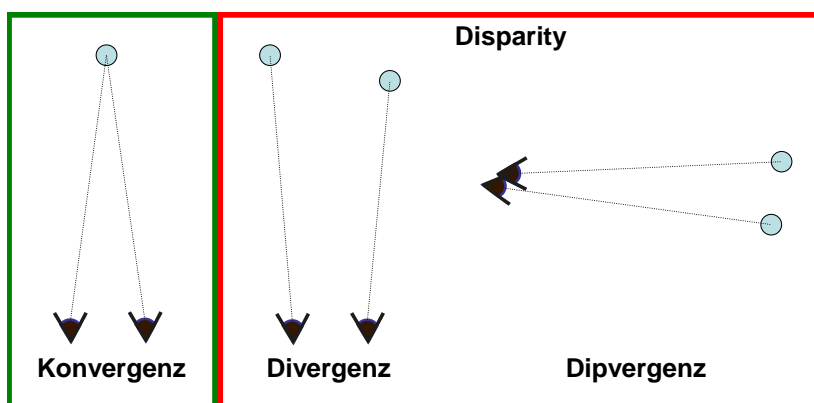
$$\frac{\sin u}{\sin u'} = \frac{y}{y'} = \text{const.}$$

- $u$ : Gegenstandseitige Neigung des abbildenden Lichtbündels gegen die optische Achse
- $u'$ : Bildseitige Neigung des abbildenden Lichtstrahles gegen die optische Achse
- $y$ : Gegenstandsgröße
- $y'$ : Bildgröße

*Konvergenz, Divergenz und Dipvergenz (Disparity)*

Der Bildpunkt eines Objektes sollte für beide Augen an der gleichen Position liegen. Differenzen in einer realen Optik unterscheidet man in Divergenz, Konvergenz und Dipvergenz. Für ein besseres Verständnis sind diese drei Effekte in der nachfolgenden Skizze schematisch dargestellt. Dabei sind die Positionen der Augen und der verlaufende Sehstrahl abgebildet.

Konvergenz gehört zum natürlichen Sehvorgang beim Betrachten eines Gegenstandes im Endlichen. Für ein entspanntes Sehen sollte sie nicht größer als 1,5" sein. Divergenz und Dipvergenz sind zu vermeiden. Mit Divergenz bezeichnet man das „umgekehrte“ Schielen. Dipvergenz liegt vor, wenn das eine Auge nach oben und das Andere nach unten sehen müsste um einen Punkt zu fokussieren. Diese Abbildungseigenschaft führt schnell zur Ermüdung. Die maximal tolerierbare Grenze liegt bei 0,13°.



**Abbildung 9: Konvergenz und Disparity**

*Binokularer Vergrößerungsunterschied*

Rechtes und linkes Auge sollen ein möglichst gleich großes Bild sehen. Reale Unterschiede sollten auch bei Kopfbewegung nicht größer als 1% sein.

*Bildschärfe*

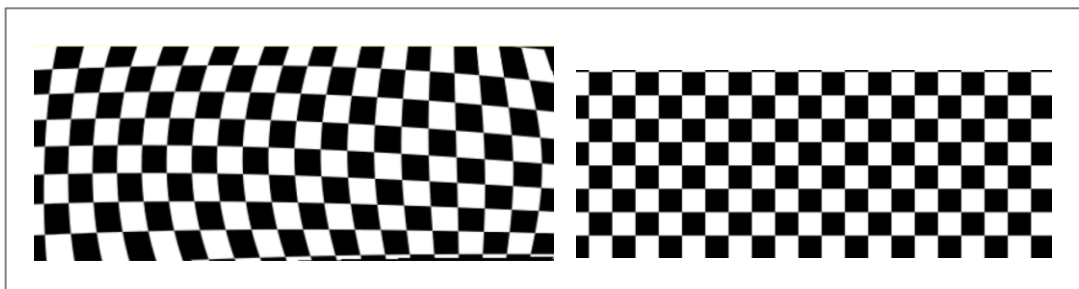
Durch Auflösung und Kontrast eines Bildes lässt sich die Bildschärfe ermitteln. Bei einer maximalen Auflösung des Auges von einer Bogenminute ( $= 0,017^\circ$ ) können in Abstand von 2000 mm Details in der Größe von 0,6 mm ( $= 2$  Linienpaare/mm) unterschieden werden. Aus diesem Grund sollte die Auflösung nicht kleiner als 60 Pixel pro Grad Bildwinkel sein. Bei dieser Auflösung erzeugt ein Kontrast von 30% ein scharfes Bild. Beim Kontrast ist ab 400:1 kein Hintergrund mehr wahrnehmbar, besonders weil das virtuelle Bild gegen einen bewegten Hintergrund angeschaut wird.

*Verzerrungen (Lagefehler)*

Verzerrungen und Verzeichnungen sind die Differenzen zwischen Ist- und Soll-Bildgeometrie. Die Abweichung von einer ideal zentralperspektivischen Abbildung kann als kissenförmig (der Abbildungsmaßstab nimmt zur Bildaußenseite hin zu), wie auch in Abbildung 10 zu sehen ist, oder als tonnenförmig (der Abbildungsmaßstab nimmt zur Bildaußenseite hin ab) bezeichnet werden. Diese sind unter der Grenze von 5% unbedenklich, wobei hier ebenfalls gilt, dass das linke und rechte Auge jeweils ähnliche Verzerrungen sehen. Ein Unterschied von 1% ist akzeptabel. Gegenüber dynamischen Änderungen im Bild ist das Auge sehr empfindlich. Daher sind diese bei Kopfbewegungen zu minimieren.

Es besteht die Möglichkeit „Image warping“ einzusetzen, um Bildfehler zu kompensieren. Diese Vorgehensweise kann nur Verzerrungen und Verzeichnungen unter bestimmten Randbedingungen ausgleichen. Warping nutzt die Prämisse, dass ein rechteckiges (unverzerrtes) Bild durch Fehler im optischen Abbildungssystem in ein verzerrtes virtuelles Bild transformiert wird. Im Umkehrschluss gibt es ein vorverzerrtes Bild, welches dann in Verbindung mit dem optischen Abbildungsmodul ein gerades, unverzerrtes virtuelles Bild ergibt. Somit lässt sich die Lösung mit einer 2D x 2D Koordinatentransformation mathematisch beschreiben.

Dieses Vorgehen ist bei der Videoprojektion Stand der Technik. Ein entscheidender Unterschied ist aber, dass das virtuelle HUD-Bild aus jeder Eyebox-Position andere Verzerrungen und Verzeichnungen aufweist. Daher wird eine über den Bereich gemittelte Anpassung erzeugt. Es ist möglich, Verzerrungen wie z.B. trapezoidal, rhomboidal oder Smile-Effekte zu entzerren. In der nachfolgenden Abbildung sind ein verzerrtes und ein korrigiertes Bild dargestellt. Wie man sehen kann, ist das korrigierte Bild immer kleiner als die ursprüngliche Abbildung.



**Abbildung 10: Kissenförmige Verzeichnung vor und nach der Vorverzerrung**

Im letzten Kapitel wurde auf die heutige Bauweise des HUD Bezug genommen. Der Stand der Technik gilt als Grundlage für die Überlegung der zukünftigen Umsetzung von HUDs im Fahrzeug. Neue Systeme müssen die bis jetzt erreichten Standards halten und eine Verbesserung in mindestens einem der wichtigen Kriterien für den Serieneinsatz von HUD erwirken. Diese sind Verbesserung der Abbildungsleistung, Verkleinerung des Bauraumes und Kostensenkung.

## **2.2 Lösungsansätze für die Umsetzung einer größeren Anzeigefläche**

Bei der Umsetzung einer größeren Anzeigefläche im HUD liegt der Schwerpunkt auf einer in der nächsten Generation umsetzbaren Größenordnung. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass die hier vorgestellten Ansätze kein scheidendeckendes oder kontaktanaloges HUD anstreben. Es geht vielmehr darum, von der Bildhöhe von ca. 3° auszugehen, die sich als eine praxistaugliche Auslegung erwiesen hat [Blum 06] und eine Verbreiterung der Anzeigefläche anzustreben. Dieser Ansatz führt zu keiner Kollision mit bestehenden Vorgaben, Richtlinien und Gesetzen, die Überlagerungen oder Verdeckungen der WSS betreffen (z.B. FMVSS 205 - Federal Motor Vehicle Safety Standard Nr.205).

Da neben dem jetzigen Stand der Technik auch die zukünftigen Technologien untersucht werden sollen, gibt die Arbeit einen Überblick über die Forschungsthemen in diesem Feld.

### **2.2.1 Grundlegende Optikkonzepte für die Realisierung eines HUDs**

Grundsätzlich kann das Optikkonzept eines HUD-Displays auf unterschiedliche Weise umgesetzt werden. Auf drei mögliche Realisierungen, integriertes HUD, Combiner-HUD und das Projektions-HUD, wird im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen.

#### **2.2.1.1 Integrierte HUD-Komponente**

Im Moment wird, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, auf eine integrierte Komponente mit Bildquelle und Optik in einem Gehäuse zurückgegriffen. Dabei ist das virtuelle Bild in der dem Lichtweg entsprechenden Entfernung über der Motorhaube sichtbar. Da diese Bauweise mit den dazugehörigen Technologien zur Serienreife gebracht wurde, ist es naheliegend zu untersuchen, ob mit diesem Vorgehen eine größere Anzeigefläche umsetzbar ist.

Wie im vorherigen Kapitel aufgezeigt, sind der zur Verfügung stehende Bauraum und die Scheibengeometrie die begrenzenden Faktoren für die Bildgröße. Eine stärker gekrümmte Scheibe ermöglicht bei gleichbleibendem Bauraum ein größeres Bild. Die Entzerrung dieses Bildes bringt aber einen höheren Aufwand mit sich. Ein hartes Grenzkriterium stellt die asymmetrische Variation in der Scheibenkrümmung dar. Bei einer zu starken Krümmung ist eine Entzerrung nicht im ausreichenden Maße möglich. Ein realistischer Obergrenzwert für die Bildgröße liegt bei 8° in der Horizontale und 4° in der Vertikale [Blum 06]. Die Umsetzung dieser Breite zieht aber einen größeren Bauraum mit sich.



Ein weiterer Ansatz zur Vergrößerung der Anzeigefläche ohne maßgebliche Veränderung des Bauraumes baut auf einer Verbreiterung des Bildes mit Hilfe einer zusätzlichen refraktiven Optik (anamorph) auf. Diese wird an geeigneter Stelle im Strahlengang verbaut. Bei gleicher Bauweise verringert sich die Bildauflösung auf 45 Pixel/°. Diese würde für die Anwendung in der Nacht für z.B. Night Vision ausreichen, da das Auge bei geringerer Beleuchtung eine geringere Auflösung besitzt. Für diese Anwendung wird die Bildhelligkeit unter 40 cd/m<sup>2</sup> liegen müssen. Im Tagesbetrieb würde diese Lösung mit einer weiteren Linse aufgrund des Rückreflexes des Sonnenlichts schwer einzusetzen sein [Blum 03].

Wenn man das Problem (unter anderem) der Rückreflexionen löst, ist es möglich mit Hilfe von Linsen im Strahlengang die Bildschärfe und den Kontrast zu verbessern. Dabei sorgt eine Linse gleichzeitig für eine um die Brechkraft reduzierte optische Weglänge, wodurch ein geringerer Bauraum erreicht werden kann.

### 2.2.1.2 Combiner-HUD

Weiterhin ist es möglich ein HUD mit Hilfe eines Combiners umzusetzen. Hier befindet sich der Projektor im Gehäuse. Ein optisch wirksamer Combiner vor der Frontscheibe im Fahrzeuginnenen wird für die Reflexion und Entzerrung des Bildes verwendet, wie es in Abbildung 11 veranschaulicht wird [BMW 06-2].

Somit kann die Anpassung der Optik an die WSS umgangen werden. Ein weiterer Vorteil besteht in der Tatsache, dass das Combiner-HUD fahrzeugunabhängig eingesetzt werden kann. Da das System unabhängig von der WSS ist, kann es ebenfalls in Links- und Rechtslenker-Fahrzeugen ohne größeren Aufwand verwendet werden. Mit diesem Ansatz ist es leichter möglich, bei gleichbleibendem oder sogar geringerem Bauraum unter der I-Tafel eine breitere Anzeigefläche umzusetzen.

Die Distanz des virtuellen Bildes entsteht auch bei dieser Lösung durch das optische System im Gehäuse des HUD, wodurch die Komplexität der Optik nicht bedeutend minimiert wird. Um den Strahlengang zu vergrößern, müssen im zur Verfügung stehenden Bauraum Linsen verwendet werden. Diese erzeugen Reflexionen und Doppelbilder. Beschichtungen können dieses Problem allerdings nicht vollständig lösen. Diese Effekte ließen sich nur mit einem linsenfrem System vermeiden. Dies führt aber zur geringeren Entfernung des virtuellen Bildes und nimmt somit dem Combiner-HUD einen der wichtigsten Vorteile des HUDs.

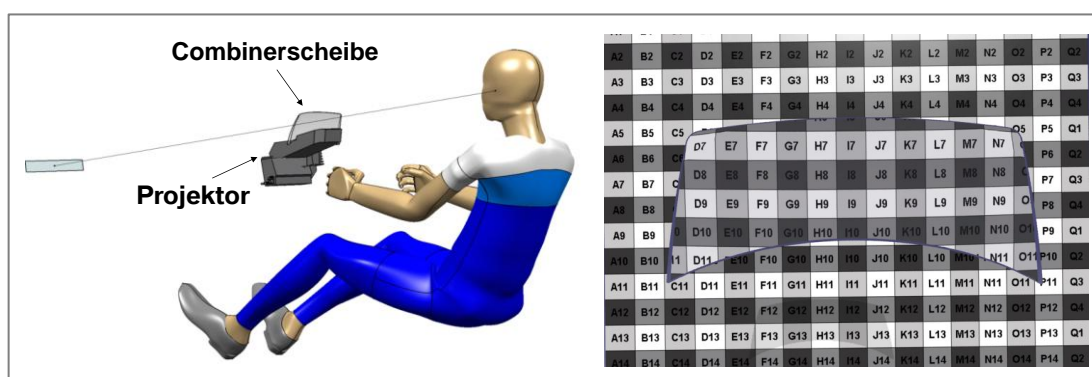


Abbildung 11: Combiner-HUD (links) und Outside World Distortion (rechts)

Weiterhin wird durch den Combiner ein zusätzliches optisches Medium im direkten Sichtbereich des Fahrers untergebracht und führt zum Effekt, der als „Outside World Distortions“ bezeichnet wird. Dieser ist in der Abbildung 10 veranschaulicht [BMW 06-2].

Die Auslegung des Systems erfordert sowohl die Minimierung von Doppelbildern als auch von Outside-World-Distortions. Die Kompensation der Doppelbilder zieht eine Keilform der Combinerscheibe mit sich, was sich negativ auf Outside-World-Distortion auswirkt. Die Spiegelung der Combinerkante in der WSS fällt besonders auf. Legt man den Combiner so aus, dass dieser Effekt minimiert wird, wirkt dieser umso störender im Sichtfeld des Fahrers. Dabei muss stets die gesetzliche Vorgabe für die Transmission im A-Sichtfeld von mindestens 70% eingehalten werden. (z.B. ADR 8 – Australian Design Rule 75%, CMVSS 205 Canadian Motor Vehicle Safety Standard 70%, FMVSS 205 Federal Motor Vehicle Safety Standard (USA) 70%).

Die Combinerscheibe wird aus kratzfestem Kunststoff gefertigt. Dabei stellt sich die Frage nach der Temperaturstabilität des Werkstoffes, da alle Komponenten im Fahrzeug hohen Temperaturbelastungen ausgesetzt werden. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass beim Combiner-HUD eine größere Lichtmenge für die gleiche Abbildungsqualität, wie in einem integrierten HUD, benötigt wird.

### 2.2.1.3 Projektions-HUD

Eine weitere denkbare Realisierung ist ein Projektions-HUD, bei dem ein Projektor auf der Dachinnenseite hinter dem Rückspiegel verbaut wird (Abbildung 12). Wenn nur die bildgebende Einheit und die Lichtquelle dort angebracht werden, wird das reale Zwischenbild von der diffraktiven Streuscheibe auf der I-Tafel in die Frontscheibe reflektiert. Dort nimmt dann der Fahrer die Abbildung dicht hinter der Windschutzscheibe wahr, was wiederum den Vorteil einer Darstellung in der Entfernung nicht mit sich bringt. Mit diesem Aufbau ist ein großes Bild (30° und mehr) realisierbar und könnte für kontaktanaloge Darstellungen verwendet werden. Die Bauraumanforderungen sind relativ gering und der Bauraum unter der I-Tafel wird nicht beansprucht. Die Basistechnologien sind noch nicht zur Serienreife gebracht und befinden sich teilweise noch im Musterbaustadium. Eine Prototypische Umsetzung fand im Projekt VESUV statt [Divk 02].

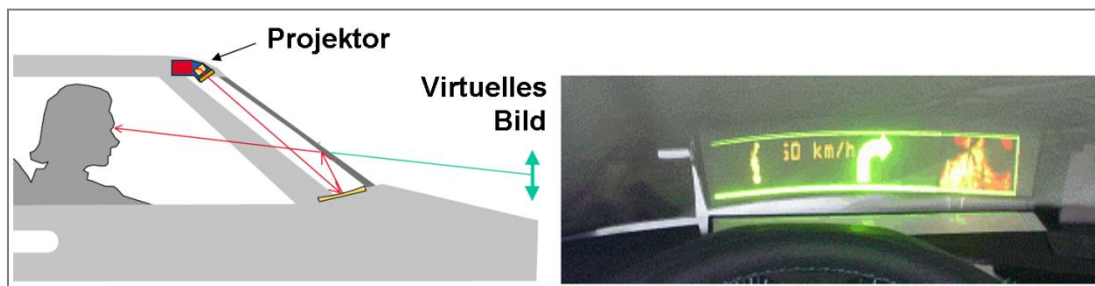


Abbildung 12: Aufbau Projektions-HUD und Umsetzung VESUV

Um den Nachteil einer virtuellen Abbildung direkt hinter der Frontscheibe zu umgehen, kann das Projektions-HUD erweitert werden. Dazu wird im Gehäuse im Dach neben der bildgebenden Einheit und der Lichtquelle auch eine diffraktive Streuscheibe verbaut. Der Strahlengang innerhalb des Gehäuses verläuft im Wesentlichen quer zur Fahrtrichtung. Weiterhin muss, um die Anforderungen an die Abbildungsleistung zu erfüllen, eine langbrennweitige Fresneloptik auf der I-Tafel untergebracht und die Frontscheibe mit einer Keilfolie ausgestattet werden. Der Bauraumbedarf wächst durch diese Erweiterung deutlich an. Potentiell ist dieser geringer als bei einer integrierten HUD-Komponente unter der I-Tafel.

Um die Abbildungsanforderungen zu erfüllen, muss bei dieser Lösung auf einen Laser als Lichtquelle zurückgegriffen werden. Dabei hat man einen offenen Strahlengang des

Lasers innerhalb des Fahrzeugs. Dies kann zu Problemen aus der Sicht der Laserschutzbestimmungen führen.

## 2.2.2 Lasertechnologie als Bild- und Lichtquelle des HUDs

Ein wesentlicher Bestandteil des HUDs ist, neben der Optik, die Bildquelle und deren Beleuchtung. Diese zwei Komponenten hängen stark voneinander ab. Die Displaytechnologien können in reflektive Displays und Transmissionsdisplays (wie es der Fall bei dem im Moment verwendeten TFT ist) unterteilt werden. Ein vielversprechender Ansatz der reflektiven Displays stellen Scanner in Verbindung mit einer Laserlichtquelle dar. Auf diese Technologie wird in diesem Teil der Arbeit eingegangen.

Das Laserscanning System wurde, wie bereits erwähnt, in der Umsetzung des Projektions-HUD im Projekt VESUV angewendet [Divk 02]. Dort wurde die Lichtquelle anhand eines zweifarbigen Festkörperlaser (rot, grün) umgesetzt. Ein Lichtleiter diente der Übertragung zum Projektor. Für die Ablenkung des Laserstrahls wurde ein Scannerkopf mit Galvanometerspiegel und Polygonrad genutzt. Die Auflösung der Abbildung betrug 1000 x 200 Pixel bei einem Blickwinkel von 38°. Es konnte, dank der Lasertechnologie, eine Leuchtdichte von ca. 10 000 cd/m<sup>2</sup> umgesetzt werden.

Aus diesem Beispiel lässt sich die Motivation für die Forschung an der Laser-Projektion für den Einsatz im HUD ableiten. Sie setzt sich aus folgenden Faktoren zusammen:

- Effizienz - Größerer Wirkungsgrad des Systems und somit geringere Verlustleistung
- Abbildungsleistung - gute Werte im Farb- und Kontrastraum mit hoher Farbsättigung
- Bildgröße - Blickwinkel in der Horizontalen bis zu 38° möglich (vom Konzept abhängig)
- Flexibilität - Projektion auf stark gekrümmten Flächen umsetzbar

Grundsätzlich zeichnen sich Laserscanning Systeme durch die Ablenkung von Laserstrahlen aufgrund der gezielten Beeinflussung des physikalischen Effektes der Doppelbrechung in Flüssigkeiten bzw. Festkörpern aus. Wegen der prinzipbedingten Monochromität und der hohen Leuchtdichte des Laserlichtes eignen sich diese Systeme für HUD-Anwendungen.

Das Grundprinzip der Laser-Projektion ist in der Abbildung 13 skizziert. Über Mikrospiegel werden die Lichtstrahlen der Laser in den Grundfarben rot, grün und blau zu einem Strahl vereinigt. Der so erzeugte Strahl wird nach dem Prinzip der Kathodenstrahlröhre mit Hilfe eines Scannerspiegels zeilenweise abgelenkt. Die Scannersteuerung wird über den Video-Controller angesteuert. Durch die zweiachsige Scannereinheit wird der Strom der Laserdioden moduliert. Durch die Modulation werden die Bildpunkte in der Bildebene, die durch eine Streuscheibe oder Microlens-Array (MLA) repräsentiert wird, erzeugt.

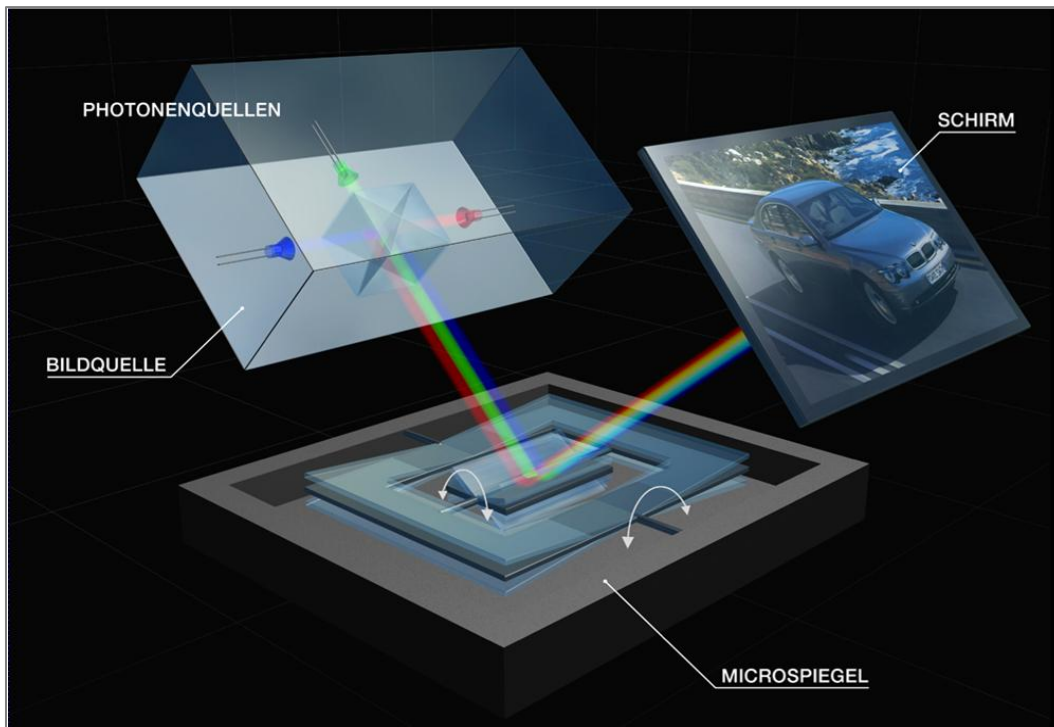


Abbildung 13: Grundprinzip der Laser-Projektion [BMW 03]

Die Schlüsselkomponenten setzen sich demnach zusammen aus den Laserdioden, den zweiachsigen Scannerspiegeln in MEMS-Technologie und der Projektionsfläche MLA. Beispiele für diese sind nachfolgend abgebildet [Frau 09-1], [Frau 09-2].

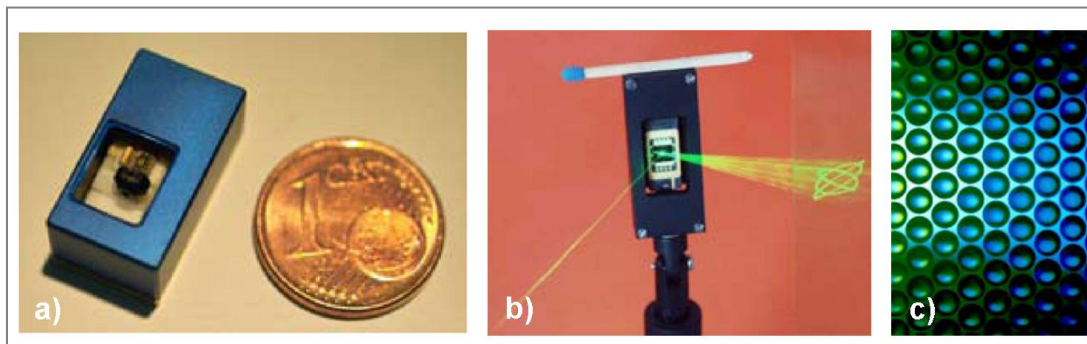


Abbildung 14: a) Laserprojektions-Modul; b) 2-achsiger Scannerspiegel; c) MLA (suss-microoptics)

Der erste Vorteil beim Einsatz der Laserscanner ist bessere Abbildungsperformance. Wie man in der Abbildung 15 sehen kann ist das Farbdreieck eines Lasers deutlich größer als das eines üblichen Displays. Die höhere Farbsättigung führt zu besseren Farbkontrasten bei einer höheren Auflösung. Dabei ist der Kontrast ebenfalls deutlich höher als beim TFT-Display (Laser-HUD > 1000 / TFT z.B. 120). Weiterhin ist das projizierte Bild immer scharf fokussiert, wenn sich keine weitere optische Abbildung im Strahlengang befindet [Divk 02].

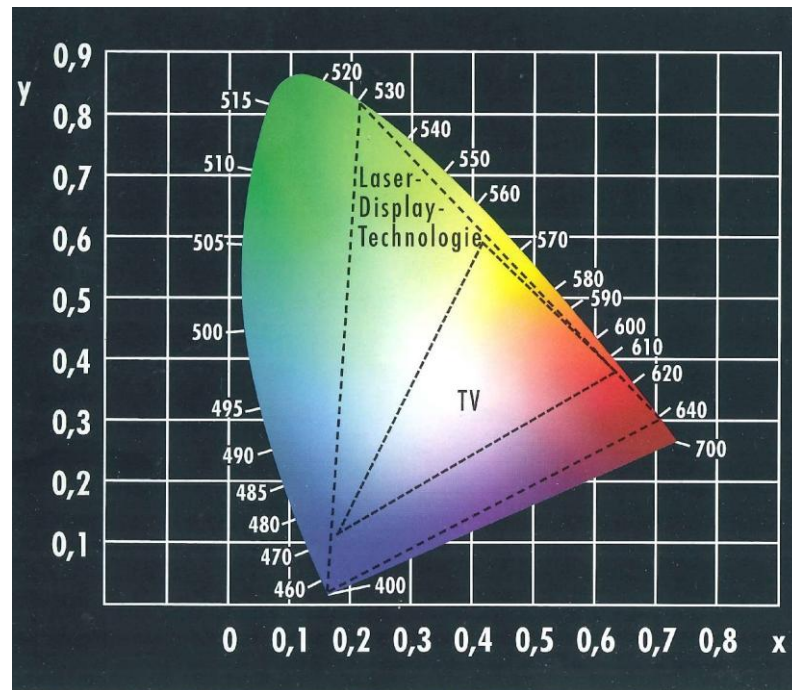


Abbildung 15: Farbdreieck Laser-HUD

Es sind noch einige Herausforderungen zu lösen, bis diese Technologie im Fahrzeug eingesetzt werden kann. Einerseits sind Gesetzesanforderungen im Bezug auf Lasersicherheit und Sichtbarkeit zu beachten, andererseits sind einige Komponenten, wie z.B. die grüne, modulierbare Laserquelle, noch risikobehaftet, da sie noch nicht im Großeinsatz in der Industrie verwendet werden. Obwohl die grüne Laserdiode in den letzten Jahren für den industriellen Einsatz entwickelt wurde, sind die Kosten für das gesamte System für den Einsatz in der Automobilindustrie noch zu hoch.

Weiterhin stellen Specklemuster eine weitere Herausforderung dar. Das sind Lichtgranulationen, die sich aufgrund der Interferenz auf optisch rauen Oberflächen in der Größenordnung der Wellenlänge bilden.

Die Hürden, die diese Technologie noch auf jeden Fall nehmen muss, sind ein Nachweis der Produktionsfähigkeit, wobei sowohl eine Risikoanalyse aller Komponenten erfolgen muss, als auch eine Minimierung des Bauraumes und eine Kostensenkung der Komponenten.

Abschließend zu diesem Thema ein Zitat von Dr. Blume [Blum 06]:

„In der Presse liest man über Laserscanning Systeme, die mit drei Lasern RGB eine reflektierende oder transmissive Bildfläche beschreiben. Mit Hilfe des Laserscannens kann man nur geometrische Verzerrungen der WSS korrigieren, nicht jedoch für das Auge wichtige optische Parameter. Insofern wird der optische Korrekturaufwand bei den Laserscannenden Systemen ähnlich hoch sein, wie bei einem TFT-Display. Aus diesem Grund ist mit der Sicht auf die nächsten Fahrzeuggenerationen nicht damit zu rechnen, dass diese Systeme die Kostenhürde überwinden werden. Der Grund, wieso trotzdem an ihnen so intensiv geforscht wird, ist der Wunsch nach einem größeren Bild und höherer Auflösung. Signifikant höhere Auflösung, Kontrast und Helligkeit sind Parameter bei denen es eine deutliche Steigerung geben wird. Bei der Bildgröße wird es, je nach Scheibenform, besonders in den Zonen großer Radiuslängen, Einschränkungen geben.“

### 2.2.3 Holographie im HUD

In Verbindung mit der Lasertechnologie wird die Holographie für den Aufbau eines HUDs interessant. Dabei ist es möglich Spiegel und/oder Linsen durch Hologramme zu ersetzen. Damit kann Bauraum eingespart werden.

Holographie basiert auf optischen Elementen, die die Welleneigenschaft des Lichtes nutzen und der Interferenzoptik zuzuordnen sind. Die bekanntesten klassischen Elemente sind das Beugungsgitter und die „Fresnelsche Zonenplatte“. Durch die Entwicklung des Lasers, der Lichtstrahlen mit einer Kohärenzlänge erzeugt, nahm die Interferenzoptik hinsichtlich der praktischen Anwendung enormen Aufschwung.

Dabei können räumliche Bilder von Gegenständen erzeugt werden. Wird ein Gegenstand mit einer kohärenten Lichtquelle beleuchtet, sendet jeder Objektpunkt huygenische<sup>6</sup> Elementarwellen aus. Die Gesamtheit aller Punktwellen ergibt die vom Objekt abgestrahlte Welle. Die Wellenfront dieser Welle enthält alle Informationen über das Objekt. Somit ist es möglich, mit Hilfe einer Referenzwelle aus der Form der Wellenfront das Objekt vollständig zu rekonstruieren [Heri 99].

Holographische Spiegel bieten in Verbindung mit Laserprojektion ein großes Potential zur Verkleinerung des HUD Bauraumes. Dabei sind Projektions-HUDs genauso denkbar wie integrierte Lösungen unter der I-Tafel [BMW 04]. Die Verwendung von Hologrammen verringert die Sonnenlichtproblematik, da nur schmalbandige Anteile des Sonnenlichtes in den Strahlengang eingekoppelt werden.

Wenn man beim Projektions-HUD den Platz beim Rückspiegel für die Projektionseinheit vorsieht, entsteht eine asymmetrische Projektion. Auf dem Armaturenbrett wird der holographische Spiegel verbaut. Dieser ist Teil des optischen Systems und hat neben der Reflexionseigenschaft auch eine Abbildungsfunktion zu erfüllen. Wird eine konventionelle Optik durch ein Hologramm realisiert, so spricht man von holographisch optischen Elementen (HOE: Holographisch Optische Elemente).

Die asymmetrische Projektion führt zu einem in drei Richtungen verzerrten virtuellen Bild. Diese Verzerrungen können mit Hilfe von „Sandwich“-Hologrammen kompensiert werden. Bei diesen sind mehrere Hologramme mit jeweils einer Korrekturfunktion übereinander gelagert, wie in Abbildung 16 zu sehen.

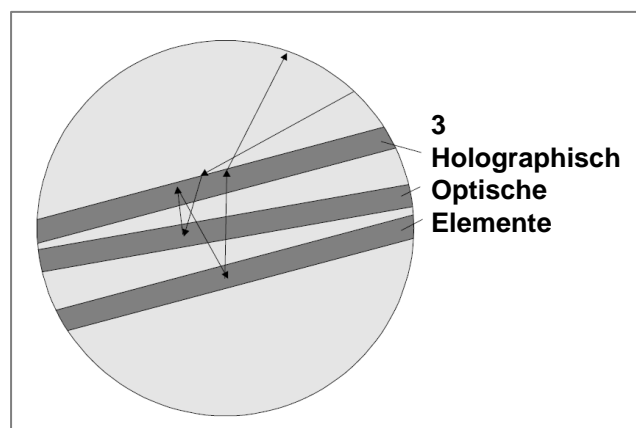


Abbildung 16: Sandwich-Hologramm mit 3 Reflexionshologrammen [BMW 04]

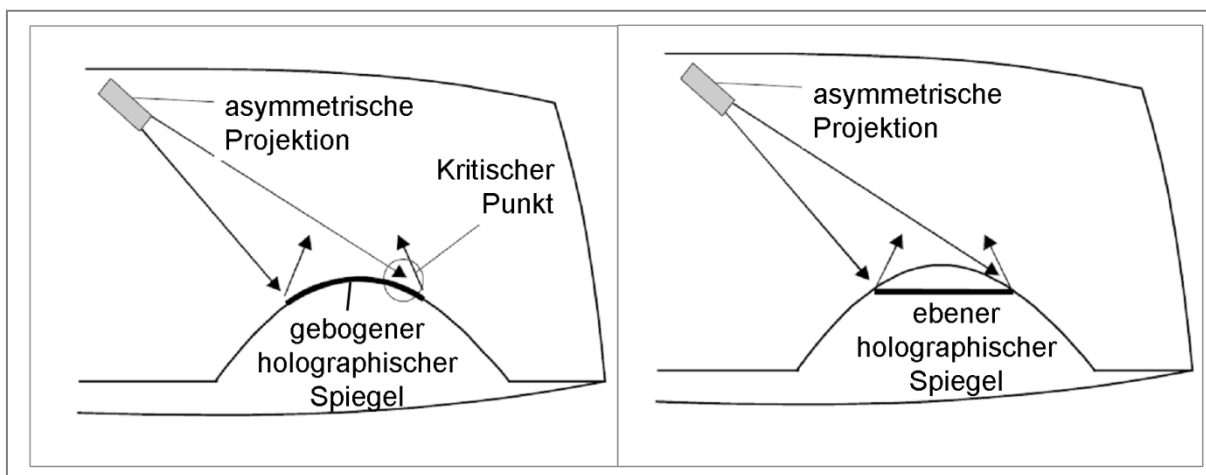
<sup>6</sup> Eine Welle, die auf ein Hindernis trifft, wird an dessen Rändern gebeugt. Sie erfährt eine Richtungsänderung und pflanzt sich auch innerhalb der geometrischen Schattengrenzen fort. [...] Alle Punkte einer Wellenfläche schwingen mit gleicher Phase und haben dieselbe Frequenz wie der Wellenerreger. [Heri 99]

Darauf aufbauend sind zwei Formen des holografischen Spiegels denkbar. Einerseits könnte man den Spiegel der Form der I-Tafel anpassen, wie in der Abbildung 17 skizziert. Dieser Ansatz ist aus Aspekten des Designs sehr reizvoll. Andererseits verursacht dieser Aufbau einen kritischen Punkt, an dem, abhängig von der Krümmung, die Projektionsstrahlen das Hologramm schwer erreichen können. Weiterhin stellt dieser Aufbau sehr hohe Anforderungen an die Umsetzung des Hologramms und die Positionierung des Systems im Fahrzeug, da die Intensität der Abstrahlung über die Fläche verteilt unabhängig vom Einfallswinkel sein muss. Es ist davon auszugehen, dass der Aufbau relativ geringe Toleranzen zulässt.

Durch einen ebenen holografischen Spiegel lässt sich diese Problematik reduzieren (siehe Abbildung 17 rechts). Auch bei diesem Aufbau sind die Anforderungen an die Genauigkeit des Systems sehr groß. Weiterhin hat man einen offenen Strahlengang im Fahrzeug.

Es ist auch denkbar, die optischen Eigenschaften der Hologramme für eine integrierte HUD-Lösung in Betracht zu ziehen. Dafür muss geprüft werden, ob die HOEs einen Abbildungsvorteil mit sich bringen.

Die Holographie wird z.B. im Rahmen von Forschungsprojekten für die Volumenmärkte gefördert. Im Projekt VHTB liegt der Schwerpunkt auf elektronischen Projektoren (Beamer), Bildschirmhologrammen für Aufprojektion, LED-, Laser-Lichtquellen, Kontrast- und Farbkonstanz bei Tageslicht [VHTB 08]. Durch diese Anwendungen werden alle relevanten Komponenten, die für ein HUD benötigt werden, weiterentwickelt. Daher ist zu erwarten, dass die Technologie einen Entwicklungssprung machen wird, aber sie hat noch nicht den Stand für einen Serieneinsatz im Fahrzeug erreicht.



**Abbildung 17: Projektions-HUD mit HOE [BMW 04]**

Im Moment befinden sich alle vorgestellten Ansätze und Realisationen im Forschungsstadium und jede hat noch einige Herausforderungen zu meistern, um die Hürde für einen Serieneinsatz in der Automobilindustrie zu schaffen. Dabei ist zu betonen, dass die heutige Lösung im Flugzeug schon seit den vierziger Jahren und im Automobil seit den achtziger Jahren in der Entwicklung ist. Die Lasertechnologie wird nicht so lange brauchen, um sich den Weg ins Auto zu bahnen.

## 2.3 Aufbau des Prototypen

Die Analysen des letzten Kapitels haben gezeigt, dass es Ansätze gibt, die in Zukunft eine Vergrößerung der Fläche bewirken können.

Dieses Ergebnis wirft die Frage nach dem Einfluss dieser vergrößerten Anzeigefläche auf das Fahrerverhalten auf. Um dies untersuchen zu können, wird im Rahmen dieser Arbeit ein Fahrzeug mit einer größeren HUD-Anzeigefläche ausgestattet. Größer bedeutet in diesem Zusammenhang eine Verbreiterung von mindestens 70% in der Horizontalen.

Als Fahrzeug wurde ein BMW X5 (E70), der den Namen HUD-Max erhielt, ausgewählt. Dieses Modell ist mit einem HUD ausgestattet. Daher ist die Fahrzeugarchitektur für ein HUD ausgelegt. Weiterhin ist die Bauraumproblematik aufgrund der Größe des Fahrzeugs geringer als bei allen anderen Fahrzeugen mit HUD.

### 2.3.1 Simulation

Das weitere Vorgehen besteht im Aufbau eines Fahrzeugs mit einer größeren HUD-Anzeigefläche. Im Kapitel 2.1 sind die Voraussetzungen für das Verständnis gelegt. Aufbauend auf diesen werden unterschiedliche Ansätze für die Vergrößerung der Anzeigefläche angegangen. Der erste Schritt besteht darin zu überprüfen, ob mit der bestehenden HUD-Komponente eine kostengünstige Umsetzung einer größeren Anzeigefläche erfolgen kann.

#### 2.3.1.1 Eine HUD-Komponente

Mit dem ersten Ansatz wurde überprüft, inwieweit eine Vergrößerung des Displays und damit des virtuellen Bildes bei gleichzeitiger Verkleinerung der Eyebox möglich ist. Durch die Einschränkung der Bewegungsfreiheit des Fahrers und eine Vergrößerung der Displayfläche bei gleichbleibender Optik kann ein größeres virtuelles Bild erzeugt werden. Die berechneten Maße sind in der nachfolgenden Tabelle abgebildet. Bei einer Vergrößerung der Displayfläche um 50 % und der Reduktion der Eyebox von 130 auf 70 mm in der Horizontalen entsteht ein virtuelles Bild von 300 x 130mm. Dies entspricht einer Vergrößerung von ca. 35% in der Horizontalen des virtuellen Bildes und unterschreitet weit das gesetzte Ziel von mindestens 70%.

GRÖßE	AKTUELLER STAND	MODIFIZIERTES HUD
VIRTUELLES BILD	222.4 x 85.4 mm	300 x 130 mm
EYEBOX	130 x 65 mm	70 x 35 mm
DISPLAY	40.9 x 15.8 mm	60 x 32 mm

**Tabelle 2: Erster Ansatz - Größe des virtuellen Bildes, Eyebox und Displays**

Als limitierendes Element stellt sich der Konkavspiegel heraus. Dazu wurden die "Footprints" aller Strahlen auf dem Konkavspiegel verglichen: Diese können in der nachfolgenden Abbildung nachvollzogen werden. Links abgebildet sind die auf dem Konkavspiegel genutzten Bereiche für die Bildsegmente bei der ursprünglichen



Anordnung. Das rechte Bild stellt die Auftreffpunkte der Strahlen auf den Konkavspiegel bei verkleinerter Eyeboxgröße und größerem Display. Dabei ist deutlich, dass der Rand stellenweise überschritten wird.

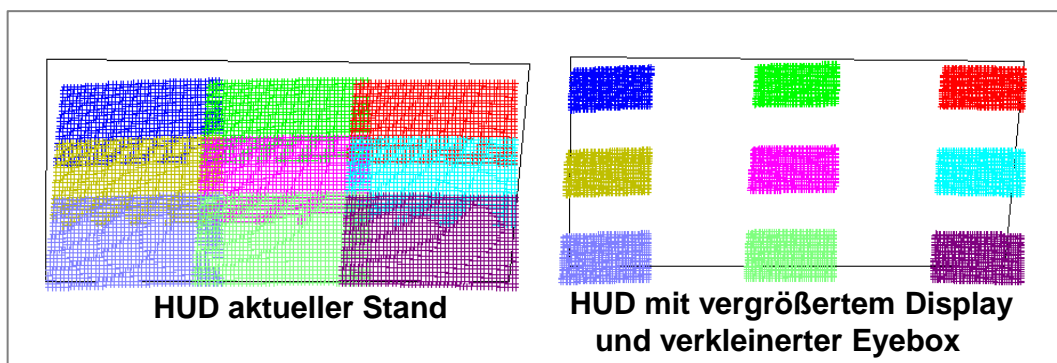


Abbildung 18: "Footprints" auf dem Konkavspiegel

Aus ergonomischer Sicht kann die Eyebox nicht noch weiter verkleinert werden. Selbst dann wird das virtuelle Bild nicht wesentlich größer.

Als zweiter Ansatz wurde überprüft, ob durch einfache Verschiebung des Displays eine Vergrößerung des virtuellen Bildes erreicht werden kann. Dabei wird der begrenzende Faktor Eyeboxgröße wieder auf die minimalen 70 mm beschränkt. Wird der Abstand zwischen Display und Faltspiegel um 26 mm erhöht (von ca. 74 auf 100 mm), vergrößert sich der Projektionsabstand des virtuellen Bildes von 2250 auf 4850 mm.

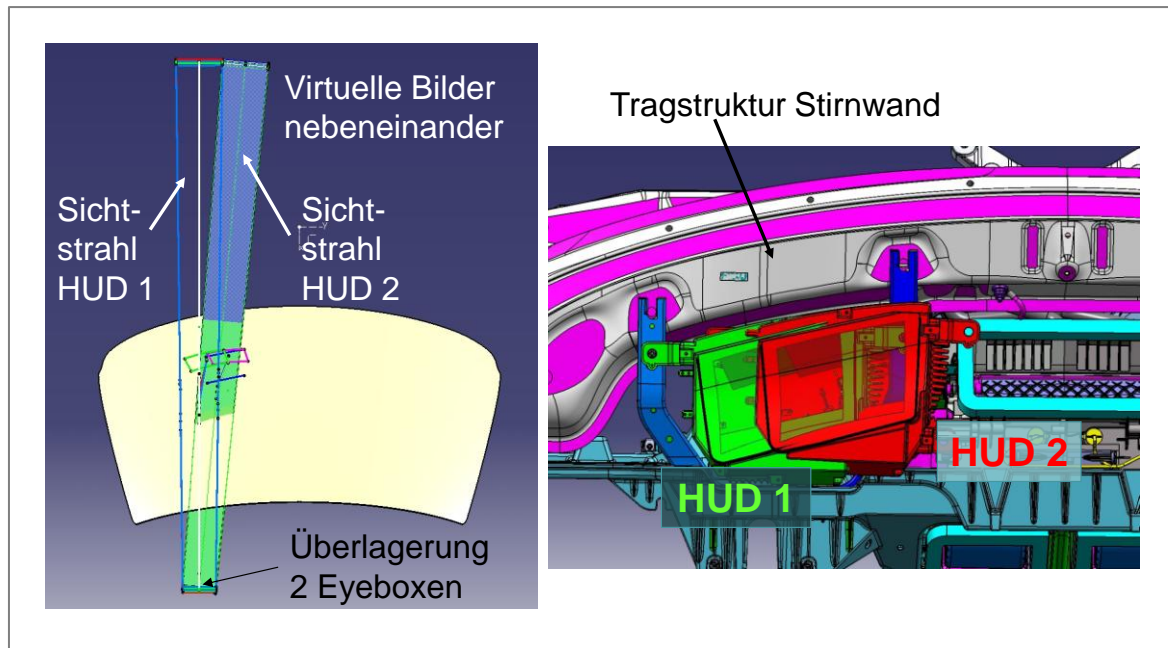
GRÖßE	AKTUELLER. STAND	MODIFIZIERTES HUD
VIRTUELLES BILD	222.4x85.4 mm	560x200mm
EYEBOX	130x65 mm	70x35 mm
DISPLAY	40.9x15.8 mm	40x16 mm

Tabelle 3: Zweiter Ansatz - Größe des virtuellen Bildes, Eyebox und Displays

Die absolute Größe des virtuellen Bildes wird größer – da sich jedoch der Projektionsabstand im selben Verhältnis ändert, erscheint das Bild unter demselben Blickwinkel. Aus wahrnehmungsphysiologischer Sicht können unter diesen Bedingungen nicht mehr Elemente im virtuellen Bild angeordnet werden.

### 2.3.1.2 Zwei HUD-Komponenten

Diese Ergebnisse haben dazu geführt, dass die Möglichkeit des Einbaus einer weiteren HUD-Komponente in Betracht gezogen wurde. Dafür wurde mit CAD die Einbausituation geprüft. Ziel war es, neben das vorhandene HUD rechts ein weiteres zu integrieren. Als erstes wurde geprüft, ob bei einer 100% Überlagerung beider Eyeboxen ein zusammenhängendes virtuelles Bild möglich ist. Die Simulationsergebnisse sind in der Abbildung 19 dargestellt.

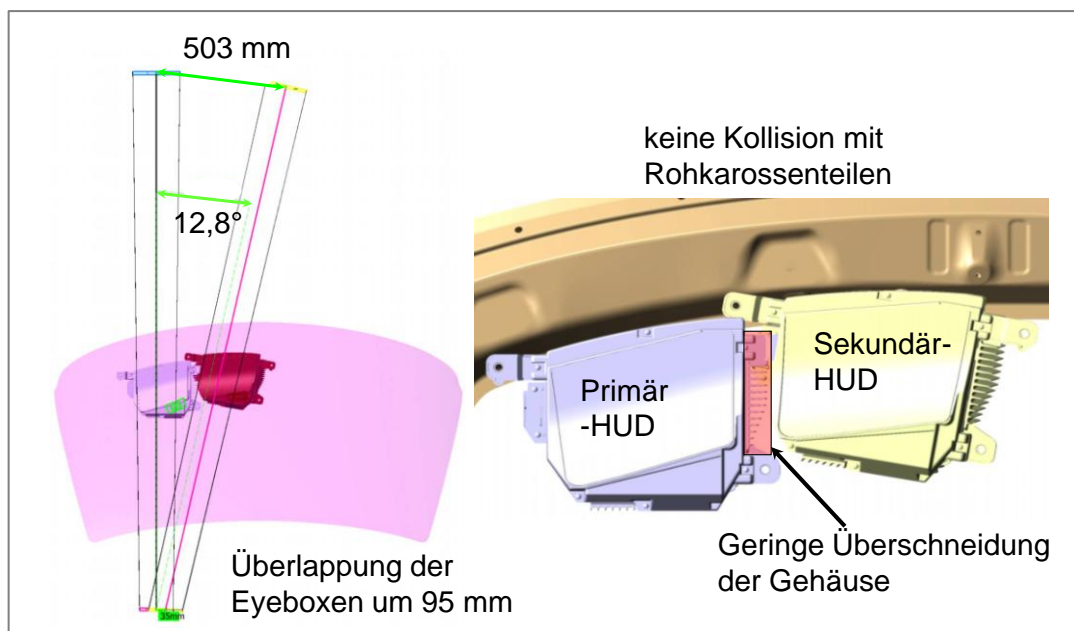


**Abbildung 19: Erste Simulation Verbau zwei HUDs**

Der Einbau eines zweiten HUD ist unter den vorgegebenen Bedingungen für Eyebox- und Bildlage im Fahrzeug nicht möglich, da sich die Gehäuse mit ca. 60% überschneiden.

Die Anzeigen im HUD haben einen transparenten Hintergrund, daher ist ein nahtloser Übergang der zwei virtuellen Bilder nicht zwingend erforderlich. Aus diesem Grund wurde versucht zwei HUD-Komponenten so nebeneinander zu positionieren, dass eine geringe Überlappung der Gehäuse und keine Kollision mit Rohkarosenteilen entstehen. Dabei galt es, die größtmögliche Überlappung der zwei Eyeboxen zu erreichen.

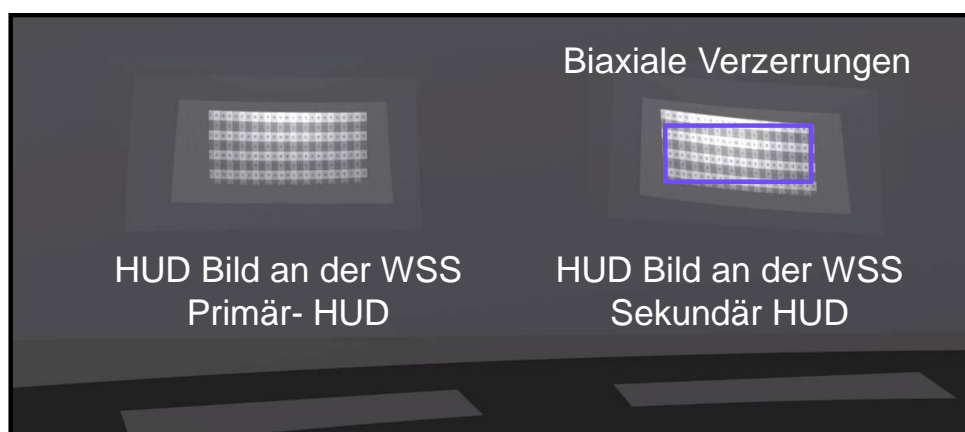
Bei der nachfolgend abgebildeten Konstellation wird die Eyebox der beiden HUDs um 35 mm verbreitert, wobei eine Überlappung von 95 mm entsteht. Dieser Bereich ist ausreichend groß, um beide virtuellen Bilder sehen zu können und dem Fahrer einen gewissen Bewegungsfreiraum in der Horizontalen zu ermöglichen. Durch den Aufbau wird das virtuelle Bild des zweiten HUDs, welches von jetzt an als das Sekundär-HUD bezeichnet wird, bei einer Entfernung von 2100 mm vom Fahrer aus und in einem Abstand von ca. 500 mm (Bildmitte zur Bildmitte) zum virtuellen Bild des Primär-HUDs sichtbar. Dies entspricht einer Winkelabweichung der Nominalsichtstrahlen von  $12,8^\circ$ . Damit erscheint das Bild des Sekundär-HUDs am Rand des parafovealen Sichtbereiches des Fahrers (siehe Kapitel 3.1.2.2).



**Abbildung 20: Zweite Simulation Verbau zwei HUDs**

Die Abbildung in der Windschutzscheibe wurde ebenfalls simuliert, um die Qualität der Darstellung einschätzen zu können. Das Ergebnis ist in Abbildung 21 zu sehen.

Beim sekundären Bild treten aufgrund der ungünstigen WSS-Radien biaxiale Bildverzerrungen auf. Aus gleichem Grund wird die subjektive Entfernung des virtuellen Bildes von dem Primären Bild abweichen. Um ein waagrecht rechteckiges Bild zu erreichen, wird es nötig sein, die absolute nutzbare Größe des virtuellen Bildes zu reduzieren (ca. 25%), außerdem muss ein SW-Warping die internen Bildverzerrungen ausgleichen. In den äußeren Bereichen der Eyebox kann es zu seitlichem Bildbeschnitt kommen (Eyeboxüberlagerung).



**Abbildung 21: HUD-Bilder an der Windschutzscheibe (WSS)**

Da diese Umsetzung eine Vergrößerung der HUD-Anzeigefläche um mindestens 70% ermöglicht, wurden weitere Analysen für die Integration der Komponente durchgeführt.

### 2.3.2 Einbau

Der Ansatz mit zwei HUDs hat sich als zielführend erwiesen. Das Ergebnis der weiteren Untersuchungen wird anhand der Umsetzung erläutert.

Um einen minimalen Abstand zwischen beiden HUDs zu erhalten, mussten am Primär-HUD die Kühlrippen im seitlichen Bereich und die vordere Befestigungslasche entfernt werden (siehe Abbildung 22b). Es war notwendig eine neue Befestigungskonstruktion für beide HUDs zu realisieren. Vor dem Einbau wurden mehrere Wärme- und Erschütterungstests durchgeführt, um sicher zu stellen, dass das HUD die Umbaumaßnahmen übersteht. Das Resultat des Einbaus ist in der Abbildung 22a zu sehen.



Abbildung 22: Mechanischer Einbau

Es wurde keine Kollision mit Rohkarosenteilen festgestellt. Ein Teil der Klimaanlage war zu entfernen bzw. umzubauen. Um eine Grundfunktionalität der Klimaanlage zu erhalten, wurde diese umgebaut. In der Abbildung 22c ist der Bereich, der entfernt wurde, mit einem Rahmen markiert. Aufgrund des entfernten Bereiches der Anlage musste der Wärmetauscher neu konstruiert werden. In Abbildung 22c ist die neue Führung des modifizierten Wärmetauschers zu sehen.

Weiterhin wurde der Frontscheibendefrostkanal großflächig im mittleren Bereich ausgeschnitten. Durch den Einbau des zweiten HUDs mussten die Verstärkung und Verkleidung der I-Tafel im mittleren Bereich ebenfalls ausgespart werden.

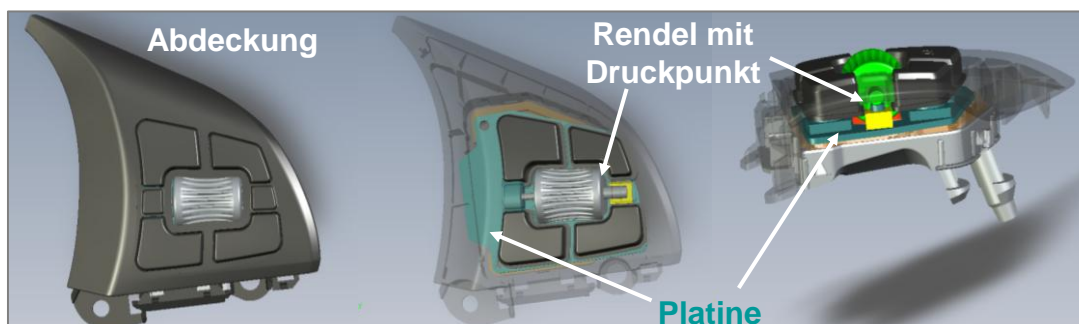


Abbildung 23: Konstruktion des Bedienelementes

Neben dem Einbau des zweiten HUD-Displays wurde auch ein für das Fahrzeug entwickeltes Bedienelement (siehe Abbildung 23) in die rechte Lenkradspeiche eingebaut und an das Gesamtsystem angebunden.

Die linke Abbildung zeigt die Abdeckung des Bedienelementes, auf dem vier Tasten um das Rendel (Walze) angeordnet sind. In den anderen Skizzen ist die Abdeckung

transparent dargestellt, um das Innenleben des Bedienelementes zu offenbaren. Die Platine ist dunkel grün markiert. Sie ist mit vier Mikrotastern unter der Tastenabdeckung versehen. Unter einer Aufhängung des Rändels befindet sich ein weiterer Mikrotaster. Das Bedienelement wird über den CAN-Bus an den Fahrzeugrechner angeschlossen wie im folgenden Kapitel beschrieben wird.

### 2.3.3 Integration in die Fahrzeugarchitektur

Die im HUDMax aufgebaute Gesamtarchitektur wurde größtenteils auch für die Umsetzung in der Fahrsimulation verwendet [Raub 08]. Die Anbindung der eingebauten Komponenten wird in diesem Kapitel erläutert. Die Gesamtarchitektur (Abbildung 24) baut auf dem im Fahrzeug verbauten PC, den NTSC-HUDs und dem neuen Bedienelement auf.

Alle in der Arbeit vorgestellten Konzepte wurden in Macromedia FLASH Professional 8 implementiert [ @ Macr ] und mit Hilfe des Rapid Prototyping Systems FLORIS, das im nachfolgenden Abschnitt erklärt wird, an die Fahrsimulation, das Realfahrzeug oder eine andere Datenquelle (z.B. Wizard of Oz) gebunden. Im Folgenden werden diese und weitere Komponenten aus der Übersicht in Abbildung 24 beschrieben.

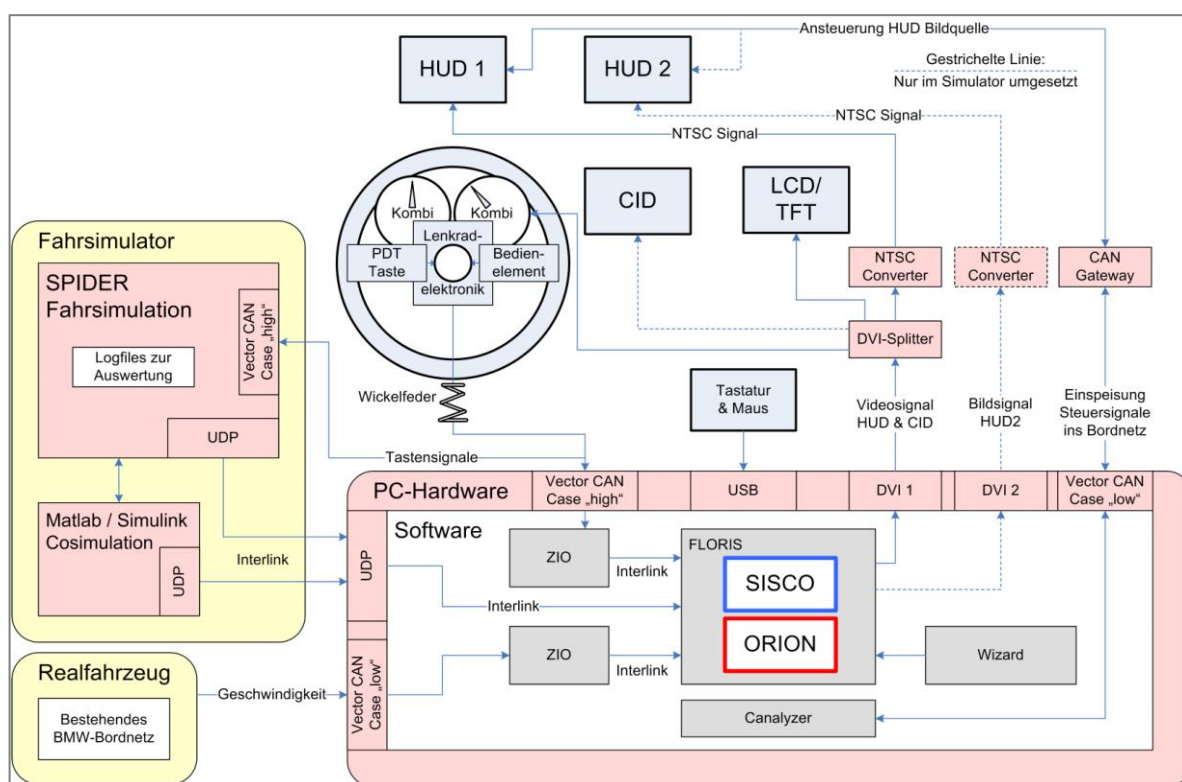


Abbildung 24: Gesamtarchitektur Realfahrzeug und Fahrsimulator

#### Fahrzeug-PC

Das Grafikframework FLORIS ermöglicht es, den Adobe FLASH-Player als Anzeigengine für verschiedene automotiv Anzeigen wie z.B. Head-Up Display, Kombiinstrument oder CID zu verwenden. Das Interlink-Protokoll wird verwendet um beliebige Signale vom CAN-Bus, aus Matlab / Simulink oder anderen Quellen per UDP

an die Anzeigen zu verteilen. FLORIS empfängt diese Signale und leitet sie an den FLASH-Player weiter, erweitert diesen also um eine UDP-Schnittstelle und einen Interlink-Parser. Die gleichen Anzeigen können somit im Fahrsimulator und im Versuchsfahrzeug verwendet werden.

### ZIO

ZIO (Zentrale I/O-Software mit Datenaufzeichnungsfunktionalität) ist eine Software, die es ermöglicht, von verschiedenen I/O-Kanälen (CAN/UDP) Signale zu lesen, diese zu verarbeiten und auf andere Ausgabekanäle weiterzuleiten. Es kann durch seine Datenaufzeichnungsfunktionalität auch zur nachträglichen Simulation aufgenommener Datensätze verwendet werden.

### Wizzard of Oz

Der „Wizzard of Oz“ [Brei 07] ist ein Interface, mit dem die Signale der Fahrsimulation oder dem Realfahrzeug emuliert werden können. Somit hat der Versuchsleiter während einer Fahrt im Realfahrzeug (oder in der Simulation) eine manuelle Eingriffsmöglichkeit, um die angezeigten Inhalte im HUD zu manipulieren. Ansteuerbar sind alle über FLORIS anzeigbaren Elemente.

### Canalyzer

Der Canalyzer [@ Vect] ist ein universelles Entwicklungswerkzeug zur Beobachtung, Analyse und Ergänzung des Datenverkehrs für verschiedene Bussysteme. In dieser Arbeit wurde er dazu verwendet, die im Realfahrzeug verwendeten Head-Up Displays anzusteuern. Dabei konnten die modifizierten Displays ein- und ausgeschaltet werden, sowie die Bildquelle (NTSC-Videosignal oder Bordnetz) umgeschaltet werden (Abbildung 24).

Der PC verfügt über zwei CAN-Schnittstellen vom Typ „Vector CanCaseXXL“ [@ Vect] mit denen einerseits die Einspeisung von Signalen über den Canalyzer in das Bordnetz des Realfahrzeugs oder der Simulation, als auch andererseits das Auslesen der Datenpakete vom CAN-Bus mit ZIO möglich ist.

Die Datenkommunikation von der Fahrsimulation oder der Cosimulation via UDP und Interlink erfolgt über einen TCP/IP Netzwerkanschluss am PC.

Die grafische Ausgabe der von FLORIS generierten Inhalte für das Head-Up Display, das Kombiinstrument, CID oder den im Fahrzeug zusätzlich verbauten Bildschirm erfolgt über zwei DVI (Digital-Visual-Interface) Grafikkarten.

### NTSC-HUDs

Das ursprünglich im Fahrzeug verbaute HUD kann nur die serienmäßigen Anzeigehalte darstellen. Deshalb wurde es durch ein baugleiches Modell ersetzt, das neben den Standardanschlüssen für das BMW-Bordnetz über einen NTSC-Videoeingang verfügt. Mittels einer Ansteuerung über das Bordnetz (Low-CAN) und den Canalyzer kann die NTSC-Bildquelle aktiviert werden. Durch die Einspeisung eines NTSC-Videosignals sind bei beiden verbauten HUDs im Fahrzeug beliebige Anzeigehalte möglich.

Zusätzlich wurde für die Umwandlung der DVI-Videosignale vom PC zwei DVI-NTSC-Converter im Fahrzeug verwendet (Abbildung 23).

Um die Ansteuerung der modifizierten HUDs über das Bordnetz zu ermöglichen, wurde eine Schnittstelle zum Fahrzeug-CAN benötigt. Mit einem sogenannten CAN-Gateway war es möglich, die CAN-Hardware des PCs an das Bordnetz anzuschließen und somit die Steuersignale von Canalyzer in den Fahrzeug-CAN einzuschleusen, die von den HUDs empfangen werden.

### *Lenkradbedienelement*

Von dem Lenkradbedienelement wurden zwei Prototypen angefertigt. Eines war für den Einbau in HUDMax, das andere für den Einsatz in der Fahrsimulation vorgesehen. Das Standardbedienelement in der rechten Speiche des Lenkrads wurde gegen das neue Bedienelement getauscht und über eine gesonderte Lenkradelektronik angeschlossen.

Die Lenkradelektronik wandelt die analogen Tastensignale bei Bedienung am Lenkrad in entsprechende CAN-Botschaften um und speist sie in einen exklusiven CAN-Bus ein. Dieser gelangt über die Wickelfeder an der Lenksäule zu einer der CAN-Schnittstellen am Fahrzeugrechner. Die Signale vom Lenkradbedienelement werden dort, wie schon zuvor erwähnt, mittels ZIO erfasst und in FLORIS und FLASH weiterverarbeitet.

In diesem Kapitel wurde nach der Erläuterung der Funktionsweise des HUDs und der zukünftigen Technologien für eine Vergrößerung der Anzeigefläche, eine Architektur und ein Prototyp aufgebaut, die es ermöglichen, den Einfluss einer größeren Anzeigefläche im Fahrsimulator, als auch in einem realen Fahrzeug zu untersuchen. Alle weiteren Untersuchungen bauen auf dieser Infrastruktur auf.





### **3 RANDBEDINGUNGEN FÜR ERGONOMISCHE INFORMATIONSGESTALTUNG IM HUD**

Nachdem die technischen Rahmenbedingungen geklärt sind, wird der Schwerpunkt auf die Anzeigengestaltung im HUD gelegt. Dabei bilden die Fragen „Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?“ und „Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?“ die Basis für das weitere Vorgehen.

Aufbauend auf den Grundlagen aus der Literatur zur Mensch-Maschine-Interaktion, der menschlichen Wahrnehmung und gesetzlichen Rahmenbedingungen werden die Anforderungen an HUD-Konzepte herausgearbeitet. Aus der Literatur werden Forschungsfragen für die Untersuchungen dieser Arbeit abgeleitet.

Die ersten beiden Experimente fungieren als Grundlagenuntersuchungen um den Umgang mit der Anzeigefläche zu analysieren. Dabei wird im Usability-Labor das erste Experiment über die Darstellung und Anwendung verschiedener Gestaltungsmittel im HUD durchgeführt. Der zweite Versuch findet im statischen Fahrsimulator statt und bildet die Basis für den Einsatz der Interaktion im HUD. Dabei werden unterschiedliche Bedienprinzipien auch auf die Ablenkung beim Fahren untersucht.

Abgeleitet aus allen Erkenntnissen wird eine Guideline für die Anzeigengestaltung im HUD verfasst. Basierend auf diesen Erkenntnissen wird im weiteren Verlauf der Arbeit ein HUD-Konzept umgesetzt und evaluiert.

#### **3.1 Grundlagen aus der Literatur**

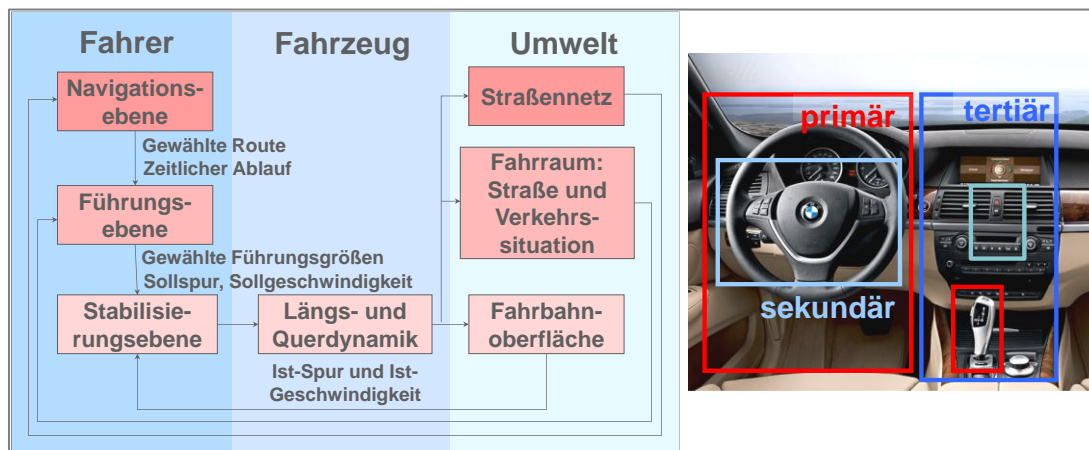
Der erste Teil des Grundlagenkapitels basiert auf einer umfangreichen Literaturrecherche. Dabei wird, wie schon erwähnt, auf alle relevanten Rahmenbedingungen aus der Mensch-Maschine-Interaktion und der menschlichen Wahrnehmung für die Gestaltung von Informationen im HUD eingegangen.

##### **3.1.1 Grundsätze der Mensch-Maschine-Interaktion im Fahrzeug**

Die häufig wiedergegebene Theorie zur Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) im Fahrzeug, aufbauend auf dem Passungsmodell der Mensch-Maschine-Interaktion und der Fahrerverhaltensforschung, wird hier kurz zusammengefasst. Für weitere Ausführungen wird auf [Geis 85] [Färb 87] [Reic 00] [Wick 04] verwiesen.

Aus der Kognition<sup>7</sup> des Menschen lassen sich Vorgehensweisen und Anforderungen an die Mensch-Maschine-Systeme (MMS) im Fahrzeug ableiten. Der Unterschied zu anderen MMS besteht in der zusätzlichen kontinuierlichen Fahraufgabe, die sich in drei verschiedenen Ebenen aufteilen lässt [Bern 70]. In der Abbildung 25 (links) sind die Zusammenhänge zwischen den drei Ebenen, Navigations-, Führungs- und Stabilisierungsebene, dem Fahrzeug und der Umwelt abgebildet.

Die Fahraufgaben auf den einzelnen Ebenen unterscheiden sich bei der Bearbeitung hinsichtlich ihrer Priorität (hierarchischer Aufbau), der Zeitspanne und der Häufigkeit. Übergeordnete Aufgaben können nur behandelt werden, wenn die untergeordneten, kontinuierlichen Aufgaben auf der Stabilisierungsebene bewältigt sind. Damit lässt sich die Forderung nach Anzeigebedienkonzepten (ABK), die minimal mit der Fahraufgabe interferieren, begründen [Bund 01] [ESoP 06] [AMM 06].



**Abbildung 25: Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (links)  
Bedien- und Anzeigebereiche (rechts)**

Die Funktionen bzw. Aufgaben bei der Fahrzeugführung können nach [Geis 85] priorisiert und kategorisiert werden. Die primäre Aufgabe ist das Halten des Fahrzeuges auf Kurs, dabei werden alle drei Ebenen der Fahrzeugführung verwendet. Die sekundären Aufgaben beinhalten Tätigkeiten, die in Abhängigkeit des Fahrens stehen. Dazu zählt z.B. Blinken, Hupen, Auf- und Ablenden usw. Tertiäre Aufgaben haben mit der Fahraufgabe an sich nichts zu tun. Sie dienen der Komfortverbesserung und der Kommunikation, die durch Fahrerinformationssysteme (FIS) zusammengefasst werden können. Der Aufteilung entsprechend hat sich ein festes Schema der Bedien- und Anzeigebereiche im Fahrzeug etabliert und kann in der Abbildung 25 (rechts) nachvollzogen werden. Im direkten Sichtbereich und mit der geringsten Greifentfernung werden Anzeigen und Bedienelemente, die die primäre Fahraufgabe unterstützen, angeordnet. Die Anzeigen setzen sich zusammen aus dem Kombiinstrument und dem HUD. Die Bedienelemente sind das Lenkrad, Pedalerie und der Schalthebel. Der Anzeigebereich der Gruppe der Sekundäraufgaben ist im unteren Bereich des Kombis angesiedelt. Die Bedienelemente befinden sich um das Lenkrad herum. Alle FIS-Funktionen werden in der Mittelkonsole zusammengefasst.

Da in dieser Arbeit die Informationsdarstellung im HUD, das sich im primären Anzeigebereich befindet, um eine Interaktion erweitert werden soll, wird diese Norm bewusst gebrochen. Das HUD ist ein neuer Anzeigort im Automobil und es gilt zu

<sup>7</sup> Sammelbezeichnung für alle Prozesse und Strukturen, die mit dem Wahrnehmen und Erkennen zusammenhängen

untersuchen, ob dieses unter den Displays im Fahrzeug eine Sonderstellung einnehmen darf, und somit in der primären Anzeigefläche tertiäre Informationen dargestellt werden können.

Das oben erwähnte Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung lässt sich um die kognitiven Verarbeitungsebenen erweitern [Rasm 83]. Dabei wird zwischen wissens-, regel- und fertigkeitbasiertem Verhalten unterschieden. Fertigkeitbasiertes Verhalten setzt in wohl vertrauten Situationen ein. Es ist stark automatisiert und erfordert keine bewusste Aufmerksamkeitszuwendung. Regelbasiertes Verhalten setzt bei bekannten Problemstellungen ein. Das Verhalten wird durch erlernte Wenn-dann-Schemata bestimmt. Diese basieren auf Erfahrung und werden angewandt, wenn die aktuelle Situation mit einer bereits erlebten vergleichbar ist. Wissensbasiertes Verhalten wird bei unbekanntem Situationen eingesetzt. Hier wird das berechnungsstarke, aber langsame, logische Denken aktiv, das die höchste kognitive Ebene darstellt. Bei einem routinierten Fahrer laufen Tätigkeiten auf der Navigationsebene eher wissensbasiert ab, auf der Führungsebene regelbasiert und auf der Stabilisierungsebene fertigkeitbasiert ab. Dieser Zusammenhang hängt aber von Faktoren wie z.B. Erfahrung, Fahrstrecke und Umgebungsbedingungen ab.

Für die Fahrzeugführung hat die Stabilisierungsebene, aus Quer- und Längsführung zusammengesetzt, die höchste Priorität. Bei einer zusätzlichen Nebenaufgabe, die eine Interaktion mit einem System darstellt, ist die Interferenz in dieser Ebene zu beobachten [Theo 02]. Herleiten lässt sich dies aus der Tatsache, dass beide Aufgaben den visuellen Sinneskanal nutzen (Näheres siehe Kapitel 3.1.2.1). Weiterhin können Aufgaben der anderen Ebenen für die Dauer der Bedienung, aufgrund niedriger Priorität, ausgeblendet werden.

Diese zwei Dimensionen der Stabilisierungsebene werden darauf aufbauend im experimentellen Teil der Arbeit erfasst und hier im Vorfeld erläutert (nach [Schw 03]):

Die Regelung der Querdynamik stellt die Anforderung an den Fahrer, innerhalb der eigenen Fahrspur zu bleiben und dem Straßenverlauf zu folgen. Kurvige bzw. gerade Strecken stellen unterschiedlich hohe Anforderungen an den Fahrer bzgl. des Lenkverhaltens. Aufgrund der optischen und kinästhetischen Wahrnehmungsschwelle, unterhalb derer nichts bemerkt wird, ist die permanente Kontrolle dieser für die Querrführung wichtigsten Sinneskanäle nicht gegeben. Sie muss daher als ein Abtastregler modelliert werden. So fährt man z. B. in einer Kurve selten genau in der Mitte, wird die Abweichung von der Mitte zu groß, so wird die Position in der Fahrbahn mit einer Lenkbewegung korrigiert. Der Bereich auf der Fahrbahn zwischen drei und neun Grad unterhalb der 0°-Sichtlinie spielt bei der visuellen Wahrnehmung für die Spurhaltung die entscheidende Rolle [Chat 99].

Längsführung ist hauptsächlich durch die Wahl der Fahrzeuggeschwindigkeit definiert. Der Fahrzeugführer sollte sich in der Regel an die Geschwindigkeitsbegrenzungen halten, die durch Straßenbeschilderung bzw. durch den befahrenen Straßentyp vorgegeben werden. Hier wird zwischen einer Fahrt mit einem vorausfahrenden Fahrzeug und einer freien Fahrt unterschieden. Im ersten Fall wird die Geschwindigkeit vorgegeben und der Fahrer sorgt für die richtige Abstandshaltung. Der Abstand sollte dabei so gewählt werden, dass bei einer Vollbremsung des vorausfahrenden Fahrzeugs das eigene Fahrzeug sicher abgebremst und eine Kollision vermieden werden kann. Innerhalb geschlossener Ortschaften wird ein Abstand von einer Sekunde und außerhalb ein Abstand von zwei Sekunden empfohlen. Ohne ein vorausfahrendes Fahrzeug muss der Fahrer, je nach Straßenverlauf, Geschwindigkeitsvorgaben und Witterungsbedingungen selbst die passende Geschwindigkeit wählen.

Nachdem der Vorgang des Fahrens erläutert wurde, werden im nachfolgenden Abschnitt die notwendigen Grundlagen aus der menschlichen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung, die im Zusammenhang mit dem Fahren stehen, behandelt.

### **3.1.2 Menschlichen Wahrnehmung und Informationsverarbeitung**

Ungefähr 90% der aufgenommenen Informationen bei der Fahrzeugführung erfolgt über den visuellen Sinneskanal [Rock 71]. Dabei ist dieser wesentlich für die Spurhaltung und das Einschätzen anderer Verkehrsteilnehmer, was wiederum mit weiteren kognitiven Prozessen, wie z.B. der Aufmerksamkeit, eng verknüpft ist. Somit ist das Gefüge der visuellen Wahrnehmung und der Aufmerksamkeit essentiell für das Erfüllen der Fahraufgabe. Aus diesem Grund wird dieses mit dem Fokus auf das HUD interpretiert.

#### **3.1.2.1 Konstrukt der Beanspruchung**

Die Fahraufgabe stellt hohe Anforderungen an die Informationsverarbeitung des Menschen. Durch die wechselnde Fahrscene und unterschiedliche Anforderungen variiert diese ständig. Der Fahrer muss aus einer Fülle von Informationen in erster Linie die fahrrelevanten extrahieren und verarbeiten. Eine Menübedienung zum Beispiel stellt eine zusätzliche Anforderung dar, die die Aufnahme und Verarbeitung von relevanten Informationen für die Fahraufgabe beeinflussen kann.

Der Fahrer fungiert als Workload-Manager und passt sein Fahr- und Bedienverhalten den Anforderungen an. So gewährleistet er ein sicheres Ankommen am Ziel. Der Erfolg der kompensativen Maßnahmen hängt aber entscheidend von der verursachten Beanspruchung durch die Nebenaufgabe, welche einen der Schwerpunkte dieser Arbeit bildet, ab.

Die Beanspruchung wird allgemein als die psychophysiologische Reaktion auf einwirkende Belastungen verstanden und hängt mit der Aufmerksamkeit zusammen [Joha 93]. Diese kann als die verfügbare Verarbeitungskapazität für aktive Informationsverarbeitungsprozesse angesehen werden [Huss 98]. Aus diesem Grund wird der Zusammenhang dieser beiden Prozesse in diesem Kapitel näher beleuchtet.

#### *Aufmerksamkeit*

Die Aufmerksamkeit spielt bei der Informationsverarbeitung eine zentrale Rolle. Das menschliche Gehirn verarbeitet Informationen in drei Schritten: (1) Wahrnehmung der aufgenommenen Informationen, (2) zentrale Informationsverarbeitung und (3) Ausführen der Reaktion auf diese Informationen. Die einzelnen Verarbeitungsschritte und ihr Ablauf hängen von den dafür bereitgestellten mentalen Ressourcen [Wick 04] oder anders gesagt, von der zugewandten Aufmerksamkeit ab. Die zwei wesentlichen Aspekte sind dabei die Auswahl der relevanten Reize aus unserer Umgebung und die Aufteilung der Ressourcen auf verschiedene Bereiche der Verarbeitung.

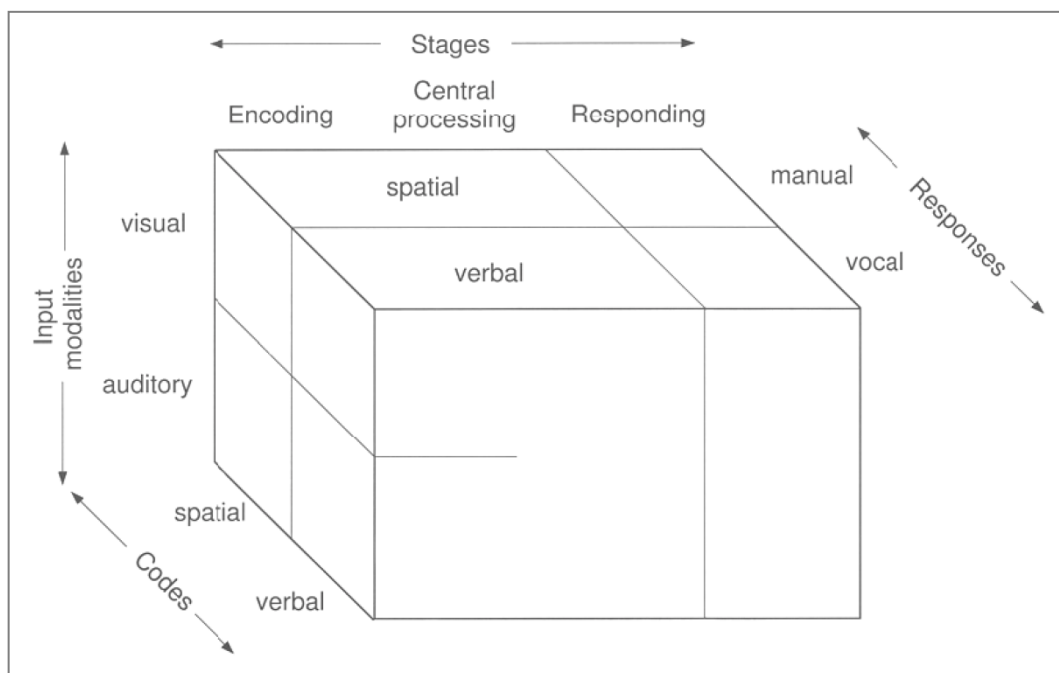
#### *Selektive Aufmerksamkeit*

Die gezielte Aufmerksamkeit auf bestimmte Sinneskanäle und insbesondere gerichtete Augenbewegungen dienen der Informationsselektion. Informationen können auch ohne gezielte Aufmerksamkeitszuwendung wahrgenommen werden („cocktail party“- Effekt, [Wood 95]). In der Regel stellt aber die gezielte Aufmerksamkeit eine notwendige Bedingung für die Verarbeitung der Information dar. Vier Faktoren - Salienz (bottom-up),

Erwartung (top-down), Nutzen (top-down) und Aufwand - bestimmen die Auswahl von Reizen, auf welche die Aufmerksamkeit ausgerichtet wird [Wick 04].

### Geteilte Aufmerksamkeit

Die Bedienung in einem Menü, da sie ebenfalls mentale Ressourcen beansprucht, konkurriert um die Aufmerksamkeitszuwendung mit der Fahraufgabe. Das Multiple-Ressource-Modell [Wick 92] der menschlichen Informationsverarbeitung beschreibt die Aufteilung der Aufmerksamkeit. Dieses Modell stellt eine Vereinigung der Vorstellung einer zentralen Verarbeitungskapazität (Kapazitätsmodelle) und der Vorstellung mehrerer, unabhängiger Verarbeitungsstrukturen (Strukturmodelle) dar [Färb 87]. Dabei wird von verschiedenen Ressourcen ausgegangen, die eine beschränkte, relativ unabhängige Kapazität besitzen. Man geht davon aus, dass mit steigendem Anteil der gemeinsam geteilten Ressourcen der Grad der Interferenz und damit der Leistungseinbußen bei einer Doppelaufgabe zunimmt [Theo 02].



**Abbildung 26: Multiple-Ressource-Modell nach Wickens**

Die Abbildung 26 zeigt die Struktur der menschlichen Informationsverarbeitung bestehend aus drei dichotomen Dimensionen [Wick 92]:

**STAGES:** Die Verarbeitungsstufen, die perzeptiv-kognitive Aktivität beinhalten (Encoding und Central Processing), sind funktional von der Selektion und dem Ausführen einer Reaktion (Responding und Responses) zu trennen.

**MODALITIES:** Die Wahrnehmungsmodalitäten sind in visuelle (Visual) und auditive (Auditory) einzuteilen.

**CODES:** Die Verarbeitungstypen sind entweder räumlich-analog (Spatial bzw. Manual) oder verbal-sprachlich (Verbal bzw. Vocal). Sie hängen in allen Verarbeitungsstufen von unterschiedlichen Ressourcen ab und sind deswegen zu trennen.

Wickens erweitert in einer späteren Arbeit das Modell um eine weitere und für diese Arbeit entscheidende Dimension:

**VISUAL CHANNELS.** Die visuelle Wahrnehmungsmodalität wird zusätzlich zwischen dem „Focal“ und dem „Ambient“ Kanal aufgeteilt. Mit „Focal“ ist dabei die foveale Wahrnehmung gemeint, die z. B. beim Lesen notwendig ist. Der „Ambient“ Kanal

beinhaltet die parafoveale und die periphere Wahrnehmung, die z. B. bei der Wahrnehmung der Eigenbewegung zum Einsatz kommen [Horr 04]. Die Aufteilung der visuellen Wahrnehmungsmodalität in diese zwei Kanäle ist bedeutend für die Wahrnehmung des Straßengeschehens bei der Anwendung von HUDs, deren virtuelle Abbildung im peripheren Sichtfeld angezeigt wird. Längs- und Querführung entsprechen Aufgaben, die die periphere Wahrnehmung („Ambient“) beanspruchen [Herb 04]. Die Bearbeitung oder das Ablesen von Informationen erfolgt im fovealen Blickfeld („Focal“). Somit ermöglicht der Einsatz von HUDs eine parallele Wahrnehmung des Straßengeschehens während des Ablesevorganges und beeinflusst demnach das Fahrverhalten weniger als die Darstellung in einem HDD.

Das Fahren stellt situationsabhängig unterschiedliche Ressourcenanforderungen, dessen Einordnung in das Ressourcen-Modell anhand verschiedener Untersuchungen erfolgt:

CODE: Die Fahraufgabe stellt primär Anforderungen an den räumlichen Verarbeitungstyp, da eine signifikant schlechtere Spurhaltung bei einer räumlichen Nebenaufgabe im Vergleich mit einer verbalen Nebenaufgabe nachgewiesen wurde [Renn 95].

MODALITY: Die Fahraufgabe ist hinsichtlich der Wahrnehmungsmodalität in erster Linie als visuelle Aufgabe zu definieren, da die Anzahl der Fahrfehler bei einer auditiven Aufgabe kleiner ist, als bei einer visuellen Zusatzbelastung [Schw 03] [Rock 71].

Die Einordnung der Menübedienung und der Einfluss auf das Fahrverhalten sind im Folgenden zusammengefasst:

CODE: Die Anforderungen der Menüinteraktion an den Verarbeitungstyp sind aufgrund der Mehrzahl alphanumerischer Einträge als verbal zu identifizieren. Bezogen auf die Fahraufgabe ist keine Teilung gemeinsamer Ressourcen bzgl. der Verarbeitungstypen notwendig [Theo 02].

MODALITY: Die Menüinteraktion stellt innerhalb der Wahrnehmungsmodalität Anforderungen an den visuellen Sinneskanal. Es ist deshalb damit zu rechnen, dass die Leistung in der Fahraufgabe aufgrund der eingeschränkten Informationsaufnahme abfallen wird. Das HUD ermöglicht eine geringere Interferenz mit der Fahraufgabe durch die Aufteilung in Focal und Ambient Chanel als die Bearbeitung im HDD.

### *Beanspruchung*

Das Konstrukt der Beanspruchung wird genutzt, um den Einfluss der durch die Aufgabe gegebenen Anforderungen auf den Fahrer zu beschreiben [DeWa 96]. Nach DeWard ist die Beanspruchung die benötigte Menge an Verarbeitungskapazität für die Erfüllung der Aufgabe. Diese Anforderungen sind durch die Zielvorgaben der Aufgaben bestimmt und ein externer Faktor, sobald das Ziel der Aufgabe festgelegt wurde. Zwei Einflüsse sind bei dem Konzept der Beanspruchung von besonderer Bedeutung:

COMPLEXITY: Komplexität steht in direkter Verbindung mit den Anforderungen der Aufgaben. Sie hängt unmittelbar von der Anzahl der Ressourcen ab, die zur Bearbeitung einer Aufgabe benötigt werden.

DIFFICULTY: Der Schwierigkeitsgrad hängt von dem Aufwand, der von *der jeweiligen Person* zur Bearbeitung der Aufgabe benötigt wird, ab. Diese ist abhängig vom gegebenen Kontext, vom Zustand und von der Verarbeitungskapazität dieser Person, sowie ihrer Strategie zur Ressourcenaufteilung.

Beanspruchung ist also viel mehr als das Verhältnis der benötigten und der in der momentanen Situation zur Verfügung stehenden Ressourcen. [Herb 04] In diesem Zusammenhang ist die Forschung im Bereich der kompensativen Strategien zu erwähnen. Dabei bildet die Analyse des Situationsbewusstseins (Näheres im Kapitel 5.1.1) einen neuen Schwerpunkt.

Beanspruchung, als eine subjektive Empfindung der einwirkenden Belastung des Menschen, kann nur indirekt gemessen werden. Daher wird sie als eine Funktion von der Eingangsbelastung, dem aktuellen Zustand des Menschen und dem internen Leistungskriterium definiert. Somit sind die Belastung als Eingangsgröße, sowie die Leistung als Resultat objektiv erfassbare Größen, die einen Rückschluss auf die empfundene Beanspruchung zulassen ([Joha 93], aus [Prax 03]). In diesem Zusammenhang werden vier verschiedene Messmethoden genannt: objektive Leistungsmaße, subjektive Maße, physiologische Maße und Blickregistrierung [Theo 02]. Alle, außer den physiologischen Maßen, wurden in den nachfolgenden Versuchen angewendet.

Die dynamische Ressourcenverteilung, oft auch als Workload-Management bezeichnet, spielt eine wesentliche Rolle bei einer Doppelaufgabe wie bei der Menübedienung während der Fahrt. Das Dual-Task-Modell, das in der Abbildung 27 zu sehen ist, erklärt den Zusammenhang zwischen Workload und der daraus resultierten Leistung in den beiden Aufgaben [Biev 02]. Die Primäraufgabe entspricht der Fahraufgabe und die Menübedienung der sekundären Aufgabe. Bei konstanter Beanspruchung durch die primäre Aufgabe und einer Erhöhung der Beanspruchung durch die sekundäre Aufgabe wird, wenn die Summe der beiden Beanspruchungen zu hoch wird, aufgrund der Priorisierung zuerst die Leistungsabnahme in der sekundären Aufgabe zu verzeichnen sein. Die Bearbeitung der sekundären Aufgabe wird vernachlässigt, um konstante Leistung in der priorisierten primären Aufgabe aufrechtzuerhalten. Die steigende Belastung resultiert in einer Leistungseinbuße in der primären Aufgabe. Wenn die gesamte kognitive Beanspruchung die kognitive Beanspruchungskapazität überschreitet, wird auch die Primäraufgabe nicht mehr erfüllbar. Bei leichten kognitiven Aufgaben wurde eine Verschlechterung in der Fahraufgabe und bei starker kognitiver Belastung sogar gefährdendes Fahrverhalten nachgewiesen [Biev 02].

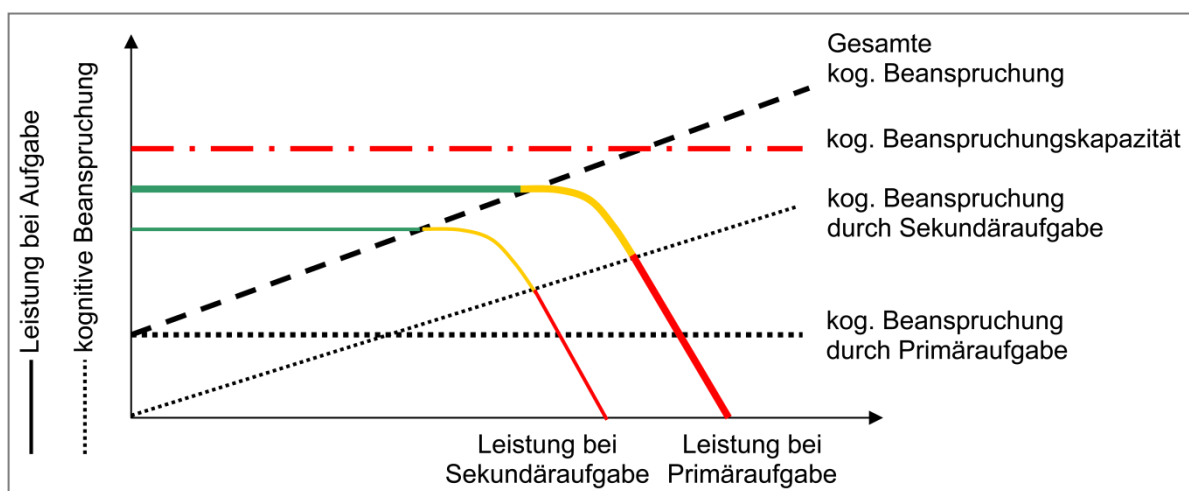


Abbildung 27: Dual-Task-Modell

Das Modell bildet das Verhalten bei einer Doppelbelastung durch parallele Aufgaben ab, berücksichtigt aber keine kompensatorischen Handlungen. Das Beanspruchungsniveau lässt sich durch die Reduktion des konstanten Terms im Dual-Task-Modell erreichen. Im Fahrkontext würde diese z. B. durch Geschwindigkeitsreduktion erfolgen [Gsta 97]. Kompensatorische Handlungen sind für die Beobachtung der Beanspruchung von besonderer Bedeutung. Sie weisen darauf hin, dass Verarbeitungskapazitäten ausgelastet sind und weitere Ressourcen benötigt werden. Man befindet sich kurz vor

dem kritischen Punkt oder bereits darüber hinaus. Die genaue Position im Dual-Task-Modell ist letztendlich aus der Leistungsbetrachtung abzuleiten. Es ist also mit einer ineffizienten Menübedienung und einer Verschlechterung des Fahrverhaltens zu rechnen, sollten die Ressourcenanforderungen zu hoch sein und bzw. oder sollte es zu keiner angepassten Selbstregulation des Workloads kommen.

### 3.1.2.2 Die visuelle Wahrnehmung

Der visuelle Sinneskanal ist die wichtigste Informationsquelle für das Führen von Kraftfahrzeugen und entscheidend bei der Aufmerksamkeitslenkung und -verteilung. Um die Vorgänge verstehen zu können, wird auf das menschliche Sehorgan eingegangen. Dabei werden Informationen wiedergegeben, die für die Fragestellungen in dieser Arbeit von Belang sind.

#### Das Auge

Den Bereich, den der Mensch mit seinen Augen ohne eine Bewegung der Augen und des Kopfes erfassen kann, nennt man Gesichtsfeld. Das nutzbare Sichtfeld umfasst den Ausschnitt, der eine kognitive Verarbeitung der gesehenen Objekte ermöglicht [Wick 04]. Licht, das von Objekten der Umgebung reflektiert wird, fällt durch die Pupille ins Auge und wird durch die Linse gebündelt. Die Dicke und somit die Brechkraft der Linse wird durch den Ziliarmuskel beeinflusst. Auf diese Weise fokussiert das Auge auf unterschiedliche Entfernungen. Der Vorgang des Scharfstellens des Auges wird Akkomodation genannt. Durch die Verengung oder Vergrößerung der Iris, wird die auf die Retina auffallende Lichtmenge geregelt. Damit passt sich das Auge den Lichtverhältnissen der Umwelt an (Adaption).

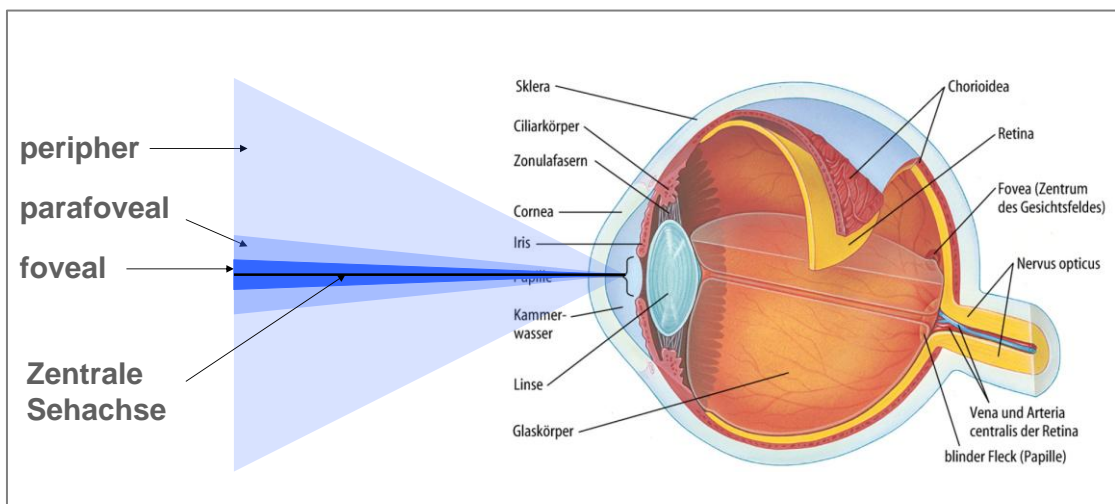


Abbildung 28: Die drei Sichtbereiche des menschlichen Auges

Das einfallende Licht trifft auf die Retina. Dort befinden sich lichtempfindliche Zellen (Zapfen und Stäbchen), die das auftreffende Licht in Form von elektrischen Impulsen an den Sehnerv weitergeben. Für das Kontrastsehen, das voranging in der Nacht zum Einsatz kommt, sind die Stäbchen verantwortlich. Das Farbsehen erfolgt mit den drei auf unterschiedliche Wellenlängen empfindlichen Zapfenarten (RGB). Die Dichte beider Rezeptorarten ist ungleichmäßig verteilt und nimmt von der Fovea (Zentrum des Gesichtsfeldes) ab. Dieser Punkt befindet sich auf dem Schnittpunkt der Netzhaut und der zentralen Sehachse und hat eine Ausdehnung von  $2^\circ$  des Kegelöffnungswinkels. In diesem Bereich ist die höchste Zapfendichte vorhanden und angeblickte Objekte können



scharf wahrgenommen werden. In der Abbildung 28 ist dieser Bereich im Sichtfeld mit foveal gekennzeichnet. Der parafoveale Bereich erstreckt sich von  $2^\circ$  bis  $10^\circ$  des Kegelöffnungswinkels. Hier sind Farben, ungefähre Formen, Helligkeitsänderungen und Bewegungen wahrnehmbar. Dieser Bereich dient hauptsächlich der dynamischen Orientierung im Raum. Im peripheren Sichtbereich außerhalb von  $10^\circ$  werden nur schematische Bewegungen registriert [Wick 04].

Damit ist anschaulich erklärt, wieso die Sehschärfe relativ zur Entfernung von einem fixierten Objekt stark abnimmt. Diese Tatsache begründet einen der entscheidenden Vorteile des HUDs, wie in den weiteren Ausführungen erläutert wird.

#### *Wahrnehmung im parafovealen Bereich*

Im Fahrkontext wird als Sichtfeld der Bereich bezeichnet, der sich aus der Fahrerposition nach vorne um einen  $180^\circ$  Winkel erstreckt. Wie in der Abbildung 1 zu sehen ist, erscheint das virtuelle Bild des HUDs in einem Blickwinkel von ca.  $4^\circ$  nach unten von der zentralen Sehachse entfernt. Somit wird bei der Fixation auf diese Anzeige die Straße im parafovealem Blickfeld wahrgenommen. Dies entspricht einer Sehschärfe von ca. 40 bis 50%. Bei einem Blick in das Kombiinstrument, welches um  $17^\circ$  nach unten versetzt ist, nimmt der Fahrer das Straßengeschehen mit 10% der möglichen Sehschärfe wahr [Schm 93].

#### *Blickbewegungen*

Die Muskeln des Auges erlauben eine gezielte Ausrichtung auf Bereiche oder Objekte im Gesichtsfeld. Dabei werden die Augenbewegungen durch top-down und bottom-up Mechanismen gesteuert [Wick 04]. Top-down bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Augen infolge eines Informationsbedarfes willentlich auf einen Bereich gerichtet werden. Dabei basiert die Blickrichtung auf Erfahrungswerten oder vorhandenem Wissen. Wenn die visuelle Wahrnehmung nur durch die Sinnesdaten aus der Umgebung bestimmt wird, beschreibt das den bottom-up Prozess. Bestimmte Objekte oder schnelle Bewegungen ziehen die Aufmerksamkeit auf sich, obwohl nicht nach ihnen gesucht wurde.

Man teilt Blickbewegungen in die Blickfolgebewegungen, die der Verfolgung bewegter Objekte dienen, und die Sakkaden, die die Verschiebung des nutzbaren Sehfelds bewirken. Eine Sakkade besteht aus einem ruckartigen Blicksprung zwischen zwei Fixationen, der durch seine Amplitude und seine Dauer (weniger als 50 ms) charakterisiert ist [Wick 04]. Die darauf folgende Fixation wird in zwei Phasen unterteilt. In der ersten wird das Auge den Umgebungsbedingungen angepasst. Die Form der Linse wird verändert bis das fixierte Objekt scharf auf der Retina abgebildet wird (Akkommodation). Sollten andere Lichtverhältnisse im Vergleich zur vorherigen Fixation herrschen, wird die Iris weiter geöffnet oder geschlossen, um die optimale Lichtmenge in das Auge hinein zu lassen (Adaption). In der zweiten Phase folgt die Informationsaufnahme. Die Länge dieser Periode hängt vom Informationsgehalt und der Qualität des Reizes ab.

#### *Blickabwendungsdauer beim HUD*

Die Blickabwendungsdauer setzt sich neben der Fixation für die Informationsaufnahme auch aus der Zeit für die Blickbewegung zum Objekt. Dabei stellt der Blickwinkel bzw. der zurückzulegende Weg das entscheidende Kriterium dar. Weiterhin spielen die Vorgänge der Akkommodation und Adaption eine wichtige Rolle.

**Blickwinkel:** Der Blickwinkel ist beim HUD geringer als beim HDD. Dieser muss bei jeder Fixation zwei Mal zurückgelegt werden. Pro Blicksprung erfolgt eine Zeitersparnis gegenüber dem Kombiinstrument von 20 ms [Geng 97]. Der Zeitvorteil bei einer Sakkade

zum HUD im Vergleich zum CID errechnet sich nach folgender Formel [Schw 03] zu 40 ms.

**Formel 4: Zeitvorteil bei einer Sakkade**

$$D = D_0 + dA$$

$D$  = Sakkadendauer

$D_0$  = 21ms

$d$  = 2,2ms/°

$A$  = Amplitude [°]

Bei der Berücksichtigung der Kopfbewegung, die bei mehr als 10° erfolgt [Grüs 87], wird der Zeitvorteil des HUDs gegenüber dem CID von 100 ms genannt [Klok 05].

**Adaptation:** Die HUD-Anzeigen überlagern die Strasse. Somit herrschen bei der Fokussierung auf das virtuelle Bild die gleichen Lichtverhältnisse und der Aufwand für die Adaptation ist gering. Im Gegensatz dazu muss sich das Auge beim Ablesen von Anzeigen in einem HDD fast immer an die Helligkeitsunterschiede im Fahrzeuginneren anpassen.

**Akkommodation:** Je weiter ein Objekt ist, umso weniger wird die Linse durch die Augenmuskulatur gekrümmt und desto schneller kann das menschliche Auge akkomodieren. Ab einer Entfernung von 6 m hat das menschliche Auge einen unendlichen Fokus. Die Anzeigen im Fahrzeuginneren sind in einem Abstand von 0,5 bis 0,8 m zu sehen. Im Gegenzug beträgt die Entfernung der HUD-Anzeige, wie in Abbildung 1 zu sehen ist, 2,20 m. Somit ist mit einer geringeren Akkomodationszeit im HUD zu rechnen.

Aufsummiert über alle genannten Faktoren ergibt sich ein Zeitvorteil von ca. 0,25 bis zu einer Sekunde für das HUD gegenüber Anzeigen innerhalb des Fahrzeugs [Gish 95] [Kief 98].

*Standards und Richtlinien*

Für die Erfassung vom Blickverhalten von Fahrern bei der Fahrt mit Fahrerassistenzsystemen (FAS) und FIS, definiert die von der Internationalen Organisation für Normung herausgegebene Norm ISO 15007-1 einen Blick bzw. seine Blickdauer als Summe der hinführenden Sakkade und der Verweildauer. Die Verweildauer enthält alle Fixationen, die für die Erfassung des Objektes notwendig sind. Die Summe der Blickdauer vom Straßengeschehen weg und der darauf folgenden Sakkade zur Straße hin wird als Dauer der Ablenkung definiert. Bei einer vom Fahrer initiierten Interaktion spricht man nicht von Ablenkung, sondern von einer bewussten Blickabwendung ([Zimm 98] aus [Theo 02]).

Konkrete Vorgaben, wie lang eine Blickabwendung beim Einsatz von FIS sein darf, wurde anhand einer Vielzahl verschiedener Versuche zur Radiobedienung im Auto, die als Referenzaufgabe definiert wurde, ermittelt.

1. Eine einfache Blickabwendung sollte die Dauer von 2 Sekunden nicht überschreiten.
2. Eine gesamte Aufgabe sollte nicht länger als 20 Sekunden Blickabwendung erfordern.

Hierbei wurde das 85-Prozent Perzentil der mittleren Blickdauer bzw. der kumulierten Blickdauer als Maß angewandt.

An diese Richtlinie, genannt „Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and

Communication Systems“ [AAM06], halten sich selbstverpflichtend Automobilhersteller, die in der Alliance of Automotiv Manufacturers (AAM) vertreten sind. Diese Vorgaben bilden die Grundlage für die Evaluierung der Konzepte.

### 3.1.3 Anforderungen an HUD-Konzepte

Das HUD nimmt aufgrund der Anzeigeposition eine Sonderrolle bei den Displays im Fahrzeug ein. Aufgrund der besonderen Auswirkungen auf die menschliche Wahrnehmung, die hier behandelt werden, ist es notwendig den Umgang mit diesem Anzeigort auch im Hinblick auf bestehende Richtlinien und Vorgaben an die Informationsgestaltung zu prüfen. In diesem Kapitel werden die Grundlagen für die experimentellen Fragestellungen dieser Arbeit geschaffen.

#### 3.1.3.1 Wahrnehmungspsychologische Effekte

Mit dem HUD werden unterschiedliche wahrnehmungspsychologische Effekte in Zusammenhang gebracht. Es ist für die Informationsgestaltung in diesem Anzeigort wichtig, diese im Hinblick auf die Erweiterung der Fläche und den neuen Umgang mit Informationen zu untersuchen.

##### *Überlagerung*

Da die Anzeigen des HUDs eine direkte Überlagerung der Fahrszene zur Folge haben, ist es möglich, dass dadurch relevante Informationen des Verkehrsgeschehens maskiert werden.

Um diesen Effekt zu untersuchen, wurde in einem Fahrversuch überprüft, ob die Überlagerung negative Folgen auf das Fahrverhalten, die Gefahrenerkennung und Leistung in einer Nebenaufgabe zur Folge hat [Horr 03-1]. Die Nebenaufgabe bestand im Vorlesen von Telefonnummern und wurde vergleichend in einem HUD (7° nach unten versetzt) und einem HDD angezeigt.

Es konnte keine negative Auswirkung auf die Fahraufgabe festgestellt werden. Weiterhin wurde eine kürzere Reaktionszeit für die Entdeckung von Gefahren in der Fahrszene beim Einsatz vom HUD im Vergleich zum HDD gemessen.

##### *Cognitive Capture*

Mit Cognitive Capture wird das Phänomen der unbewussten Aufmerksamkeitsverschiebung bezeichnet. Diese resultiert in einer Einschränkung der aufgewendeten Aufmerksamkeit für das Verkehrsgeschehen und stellt eine unangepasste Aufmerksamkeitsverteilung (näheres ist im Kapitel 3.1.2.1 nachzulesen) dar. Dadurch ist es möglich, dass in kritischen Situationen relevante Informationen nicht erfasst werden und eine verspätete oder das Ausbleiben einer notwendigen Reaktion folgt.

Da dieser Effekt dem Fahrer nicht bewusst ist und er durch die Positionierung des HUD die Straße parafoveal wahrnimmt, besteht die Vermutung, dass es zu gefährlichen Situationen kommen könnte. Genau dies widerspricht dem intendierten Nutzen des HUDs, einen schnellen Wechsel zwischen den Displayinformationen und der Fahrszene zu ermöglichen. Cognitive Capture wird aus diesem Grund als das Hauptproblem beim Einsatz von HUDs genannt [Gish 95] [Tufa 97] [Wein 92].

Das Phänomen wurde bei kognitiv stark beanspruchten Piloten festgestellt [Iari 91]. Im Fahrkontext haben sich mehrere Studien mit der Thematik befasst und keine hat nachweisen können, dass beim Ablesen von Informationen im HUD dieser Effekt aufgetreten ist [Horr 03-2] [Kief 00] [Sojo 90]. Explizit mit der Darstellung von

Navigationshinweisen hat sich das US Department of Transportation auseinandergesetzt [Adis 98].

Alle Untersuchungen im Fahrsimulator haben eine bessere Entdeckungsleistung beim Einsatz des HUDs im Vergleich zu einem HDD bestätigen können. Der Zeitvorteil bei der Reaktion auf unerwartete Ereignisse beträgt 440 ms [Gish 95]. Die Fahrleistung wurde nicht messbar beeinträchtigt. Zusammenfassend aus den Ergebnissen wurde postuliert, dass das Phänomen in erster Linie von der verursachten Beanspruchung und der zeitlichen Ungewissheit kritischer Fahrsituationen abhängt [Gish 95].

Auch das US Department of Transportation konnte keine Nachteile oder eine Aufmerksamkeitsverschiebung durch das HUD feststellen und empfahl die Darstellung von einfachen Navigationshinweisen. Dennoch warnen die Forscher vor dem Phänomen Cognitive Capture in Abhängigkeit von der Menge an angezeigten Informationen, beim Auftauchen unbekannter Symbole und bei der Bewegung von Anzeigehalten im HUD.

Es ist hervorzuheben, dass Cognitive Capture nur im Zusammenhang mit der Präsentation von Informationen untersucht wurde. Eine der Zielsetzungen in dieser Arbeit, die Anzeigefläche im HUD auf die Interaktion auszuweiten, fordert eine Untersuchung dieses Effektes unter diesen Bedingungen. Die Antworten liefert das Experiment „Wechsel vom Präsentations- zum Interaktionsmedium“, das im Kapitel 3.2.4 vorgestellt wird.

#### *Perceptual Tunneling*

Aus der Theorie hergeleitet würde eine Erhöhung der Beanspruchung zur Verengung des Blickfeldes führen. Durch den Aufmerksamkeitsfokus würde die periphere Wahrnehmung eingeschränkt werden, was dazu führen würde, dass Reize im peripheren Blickfeld seltener entdeckt werden. Dieses Phänomen wird als Perceptual oder Cognitive Tunneling bezeichnet [Boss 97].

In der Untersuchung zum Perceptual Tunneling unter realen Fahrbedingungen konnte dieser Effekt nicht nachgewiesen werden [Reca 03]. Bis heute konnte dieses Phänomen weder nachgewiesen noch ausgeschlossen werden.

#### *Situationsbewusstsein*

Situationsbewusstsein ist ein Konstrukt, das das Vorgehen von Menschen in komplexen dynamischen Situationen beschreibt. Dabei steht die Verfolgung mehrerer Ziele oder mehrerer auszuführender Aufgaben mit unterschiedlicher Relevanz im Fokus. Die Theorie wird im Kapitel 5.1.1 ausführlich behandelt.

Der Einfluss des HUDs auf das Situationsbewusstsein wurde ebenfalls in der Flugforschung entdeckt. In einer Landeanflugstudie wurde festgestellt, dass bei schlechten Sichtverhältnissen 2 von 8 Piloten bei der Zuhilfenahme des HUD beim Landeanflug andere unerwartet auf der Landebahn erscheinende Flugzeuge übersehen [Hain 91]. Dies ist eines der Hinweise auf den Einfluss des HUDs auf das Situationsbewusstsein. Der Zusammenhang wurde bis heute noch nicht im Fahrkontext untersucht. Diese Lücke wird im Kapitel 5.1 dieser Arbeit geschlossen.

### **3.1.3.2 Einfluss des Alters**

Die heutige Gesellschaft wird in Zukunft mit einer noch stärkeren Verschiebung in der Alterspyramide konfrontiert. Dies führt zu einer immer größeren Anzahl an älteren Fahrern im Straßenverkehr. Daher ist einer der Schwerpunkte der Forschung den Einfluss des Alters auf das Fahrverhalten zu quantifizieren, um die Bedürfnisse dieser Fahrer berücksichtigen zu können. Es ist nachgewiesen, dass die Fahrleistung aufgrund der geringeren kognitiven Belastbarkeit und der nachlassenden visuellen

Wahrnehmungsfähigkeit mit dem Alter abnimmt. In den nachfolgenden Situationsszenarien [Klin 92] sind Probleme mit zunehmendem Alter zu erwarten:

1. Ablesen von Anzeigen im Display
2. Einschätzung der Geschwindigkeit
3. Schnelles Ablesen von Straßen- und Verkehrsschildern
4. Sehen im Nebel oder bei grellem Licht
5. Überraschungseffekt bei unerwarteten Ereignissen

In den meisten hier erwähnten Situationsszenarien kann ein HUD den Fahrer auf eine adäquate Weise unterstützen.

Mit dem Alter lässt die Fähigkeit des Auges auf nahe Objekte zu fokussieren nach, was zur Altersweitsichtigkeit (Presbyopie) führt. Dabei liegt die durchschnittliche Ruheakkommodation des Auges bei Menschen über 40 Jahren bei ca. 0,5 Dioptrien [Sojo 90]. Dies entspricht einer optischen Entfernung von 2 Metern. In dieser Ebene kann das Auge Objekte fixieren ohne zu fokussieren. Aus diesem Grund empfehlen Gish und Staplin ein HUD-Fokus von 2,5 bis 4 Meter [Gish 95]. Es wurde nachgewiesen, dass Personen mit Presbyopie weniger Schwierigkeiten bei der Nutzung eines HUD gegenüber einem HDD haben [Adis 98].

Der schlechteren Einschätzung von Geschwindigkeit kann ebenfalls durch den Einsatz des HUD entgegengewirkt werden. Die Geschwindigkeit wird im HUD gegenüber dem Kombiinstrument schneller und häufiger kontrolliert. Dabei ist die kumulierte Blickdauer im HUD trotz häufigerer Blickabwendung von der Straße geringer als im Kombiinstrument [Geng 97].

Den Überraschungseffekt bei unerwarteten Ereignissen kann man nicht verhindern, aber das HUD trägt dazu bei, dass ältere Fahrer signifikant schneller auf diese Ereignisse reagieren, wenn die Informationen im HUD statt im HDD abgelesen werden [Kief 00].

### 3.1.3.3 Ergonomische Standards und Richtlinien

Die Anpassung des Fahrzeugs an die menschlichen Bedürfnisse wird in der Automobilindustrie durch unterschiedliche Vorgaben geregelt. Alle Standards und Richtlinien für die Gestaltung von FAS und FIS sind sehr allgemein gehalten und haben vor allem Gültigkeit für HDDs. Trotzdem dienen diese Vorgaben und Leitlinien als Grundlage für die Informationsgestaltung im HUD.

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) beschreibt in der ISO 15005 die ergonomischen Grundlagen für die Entwicklung von Dialogen zwischen dem Fahrer und den Systemen (FIS & FAS) im Kraftfahrzeug. Die Anforderungen und Empfehlungen tragen der ständig höher priorisierten Fahraufgabe Rechnung. Somit sollen alle Systeme im Fahrzeug darauf ausgelegt sein, den Fahrer nicht zu stark abzulenken und keine ständige Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum zu erfordern. Der Fahrer muss immer in der Lage sein eine Hand am Lenkrad zu belassen und die Kontrolle über das System zu behalten. Daher muss die Interaktion immer unterbrechbar sein. Es wird empfohlen, Informationen in stets kleinen, übersichtlichen Mengen darzubieten und zu achten, dass der Erwartung des Benutzers sofort und konsistent entsprochen wird.

Das HUD ist wegen seiner halb-transparenten Darstellungsform und der virtuellen Anzeige außerhalb des Fahrzeuges nicht mit den andern Displays vergleichbar. Aus diesem Grund können die Vorgaben aus der ISO 15008, die Empfehlungen für die Anzeigeposition und -größe, Farbwahl, Kontrastverhältnisse und Reflexionen nicht angewandt werden. Nur die Vorgabe über die notwendige Schriftgröße kann auf das HUD übertragen werden.

Das European Statements of Principles (ESoP) ist die Empfehlung der europäischen Kommission zum Design von „Transport Information and Control Systems“ (TICS). Darin werden die Rahmenbedingungen für die Gestaltung von MMI im Fahrzeug gesteckt. Es

geht nicht auf das HUD gesondert ein. Daher werden nachfolgend nur einige wichtige Ziele der Informationsgestaltung aufgezählt:

- Primär wird verlangt, dass das System den Fahrer bei der Fahraufgabe unterstützt und ihm in keiner Weise schadet, ihn ablenkt oder irreführt.
- Die Ablenkung, die das System für den Fahrer darstellt, muss mit der Fahraufgabe kompatibel sein. Das bedeutet, dass die Bedienung einfach genug sein muss, um sicherzustellen, dass noch ausreichend Ressourcen für die primäre Fahraufgabe unberührt bleiben.
- Es ist auf hohe Konsistenz und Kompatibilität der Systeme untereinander zu achten, um Verwirrung beim Fahrer zu vermeiden.

Es existieren keine weiteren ergonomischen Regelungen für die Entwicklung von ABKs im HUD. Doch einige Studien liefern Grundlagen für die Informationsgestaltung.

#### *Schriftgröße*

Die nötige Schriftgröße für zuverlässig ablesbare Zeichen wird in einer Studie zur Sichtbarkeit des HUDs mit 0.8 Grad Sehwinkel angegeben [Inuz 91].

Eine Empfehlung von Geiser [Geis 85] setzt deutlich kleiner an und separiert die Anzeigen nach Inhalten:

- Jegliche Details: 3" (0.05°)
- Alphanumerische Zeichen: 12" (0.2°)
- Alphanumerische Zeichen bei Nacht: 17" (0.3°)
- Sicher ablesbar: 25" (0.4°)

Andererseits werden in der genannten ISO-Norm und auch von Weintraub und Ensing [Wein 92] als minimale Anzeigengröße von Schrift oder Symbolen im HUD ca. 20 Bogenminuten, was einem Winkel von 0,33 Grad entspricht, empfohlen.

Die Breite der Buchstaben sollte 75% der Höhe und der Abstand zwischen den einzelnen Buchstaben 50% der Zeichengröße betragen [Wein 92].

#### *Auflösung*

Die Auflösung von Anzeigen von 60 px/° wird aufgrund der Auflösung des menschlichen Auges empfohlen. Dabei werden 16 Zeilen pro Buchstabenhöhe und 20 Zeilen pro Symbolhöhe (keine Alphanumerik) bei einem Zeilenabstand von 3-5 Bogenminuten als gut lesbar eingestuft [Wein 92].

#### *Positionierung*

Die optimale Positionierung für Text, bezogen auf Ablesbarkeit und Reaktionszeit in einem großflächigen HUD (vertikal -5° bis 7°, Horizontal 33°), wurde auf -5° vertikal und 5° horizontal nach rechts versetzt vom primären Sichtstrahl des Fahrers ermittelt. Mit zunehmender horizontaler Verschiebung wurde die Entdeckungszeit messbar geringer [Tsim 01].

#### *Farbwahl*

Aufgrund des sich ständig ändernden Hintergrundes ist die Farbwahl für die Darstellung von Informationen im HUD eingeschränkt. Um eine durchgängige Ablesbarkeit zu gewährleisten, sind Farben, die in der Umwelt selten vorkommen, zu bevorzugen. Die Empfehlung lautet, nicht mehr als vier Farben zu verwenden, die im Spektrum weit voneinander entfernt liegen. Insbesondere die Farben Rot und Blau sind wegen Kompatibilitätsproblemen bei Nachtsicht zu vermeiden [WeEn 92].

BMW verwendet Rot für Warnmeldungen, Gelb für Statusmeldungen und Grün für die Setzgeschwindigkeit des Tempomats bzw. der automatischen Abstandsregelung (ACC). Orange werden die sonstigen Anzeigen im HUD dargestellt.

Somit sind in den letzten drei Abschnitten der Stand der Wissenschaft, die Rahmenbedingungen durch die menschliche Wahrnehmung, sowie der gesetzliche und ergonomische Rahmen für die Gestaltung der Anzeigen im HUD vorgestellt worden. Offene Fragestellungen wurden aus der Literatur herausgearbeitet und zu Untersuchungsschwerpunkten erklärt.

Im nachfolgenden Kapitel werden Experimente vorgestellt, die als Resultat eine Guideline für die Gestaltung von Informationen im HUD als Ziel haben.

## **3.2 Untersuchungen zu Anzeigeninhalten und Informationsgestaltung**

Die zwei Fragen „Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?“ und „Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?“ bilden die Basis für die Fragestellungen der nachfolgenden zwei Experimente. Diese fungieren als Grundlagenuntersuchungen, um den Umgang mit der Anzeigefläche zu analysieren.

Im ersten Experiment werden Darstellung und Anwendung verschiedener Gestaltungsmittel im HUD untersucht. Dabei wurde auf ein Versuchsdesign im Usability-Labor zurückgegriffen.

Im zweiten Versuch wird der Wechsel im HUD von der reinen Präsentation zum Anzeigort für die Interaktion mit Informationen untersucht. Dieser Fahrversuch im Fahrsimulator bildet die Basis für den Einsatz von Interaktion im HUD.

Bevor die einzelnen Experimente näher beschrieben werden, folgt eine kurze Zusammenfassung der statistisch angewandten Verfahren, um die Grundlage für das Verständnis der Ergebnisse zu schaffen. Anschließend wird der genutzte Aufbau im Fahrsimulator beschrieben. Dieser bildet ebenfalls die Basis für die meisten in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen.

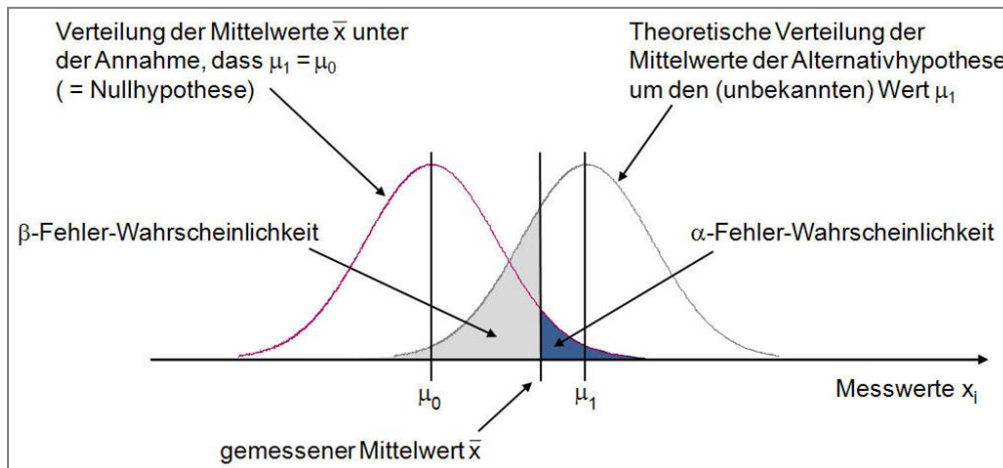
### **3.2.1 Statistische Grundlagen**

Aufgrund unterschiedlicher Fragestellungen und einer Vielzahl an Faktoren und erfassten Variablen werden in der Auswertung hauptsächlich multivariate Analysemethoden im Einsatz sein. Daher wird in dieser Zusammenstellung der Schwerpunkt auf diese gelegt. Wenn nicht anders vermerkt, stammen die Informationen aus [Kren 05] [Bortz 05] [Back 03] [Krey 91] [Rasc 02]. Auf diese Werke wird bei weiterem Interesse verwiesen.

#### *Hypothesen*

Jede Untersuchung beginnt mit einer Hypothesengenerierung, die auf den Fragestellungen aufbaut. Die Alternativhypothese H1 enthält die eigentliche Aussage. Die Nullhypothese H0 enthält meist die Aussage, dass kein Unterschied zwischen zwei Stichproben besteht. Bei gerichteten Hypothesen wird die erwartete Richtung des Unterschiedes unterstellt, während bei ungerichteten Hypothesen nur ein Unterschied

postuliert wird. Die Annahme einer Hypothese bedeutet nur, dass die beobachteten Daten keinen hinreichenden Anlass zur Verwerfung der Hypothese bieten. Innerhalb eines Modells sind zwei Arten von Fehlern möglich: Wenn eine Hypothese verworfen wird obwohl sie wahr ist, führt es zum Fehler erster Art ( $\alpha$ -Fehler). Dieser stellt die Irrtumswahrscheinlichkeit dar. Wird die Hypothese fälschlicherweise angenommen, wird der Fehler als Fehler zweiter Art oder  $\beta$ -Fehler genannt. Diese Bereiche sind in der Abbildung 29 dargestellt.



**Abbildung 29: Darstellung der  $\alpha$ -Fehler- und  $\beta$ -Fehler-Wahrscheinlichkeit wobei  $\mu_0$  der jeweilige Mittelwert ist [Bubb 03]**

Das Signifikanzniveau gibt die Grenze für die Irrtumswahrscheinlichkeit an, bei der die Nullhypothese zugunsten der Alternativhypothese verworfen wird. In dieser Arbeit wird das Signifikanzniveau auf 5% festgelegt.

### Stichproben

Unabhängige oder verbundene Stichproben (between-subjects-design) setzen sich aus Versuchskollektiven, die aus verschiedenen Personen bestehen, zusammen. Dabei muss die Stichprobengröße nicht gleich groß sein. Bei abhängigen Stichproben wird auf Veränderungen innerhalb der gleichen Versuchsperson geprüft (within-subject-design). Diese Form des Versuchsdesigns ist zu bevorzugen, weil Varianzen zwischen den Versuchspersonen statistisch herausgerechnet werden und somit Veränderungen leichter nachweisbar sind.

Die Größe der Stichprobe spielt eine entscheidende Rolle für verlässliche statistische Aussagen [Bubb 03]. Die Berechnungsvorschrift für die nötige Anzahl an Versuchspersonen lautet:

#### Formel 5: Berechnungsvorschrift für die Anzahl der Versuchspersonen

$$n = k!$$

$n$  = Anzahl der nötigen Versuchspersonen

$k$  = Anzahl an Versuchsvarianten oder Bedingungen

### Deskriptive Statistik

Um Messdaten zu beschreiben, wird die deskriptive Statistik verwendet. Dazu gehören Perzentile, Median, Modus, Minimum und Maximum, sowie das arithmetische Mittel, die



Standardabweichung und Varianz einer Verteilung. Varianz ist das Quadrat der Standardabweichung und kann als die mittlere quadratische Abweichung („mean sum of squares“) bezeichnet werden. Das x-te Perzentil ist ( $P_x$ ) diejenige Merkmalsausprägung, die x% der Verteilungsfläche abschneidet.

Die Auswahl der entsprechenden deskriptiven Statistik hängt dabei von der Messskala und der Verteilungsform der Daten ab.

#### *Skalenniveau*

Entscheidend für die Anwendbarkeit von Rechenoperationen auf die Messdaten ist deren Skalenniveau. Durch dieses wird der Informationsgehalt der Daten bestimmt. Nominalskala stellt Klassifizierungen qualitativer Eigenschaftsausprägungen dar. Die Zuordnung der Ausprägungen ist eindeutig, aber weitere Rechenoperationen, außer Angabe von Häufigkeiten, können mit diesen Parametern nicht durchgeführt werden. Eine Ordinalskala erlaubt eine Aufstellung der Rangordnung mit Hilfe von Rangwerten. Diese sagen nichts über die Abstände der einzelnen Ausprägungen aus. Aus diesem Grund sind neben Häufigkeiten nur deskriptive Angaben wie z.B. Median zulässig. Diese beiden Skalen werden als nichtmetrisch bezeichnet. Eine Intervallskala weist gleichgroße Skalenabschnitte aus, daher besitzen die Differenzen der intervallskalierten Daten einen Informationsgehalt. Dieses Skalenniveau erlaubt die Addition und Subtraktion der Daten. Die zulässigen statistischen Maße zu den oben erwähnten, sind Mittelwert und Standardabweichung. Das höchste Messniveau besitzt die Ratio- oder Verhältnisskala. Sie weist einen natürlichen Nullpunkt, der sich für das betreffende Merkmal als „nicht vorhanden“ interpretieren lässt. Diese Daten weisen infolge der Fixierung des Nullpunktes auch einen Informationsgehalt für den Quotienten der Datenpunkte. Ratioskalierte Daten erlauben die Anwendung aller arithmetischen Operationen, sowie aller erwähnten statistischen Maße. Zusätzlich lassen sich das geometrische Mittel und Variationskoeffizienten angeben.

Je höher das Skalenniveau ist, desto größer ist der Informationsgehalt der Daten und desto mehr Rechenoperationen und statistische Maße lassen sich auf die Daten anwenden.

#### *Testverfahren*

Basierend auf der beurteilenden Statistik (Interferenzstatistik) ist es möglich, statistische Gesetzmäßigkeiten nachzuweisen. Diese lassen dann mit einer bestimmten Zuverlässigkeit den Schluss auf die Grundgesamtheit zu.

Die anzuwendenden Methoden der Interferenzstatistik werden je nach Art der Stichprobe, der Verteilung der Daten, des Messdatenniveaus und der Anzahl der zu vergleichenden Varianten bestimmt. Eine Normalverteilung der metrischen Daten ist Voraussetzung für alle parametrischen Verfahren der Interferenzstatistik. Andernfalls werden nicht-parametrische Methoden angewendet. Ob die Daten einer Normalverteilung folgen, kann mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft werden.

Nicht-parametrische Verfahren für ordinalskalierte Daten beruhen auf der Rangbildung der Messwerte. Der Mann-Whitney U-Test kommt bei abhängigen Stichproben zum Einsatz, Wilcoxon Test bei unabhängigen Stichproben und als Rangvarianzanalyse dient der Kruskal-Wallis H-Test.

Die Auswertung von nominalskalierten Daten, wie sie bei Fragebögen oder Fahrfehlerkatalogen vorkommen, erfolgt anhand der Chi-Quadrat ( $\chi^2$ ) Methode. Diese eignet sich zur Analyse der Häufigkeiten und prüft anhand der beobachteten und der erwarteten Häufigkeit der verschiedenen Ausprägungen einer abhängigen Variable die statistische Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren.

Parametrische Tests lassen aber eine weiter reichende Aussage über das Ergebnis zu. Die Grundlage für Mittelwertvergleiche in dieser Kategorie von Verfahren ist der T-Test.

Dieser vergleicht die Mittelwerte zweier Gruppen und prüft, wie wahrscheinlich eine gefundene Mittelwertdifferenz unter der Annahme der Nullhypothese ist. Ist die ermittelte Wahrscheinlichkeit unter der Nullhypothese gering, so besteht mit einer bestimmten Fehlerwahrscheinlichkeit  $\alpha$  ein systematischer Unterschied zwischen den beiden betrachteten Gruppen.

Wenn mehr als zwei Bedingungen oder abhängige Variablen verglichen werden sollen, werden multivariate Analysemethoden angewendet.

#### *Multivariate Analysemethoden*

Multivariate Datenanalysen können in struktur-entdeckende und struktur-prüfende Verfahren eingeteilt werden. Das Ziel der struktur-entdeckenden multivariaten Analyseverfahren ist die Entdeckung von Zusammenhängen zwischen Variablen oder Objekten. Sie liefern Antworten auf sogenannte „offene Fragen“. Dazu gehören die Faktorenanalyse, Clusteranalyse, Multidimensionale Skalierung, Korrespondenzanalyse und die Neuronale Netze. Die strukturen-prüfenden Verfahren haben das Ziel aus sachlogischen oder theoretischen Überlegungen Zusammenhänge zwischen Variablen zu überprüfen. Einige Vertreter dieser Verfahren sind die Regressionsanalyse, Varianzanalyse, Diskriminanzanalyse und Kontingenzanalyse.

Varianzanalyse ist das wichtigste Analyseverfahren für experimentelle Untersuchungen. Dabei wird die Wirkung einer (oder mehrerer) unabhängigen Variable auf eine (oder mehrere) abhängige Variablen analysiert. Die abhängigen Variablen müssen ein metrisches Niveau aufweisen, wobei die unabhängigen Variablen nominalskaliert vorliegen können. Die unabhängigen Variablen werden als Faktor bezeichnet und die einzelnen Ausprägungen Faktorstufen. Den Hypothesen liegt eine Vermutung über die Wirkungsrichtung der Variablen zugrunde.

Die Varianzanalyse beruht auf einer rein arithmetischen Zerlegung der „Quadratsumme“ (Summe der Quadrate der Abweichungen der Stichprobenwerte vom Mittelwert) in eine Summe von Bestandteilen, deren jeder einer bestimmten Variationsursache entspricht. Das bedeutet, dass eine Gesamtabweichung in eine durch einen Faktor erklärte Abweichung und die restliche nicht erklärte Abweichung aufgeteilt wird. Bei der mehrfaktoriellen Varianzanalyse wird die Gesamtabweichung auf mehrere Faktoren und einen nicht erklärbaren Rest aufgeteilt. Dabei müssen die Einflüsse zwischen und innerhalb der Faktoren berücksichtigt werden. Diese hat für zwei Faktoren folgende Form:

#### **Formel 6: Gesamtabweichung bei einer zweifaktoriellen Varianzanalyse**

$$y_{ghk} = \mu + \alpha_g + \beta_h + (\alpha\beta)_{gh} + \varepsilon_{ghk}$$

$y_{ghk}$  = Beobachtungswert

$\mu$  = Mittelwert der Grundgesamtheit

$\alpha_g$  = tatsächlicher Einfluss des ersten Faktors

$\beta_h$  = tatsächlicher Einfluss des zweiten Faktors

$(\alpha\beta)_{gh}$  = tatsächlicher Interaktionseffekt zwischen der g-ten Stufe des ersten Faktors und der h-ten Stufe des zweiten Faktors

$\varepsilon_{ghk}$  = Zufallseffekt durch nicht im Experiment kontrollierte Einflüsse

Weiterhin wird innerhalb dieses Verfahrens die Aufteilung der Abweichungen auf Zuverlässigkeit geprüft. Ist der  $\alpha$ -Fehler des entsprechenden statistischen Verfahrens

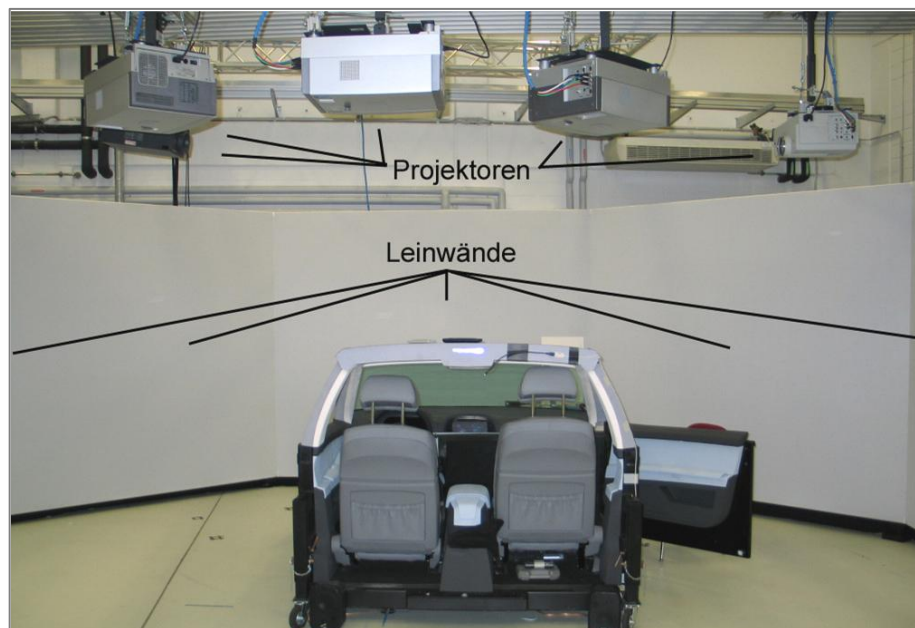
kleiner oder gleich 5%, kann mit der akzeptierten Irrtumswahrscheinlichkeit ein statistisch bedeutsamer Einfluss der unabhängigen Variable nachgewiesen werden.

### 3.2.2 Aufbau im Fahrsimulator

Bevor die Experimente vorgestellt werden wird der mechanische Aufbau im Fahrsimulator erklärt. Die Anbindung der einzelnen Komponenten baut auf der im Kapitel 2.3.3 vorgestellten Architektur auf.

#### 3.2.2.1 Simulator

Der statische Simulator der BMW Group setzt sich zusammen aus der Sitzkiste, die im Halbkreis von fünf Leinwänden umgeben ist (Abbildung 30). Auf diese Leinwände wird durch fünf Projektoren eine 180 Grad - Ansicht der virtuellen Fahrszene projiziert. Für die Rückansicht im Innenspiegel und den beiden Außenspiegeln werden hinter der Sitzkiste drei 42 Zoll große Plasmabildschirme aufgestellt. So wird für den Fahrer eine Rundumsicht auf die virtuelle Umgebung gewährt.



**Abbildung 30: Aufbau Fahrsimulator**

Die Simulationsumgebung namens SPIDER<sup>8</sup> erzeugt die virtuelle Fahrszene. SPIDER besteht aus acht leistungsstarken Grafikrechnern für acht Bildkanäle (einer pro Projektor oder Plasmabildschirm) und vier Rechnern zur Modellberechnung der Simulation. Die Kommunikation mit der angebotenen Peripherie, die aus FLORIS, der Cosimulation, und der Sitzkiste besteht, erfolgt über CAN und Interlink an einem weiteren Rechner (Kapitel 2.3.3). Über diese Kanäle werden beispielsweise das Drehmoment-Feedback am Lenkrad in der Sitzkiste angesteuert oder die Nachrichten und Statusanzeigen (Trigger für Menüunterbrechungen, Identifier für Art der anzuzeigenden Meldung, Geschwindigkeit, Drehzahl, Blinkeraktivität etc.) für eine Anzeige im Fahrzeug an

<sup>8</sup> Software Programming Interface for Distributed Realtime Driving Simulation [Stro 03]

FLORIS übermittelt. Die CAN-Schnittstelle dient dem Empfang von Daten aus der Sitzkiste wie z.B. Gaspedalstellung, Lenkradsignale, Blinkerstellung etc. und die Eingaben am Lenkradbedienelement zur Menübedienung und der PDT. SPIDER zeichnet die für eine spätere Auswertung relevanten Daten der Simulationsfahrt auf und speichert diese in CSV-Dateien (Comma-Separated-Values) ab.

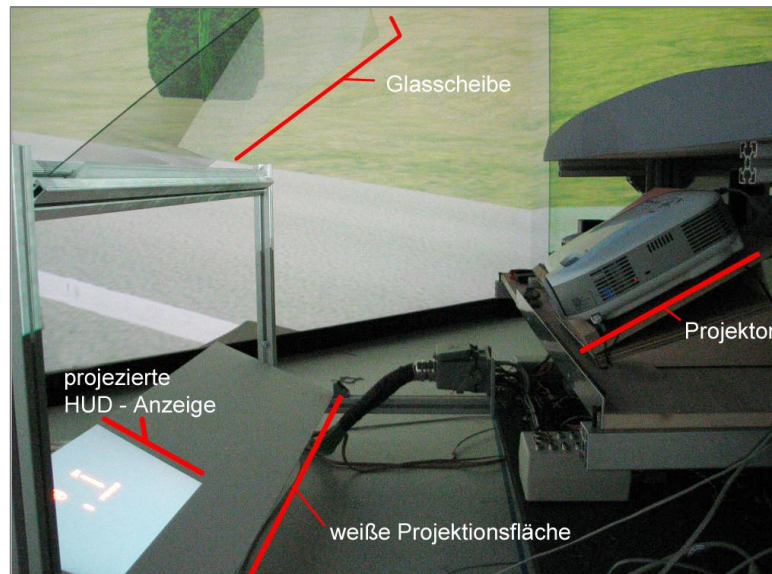
Auf einem weiteren PC läuft eine in Matlab und Simulink implementierte Cosimulation. Diese empfängt sämtliche Daten von SPIDER und verarbeitet sie in Echtzeit. Dazu gehörten unter anderem der Abstand und die Relativgeschwindigkeit zwischen Leit- und Egofahrzeug sowie die Spurlage der Fahrzeuge. Diese wurden berechnet und protokolliert. Weitere Berechnungsmodelle für Fahrerassistenzsysteme oder ähnliches können dort implementiert und berechnet werden. Über Interlink/UDP werden diese Daten in Echtzeit an SPIDER übermittelt und fließen dort in die Modellberechnung der Fahrsimulation mit ein.

### **3.2.2.2 Sitzkiste und die Positionierung der Displays**

Die Sitzkiste ist ein 1:1 Modell eines BMW 7er aus Hartschaum. Der Aufbau des Fahrzeuginnenraums wurde von der Windschutzscheibe über die Armaturentafel und Mittelkonsole bis zu den Vordersitzen umgesetzt. Das Lenkrad mit Drehmoment-Feedback, ein Gas- und ein Bremspedal sowie zwei hochauflösende TFT-Bildschirme, an den Positionen des Kombiinstruments und des CIDs wurden funktionsfähig verbaut. Das CID ist im oberen Bereich der Mittelkonsole positioniert.

Daneben wurde der in Kapitel 2.3.3 beschriebene Fahrzeug-PC installiert und an CAN-Bus und Netzwerk von SPIDER, sowie an die verbauten Displays (HUD, Kombi, CID) angeschlossen. Das Kombiinstrument konnte auf diese Weise mittels FLORIS (Kapitel 2.3.3) grafisch nachgebildet werden.

Die beiden HUDs (primär und sekundär) wurden mittels einer Combinerscheibe in die Fahrszene eingeblendet. Das Primär-HUD befand sich an der im Fahrzeug verbauten Position. Das Sekundär-HUD wurde um  $12^\circ$  nach rechts vom Primärsichtstrahl des Fahrers verschoben. Vertikal befand es sich in der üblichen Position von  $4^\circ$  unter dem vom Fahrer wahrgenommenen Horizont. Ein LCD-Projektor vor der Sitzkiste (Abbildung 31) erzeugte die Abbildung der beiden HUDs, indem er das darzustellende Bild auf eine weiße, ebene Kunststoff-Fläche projizierte. Dieses Bild auf der weißen Fläche wurde daraufhin mit Hilfe der Combiner-Scheibe in das Sichtfeld der Versuchspersonen eingespiegelt. Position, Entfernung und Größe des Bildes entsprachen den Vorgaben aus dem Serienfahrzeug. Diese Technik ermöglicht eine realere Darstellung der Head-Up Displays als eine direkte Projektion auf die Leinwand durch den Projektor. Es entsteht der räumliche Eindruck, als schwebte die Anzeige zwischen Fahrer und Leinwand in der Luft, ähnlich wie es im Realfahrzeug zwischen Fahrer und Fahrszene der Fall ist.



**Abbildung 31: Head-Up Display im Simulator**

### 3.2.2.3 Blickerfassung

Um das Blickverhalten und die Blickdauer auf bestimmte Bereiche in der Fahrscene, z.B. HUD oder CID zu analysieren, wurde das Blickerfassungssystem DIKABLIS [ @ Dika] eingesetzt. Es ist ein kopfbasiertes System (head-mounted) mit zwei an einer Brille verbauten Kameras, wie in der Abbildung 32 zu sehen ist.



**Abbildung 32: Blickerfassungssystem DIKABLIS**

Das System kann unabhängig vom Koordinatensystem genutzt werden, da alle Module (Feldkamera, Augenkamera und Sender) in der Head-Unit untergebracht sind. Die Versuchsperson hat kaum Einschränkungen in der Bewegungsfreiheit. Die Kalibrierung erfolgt mit Hilfe der Software und kann im Nachhinein auch offline nachgebessert werden. Die Feld und Augenkamerabilder werden zu „Gaze movies“ überlagert, die es ermöglichen, das Blickverhalten des Probanden zu verfolgen. Die Auswertung erfolgt manuell, wobei die Software eine gute Unterstützung bietet.

Das System eignet sich für Simulatorstudien wie auch Untersuchungen im Feld, um das Blickverhalten zu erfassen. Eine Anbindung an den Fahrsimulator wurde ebenfalls umgesetzt.

### 3.2.3 Experiment 1: Anwendung von Gestaltungsmitteln für die Informationsdarstellung im HUD

Das erste Experiment gibt Antworten auf die Frage „Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?“. Es ist eine Grundlagenuntersuchung um den Umgang mit der Anzeigefläche zu analysieren. Dabei werden Darstellung und Anwendung verschiedener Gestaltungsmittel im HUD untersucht. Entsprechend der Fragestellung wurde ein Versuch im Usabilitylabor entwickelt und durchgeführt [Raub 08].

Dabei wird der Einfluss unterschiedlicher gestalterischer Mittel für die Darstellung von Informationen untersucht. Diese Untersuchung erfolgte in der Anzeigengröße eines Primär-HUDs. Wenn die Anwendung der Mittel auf einer kleineren Fläche von Vorteil ist, wird sie in einer größeren Anzeigefläche ebenfalls einsetzbar sein. Daher sind die Ergebnisse auch auf eine größere Anzeigefläche anwendbar. Es werden verschiedene gestalterische Mittel am Beispiel einer Menüinteraktion genutzt, die im Hinblick auf Verständnis, Übersichtlichkeit, Verwendbarkeit und Akzeptanz untersucht wurden:

- Ein- und Ausblenden („fading“) grafischer Elemente
- Animation - Darstellung eines bewegten Bildes
- Laterale Verschiebung – Animation, gekoppelt an eine Bewegung in horizontaler Richtung
- Verschieben – Verlassen einer „gewohnten“ Anzeigeposition
- Skalierung – Variation im Detailgrad und/oder Größe der Anzeigeeinhalte
- Transparenz wird aufgeteilt in :
  - Dimmen - Reduktion der Leuchtstärke
  - „ Zoom in die Ferne “ - Dimmen in Verbindung mit einer Verkleinerung (Skalierung)
  - Überdeckung und Überlappung von Einzelobjekten
- Ausblenden von Anzeigeeinhalten
- Verwendung von Symbolik und Text
- Doppelbelegung von Tasten am Bedienelement
- Popup<sup>9</sup>-Fenster :
  - Konsistenz
  - Interferenz
  - Verwendung von Symbolik und Text

Die verwendete Schriftgröße betrug 23“ des Seh winkels der Probanden. Für Animationen wurde eine Dauer von 300 ms gewählt. Diese hat sich im automotiven Umfeld als vorteilhaft erwiesen [Broy 06].

---

<sup>9</sup> Popup-Fenster - Kontextmenü mit Befehlen, die das Objekt oder dessen unmittelbaren Kontext betreffen.

### 3.2.3.1 Fragestellung

Mittels einer Bewertung durch Experten und Novizen wurde untersucht, welche der aufgezählten Gestaltungsmittel für ein HUD-Konzept in Frage kommen. Dabei halfen Fachwissen, Erfahrung der Experten und deren Kritik, die Machbarkeit des Konzepts und die Einflüsse auf Ablenkung und Fahrverhalten einzuschätzen. Auf der anderen Seite konnte mit Hilfe der Novizen die Gebrauchstauglichkeit und die Likeability<sup>10</sup> abgeschätzt werden.

Mit dieser Methode ist es möglich mit einer kleinen Stichprobe die Machbarkeit und Tendenzen verschiedener Konzepte abzuschätzen. Hier wurde der Schwerpunkt auf die gestalterischen Mittel, die man für eine höherwertige Informationsdarstellung im HUD verwenden kann, gelegt.

### 3.2.3.2 Methodisches Vorgehen

Der Usability<sup>11</sup>-Versuch erfolgte an einem Tischaufbau, mit einer dem Serienfahrzeug nachempfundenen Projektion des Head-Up Displays vor einer auf DIN A0 ausgedruckten Fahrscene in einem Kreuzungsbereich. Abbildung 33 zeigt den Tischaufbau des Versuchs. Die roten Pfeile symbolisieren den Strahlengang vom Bildschirm für das HUD über die Combinerscheibe hin zur Versuchsperson und den Entstehungsort des virtuellen Bildes. Abbildung 33 rechts zeigt einen Ausschnitt aus dem Sichtfeld der Versuchsperson während der Versuchsdurchführung.



Abbildung 33: Usability-Versuch Tischaufbau (links) und virtuelles Bild (rechts)

#### *Ablauf und Fragebögen*

Am Anfang des Versuches bekamen die Versuchspersonen eine kurze Einführung zum Head-Up Display und dem Menü. Zur Eingewöhnung wurden einige Bedienungsaufgaben gestellt, beispielsweise die Auswahl eines Radiosenders. Daraufhin präsentierte der Versuchsleiter die zu bewertenden Anzeigeeinhalte, gestalterischen Mittel und drei unterschiedliche Darstellungen von Popup-Fenstern. Der Teilnehmer hatte die Aufgabe zwei übereinanderliegende Varianten, wie in Abbildung 33 rechts dargestellt, zu bewerten. Eine der beiden Varianten wurde mit Hilfe eines gestalterischen Mittels, z.B. Transparenz oder Verschiebung, und die andere ohne Nutzung desselben umgesetzt. Anschließend

<sup>10</sup> Likeability beschreibt die Sympathie / Beliebtheit eines Produkts.

<sup>11</sup> Usability entspricht der Benutzerfreundlichkeit oder Gebrauchstauglichkeit.

erfolgten gezielte Fragen zu Verständnis, Übersichtlichkeit, Verwendbarkeit und Akzeptanz mittels Fragebögen.

Im zweiten Versuchsteil wurden drei Popup-Fenstervarianten gezeigt. Bewertet wurden diese Systeme ebenfalls mittels gezielter Fragen, wie im ersten Versuchsteil und zusätzlich durch den standardisierten Fragebogen System Usability Scale (SUS). Dieser wurde von Digital Equipment Corporation [Broo 96] entwickelt und hat sich als geeignetes Instrument für die Evaluierung der Gebrauchstauglichkeit technischer Systeme bewährt. Der Fragebogen beinhaltet zehn Aussagen, die auf einer Skala von eins bis fünf bewertet werden, wobei eins „lehne stark ab“ und fünf „stimme stark zu“ bedeuten. Die Angabe eines Wertes soll möglichst spontan erfolgen.

SUS beinhaltet drei Dimensionen: Effektivität, Effizienz und Erlernbarkeit. Dabei bezeichnet die Effektivität die Fähigkeit der Nutzer, eine bestimmte Aufgabe unter der Verwendung des Systems zu bewältigen. Effizienz bezieht sich auf das Verhältnis des zur Bewältigung der Aufgabe benötigten Aufwands und dem gewonnenen Nutzen. Die Erlernbarkeit hängt im Wesentlichen von der Intuitivität des Systems ab.

Der Endscore liegt auf einer Skala von 0 bis 100 und muss als ein relativer Wert angesehen werden. Dieser dient dem Vergleich der Benutzerfreundlichkeit zweier oder mehrerer Systeme.

Ein nicht strukturiertes Interview am Ende des Versuchs über Gesamteindruck, Ideen und Verbesserungsvorschläge schlossen den Versuch ab.

#### *Stichprobe*

18 Versuchspersonen nahmen an dem Versuch teil, davon waren sieben weiblich und elf männlich. Bedingt durch ihre Tätigkeit bei BMW, war das Head-Up Display allen bekannt. Unter den Probanden waren 13 Experten aus dem Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion und ähnlichen Forschungsbereichen, sowie fünf Novizen auf diesem Fachgebiet.

### **3.2.3.3 Ergebnisse**

Es folgt eine kurze Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse aus dem Usabilityversuch. Alle hier aufgeführten Ergebnisse repräsentieren die subjektiven Eindrücke der Versuchspersonen und dürfen nicht mit objektiven Daten oder ergonomischen Richtlinien gleichgesetzt werden. MMI-Experten sind aufgrund ihrer Erfahrung in der Lage, nach kurzer Zeit das Potenzial und die Schwachstellen von Bedien- und Anzeige-Konzepten zu entdecken. Daher wurde bei der Wahl der gestalterischen Mittel die Meinung der Mehrheit der Experten berücksichtigt. Urteile der Novizen unter den Versuchspersonen dienten insbesondere der Untersuchung von Verständnis, Bedienbarkeit und Gebrauchstauglichkeit.

*Ein- und Ausblenden („fading“).* Der Einsatz von „fading“ beim Wechsel der Anzeigen oder dem Ein- und Ausschalten von Anzeigehalten ist bedenkenlos möglich und dient der Übersicht.

*Animation.* Wie bereits in der Arbeit von Breisinger festgestellt, kann durch geeignete Animation, also der Darstellung eines bewegten Bildes, gezielt die Aufmerksamkeit des Betrachters gelenkt werden [Brei 07].

*Laterale Verschiebung.* Es hat sich schon in der frühen Konzeptphase herausgestellt, dass eine Animation gekoppelt an die Bewegung von Elementen in horizontaler Richtung viel Aufmerksamkeit auf sich zieht. Deshalb sollte dieses gestalterische Mittel vermieden werden. Ein Beispiel ist die Aktivierung des Menüs mittels „Einschieben von der Seite“.



Verschieben. Die Verschiebung von Elementen und das damit verbundene Verlassen einer „gewohnten“ Anzeigeposition sind zwingend zu vermeiden. Das Prinzip führt zu Verwirrung und verringert die Übersichtlichkeit.

Skalierung. Das von Breisinger vorgestellte Konzept zeigt, dass eine verkleinerte Darstellung mit niedrigem Detailgrad von Anzeigeelementen, die nicht genutzt werden, sinnvoll ist. Entsteht temporär der Bedarf einer größeren, detaillierten Ansicht, muss das Element dementsprechend vergrößert werden. Bei präziser Konditionierung und kurzer Animationsdauer ist die Skalierung eine geeignete Methode, um gezielt die Aufmerksamkeit des Fahrers auf aktuell relevante Informationen zu lenken und wird nicht als störend empfunden.

Die gemeinsame Nutzung der Animation in Verbindung mit dem Vergrößern von Anzeigeelementen (Skalierung) kann für die Darstellung im HUD verwendet werden.

Transparenz:

Dimmen. Mittels Dimmen, also dem Reduzieren der Leuchtstärke von ausgewählten Anzeigeelementen, kann gezielt der Fokus auf die restlichen leuchtstärkeren und kontrastreicheren Anzeigen gelenkt werden. Es muss ausgeschlossen werden, dass der Betrachter versucht, die gedimmten Inhalte zu erfassen, da dadurch die Ablesedauer verlängert wird. Dimmen dient der Orientierung in der Anzeigefläche und muss dementsprechend angepasst gewählt werden. Es hat sich in diesem Experiment bei der virtuellen Anzeige im HUD als zielführend erwiesen.

„Zoom in die Ferne“. Die Verwendung von Dimmen in Verbindung mit einer Verkleinerung (Skalierung) lässt eine Tiefenwirkung entstehen, mit der Anzeigeelemente in eine scheinbar tiefere Ebene und somit in den Hintergrund rücken. Dabei kann, wie schon oben genannt, der Fokus des Betrachters auf wichtige Elemente gelenkt werden. Dieser Effekt dient insbesondere dazu, bei Unterbrechungen der Menübedienung die eingeblendeten Informationen nicht zu überdecken. Daneben bekommt der Nutzer den Hinweis, dass die Information im Hintergrund weiterhin zur Verfügung steht und nicht verloren gegangen ist. Dieses gestalterische Mittel wurde von einem Großteil der Experten begrüßt.

Überdeckung und Überlappung. Überdeckungen und Überlappungen von Anzeigeelementen sind in jedem Fall zu vermeiden. Sie schaden der Übersichtlichkeit und führen zu einer „überfrachteten“ Anzeige.

Ausblenden. Das Ausblenden von aktuell nicht benötigten oder redundanten Anzeigeelementen sorgt für mehr Übersicht im HUD und wird von den Experten gewünscht.

Symbolik versus Text. Die Menge an angezeigtem Text ist auf ein nötiges Minimum zu reduzieren. Wenn möglich, ist statt Text eine klar verständliche und aussagekräftige Symbolik zu verwenden (siehe auch Popup-Fenster). Die Wahrnehmung von Symbolik kann im Gegensatz zum Text auch durch den Ambient-Kanal der visuellen Wahrnehmung erfolgen [Herb 07].

Doppelbelegung von Tasten bei der Bedienung. Die Doppelbelegung, insbesondere einer nicht doppelt gekennzeichneten Taste ist zu vermeiden. Sie sorgt bei einigen Versuchspersonen für Unklarheiten in der Bedienung.

Popup-Fenster:

Für die Gestaltung der Popup-Fenster sind folgende Regeln zu beachten:

Konsistenz. Der Aufbau und die Bedienung der Auswahlmöglichkeiten im Popup-Fenster sollten in Anlehnung an die verwendete Menübedienung aufgebaut sein.

Interferenz. Das Popup-Fenster sollte so positioniert werden, dass sich ein Minimum an Anzeigekonflikten mit den restlichen Anzeigen im HUD ergibt. (s. Überdeckung/Überlappung).

Symbolik versus Text. Die Darstellung der Auswahlmöglichkeiten in einem Popup-Menü sollte, wenn möglich, durch prägnante Symbolik dargestellt werden. Im HUD zeigt die grafische Darstellung einen größeren Vorteil gegenüber Text, als in Displays innerhalb des Fahrzeugs auf (siehe Kapitel 3.1.2.2 & 3.2.4). Das HUD wirkt dadurch aufgeräumt und strukturiert. Außerdem hilft das verwendete Piktogramm, die aktuelle Auswahlmöglichkeit schon bei einem kurzen Blick zu deuten.

Die abgeleiteten Regeln für die Gestaltung der Popup-Fenster werden durch das Ergebnis des SUS-Fragebogens bestärkt. Dieser weist bei einem Signifikanzniveau von  $p=.004$  einen signifikanten Unterschied in den drei Faktoren Effizienz, Effektivität und Erlernbarkeit zugunsten der Menü-nahen Variante mit Symbolik auf. Weitere Details können in [Raub 08] nachgelesen werden.

Mit diesen Ergebnissen ist die Grundlage für die Verwendung von Gestaltungsmitteln im HUD gelegt. Im Folgenden wird untersucht, ob der Anzeigort auch für eine Interaktion genutzt werden kann.

### **3.2.4 Experiment 2: Wechsel vom Präsentations- zum Interaktionsmedium**

Im zweiten Experiment werden die beiden Fragestellungen „Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?“ und „Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?“ behandelt. Dabei wird der Fokus auf die verursachte Beanspruchung während der Fahrt gelegt.

Im Head-Up Display werden aktuell bevorzugt statische Informationen, bezogen auf die primäre Fahraufgabe, dargestellt [ATIS 98]. Um das Potential des Anzeigortes weiter zu untersuchen, soll nun der nächste Schritt in der Weiterentwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im HUD vollzogen werden. Aus diesem Grund wird der Umgang des Fahrers mit Informationen aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet. Dabei ist es wichtig, die verursachte Beanspruchung (kognitiv und visuell) und die eventuellen Ablenkungseffekte wie Cognitive Capture und Perceptual Tunneling zu quantifizieren und einen Vergleich mit dem CID durchzuführen (siehe Kapitel 3.1.2.1). Es ist aus der Ressourcentheorie abzuleiten, dass diese Effekte bei einer Interaktion früher erscheinen als bei der reinen Präsentation von Informationen. Ziel ist es zu untersuchen, ob diese bei einer optimierten Darstellung und Präsentation von Informationen im HUD auftreten und ob sich diese bei einer ungeeigneten Darstellung zeigen lassen.

Neben diesen Fragestellungen gilt es vorrangig zu klären, welche Interaktionstypen sich für die Präsentation im HUD eignen und wie diese gestaltet werden müssen. Für die Gestaltung der Interaktion wurden die Erkenntnisse aus dem ersten Experiment angewandt.

#### **3.2.4.1 Theoretische Grundlagen**

Um die während der Fahrt verursachte Beanspruchung zu messen, wurden neben der Entdeckungsaufgabe Peripheral Detection Task (PDT) unterschiedliche Parameter des Fahr-, Bedien- und Blickverhaltens, sowie die subjektiv empfundene Beanspruchung herangezogen. In diesem Abschnitt wird das Vorgehen hergeleitet und die Grundlage geschaffen, diese Parameter richtig zu interpretieren.

### Fahrverhalten

Um den Einfluss der Nebenaufgaben im Simulator zu untersuchen, kann man standardisierte Szenarien, wie z.B. den Lane Change Task [Matt 03] oder eine Folgefahrt [AAM 06] nutzen.

Die Bearbeitung zusätzlicher Aufgaben (Sekundäraufgaben) während des Fahrens (Primäraufgabe) ist einer der Einflussfaktoren auf die Fahrleistung (siehe Kapitel 3.1.2.1). Dabei spielt das Ablenkungspotential dieser Zusatzaufgabe eine entscheidende Rolle. Wird die Beanspruchung durch die zusätzlichen Aufgaben zu groß, reduziert sich die Leistungsfähigkeit in der primären Fahraufgabe [Biev 02]. Dies wirkt sich z.B. so aus, dass der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug nicht im vorgegebenen Bereich gehalten werden kann, d.h. die vorgegebene Geschwindigkeit nicht konstant eingehalten wird.

Als weiterer Indikator für die Längsführung wurde Time to Collision (TTC) erfasst. Diese beschreibt die Zeit bis zu einer Kollision, wenn beide Fahrzeuge ihre Geschwindigkeit und Richtung nicht ändern und sich ihre Trajektorien treffen. Die TTC kann beispielsweise bei einer Folgefahrt auf der Autobahn berechnet werden, wenn das eigene Fahrzeug auf ein langsames Vorderfahrzeug auffährt.

Berechnet wird die mittlere TTC über folgende Formel:

#### Formel 7. Berechnungsvorschrift für Time to Collision (TTC)

$$\overline{TTC} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m TTC_j \quad \text{mit} \quad TTC_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{i,ego} - v_{i,col}}$$

$\overline{TTC}$ : Mittlere Time to Collision über alle Versuchspersonen

$TTC_j$ : Mittlere Time to Collision von Versuchsperson  $j$

$d_i$ : Abstand zwischen Eigenfahrzeug und Objekt mit möglicher Kollision im Messpunkt  $i$

$v_{i,ego}$ : Geschwindigkeit Eigenfahrzeug im Messpunkt  $i$

$v_{i,col}$ : Geschwindigkeit des Objekts möglicher Kollision (z.B. Vorderfahrzeug) im Messpunkt  $i$

$m$ : Anzahl Versuchspersonen

$n$ : Anzahl der Messpunkte über die ganze Versuchsfahrt

$i, j$ : Laufvariablen für die Iterationen in den Berechnungen

Je kleiner der Zeitabstand zur möglichen Kollision ist, desto gefährlicher ist eine Situation einzustufen. Die TTC kann über den gesamten Verlauf einer Verkehrssituation ermittelt werden. Dabei wird der kleinste Wert ( $TTC_{min}$ ) oder der Wert zu Beginn der Reaktion zur Vermeidung der Kollision (TA - Time To Accident) für die Ermittlung der Konfliktschwere herangezogen. Als kritisch werden TTC-Werte unter 1,5 Sekunden betrachtet. Weiterhin werden nur TTC-Werte im Bereich von einer bis zu 15 Sekunden bei der Bewertung herangezogen. Bei Werten größer 15 Sekunden wird der Abstand zu einem mutmaßlichen Kollisionsobjekt zu groß, als dass mittels der TTC eine Aussage über die Kritikalität der Fahrsituation getroffen werden kann [aide 04-1].

Ebenso wie die Längsregelung kann die Querverführung des Fahrzeuges (spurgenauer Geradeauslauf) durch die gleichzeitige Bearbeitung einer Nebenaufgabe mehr oder weniger stark beeinträchtigt werden (siehe Kapitel 3.1.2.1). Bei einer starken Beanspruchung des Fahrers durch zusätzliche Aufgaben variiert der Abstand zum Fahrbahnrand stärker. Die Fähigkeit, das Fahrzeug genau in der Spur zu halten, wird hier in größerem Umfang beeinträchtigt als bei weniger beanspruchenden Nebenaufgaben [Matt 03] [aide 04-1].

Der Abstand vom Mittelpunkt des Fahrzeuges bis zum Fahrbahnrand bestimmt den Ausgangspunkt (Nullpunkt) der Querregelung. Das Fahrzeug muss sich dazu auf dem mittleren Fahrstreifen der Fahrspur befinden. Der Betrag der durchschnittlichen Abweichung von diesem Punkt wird als Maß für die Querregulation herangezogen. SDLP (Standard Deviation of the lateral Position) wird in Metern gemessen und kann mit Hilfe der nachfolgenden Formel berechnet werden:

**Formel 8: Berechnungsvorschrift für Standard Deviation of Lateral Position (SDLP)**

$$\overline{SDLP} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m SDLP_j \quad \text{mit} \quad SDLP_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}$$

- $\overline{SDLP}$  : Mittlere SDLP über alle Versuchspersonen
- $SDLP_j$  : Mittlere SDLP von Versuchsperson  $j$
- $d_i$  : Abstand zum Mittelwert der Spurhaltung im Messpunkt  $i$
- $\bar{d}$  : Mittelwert der Spurhaltung über die gesamte Messfahrt bei VP  $j$
- $n$  : Anzahl der Messpunkte über die gesamte Messfahrt
- $m$  : Anzahl der Versuchspersonen
- $i, j$  : Laufvariablen für die Iterationen in den Berechnungen

Anhand dieser erläuterten Größen des Fahrverhaltens erfolgte die Auswertung des Experimentes.

*Peripheral Detection Task (PDT)*

Um die visuelle und kognitive Beanspruchung während einer Bedienung im HUD und CID vergleichend zu messen, wurde die Entdeckungsaufgabe Peripheral Detection Task (PDT) eingesetzt. Mit Hilfe der PDT kann kognitive und visuelle Ablenkung sowie die periphere Wahrnehmungsleistung während der Beanspruchung durch die Nebenaufgabe gemessen werden. Die Methode wurde entwickelt, um den Effekt „perceptual / cognitive tunnelling“ als Resultat der Beanspruchung beim Fahren zu untersuchen [vanW 99].

Dabei reagieren die Probanden auf zufällige Reize in der Fahrscene. Je beanspruchender die Situation ist, umso mehr Reize werden übersehen und umso länger sind die Reaktionszeiten auf die Stimuli. Die Ergebnisse von Martens und van Winsum [Mart 00] zeigen, dass die PDT die Variation in der selektiven Wahrnehmung misst, wobei die Selektion mit zunehmender Beanspruchung ansteigt.

Die PDT-Reize wurden durch rote ausgefüllte Kreise mit einer weißen Umrandung der Größe  $0,7^\circ$  des Seh winkels dargestellt. Durch die weiße Umrandung wurde sichergestellt, dass die Reize vor jedem Hintergrund gut sichtbar waren. Jeder PDT-Reiz wurde für 2 sec eingeblendet und sollte, sobald entdeckt, durch einen Tastendruck auf der linken Seite des Lenkrades bestätigt werden. Verstrich diese Zeitspanne, galt der Reiz als übersehen und wurde ausgeblendet. Die Position, an der der Reiz eingeblendet

wurde, variierte zufällig (gleichverteilt) über alle Positionen. Das Interstimulusintervall variierte gleichverteilt zwischen 3 und 5 sec.

Die Anordnung der PDT-Reize wurde für die Anforderungen dieser Studie angepasst. Im Bereich von 30° links bis 23° rechts im Sichtfeld des Fahrers wurden PDT-Reize während der Fahrt eingeblendet. Die genaue Positionierung ist in Abbildung 34 zu sehen. Da sich der Point of Interest (HUD/CID) um 12° nach rechts von der Primärsicht des Fahrers befindet, wurden die PDT Reize so gesetzt, dass sie von diesem Punkt und auch von dem Primärsichtstrahl aus peripher wahrgenommen werden. Aus diesem Grund wurde ein Reiz 11° (23° vom Primärsichtstrahl = Position 7) nach rechts gesetzt um zu prüfen, ob die Fahrer in der Lage sind, am peripheren Rand Ereignisse zu entdecken. Ein weiterer Punkt wurde am rechten Rand des HUDs positioniert (Position 6). Dann wurde im eigentlichen Primärsichtstrahl bei 0° (Position 5) ein Referenzreiz benutzt. Davon ausgehend wurden Reize 11° nach links (Position 3 und 4) auf zwei unterschiedlichen Höhen platziert. Es gab einen weiteren Punkt bei 23° (Position 2). Dieser befand sich im äußersten Bereich, der durch die Windschutzscheibe sichtbar ist. Der ganz linke Reiz simulierte den Außenspiegel und befand sich bei 30° links (Position 1) vom primären Sichtstrahl des Fahrers und war aus dem Seitenfenster sichtbar.

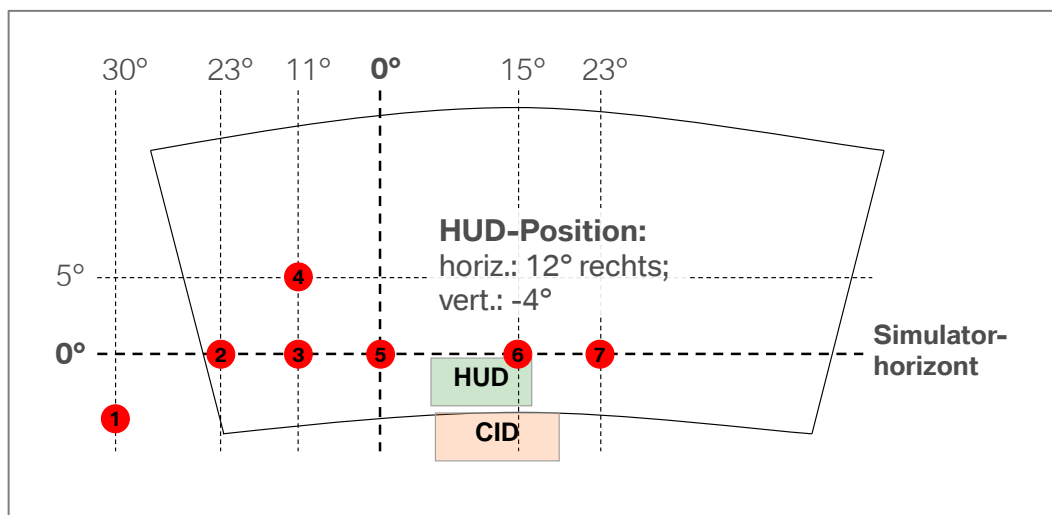


Abbildung 34: Positionierung der PDT-Reize und der Displays

### *Blickverhalten*

Das Blickverhalten gibt einen Hinweis auf die Aufmerksamkeitsverteilung in einer Dual-Task Situation. Neben der daraus abzuleitenden Beanspruchung geben die Blickdaten einen Aufschluss über die Dauer für die Erfassung von Informationen an den unterschiedlichen Anzeigeeorten. Aus diesem Grund werden die Blickdauern und –häufigkeiten während der Bearbeitung von Nebenaufgaben im HUD und CID verglichen.

### *Driver Activity Load Index - DALI*

Objektiv erfasste Daten zur Beanspruchung sollten immer anhand subjektiver Aussagen der Probanden verifiziert werden. Um diese zu erfassen, wurde der standardisierte Fragebogen "Driving Activity Load Index" (DALI) verwendet. Dieser erfasst die subjektiv empfundene Beanspruchung in sieben verschiedenen Dimensionen: Aufwand an mentaler Aufmerksamkeit, visuelle Beanspruchung, auditive Beanspruchung, taktile Beanspruchung, verursachter Stress, verursachter zeitlicher Druck und Interferenz zwischen der Fahr- und Nebenaufgabe. Der Fragebogen ist auf einer sechsstufigen Beanspruchungsskala aufgebaut, deren Sensitivität nachgewiesen wurde [Pauz 07] [aide

04-1]. Der Mittelwert dieser Dimensionen, multipliziert mit 20, ergibt die mittlere subjektiv empfundene Beanspruchung. Diese nimmt einen Wert zwischen 0 und 100 an und zeigt den Grad der Beanspruchung. Dieser wird als relativer Wert verstanden und dient dem Vergleich mehrerer Systeme.

### 3.2.4.2 Fragestellung

Systeme und Nebenaufgaben dürfen laut Empfehlungen und Standards, wie z.B. European Statements of Principles [ESoP 06], den Fahrer nur in geringer Weise ablenken oder zur visuellen Unterhaltung dienen. Die Interaktion mit Anzeigen und Bedienelementen muss kompatibel mit den Anforderungen der Fahraufgabe sein.

Die kognitive und visuelle Beanspruchung, wie im Kapitel 3.1.2.1 beschrieben, verursacht durch die Interaktion hängt vorrangig von der Art der Interaktion, wie z.B. Auswahl aus Listen, Eingabe von Alphanumerik oder das Einstellen analoger Regler ab. Weitere wichtige Faktoren sind die Menüstruktur (z.B. hierarchisch oder objektorientiert), in die die Bedienvorgänge eingebettet sind, Anzahl der Funktionen sowie Tiefe und Breite des Menüs [Totz 03]. Neben den strukturellen Zusammenhängen in einem Menü tragen das Design des Interfaces und die angezeigte Informationsmenge einen entscheidenden Beitrag zur verursachten Beanspruchung durch die Interaktion bei. Auf die Menüstruktur wird in dieser Untersuchung jedoch nicht eingegangen.

Mit Hilfe dieses Experimentes sollen verschiedene Interaktionstypen und deren Gestaltung vergleichend zum CID untersucht werden. Folgende Fragestellungen sind dabei entscheidend:

- Hängt die visuelle und kognitive Beanspruchung während der Bedienung vom Displaytyp ab?
- Tritt eine Verengung des Blickfeldes abhängig vom Anzeigeort und Interaktionstyp auf? (Cognitive Capture und Perceptual Tunneling)
- Wird das Blickverhalten durch die verschiedenen Interaktionstypen an den zwei Anzeigeorten unterschiedlich beeinflusst?
- Hat der Anzeigeort einen Einfluss auf das Bedienverhalten?
- Wird das Fahrverhalten durch die verschiedenen Interaktionstypen an den zwei Anzeigeorten unterschiedlich beeinflusst?
- Für welchen Anzeigeort ist die Akzeptanz und Likeability für die Interaktion höher?

### 3.2.4.3 Methodisches Vorgehen

Im 120-minütigen Versuch wurden die 36 Probanden gebeten, unterschiedliche Nebenaufgaben mehrfach während der Fahrt in den Anzeigeorten HUD und CID zu bearbeiten.

#### *Fahraufgabe*

Für dieses Experiment wurde die Folgefahrt auf einer dreispurigen Autobahn umgesetzt, damit der Datensatz anhand der AAM-Kriterien bewertet werden kann.

Die Fahraufgabe bestand aus einer Folgefahrt auf der mittleren Spur der Autobahn. Der Sicherheitsabstand von 50 Metern zum vorausfahrenden Fahrzeug sollte bei konstantem Tempo (100 km/h) eingehalten werden. Um diesen Abstandswert herum wird ein Bereich von insgesamt 20 Metern Breite definiert (50 Meter +/- 10 Meter) und jedes Übertreten dieses Bereiches, d.h. ein Über- bzw. Unterschreiten des Sicherheitsabstandes, wird registriert. Weiterhin wurden SDLP und TTC zum vorausfahrenden Fahrzeug erfasst.

*Nebenaufgabe*

Die Nebenaufgabe wurde auf die Fragestellung angepasst und bestand aus drei identifizierten Basisprinzipien der Interaktion. Jeder Interaktionstyp wurde in zwei Varianten präsentiert:

- Auswahl aus Listen: kurze Listen (3-15 Einträge) vs. lange Listen (15-30 Einträge)
- Einstellungen: analoge Regler vs. digitale Werte
- Eingabe von Alphanumerik: Ziffern vs. Buchstaben mit Hilfe eines Spellers

Das Layout der einzelnen Varianten ist in der Tabelle 4 abgebildet.

Während der Nebenaufgabe „Listenauswahl“ mussten die Versuchspersonen eine der fünf Listenkategorien auswählen. Danach befanden sie sich in der entsprechenden Liste und hatten noch den richtigen Eintrag auszuwählen. Durch den Druck auf das Bedienelement wurde die Auswahl bestätigt.

Für die Aufgabe „Einstellungen“ wurde die vorgegebene Skala durch einen analogen Balken oder digitale Werte repräsentiert. Die Probanden wurden gebeten, eine der drei zur Verfügung stehenden Kategorien auszuwählen und z.B. bei Klima die Temperatur auf einen bestimmten Wert einzustellen. Die Variation bestand in der grafischen Repräsentation.

NEBENAUFGABE	VARIANTE 1	VARIANTE 2
Eingabe von Alphanumerik		
Einstellungen		
Auswahl aus Listen		Kurze Listen: 3, 5, 7, 9 Lange Listen: 15, 20, 25

**Tabelle 4: Aufschlüsselung der Nebenaufgaben**

In der ersten Version der Aufgabe „Alphanumerik“ musste eine Telefonnummer mit Hilfe des Dreh-Drückstellers eingegeben werden. Hierzu konnten die Probanden durch Drehen unterschiedliche Ziffern auswählen, die durch den Bestätigungsvorgang übernommen wurden. Nachdem die Telefonnummer vollständig eingegeben wurde, wurde durch eine weitere Bestätigung der Anruf ausgelöst.

In der zweiten Version musste ein bestimmtes Navigationsziel eingegeben werden, ebenfalls mit dem Speller. Dazu wurde die Navigationseingabe des BMW 5er (E60 iDrive 3) genutzt. Das System grenzte auf Basis der bereits eingegebenen Buchstaben die Vorauswahl so ein, dass die gesuchten Städte- und Straßennamen nach der Eingabe von wenigen Buchstaben aus der Liste selektiert werden konnten.

Das Layout „Listen“ und „Einstellungen“ war speziell für das HUD entworfen und baute auf den Erkenntnisse aus Experiment 1 auf. Das Interface wurde möglichst einfach gestaltet mit einem Minimum an präsentierten Informationen.

Das Interface für die Eingabe von Alphanumerik wurde aus dem iDrive Menü der BMW 5-er Serie (E60) übernommen. Die Interaktion besteht aus einem detailreichen und komplexen Interface. Dieses wurde als Vergleich genutzt, um den Einfluss der Gestaltung untersuchen zu können. Alle Layouts sind in der Tabelle 4 abgebildet.

Alle Nebenaufgaben wurden mehrfach während einer Fahrt wiederholt. Aufgrund des Versuchsdesigns ist es möglich, einerseits zwischen dem Einfluss des Anzeigeortes abhängig vom Interaktionstyp zu unterscheiden sowie eine Aussage innerhalb eines Anzeigeortes abhängig vom Layout des Interfaces zu treffen.

Als Bedienelement für die Interaktion wurde in diesem Versuch der Dreh-Drücksteller in der Mittelkonsole verwendet.

#### *Fragebögen*

Um die subjektive Beanspruchung zu messen, wurde DALI (Kapitel 3.2.4.1) eingesetzt. Akzeptanz und Likeability sind bei der Bewertung neuer Systeme im Fahrzeug essentiell. Den Versuchspersonen wurde die Möglichkeit gegeben, ihre Meinung zur folgenden Fragestellungen zu geben:

- Ist die die Menüinteraktion im HUD sicherheitsgefährdend?
- Welchen Anzeigeort bevorzugen sie für die Menüinteraktion?
- Welche Art von Interaktion sollte im HUD dargestellt werden?
- Stellt das HUD eine Sichtbehinderung dar?

#### *Unabhängige und abhängige Variablen*

Das Experiment hatte ein 3x3x2 in-between Design mit den folgenden drei Faktoren bzw. unabhängigen Variablen (UV):

- **UV1** – Anzeigeort: HUD, CID und KEIN DISPLAY (Baseline = BA)
- **UV2** – Interaktionstyp: Auswahl aus Listen, Einstellungen und Eingabe von Alphanumerik
- **UV3** – Variante: lange vs. kurze Listen, analoge Regler vs. digitale Werte, Alphanumerik-Eingabe mit vs. ohne Speller

Aufgrund des Versuchsdesigns ist es möglich, zwischen dem Einfluss eines Interaktionstyps (erste UV1) und der Art und Weise, wie dieser gestaltet ist (UV2), zu unterscheiden. Alle Aufgaben wurden während einer Fahrt mehrfach wiederholt.

Die Entdeckungsaufgabe Peripheral Detection Task (PDT) interferiert mit dem normalen Blickverhalten. Aus diesem Grund wurde jeweils pro Anzeigeort noch eine Messfahrt ohne PDT eingeführt. Dabei wurde das Blickverhalten der Probanden gemessen.

Als Kontrollbedingungen wurden zwei weitere Fahrten durchgeführt. In der einen wurde das Fahrverhalten der Probanden ohne Nebenaufgaben aufgezeichnet. In der zweiten Baselinefahrt wurde neben der Fahrt die PDT durchgeführt. Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über alle Fahrten im Experiment.



ANZAHL FAHRTEN	INTERAKTION IM HUD	INTERAKTION IM CID	BASE LINE	TOTAL
mit PDT	1 Fahrt (3 Interaktionstypen x 2 Versionen)	1 Fahrt (3 Interaktionstypen x 2 Versionen)	1	3
ohne PDT	1 Fahrt (3 Interaktionstypen x 2 Versionen)	1 Fahrt (3 Interaktionstypen x 2 Versionen)	1	3
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>6</b>

**Tabelle 5: Versuchsdesign**

Um einen Einblick in die von der Interaktion im HUD verursachte Beanspruchung zu gewinnen, wurden unterschiedliche Parameter analysiert: Längs- und Querführung, Zeit und Anzahl der benötigten Schritte bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben, Reaktionszeit und Anzahl der übersehenen PDT-Reize sowie Anzahl und Dauer der Blicke. Subjektive Einschätzung der Beanspruchung, Akzeptanz und Likeability ergänzten die Liste der erfassten Parameter (Tabelle 6).

VARIABLE	1	2	3	4	5	6
<b>Fahrverhalten</b>	SDLP	TTC	Einhaltung des Abstandes	Variation der Geschwindigkeit		
<b>PDT</b>	Reaktionszeit	Missing Rate				
<b>Bearbeitung der Nebenaufgabe</b>	Total task time	Anzahl der Bedienschritte	Anzahl der Bedienfehler			
<b>Blickverhalten</b>	durchschnittliche Blickdauer	maximale Blickdauer	Median und Modus der Blickdauer	85 Perzentil der Blickdauer	mittlere Dauer Erster Blick	Anzahl der Blicke
<b>Fragebögen</b>	DALI Workload	Akzeptanz	Likeability			

**Tabelle 6: Abhängige Variablen**

*Hypothesen*

Hinsichtlich der Fragestellungen und gewählten Methoden wurden folgende Hypothesen abgeleitet:

*Aufgabenbewältigung:*

Nebenaufgaben werden während der Fahrt unterschiedlich gut bearbeitet, je nachdem wie die Bearbeitung an den Fahrkontext angepasst werden kann.

$H_0^A$ : Die Dauer der Erledigung jedes Aufgabentyps ist gleich bei der Darbietung der Informationen im HUD so wie im CID.

$H_0^B$ : Die Anzahl der Fehlbedienungen ist bei der Darbietung der Informationen im Head-Up-Display gleich groß wie bei der Darbietung der Informationen im CID.

*Längsregelung:*

$H_0^C$ : Während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben unter- bzw. überschreiten die Versuchspersonen den Sicherheitsabstand zum

vorausfahrenden Fahrzeug, d.h. sie verlassen den 20 Meter-Bereich, was einer Abweichung von der Vorgabe entspricht. Der prozentuale Anteil der Abweichungen ist unabhängig vom Anzeigeort der Nebenaufgaben.

$H_0^D$ : Die Varianz der Geschwindigkeit während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben ist unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

$H_0^E$ : Die mittlere TTC zum vorausfahrenden Fahrzeug bei unterschiedlichen Nebenaufgaben ist unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

*Querregelung:*

$H_0^F$ : Die Standardabweichung des Mittelwerts der lateralen Position (SDLP) des Fahrzeugs während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben ist unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

*PDT:*

$H_0^G$ : Die Reaktionszeiten auf die PDT-Reize während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben sind unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

$H_0^H$ : Der Anteil übersehener PDT-Reize während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben ist unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

$H_0^I$ : Die Einengung des Blickfeldes und damit verbunden Cognitive Capture und Perceptual Tunneling sind unabhängig vom Anzeigeort (HUD/CID).

*Blickverhalten:*

$H_0^J$ : Die durchschnittliche Anzahl der Blicke auf das Display während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben ist unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

$H_0^K$ : Die durchschnittliche Blickdauer auf das Display während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben ist unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

$H_0^L$ : Das 85%-Perzentil der Blickdauer auf das Display während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben ist unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

$H_0^M$ : Die durchschnittliche Blickdauer des Ersten Blickes auf das Display während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben ist unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID).

*Stichprobe*

Am Experiment nahmen 36 (32 männliche und 4 weibliche) Versuchspersonen teil. Das durchschnittliche Alter der Gruppe betrug 38,78 Jahre (Std. 6,783). Sie waren überwiegend Ingenieure oder übten einen anderen technischen Beruf aus. 34 der 36 Probanden waren Rechtshänder und 22 benötigten keinerlei Sehhilfen. Man kann von erfahrenen Fahrern ausgehen, da der durchschnittliche Führerscheinbesitz 20,25 Jahre (Std. 7,125) betrug und 83,3% der Fahrer im Jahr mehr als 10 000 km zurücklegen. Alle konnten im Vorfeld Erfahrung mit HUD und iDrive sammeln.

*Versuchsablauf*

Das Experiment fand im statischen Rundumsicht-Fahrsimulator der BMW Group statt. Am Anfang des Versuches füllten die Versuchspersonen einen demografischen Fragebogen aus. Danach wurden sie gebeten, dem vorausfahrenden Fahrzeug mit konstanter Geschwindigkeit von 100 km/h zu folgen und einen konstanten Abstand von 50 Meter einzuhalten. Während der Eingewöhnungsfahrt konnten sich die Versuchspersonen mit der Fahrt im Simulator vertraut machen. Dabei wurden die PDT und alle Nebenaufgaben geübt. Neben der Fahraufgabe wurden die Probanden aufgefordert, die PDT-Reize zu bestätigen und die Nebenaufgaben nach den akustischen Ansagen zu bearbeiten.

Der Anzeigort (HUD und CID) und Typ der Nebenaufgabe wurden von Person zu Person permutiert. Die erste Fahrt bestand aus der Baseline ohne Nebenaufgaben. Nach zwei Fahrten mit einem der Anzeigorte wurden der DALI und Akzeptanzfragebogen zum Anzeigort ausgefüllt. Nach der zweiten Baseline wurden zwei Fahrten mit dem anderen Display absolviert. Am Ende des Versuches schließlich wurde neben dem DALI und einem Akzeptanzfragebogen zum zweiten Anzeigort auch der Abschlussfragebogen ausgefüllt.

### 3.2.4.4 Ergebnisse

Alle erfassten Variablen wurden auf den Einfluss des Anzeigortes untersucht. Im Ergebnissteil wird nur auf diejenigen eingegangen, die die Anzeigorte statistisch signifikant differenzieren konnten.

#### *Aufgabendauer - Total Task Time (TTT)*

Die TTT ist die Zeit zwischen Beginn des ersten und dem Abschluss des letzten Bedienschritts einer Nebenaufgabe. Diese enthält alle Bedienschritte einschließlich Fehlern und Korrekturen und gibt Aufschluss über die verursachte Beanspruchung bei der Bedienung des Systems.

Die Hypothese  $H_0^A$  sagt aus, dass die Bearbeitung der Aufgaben an beiden Anzeigorten gleich lang ist.

In der Bedingung HUD werden die Aufgaben „Auswahl aus kurzen Listen“ ( $T(0.95, 28)=-2.962$   $p=.006$ ), „Auswahl aus langen Listen“ ( $T(0.95, 28)=-2.369$   $p=.025$ ) und „Einstellen analoger Regler“ ( $T(0.95, 27)=-2.349$ ,  $p=.027$ ) signifikant schneller bearbeitet. Bei den restlichen Interaktionstypen wurden keine Unterschiede abhängig vom Anzeigort gefunden.

Daher wird die Hypothese  $H_0^A$  abgelehnt.

TYP	AUSWAHL AUS LISTEN		EINSTELLUNGEN		EINGABE VON ALPHANUMERIK	
	kurz	lang	Analoge Regler	Digitale Werte	Ziffern	Buchstaben
HUD	11,8 (sd.3,9)	18,8 (sd.4,6)	15,6 (sd.2,9)	17,2 (sd.3,4)	43,5 (sd.25,8)	30,7 (sd.10,5)
CID	12,4 (sd.3,6)	19,4 (sd.4,8)	17,8 (sd.6,1)	16,6 (sd.2,5)	41,8 (sd.12,5)	29,6 (sd.9,5)

**Tabelle 7: Total Task Time in Sekunden**

Die Auswahl aus Listen und die Einstellung analoger Regler werden im HUD schneller bearbeitet. Für die anderen Interaktionstypen brauchen die Probanden im HUD gleich lang oder tendenziell länger. Diese Unterschiede sind aber statistisch nicht nachweisbar.

#### *Anzahl der Fehlbedienungen*

Die prozentuale Anzahl der Fehler unterscheidet sich statistisch nicht zwischen den zwei Anzeigorten.

Somit wird die Hypothese  $H_0^B$  bestätigt.

Die Ergebnisse sind im Diagramm 2 abgebildet

Die Anzahl der falschen Bedienvorgänge ist im CID etwa höher, lässt sich aber ebenfalls nicht statistisch nachweisen. Man kann davon ausgehen, dass Probanden die Aufgabenstellung gleich gut bewältigen konnten. Deutlich ist der Unterschied zwischen

den Interaktionstypen. Die Auswahl aus Listen oder die Eingabe eines Navigationszieles mit Hilfe eines Spellers haben kaum Fehler verursacht. Beide Aufgaben beschränken sich bei der endgültigen Auswahl auf eine Listenauswahl, die keine konkrete Eingabe des Probanden erfordert. Je genauer die Vorgabe ist und je mehr Einstellungen vorgenommen werden müssen, desto mehr Fehler werden produziert. Das ist am deutlichsten bei der Wahl einer Telefonnummer sichtbar.

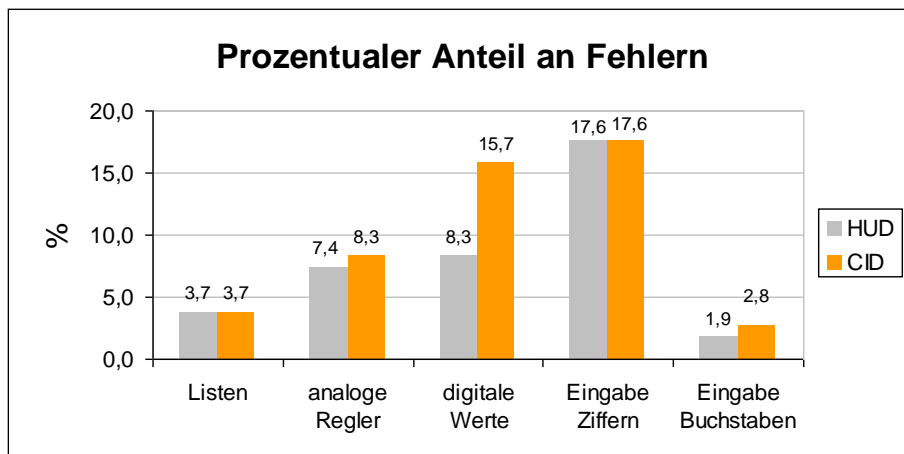


Diagramm 2: Anteil an Fehlbedienungen

### Fahrverhalten

Längsführungsmetriken wie TTC, der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, die mittlere Geschwindigkeit oder Varianz der Geschwindigkeit konnten die zwei Anzeigeorte nicht differenzieren. Beanspruchende Aufgaben wie die Eingabe der Alphanumerik verursachen an beiden Anzeigeorten eine höhere Varianz in der Geschwindigkeit.

Daher sind die Hypothesen  $H_0^C$ ,  $H_0^D$  und  $H_0^E$  bestätigt.

Ein Unterschied im Fahrverhalten zeigt sich in der Standardabweichung der lateralen Position (SDLP). Die SDLP ist geringer bei der Auswahl aus Listen in der HUD-Bedingung (siehe Tabelle 8), zeigt im Wilcoxon-Test einen signifikanten Unterschied aber nur für die „Einstellung analoger Regler ( $W(33) = -2.939$ ,  $p = .003$ ).

Die Hypothese  $H_0^F$  besagt, dass die Standardabweichung vom Mittelwert der lateralen Position (SDLP) des Fahrzeugs während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben unabhängig vom Anzeigeort (HUD / CID) ist. Aufgrund der Ergebnisse wird  $H_0^F$  abgelehnt.

TYP	AUSWAHL AUS LISTEN		EINSTELLUNGEN		EINGABE VON ALPHANUMERIK	
VERSION	kurz	lang	Analoge Regler	Digitale Werte	Ziffern	Buchstaben
HUD	0.19 (sd.0.13)	0.2 (sd.0.21)	0.16 (sd.0.07)	0.25 (sd.0.22)	0.3 (sd.0.23)	0.34 (sd.0.42)
CID	0.34 (sd.0.23)	0.25 (sd.0.24)	0.3 (sd.0.22)	0.24 (sd.0.17)	0.26 (sd.0.13)	0.3 (sd.0.31)

Tabelle 8: SDLP – Standard Deviation of Lateral Position

PDT

Die Probanden hatten die Aufgabe auf PDT-Stimuli zu reagieren, die an sieben unterschiedlichen Positionen in der Fahrscene präsentiert wurden. Die Reaktionszeiten auf die Reize und die Missing Rate wurden ausgewertet.

Reaktionszeit

Die Hypothese  $H_0^H$ , die sich auf die Reaktionszeit in der PDT bezieht, lautet: „Die Reaktionszeiten auf die PDT-Reize während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben sind unabhängig vom Anzeigeort (HUD / CID).“.

Im Diagramm 3 ist die durchschnittliche Reaktionszeit bezogen auf die sieben Positionen der PDT-Stimuli während der „Eingabe von Ziffern“ abgebildet. Signifikante Unterschiede beim T-Test mit gepaarten Stichproben sind mit einem Stern gekennzeichnet.

Die Reaktionszeit auf die PDT-Stimuli ist in der HUD-Bedingung immer kleiner oder gleich groß, verglichen mit der CID-Bedingung. Dieser Unterschied ist signifikant in den Nebenaufgaben „Auswahl aus Listen“, „Einstellung von digitalen Werten“ und „Eingabe von Ziffern“. Die Interaktionstypen „Eingabe von Buchstaben“ und „Einstellen analoger Regler“ zeigen keine statistischen Unterschiede zwischen den Anzeigeorten auf. Aufgrund der Ergebnisse wird die Hypothese  $H_0^G$  verworfen.

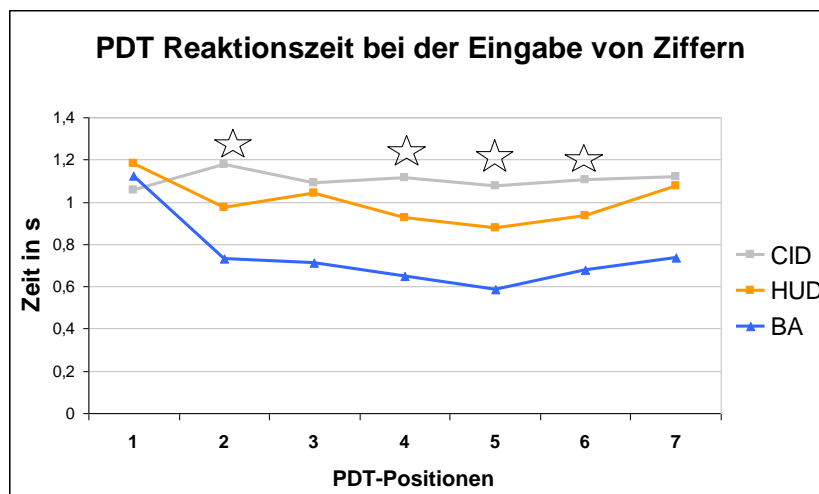


Diagramm 3: PDT-Reaktionszeit während der Eingabe von Ziffern

Der Vergleich zur Baseline zeigt den kognitiven und visuellen Aufwand einer Menüinteraktion. Dieser ist für beide Anzeigeorte vorhanden. Bei der Untersuchung auf

Cognitive Capture und Perceptual Tunneling zeigt sich kein Hinweis auf eine stärkere Verengung des Blickfeldes bei der Nutzung des HUDs. Somit wird die Hypothese zu Cognitive Capture und Perceptual Tunneling  $H_0^1$  aufgrund dieser Ergebnisse nicht verworfen.

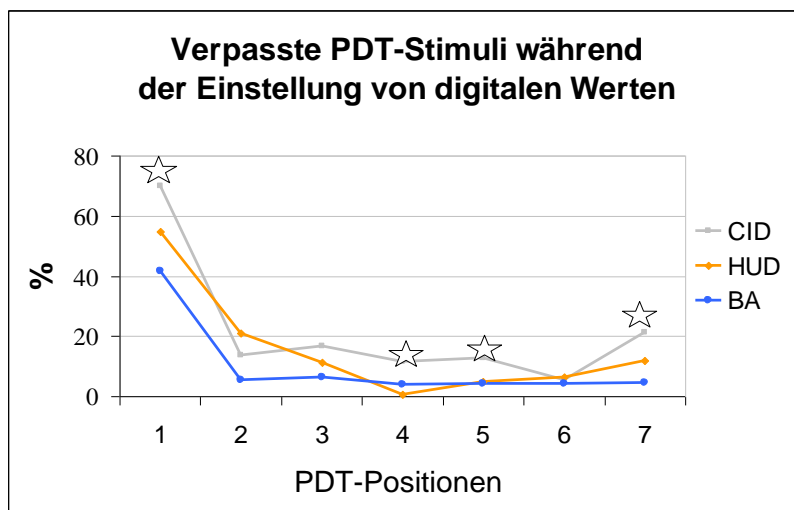
#### *PDT - Missing Rate*

PDT - Missing Rate ist die prozentuale Anzahl der verpassten PDT-Stimuli, bezogen auf alle an dieser Position eingeblendeten Reize für jeweils einen Interaktionstyp. Die Hypothese  $H_0^H$  sagt auch bei diesem Parameter keinen Unterschied zwischen den Anzeigeorten HUD und CID voraus.

Missing Rate ist für „Einstellung analoger Regler“ im Diagramm 4 abgebildet. Erneut sind signifikante Unterschiede zwischen HUD und CID mit einem Stern gekennzeichnet.

Für die Interaktionstypen „Auswahl aus Listen“ und „Einstellungen“ ist die Anzahl der übersehenen PDT-Reize in der HUD-Bedingung signifikant geringer. Für die „Eingabe von Alphanumerik“ sind keine Unterschiede abhängig vom Anzeigeort feststellbar.

Somit wird auch die Hypothese  $H_0^H$  abgelehnt.



**Diagramm 4: Übersehene PDT-Reize während der Einstellung von digitalen Werten**

Die verursachte kognitive und visuelle Beanspruchung während der Bedienung ist im HUD bei „Listenauswahl“ und „Einstellungen“ anhand beider Parameter als geringer einzustufen.

Bei beiden Parametern der PDT lassen sich keine Hinweise auf Cognitive Capture und Perceptual Tunneling beim Einsatz vom HUD feststellen. Somit wird  $H_0^1$  nicht abgelehnt.

#### *Blickverhalten*

Trotz des messwiederholten Ansatzes mit 36 Probanden konnte das Blickverhalten nur bei 17 Probanden aus der HUD und 19 aus der CID-Bedingung ausgewertet werden. Somit beziehen sich die nachfolgenden Ergebnisse auf diese kleinere Stichprobe.

#### *Anzahl der Blicke und Blickdauern*

Die üblichen Maße des Blickverhaltens sind durchschnittliche Blickdauer, Median und Modus der Blickdauer, durchschnittliche Anzahl der Blicke und die Gesamtblickdauer während einer Nebenaufgabe. Diese wurden abhängig vom Anzeigeort und dem Interaktionstyp untersucht. Ein Kriterium, um das Blickverhalten zu interpretieren wurde

in den AAM-Guidelines eingeführt und empfiehlt eine Obergrenze von 2 Sekunden für das 85%-Perzentil aller Blickdauern während einer Nebenaufgabe im Fahrzeug [AAM 06].

In der Tabelle 9 sind alle ausgewerteten Metriken abgebildet. Signifikante Unterschiede zwischen HUD und CID und die Übertretungen der AAM-Kriterien sind farblich hervorgehoben.

Die durchschnittliche Anzahl der Blicke bei den Interaktionstypen unterscheiden sich statistisch nicht in Abhängigkeit vom Anzeigeort. Somit wird die Hypothese  $H_0^J$  bestätigt.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Anzeigeorten zeigte sich bei der durchschnittlichen Blickdauer für die Interaktionstypen „Eingabe von Buchstaben“ ( $T(0,95, 13)=5.859, p<.001$ ) und „Eingabe von Ziffern“ ( $T(0,95, 13)=4.598, p<.001$ ).

Damit wird die Hypothese  $H_0^K$ , die besagt, dass die durchschnittliche Blickdauer auf das Display während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID) ist, abgelehnt.

USE CASE	ANZEIGE ORT	DURCHSCHN. BLICKDAUER	ANZAHL BLICKE	MEDIAN / MODUS	85 % PERZ. BLICKDAUER	SIG. DIFF
Auswahl aus Listen	HUD	1.09(std 0.31)	6.12	1.10 / 0.64	1.33	-
	CID	1.06(std.0.3)	6.02	1.00 / 0.64	1.27	
Einstellung analoger Balken	HUD	0.92(std 0.34)	6.17	0.84 / 0.50	1.23	-
	CID	0.94(std 0.36)	6.05	0.79 / 0.57	1.25	
Einstellung digitaler Werte	HUD	1.04(std 0.32)	6.12	0.89 / 0.68	1.42	-
	CID	1.02(std 0.47)	5.7	0.84 / 0.60	1.19	
Eingabe von Buchstaben mit Speller	HUD	1.85(std 0.65)	13.36	1.85 / 0.83	2.21	X
	CID	1.3 (std 0.43)	15	1.11 / 0.82	1.82	
Eingabe von Ziffern/ Nummern	HUD	1.62(std 0.64)	14.1	1.43 / 0.80	2.17	X
	CID	1.22(std 0.37)	16.1	1.16 / 0.82	1.51	

Tabelle 9: Blickdauern und -häufigkeiten abhängig vom Anzeigeort und Interaktionstyp

Zusätzlich zu den signifikant längeren Blickdauern im HUD hat der Interaktionstyp „Eingabe von Alphanumerik“ in beiden Varianten (Buchstaben und Ziffern) das AAM 85%-Perzentil Kriterium in der Bedingung HUD nicht erfüllt. Im CID sind bei allen Interaktionstypen 85% der Blickdauern unter der 2 Sekunden Grenze.

Somit wird auch die Hypothese  $H_0^L$  abgelehnt.

Weiterhin fallen Median und Modus für die Interaktionstypen „Auswahl aus Listen und „Einstellungen“ bei beiden Anzeigeorten zusammen.

Ausgehend von den bisher analysierten Parametern haben die Bedingungen „Auswahl aus Listen“ und „Einstellungen“ vergleichbares Blickverhalten bei beiden Displays zur Folge. Die „Eingabe von Aphanumerik“ führt zu längeren Blicken beim Anzeigeort HUD.

In den Diagramm 5 und Diagramm 6 sind die Histogramme aller Blickdauern für die „Auswahl aus Listen“ und „Eingabe von Ziffern“ abgebildet. Diese geben einen guten Überblick über das Blickverhalten aller Versuchspersonen.

Es zeigt sich deutlich, dass der Interaktionstyp kaum einen Einfluss auf das Blickverhalten hat, wenn die Informationen in einem CID angezeigt werden. Die Probanden sind sich wohl der Ablenkungsgefahr durch eine lange Blickabwendung von der Straße bewusst und begrenzen den visuellen Aufwand für die Interaktion auf ein Minimum. Bei der Interaktion im HUD hingegen meinen sie, die Fahrszene zu überblicken und trauen sich dadurch längere Blicke in das Display zu. Dieser Effekt tritt nur dann auf, wenn die Interaktion beanspruchender wird, da das Blickverhalten bei den einfachen Bedienungsaufgaben nahezu gleich ist, wie man es im Histogramm für die „Auswahl aus Listen“ sehen kann.

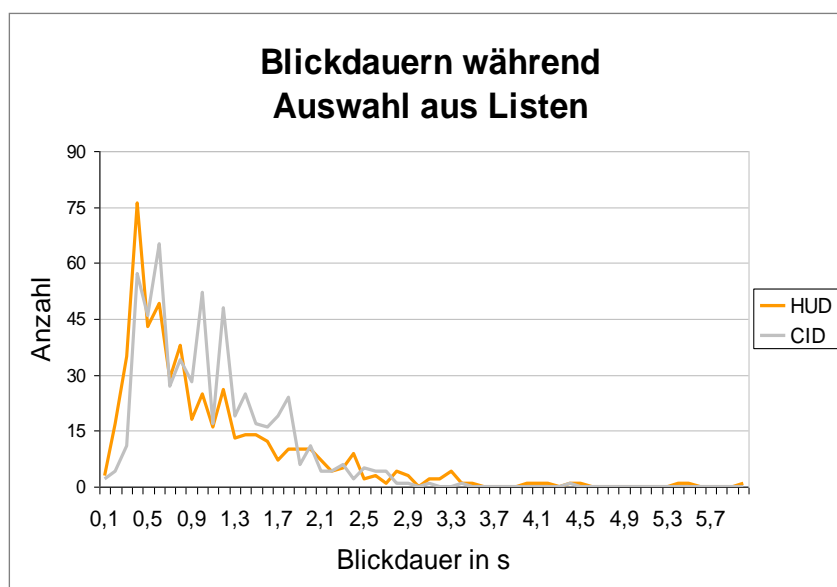


Diagramm 5: Histogramm der Blickdauern während der „Auswahl aus Listen“

Die Eingabe von Alphanumerik war die schwierigste Nebenaufgabe, was sich auch in der gemessenen Beanspruchung mittels PDT und den Bediendaten widerspiegelt. Bei diesen Aufgaben wird das Blickverhalten bei der Nutzung des HUDs stark verändert. Damit wird deutlich, dass das HUD eine sensitivere Anzeigefläche für die Informationsgestaltung und Aufgabenkomplexität ist als das CID. Daher ist es wichtig, die Interaktion und die Gestaltung an das HUD anzupassen, um negative Effekte zu vermeiden. Die Bedingungen „Auswahl aus Listen“ und „Einstellungen“ haben im Versuch vergleichbares Blickverhalten bei beiden Displays zur Folge. Somit wurde gezeigt, dass es möglich ist, die Interaktion im HUD so zu gestalten, dass sie keine negativen Seiteneffekte produziert.



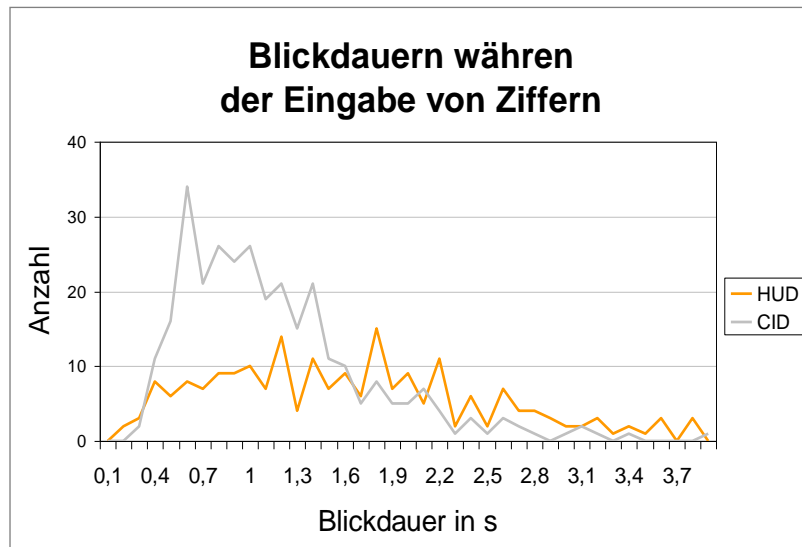


Diagramm 6: Histogramm der Blickdauern während der Eingabe von Ziffern

### Blickstrategien

Nach der Instruktion einer Nebenaufgabe galt der erste Blick auf das jeweilige Display, um die angezeigten Inhalte zu erfassen und den nächsten Schritt zu planen. Der darauffolgende Blick ging immer zur Straße, um die Fahrsituation unter Kontrolle zu haben und den passenden Augenblick für den Start der Nebenaufgabe einzuschätzen. Erst beim nächsten Blick auf das Display starteten die Versuchspersonen die Interaktion. Somit wurde der erste Blick dafür verwendet die Informationen zu erfassen. Die durchschnittliche Dauer des ersten Blickes wurde für alle Interaktionstypen unter den zwei Anzeigeorten verglichen und ist im Diagramm 7 sehen. Das Layout der ersten drei Interaktionstypen war an das HUD angepasst, wobei die Eingabe der Ziffern und Buchstaben aus dem iDrive Menü für das CID übernommen wurden.

Die Hypothese  $H_0^M$  besagt, dass die durchschnittliche Blickdauer des Ersten Blickes auf das Display während der Bearbeitung unterschiedlicher Nebenaufgaben unabhängig vom Anzeigeort (HUD /CID) ist.

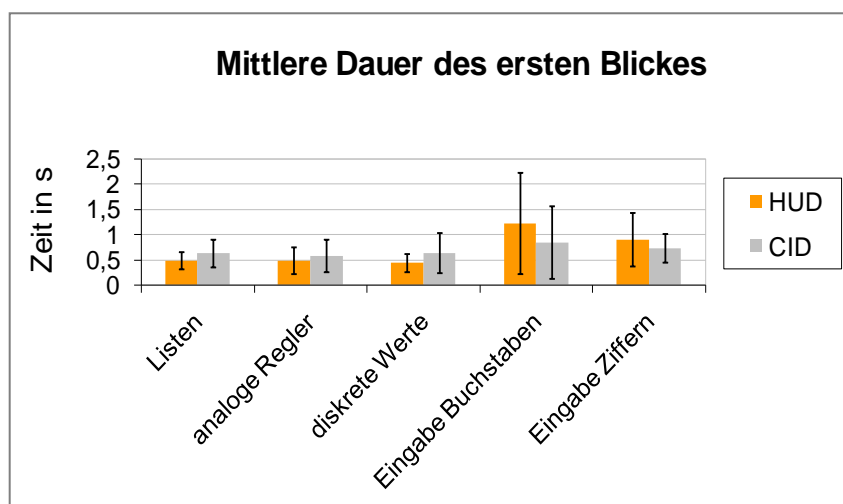


Diagramm 7: Mittlere Dauer erster Blick

Die Blickdauern des Ersten Blickes für die verschiedenen Interaktionstypen wurden mit dem Wilcoxon Test auf Unterschiede geprüft. Signifikante Unterschiede zwischen den zwei Displaypositionen haben sich für die „Eingabe von Ziffern“ ( $W(17) = -2.416, p = .016$ ) und „Eingabe von Buchstaben mit einem Speller“ ( $W(19) = -1.949, p = .05$ ) ergeben. In beiden Nebenaufgaben war der erste Blick auf das HUD länger als auf das CID. Bei den anderen Nebenaufgaben haben sich keine statistischen Unterschiede abhängig vom Anzeigeort ergeben, wobei der erste Blick ins HUD tendenziell kürzer ist. Damit wird auch die Hypothese  $H_0^M$  verworfen.

Da beim ersten Blick noch keine Interaktion stattgefunden hat, zeigen diese Ergebnisse, dass das Design des Interfaces im HUD größere Auswirkungen hat, als wenn es im CID dargestellt wird. Einfache grafische Layouts werden im HUD schneller erfasst, wobei komplexe Darstellungen im HUD längere Blicke verursachen.

### *Subjektive Angaben*

72% der Versuchspersonen haben das HUD für alle Interaktionstypen bevorzugt. Sie waren überwiegend der Meinung, dass die Interaktion im HUD sinnvoller ( $T(0,95, 33) = -4.881, p < .001$ ) und weniger gefährlich ( $T(0,95, 33) = 4.7, p < .001$ ) ist als im CID.

Die Daten im DALI zeigten eine größere subjektiv empfundene Beanspruchung beim CID in den Kategorien Aufwand an mentaler Aufmerksamkeit ( $T(0,95, 33) = 4.31, p = .001$ ), visuelle Beanspruchung ( $T(0,95, 33) = 4.42, p < .001$ ), verursachter Stress ( $T(0,95, 33) = 4. p = .001$ ), verursachter zeitlicher Druck ( $T(0,95, 33) = 3.44, p < .001$ ) und Interferenz zwischen Neben- und Fahraufgabe ( $T(0,95, 33) = 4.22, p < .001$ ).

Die Versuchspersonen fühlten sich durch die Interaktion im HUD weniger abgelenkt und gaben an, dass die Fahraufgabe weniger beeinflusst wurde ( $T(0,95, 33) = 5.92, p < .001$ ).

### **3.2.4.5 Zusammenfassung und Diskussion**

In dieser Untersuchung wird der Einfluss verschiedener Interaktionstypen bei der Bedienung im HUD analysiert. In diesem Zusammenhang werden auch kognitive Effekte wie z.B. Cognitive Capture und Perceptual Tunneling, die mit dem HUD in Verbindung gebracht werden, untersucht.

Unterschiede im Bedienverhalten und der verursachten Ablenkung zwischen HUD und CID stehen im Fokus dieses Experiments. Als Schwerpunkt gilt es Interaktionstypen zu identifizieren, die sich für eine Darstellung im HUD eignen.

Zusammenfassend haben die Ergebnisse des Versuches folgendes Bild aufgezeigt:

Nebenaufgabe: Einfache Nebenaufgabentypen wie „Auswahl aus Listen“ sowie „Einstellungen“ wurden im HUD schneller bearbeitet als im CID. Besonders einfach gestaltete Interfaces, wie die Liste oder analoge Regler, sind für die Darstellung im HUD besser geeignet als komplexe und detailreiche Layouts.

Fahrverhalten: Bezüglich des Fahrverhaltens ergeben sich keine Nachteile durch die Bedienung im HUD gegenüber einer Bedienung im CID, unabhängig von der Art der Interaktion. „Einstellung von analogen Reglern“ führt sogar zur geringeren SDLP in der HUD-Bedingung.

PDT: Die in der Einleitung erwähnten Vorteile eines HUD können mit Hilfe der PDT quantifiziert werden. Die visuelle und kognitive Beanspruchung während einer Bedienung hängen vom Anzeigeort, sowie vom Interaktionstyp ab. „Auswahl aus Listen“ und „Einstellungen“ weisen eine geringere visuelle und kognitive Beanspruchung im HUD als im CID auf. „Eingabe von Ziffern“ ist die schwierigste und am stärksten

ablenkende Nebenaufgabe. Die Bearbeitung resultiert aber nicht in einer größeren Anzahl verpasster PDT-Reize in der HUD-Bedingung. Alle PDT Ergebnisse bestätigen die These, dass „Auswahl aus Listen“ und „Einstellung von analogen Reglern“ für die Darstellung im HUD geeignet sind. Weiterhin wurden keine Hinweise auf Cognitive Capture und Perceptual Tunneling festgestellt.

Blickverhalten: Die Analyse des Blickverhaltens zeigt, dass das Design und die Art der Interaktion einen größeren Einfluss auf das Blickverhalten haben, wenn die Präsentation im HUD stattfindet. Das HUD ist ein attraktiver Anzeigeort und kann zu längeren Blickabwendungen als ein gewöhnliches Display innerhalb des Fahrzeugs führen, wenn die Bedienungsaufgabe komplex ist und das Layout detailreich ist. Einfache grafische Layouts werden im HUD schneller erfasst. Mit einfachen Bedienvorgängen und mit Interfaces, die für das HUD entwickelt wurden, können lange Blicke auf das Display vermieden werden.

Grundsätzlich erwies sich eine einfache Interaktion im HUD als effizienter, bezogen auf die Bearbeitungsdauer, mit einem geringerem Einfluss auf das Fahrverhalten (SDLP) und einer geringeren visuellen und kognitiven Beanspruchung (PDT). Typ und Gestaltung der Interaktion haben aber einen ausschlaggebenden Einfluss auf das Blickverhalten. Lange Blickdauern ins HUD können durch eine geeignete Informationsdarstellung und Reduktion der Interaktionskomplexität vermieden werden. Daher eignen sich kurze und einfache Bedienvorgänge wie z.B. Auswahl aus Listen und Einstellung analoger Regler für die Darstellung im HUD.

### 3.3 Gudeline für die Anzeigengestaltung im HUD

Abgeleitet aus den Erkenntnissen der zwei präsentierten Experimente, den Grundlagen aus der Literatur und Erfahrungen im Umgang mit der virtuellen Anzeigefläche werden folgende Regeln für eine an das HUD optimierte Gestaltung von Informationen sowie die Interaktion aufgestellt.

#### 3.3.1 Gestaltungsregeln

Im Folgenden werden die Regeln für die Gestaltung von Informationen und die Anwendung von gestalterischen Mitteln im HUD aufgestellt. Weiterhin werden ein oder mehrere geprüfte Vorschläge für die Umsetzung angeführt.

##### Redundanzen zwischen Kombi und HUD minimieren

- Informationen bei Nichtbedarf ausblenden (Experiment1)
- Fading für Ein-/Ausblenden von Informationen nutzen (Führt zu mehr Übersicht - Experiment1)

##### Keine Überdeckungen / Überlappungen

- Dimmen in Verbindung mit Zoom nutzen (Experiment 1)

##### Keine prägnante horizontale Verschiebung im HUD

- Feste visuelle Anker unterstützen räumliches Erinnerungsvermögen (Experiment 1)

Animation zur Aufmerksamkeitssteuerung gezielt nutzen

→ somit Fokus des Betrachters auf wichtige Elemente lenken (Experiment 1)

Reduktion der Informationen in Größe und Detail

→ Skalierung der Informationen führt zur Verringerung der Komplexität (Experiment 1)

Text auf das Minimum reduzieren

→ Wenn möglich, klar verständliche und aussagekräftige Symbolik verwenden (Experiment 1)

→ perspektivische Darstellung von Symbolik unterstützt das mentale Modell des Nutzers (Grundlagen Kapitel 4.2)

Einsatz von Gestaltungsmitteln bei präziser Konditionierung

→ Effizientere Darstellung (Grundlagen Kapitel 4.2)

→ Animation (Animationsdauer: 300 ms), Dimmen, Skalierung, Fading, Transparenz, Perspektive, Farbe und Größe, aussagekräftige Symbolik (Experiment 1)

### **3.3.2 Struktur der Interaktion**

In diesem Abschnitt werden alle Regeln, die sich auf die Menüinteraktion an sich und deren Struktur beziehen, zusammengefasst.

Funktionsreduktion (Experiment 1 & 2)

→ Flache Hierarchie mit maximal zwei Ebenen (Expertenmeinung)

→ Einbettung von den am häufigsten genutzten Funktionen (Favoritenmenü)

geeignete Interaktionstypen für das HUD (Experiment 2)

→ Auswahl aus Listen

→ Einstellungen

Umsetzung der Auswahl aus Listen (Experiment 2)

→ Die Anzahl der Listeneinträge kann ohne Bedenken bis zu 30 betragen

→ Anzahl der sichtbaren Listeneinträge auf 2,5 Zeilen pro ° beschränken

→ Informationsgehalt eines Eintrages möglichst prägnant darstellen (Text minimieren)

Umsetzung der Einstellungen (Experiment 2)

→ Grafische Repräsentation durch Balken - analoge Regler

Verwendung von Popup-Fenstern

→ Aufbau und Bedienung im Popup-Fenster konsistent an die Menübedienung anpassen. (Experiment 1)

→ Interferenz mit restlichen Anzeigen im HUD minimieren. (Experiment 1)

→ Auswahl aus Popup-Menü durch prägnante Symbolik darstellen. (Experiment 1 & 2)

### 3.3.3 Design und Gestaltung der Interaktion

Weitere Erkenntnisse, die bei der Umsetzung der Interaktion im HUD zu beachten sind, finden sich in diesem Abschnitt.

Gerade Linien wegen Verzerrung vermeiden (Grundlagen Kapitel 2.1.3)

→ Fokus durch Farbe und Größe darstellen d.h. Liste ist über zwei Farben darstellbar

Dynamik in Listendarstellung vermeiden (Expertenbefragung)

→ keine Fließbewegung mit Zoom in der Liste verwenden (Fisheye<sup>12</sup>-Optik) - Harte Umschaltung zwischen Listeneinträgen empfohlen

Orientierung im Menü jeder Zeit ermöglichen (Grundlagen Kapitel 4.2)

→ Orientierungsicon (Breadcrumb<sup>13</sup>)

Bedienrückmeldung auf jede Interaktion (Grundlagen Kapitel 4.2)

→ Nächste Ebene im Menü oder Aktivierungssymbol bei Auswahl von Einträgen

Keine permanente Anzeige des Menüs im parafovealem Blickfeld (Experiment 1)

→ Ausblenden nach Timeout bei Nichtbedienung

→ Ausblenden nach Auswahl und Bedienrückmeldung

---

<sup>12</sup>Fisheye-Optik - graphische Fischaugen-Visualisierungstechniken für lineare Menüs. Sie verändern dynamisch die Größe der Menüeinträge um einen Focusbereich, um den Mauszeiger zu schaffen.

<sup>13</sup> Unter Breadcrumbs versteht man die Kennzeichnung bereits gelesener Knoten. Eine andere Bezeichnung dafür ist Footprints.



## 4 ANZEIGEBEDIENKONZEPT

Im vorherigen Kapitel wurden viele Randbedingungen und Vorgaben zusammengestellt, die bei einem Anzeigebedienkonzept (ABK) im HUD berücksichtigt werden müssen. Neben diesen muss ein ABK die grundlegenden Anforderungen der Systemergonomie, die in der Abbildung 35 dargestellt sind, erfüllen. Die Eignung eines Konzeptes für den Einsatz während der Fahrt wurde in den vorangegangenen Kapiteln diskutiert. Auf die „Usability“ wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels näher eingegangen. Weiterhin muss das ABK den Markenanforderungen entsprechen und sich in die restlichen Anzeigen integrieren lassen. Dieses Zusammenspiel der Anzeigen im Fahrzeug und die dazugehörige Strategie werden am Beispiel von BMW erläutert. Das erklärte Ziel bei der Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug ist das Verschmelzen von Fahrer und Fahrzeug zu einer Einheit, was als Fahrerorientierung bezeichnet wird. Diese ist gleichzusetzen mit einer souveränen Interaktion auf Basis guter Ergonomie. Unabdingbare Voraussetzung für eine souveräne Interaktion ist eine ergonomische Anordnung von Anzeigen und Bedienelementen [ATZe 08]. Somit müssen alle drei Bereiche durch ein ABK im Fahrzeug erfüllt werden.

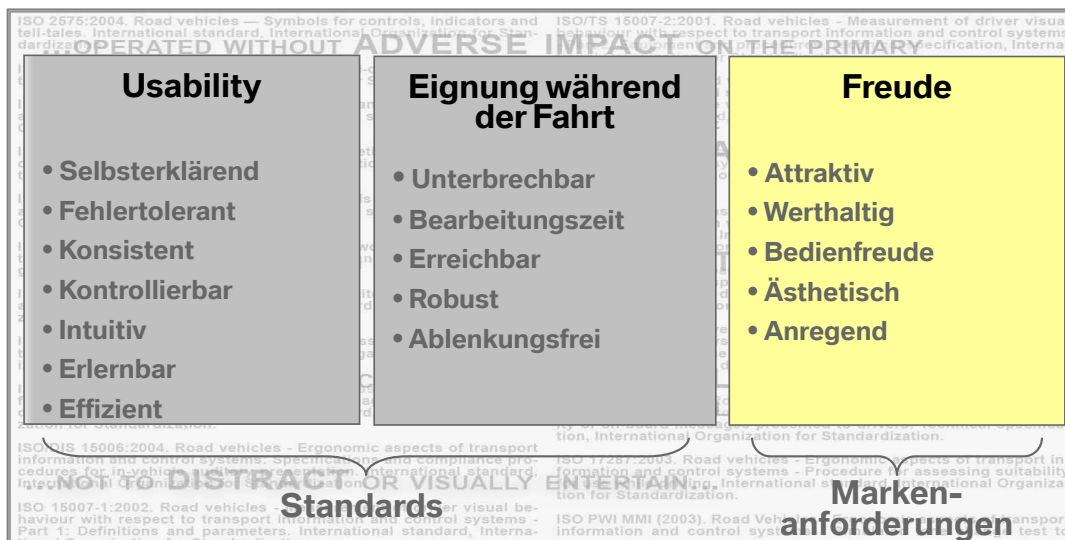


Abbildung 35: Systemergonomie [Spie 08]

Wie geht man aber bei einer Konzeptentwicklung vor? Ein Ansatz für den Entwicklungsprozess für ein Fahrerinformationssystem ist das User Centered Design. Diese Methodik beinhaltet im Wesentlichen die in der Abbildung 36 dargestellte Vorgehensweise.

Dabei erfolgen das Design des ABKs und die Bewertung in mehreren iterativen Schritten. Nach einer Analyse aller Randbedingungen wird ein Konzept sukzessiv entwickelt. Dabei wird auf die Informationsdarstellung, die Interaktionslogik und das Systemverhalten besonderen Wert gelegt. In der Absicherung wird neben „Joy of Use“,

die Bedienbarkeit und Vollständigkeit Konzeptes wie auch die Kompatibilität mit der Fahraufgabe untersucht.

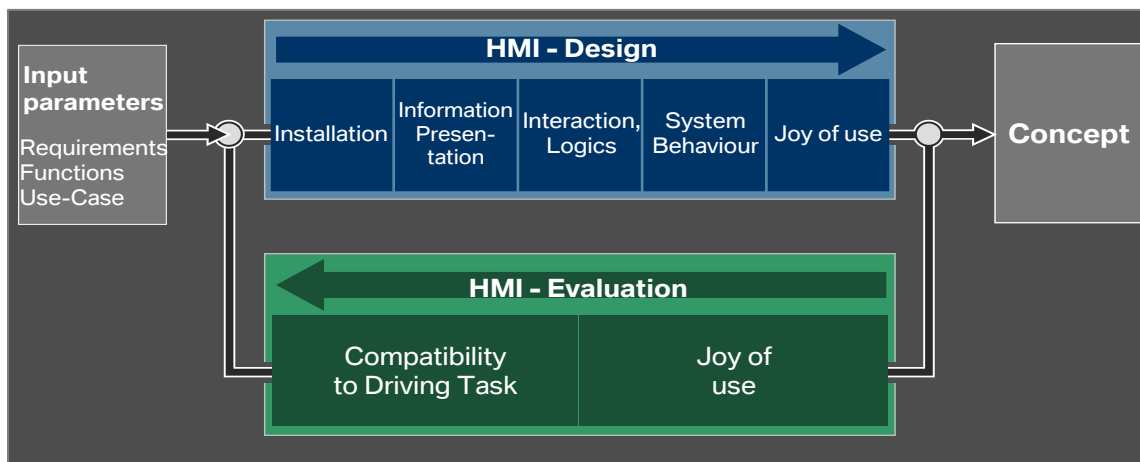


Abbildung 36: MMI-Entwicklungsprozess [ATZe 08].

Der Vorteil des User Centered Designs liegt darin, dass zur ergonomisch optimalen Auslegung der MMS die Aspekte Verkehrssicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Kontrollierbarkeit, Akzeptanz, Nutzerpräferenzen, einfache Bedienbarkeit und Erlernbarkeit analysiert und bewertet werden.

Dieser Weg wurde bei dem in dieser Arbeit vorgestellten ABK beschriftet. Bevor das Konzept erklärt wird, wird die Strategie der Informationsdarstellung und Interaktion in einem Fahrzeug am Beispiel des BMW 7er (F01) erklärt. Das HUD ist ein Bestandteil davon und muss immer in diesem Zusammenhang betrachtet werden.

#### 4.1 Zusammenspiel der Anzeigeflächen im Fahrzeug

Die Zielsetzung ist, dass das Interaktionserlebnis alle Sinne anspricht. Dabei trägt das HUD maßgeblich zum Interaktionserlebnis bei. Es ist ein Teil des ABK-Basislayouts mit einer ergonomisch optimalen Anordnung im Fahrzeug [BMW 08]. In der Abbildung 37 links ist die Aufteilung der Anzeige- und Bedieneinheiten zu sehen.

Dabei erfolgt die Anordnung der Bedienelemente im unteren und der Anzeigen im oberen Bereich der Instrumententafel (Abbildung 37). Alle Bedienelemente sind ohne Ablösen der Schulter vom Fahrersitz erreichbar und die Informationen von allen Displays können ohne lange Blickabwendung abgelesen werden. Somit sind hohe Anforderungen an die Ergonomie erfüllt.

Die Gesamtinteraktion wird durch die räumliche Aufteilung der Informationen vorrangig nach Fahr- und Komfortfunktionen, aber auch nach ihrer Relevanz für die Fahraufgabe (Abbildung 37) angeordnet. Häufig genutzte und sicherheitsrelevante Funktionen werden höher priorisiert, als selten genutzte Funktionen ohne zeitliche Kritikalität. Die Bedienelemente und Anzeigen für Funktionen mit hoher Relevanz sind im Fahrbereich dem Fahrer direkt zugeordnet. Dabei müssen fahrrelevante Funktionen, wie beispielsweise Fahrerassistenzsysteme, in kritischen Situationen die Aufmerksamkeit des Fahrers in geeigneter Weise lenken. Komfortorientierte Funktionen sind fahrzeugmittig im Komfortbereich positioniert und können durch Fahrer und Beifahrer



gleichermaßen bedient werden. Diese dürfen die Aufmerksamkeit des Fahrers nicht vom Verkehrsgeschehen ablenken [ATZe 08].



**Abbildung 37: Aufteilung der Displays und Bedienelemente im Fahrzeug und Informationspriorisierung**

Die anfangs erwähnte Fahrerorientierung setzt eine geeignete Gestaltung der Interaktion voraus. Diese lässt sich durch folgende Merkmale charakterisieren:

- minimale Anzahl an Interaktionsprinzipien
- Nutzen von Vorwissen durch Aufgreifen von Interaktionsprinzipien aus anderen Lebensbereichen – beispielsweise vom PC
- Unterbrechbarkeit der Interaktion
- kurze Bedienwege
- rechtzeitige und eindeutige Rückmeldung.

Dabei ist die Bildschirmbedienung im CID von zentraler Bedeutung für alle Einstellvorgänge, sowie den Entertainment-, Kommunikations- und Komfortbereich. Das dort integrierte Menü wurde nach folgenden drei Prämissen für eine intuitive Interaktion entwickelt:

- Maximale Kompatibilität von Bedienung und visueller Darstellung: Das Bedienteil wird in die Gestaltung der Bildschirmoberfläche mit einbezogen.
- Einfachste Orientierung im System: Das System verhält sich von Anfang an nachvollziehbar und ermöglicht mit kurzen Bedienwegen und transparenten Menüstrukturen eine schnelle Orientierung.
- Attraktivität durch effiziente, kundenorientierte Gestaltung: Ein ansprechendes Screendesign und hochwertige Animationen sind wichtige Voraussetzungen für ein hohes Maß an Akzeptanz.

Im Kombiinstrument werden neben den klassischen Informationen auch Navigationshinweise und Hinweise der Fahrerassistenzsysteme angezeigt. Über die linke Seite des Multifunktionslenkrads erfolgt die Bedienung der Geschwindigkeitsregelsysteme. Die Rückmeldungen und Anzeigen werden analog zur Bedienung in der linken Hälfte des Kombiinstrumentes angezeigt.

Im Kombiinstrument ist allerdings auch die Bedienung der wichtigsten Entertainment- und Telefonfunktionen umgesetzt. Somit sind die am häufigsten genutzten Funktionen in den primären Bereich der Anzeigen verschoben, um den Fahrer während der Fahrt optimal zu unterstützen und eine geringere Ablenkung während der Interaktion mit diesem Funktionsumfang zu gewährleisten. Dazu erscheint im rechten Bereich des

Kombiinstrumente eine listenförmige Darstellung der aktuellen Audioquelle beziehungsweise die Wahlwiederholungsliste. Das Bedienelement zur Listenbedienung ist ein Dreh-Drück-Rändelrad auf der rechten Lenkradspeiche.

Bei dem eingangs erwähnten Interaktionserlebnis, dass alle Sinne adressiert, ist das HUD ein essentieller Bestandteil. In der jetzigen Generation der Fahrzeuge werden im HUD ausschließlich fahrrelevante Informationen, wie Fahrgeschwindigkeit, Fahrerassistenzinformationen und Navigationshinweise angezeigt. Die Strukturierung dieser Informationen zeigt die Abbildung 38. Es wird als situatives Fenster für Fahrerinformationen verstanden und dient der aktiven Sicherheit.

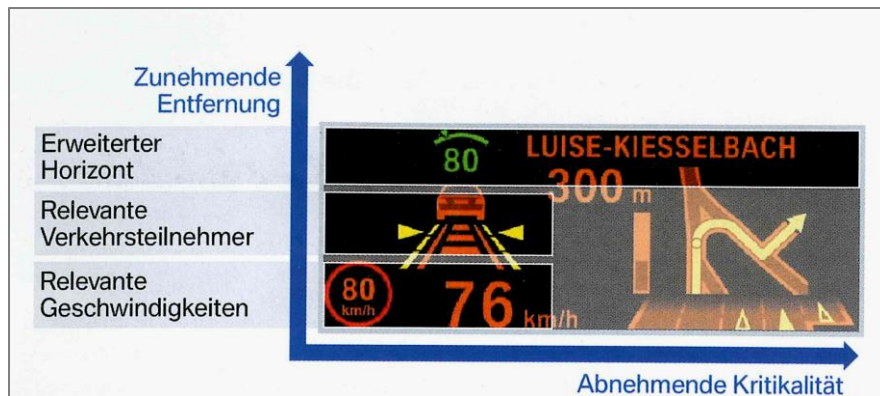


Abbildung 38: Strukturierung der Informationsdarstellung im HUD [ATZe 08].

Grundlage ist die Differenzierung nach Entfernung und Kritikalität. Der Ist-Zustand, wie die aktuell gefahrene und vorgeschriebene Geschwindigkeit, wird am unteren Bildrand dargestellt und Informationen bezüglich der voraus liegenden Verkehrssituation direkt darüber. Navigationsinformationen werden aufgrund ihrer relativ niedrigen zeitlichen Kritikalität rechts im HUD abgebildet.

In dieses Gefüge der Anzeigen ist der neue Ansatz einer Menübedienung im HUD unabhängig von der Größe der HUD-Anzeige zu integrieren.

## 4.2 Konzeptableitung für eine Mensch-Maschine-Interaktion im HUD

Wie die Interaktion im HUD aussehen soll und wie diese in die Anzeigestrategie im Fahrzeug einzuordnen ist, wird in diesem Abschnitt geklärt.

Anhand der Guideline ist eine flache Hierarchie mit den Interaktionsprinzipien Auswahl aus Listen und Einstellungsvorgängen zulässig. Somit kann eine Bedienung im HUD keine Intention haben, das CID zu ersetzen.

Durch die Bedienung der wichtigsten Entertainment- und Telefonfunktionen im Kombiinstrument wurde die Aufteilung (Abbildung 25 in Kapitel 3.1.1) gedehnt. Es wurden im Bereich der Anzeigen, bezogen auf die Primär- und Sekundäraufgabe, Funktionen aus der Gruppe der tertiären Aufgaben integriert.

Wenn man die Strategie, dass häufig genutzte und sicherheitsrelevante Funktionen höher priorisiert werden, verfolgt, stellt sich die Frage, ob die Bedienung der häufigsten tertiären Funktionen nicht für das HUD geeignet ist. Diese setzen sich aus Listen

zusammen, die nachgewiesenermaßen bei einer Darstellung im HUD Vorteile gegenüber dem CID mit sich bringen (siehe Kapitel 3.2.4). Der Vergleich zum Kombiinstrument lässt sich aus der Literatur ziehen. Beim Ablesen von Informationen im Kombiinstrument wird die Fahrszene mit 10% der Sehschärfe erfasst. Dieser Wert beträgt bei der Nutzung des HUD 40-50% (siehe Kapitel 3.1.2.2). Dies führt zur weiteren Optimierung der Blickstrategie bei der Nutzung der häufigsten Funktionen während der Fahrt.

Dabei bleibt das HUD immer noch der Anzeigort für fahrbezogene Informationen. Es sollte sich nur fahrerinitiiert zur temporären Anzeige für wichtige FIS-Funktionen entwickeln. Dabei haben fahrrelevante Informationen stets die Priorität. Bei einer Integration der Menübedienung in die bestehenden Anzeigen ist ein transparentes und schlüssiges Prioritätenmanagement unumgänglich. Auf diese Weise wird die Wahrnehmung der Fahrerorientierung durch Stärkung des Fahrers in seiner Souveränität (z.B. Optimierung von Bedien- und Blickabwendungszeiten) gefestigt.

Nach der strategischen Eingliederung einer Menüinteraktion in die Anzeigen im Fahrzeug folgt die Herleitung des Konzeptes aus der wie folgt definierten Anforderung: Für die Darstellung im HUD wird eine *einfach verständliche, effizient ablesbare und emotional ansprechende Gestaltung* der Informationen gefordert. Weiterhin ermöglicht eine *intuitive ablenkungsarme Interaktion* redundanzfreie Blickstrategien [Ecks 08]. Die nachfolgenden Gesetze, Vorgaben und Ergebnisse aus Studien werden genutzt, um diese Anforderungen zu erfüllen.

#### 4.2.1 Gesetze der Einfachheit

Um der begründeten Forderung nach Einfachheit gerecht zu werden, werden aus „The Laws of Simplicity“ folgende sechs für die Interaktion im HUD berücksichtigt [Made 06].

**1. Gesetz: Reduktion.** *Die einfachste Weise Einfachheit zu erzielen, ist durch wohlüberlegte Reduktion.*

Die Entfernung von Funktionalität macht die Bedienung einfacher und schränkt gleichzeitig die Verwendungsmöglichkeit ein. In der Menübedienung im HUD wird man sich auf das Minimum an Funktionalität beschränken. Somit wird nur die Auswahl aus Listen der häufigsten FIS-Funktionen ermöglicht.

**2. Gesetz: Organisieren.** *Aufräumen lässt eine Vielzahl geringer erscheinen.*

Das Zuordnen zu Kategorien erleichtert den Zugriff auf eine Vielzahl von Funktionen. Somit wird eine flache Hierarchie umgesetzt, die unterschiedliche FIS-Funktionsbereiche in Form von Hauptmenüpunkten gruppiert.

**5. Gesetz: Gegensätze.** *Einfachheit und Komplexität bedingen einander.*

Das Einfache fällt in einer komplexen Umgebung auf. Das iDrive im CID bietet dem Fahrer eine große Menge an gut strukturierten Funktionen. 90% der Bedienhandlungen im Fahrzeug bestehen aus den häufigsten FIS-Funktionen [BMW 07]. Somit wird dem Fahrer durch die Abbildung dieser Funktionalitäten im HUD der Umgang mit dem Gesamt-ABK erleichtert.

**6. Gesetz: Kontext.** *Das Umfeld von Einfachheit ist zweifellos nicht unbedeutend.*

Die bloße Fokussierung auf einen Gegenstand hilft weniger zu dessen Verständnis, als die Einbeziehung des Hintergrundes vor dem sich dieser Gegenstand befindet. Somit wird bei der Umsetzung der Menüinteraktion im HUD das gesamte ABK im Fahrzeug in den Designprozess einbezogen. Dabei wird ein reibungsloser Übergang zur Menüinteraktion durch die Anwendung des gleichen Bedienelementes wie bei der Bedienung im Kombiinstrument und der Berücksichtigung der ABK-Strategie ermöglicht.

**7. Gesetz: Emotion.** *Mehr Emotionen sind besser als weniger Emotionen.*

Im Designprozess wird auf die emotional ansprechende Gestaltung der Informationen besonderen Wert gelegt.

**8. Gesetz: Vertrauen.** *Wir vertrauen der Einfachheit.*

Eine positive emotionale Bindung an ein einfaches System wird ermöglicht.

**10. Gesetz: Das Eine.** *Einfachheit entsteht durch Fortlassen des Offensichtlichen und dem Hinzufügen von Bedeutungshaftem.*

Die drei Schlüssel zur Einfachheit lauten:

- (1) *Entfernt (away)*: Mehr sieht nach weniger aus, wenn dies weit entfernt wird.
- (2) *Offen (open)*: Offenheit oder Transparenz vereinfacht Komplexität.
- (3) *Energie (power)*. Verwende weniger, erreiche mehr.

#### 4.2.2 Intuitivität

Intuitivität basiert auf Erfahrungen im Umgang mit ähnlichen Systemen aus dem Alltag. Der Wiedererkennungswert führt dazu, dass weniger Verarbeitung auf höheren kognitiven Ebenen stattfindet. Dabei wird vorhandenes Wissen schnell und unbewusst abgerufen. Intuitivität führt nicht nur zur besseren Performance beim Bedienen, sondern trägt zu einer positiven emotionalen Erfahrung beim Umgang mit dem System. Dies trifft vor allem dann zu, wenn die Erwartungen des Benutzers erfüllt werden. Eine positive emotionale Bindung zu einem System wird durch eine hedonische Gestaltung von „Graphical User Interfaces“ (GUI)<sup>14</sup> ebenfalls verstärkt [Blac 07].

#### 4.2.3 Metaphern

Metaphern<sup>15</sup> erhöhen die Benutzerfreundlichkeit. Ein System weckt eine Vertrautheit beim Anwender, indem sie eine Umgebung als Bild der realen Welt schafft, z.B. Desktopmetapher. Gute Metaphern erfordern eine geringe Lernleistung und somit auch eine geringere kognitive Beanspruchung, da das Bedienprinzip bereits (unbewusst) bekannt ist (Intuitivität).

In diesem Zusammenhang wurde festgestellt, dass gute Icons zu einer bis zu 69% besseren Leistung bei der Erkennung und dem Verständnis eines Systems führen können [Ishe 07].

#### 4.2.4 Mentale Repräsentation

Beim Umgang mit einem System werden von Nutzern verschiedenartige mentale Repräsentationen aufgebaut. Diese sind sowohl als Konsequenz des Lernprozesses als auch als Vorbedingungen eines geringen Lernaufwands und optimalen Lernprozesses zu sehen. Es wurde gezeigt, dass semantische, räumliche und motorische

<sup>14</sup> Die Gestaltung von graphischen Oberflächen einer MMS nennt man „Graphical User Interface“ (GUI).

<sup>15</sup> griech.: bildliche Übertragung [Lexi 96]

Repräsentationen zu berücksichtigen sind, die insbesondere beim Umgang mit entsprechenden Systemen während der Fahrt von Bedeutung sind [Totz 05].

Ein geeignetes konzeptuelles Modell, das eine bestimmte mentale Repräsentation des künftigen „Funktionsuniversums“ abbildet, hilft die richtigen Bedienelemente und Metaphern bei der Entwicklung des Systems auszuwählen.

#### 4.2.5 Animation und Kontinuität

Der Klick auf einen Button mit sofortigem Austausch der Bildschirm- bzw. Displayinhalte verletzt die Prinzipien von Kontinuität und Animation. Weder erhalten so die Objekte einen Ort, noch lassen sich neue Orte durch die Beobachtung einer Bewegung ableiten. „Im Interesse des intuitiven Umgangs mit dem Funktionsuniversum muss es sich wahrnehmbar kontinuierlich präsentieren, und jeder Übergang von einem Ort zum anderen muss beobachtbar sein. Animation ist ein sehr gutes Mittel dafür. Sie sollte aber nur dort eingesetzt werden, wo sie notwendig ist. Nie darf eine Bewegung so schnell sein, dass man sie nicht wahrnehmen kann, nie so langsam, dass der Nutzer ungeduldig wird.“ [Ginn 06]

Im Zusammenhang mit FIS werden Animationen als kritisch eingestuft [ESoP 06]. Dennoch besitzen diese ein großes Potential, wenn sie den Fahrer unterstützen, die Zusammenhänge in Menüstrukturen leichter zu verstehen. Eine intuitive FIS-Bedienung stellt eine wichtige Anforderung dar. Die Ergebnisse der Studie von Broy zeigen, dass die schnelle Animation im Gegensatz zur langsamen Animation Erlernbarkeit und Akzeptanz gegenüber dem System ohne Animation im Erstkontakt steigert. Dabei wird eine Animation von 300 ms empfohlen [Broy 06].

#### 4.2.6 Prinzipien der Gestaltungspsychologie

Die Wahrnehmung und Räumlichkeit sind wichtige Faktoren bei der Entwicklung von Metaphern. Man teilt die gestaltungspsychologischen Prinzipien in Gesetze ein [ETH 01]. Folgende werden im Rahmen dieser Arbeit genutzt:

**Gesetz der Nähe:** Elemente eines Bildes, die in enger räumlicher Beziehung zueinander stehen, werden als zusammengehörig empfunden.

**Gesetz der Ähnlichkeit oder Gleichheit:** Ähnliche bzw. gleichartige Objekte werden als ein Objekt oder als Gruppe wahrgenommen.

**Gesetz der Geschlossenheit:** Figuren, deren Umrisse nicht vollständig sind, werden im Gehirn zu vollständigen Figuren ergänzt.

**Gesetz der Prägnanz:** Auch wenn die Elemente eines Bildes beliebig komplex sind, werden die wahrgenommenen Strukturen so einfach wie möglich gehalten.

**Gesetz der Bewegung:** Elemente, die sich in gleicher Art und Weise bewegen, werden als zusammenhängende Gruppen wahrgenommen.

**Gesetz der guten Fortsetzung:** Harmonische Anordnung von Objekten führt zur Wahrnehmung als ein Objekt.

**Gesetz der Symmetrie:** Zwischenräume zwischen symmetrischen Konturen werden eher als Objekt wahrgenommen, als die zwischen nichtsymmetrischen Konturen.

**Gesetz der Tiefenwahrnehmung:** Änderungen von Texturen unterstützen die Tiefenwahrnehmung.

Nach Einbeziehung der erwähnten Informationen und unter der Berücksichtigung der Strategie des ABKs im Fahrzeug wurde das mentale Modell für die Bedienung im HUD aus der 3D-Zylindermetapher aufgebaut. Eine Listenbedienung im Kombiinstrument wird mit Hilfe einer Walze an der rechten Lenkradspeiche bedient. Diese Bedienung ist intuitiv und etabliert. Aus diesem Grund wird auf dieses Bedienelement für die Interaktion zurückgegriffen. Somit erfolgt die Bedienung, ohne dass das Lenkrad losgelassen werden muss, was zu einer sicheren und schnellen Interaktion und zur Stärkung der Wahrnehmung der Fahrerorientierung führt.

Die 3D-Zylindermetapher ist auf dieses Bedienelement sehr gut übertragbar, da die Walze einen horizontalen Zylinder darstellt. Das Bedienteil wird in die Gestaltung der Bildschirmoberfläche mit einbezogen. Somit ist die Bewegung des Bedienelementes eins zu eins in die Interaktion innerhalb des Menüs übertragbar.

Die starke Funktionsreduktion auf die häufigsten Funktionalitäten, die anhand von Listen dargestellt werden, erlaubt diese in Funktionsgruppen zu gliedern. Somit entsteht eine flache und einfache Menüstruktur, in der die oberste Menüebene die Funktionalitäten innerhalb des Navigations-, Telefon- und Musikbereiches zusammenfasst.

### 4.3 Orion: Konzept für die exklusive Darstellung von Menüinteraktion im vergrößerten HUD

Die im vorausgegangenen Kapitel beschriebenen Erkenntnisse und Grundlagen wurden bei der Konzeptentwicklung beachtet. Das Menü erhielt den Namen Orion. In der Tabelle 10 ist der Funktionsumfang zusammengefasst. Für die Bedienung wurde das entwickelte Lenkradbedienelement, wie in Abbildung 23 und Abbildung 39 dargestellt, eingesetzt. Es verfügt über vier Tasten und einer mit einem Druckpunkt versehenen Walze zum „Scrollen“.

ORION		
Navigation	Telefon	Musik
Letzte Ziele Adressbuch Lautstärke	Verpasste Anrufe Geführte Gespräche Telefonbuch	Radio MP3 CD

Tabelle 10: Funktionsumfang Orion-Menü

Das Menü ist hierarchisch aufgebaut und besitzt neben einer Hauptebene zu jedem Hauptmenüeintrag noch eine Unterebene. Das Hauptmenü wird über die obere rechte Taste „Orion“ aktiviert bzw. bei aktivem Menü zurückgesetzt. Die „Menüringe“ werden durch Drehen der Walze bewegt. Der im Vordergrund befindliche, gelb dargestellte Menüpunkt wird durch Druck auf die Walze ausgewählt. Mit den beiden Pfeiltasten kann ebenfalls im Menü zwischen den Ebenen navigiert werden (linker Pfeil, eine Ebene zurück, rechter Pfeil, eine Ebene tiefer). Nach Auswahl eines Untermenüpunktes gelangt man in Listenauswahlen. Ein Listeneintrag wird über Druck auf die Walze ausgewählt.

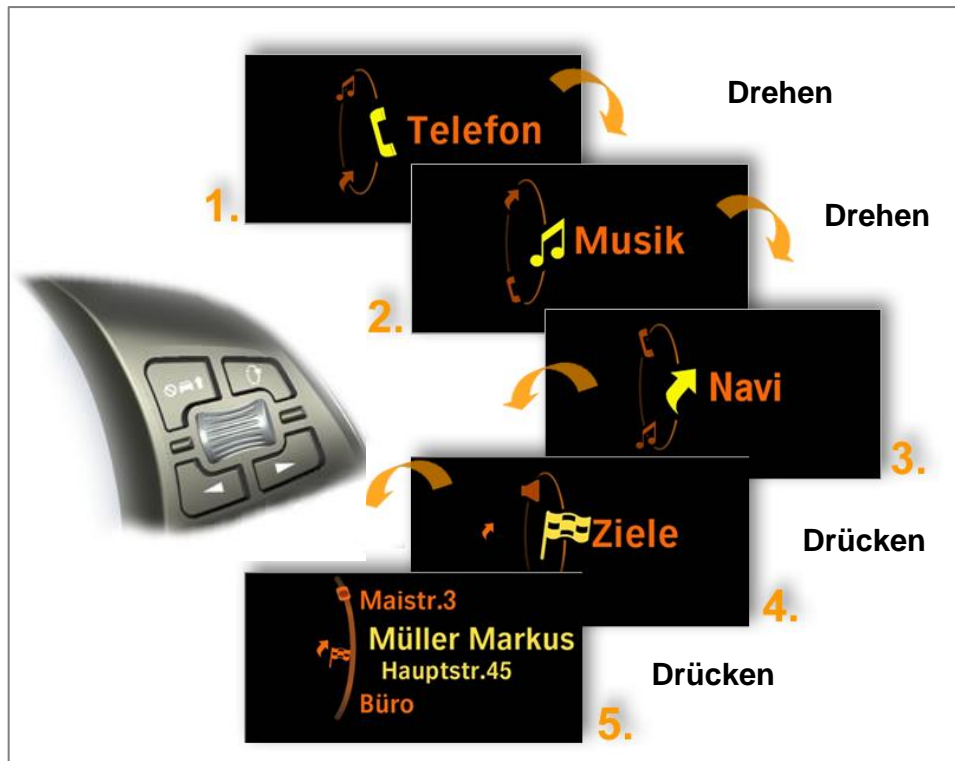


Abbildung 39: Orion Menüinteraktion mit Lenkradbedienelement

Durch die geringe Menütiefe und einfache Listen werden kurze Bedienzeiten erreicht. Abbildung 39 zeigt einige Screenshots einer Menübedienung. Nach der Auswahl „Navi“ im Hauptmenü wird das Untermenü „Ziele“ gewählt und die Liste auf den Namen „Müller Markus“ bewegt.

Die Darstellung der einzelnen Ebenen entspricht dem mentalen Modell einer 3D-Zylindermetapher. Weiterhin wurden Animation, Skalierung, perspektivische Gestaltung und Transparenz benutzt, um die räumliche Tiefenwirkung zu erzielen. Somit hat man das Gefühl, dass durch das Drehen der Walze der Ring in der Tiefe mitgedreht wird. Dabei erscheint die aktuelle Auswahl dem Fahrer am nächsten und die anderen beiden Menüpunkte sind in der hinteren Ebene noch erkennbar. Durch den räumlichen Bezug (Ring) und eine gemeinsame Bewegung der drei Elemente im Ring werden sie als eine Gruppe wahrgenommen.

Das Orion-Menü wurde für ein vergrößertes HUD mit exklusivem Anzeigebereich für die Interaktion konzipiert.

#### 4.4 Sisco: Integration der Menübedienung in die Anzeigen im Primär-HUD

Das Orion-Menü wurde für eine exklusive Darstellung der Interaktion im HUD konzipiert. In diesem Abschnitt erfolgt die Integration des Orion-Menüs in das Primär-HUD mit den bestehenden Anzeigen. Dafür wird, wie eingangs gefordert, ein transparentes und schlüssiges Prioritätenmanagement für die Anzeigeninhalte entwickelt und geprüft [Raub 08]. Somit kann eine Menübedienung im HUD unter den heutigen technischen

Rahmenbedingungen untersucht werden. Die schematische Anordnung ist in Abbildung 41 dargestellt.

Die Integration der Menüinteraktion erfolgt in das situationsadaptive Konzept „Generic Head-Up Display“ [Brei 07], das die Informationen über Geschwindigkeit, Navigation, Fahrerassistenz, Verkehrsschilderkennung sowie Warn- und Statusmeldungen beinhaltet.

Aufbauend auf diesem Konzept erfolgt ein Vergleich der Menübedienung im HUD in einer erweiterten Anzeigefläche (exklusiver Bereich für die Interaktion) und der integrierten Menübedienung in die bestehenden Anzeigen im HUD. Dabei wird die verursachte Beanspruchung durch die Menübedienung gemessen. Einen Schwerpunkt bildet die Analyse der peripheren Wahrnehmungsleistung im Hinblick auf Perceptual Tunneling.

#### 4.4.1 Generic Head-Up Display

Das Generic Head-Up Display (GenericHUD) ist ein Anzeigekonzept, das die Stärken der Head-Up Technologie unterstützen und seine Einschränkungen minimieren soll. Es basiert auf Situationsadaptivität, Workloadminderung, effizienter Nutzung der Anzeigefläche und Steigerung der Likeability durch ansprechende Gestaltung. Dabei wird erstmalig durch Animation der dargestellten Informationen gezielt die Aufmerksamkeit des Fahrers gelenkt, um so insgesamt die kognitive Beanspruchung zu reduzieren. Aktuell nicht relevante Informationen werden klein und detailarm dargestellt. Erlangt eine solche Information situationsbedingt höhere Relevanz für die Fahraufgabe, so wird sie in einer schnellen Animation vergrößert und stärker detailliert. Diese Animation zieht den Blick des Fahrers auf die sich verändernde Anzeige, wodurch der geänderte Inhalt schneller wahrgenommen werden kann [Brei 07].

##### *Situationsadaptivität*

Die Anzeige im GenericHUD besteht aus mehreren Funktionsgruppen, die in Größe und Detailgenauigkeit entweder vom Fahrzeug oder vom Fahrer hervorgehoben werden können. Abbildung 40 zeigt das GenericHUD und verschiedene Stufen der Priorisierung. Die Geschwindigkeit wird digital in Einerschritten permanent an der Position oben links angezeigt. Die anderen Informationsgruppen sind Verkehrsschilderkennung, Fahrerassistenz und Navigationsanzeige, wie in Abbildung 40 links illustriert. In der Standardansicht sind diese drei Gruppen kleiner und in einer niedrigeren Detailstufe dargestellt. Bei aktiver Navigation und Annäherung an eine Kreuzung erhält die Anzeige der Navigationsinformation Priorität. Das dazugehörige Element wird automatisch vergrößert und weist eine höhere Detailgenauigkeit auf (Abbildung 40 rechts unten). Analog verhält sich die Darstellung der Fahrerassistenz bei deren Bedienung. Ein manuelles „Durchschalten“ durch die drei Gruppen ist ebenfalls über ein Bedienelement am Lenkrad möglich, wobei die einzelnen Gruppen nacheinander manuell vergrößert werden.

##### *Workloadminderung und effiziente Nutzung der Anzeigefläche*

Durch die automatische Priorisierung und Animation, bei Vergrößerung des jeweiligen Elements, erfolgt eine gezielte Aufmerksamkeitssteuerung auf die für die Fahraufgabe relevante Information. Diese kann somit schneller und einfacher wahrgenommen werden. Durch die dynamische Anzeigegröße wird die Displayfläche besser ausgenutzt, als es bei den herkömmlichen fest skalierten und positionierten Anzeigen der Fall ist.



Andererseits wird durch die Verkleinerung aktuell nicht relevanter Daten die Problematik einer zu hohen Informationsdichte vermieden.

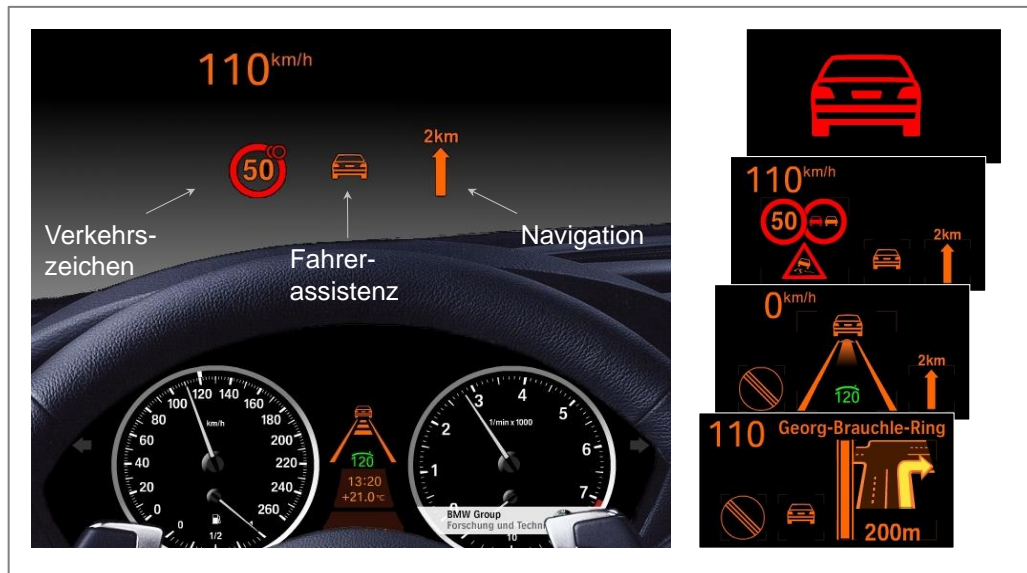


Abbildung 40: Generic Head-Up Display [Brei 07]

### Likeability

In einer Nutzerstudie im Fahrsimulator überzeugt das GenericHUD durch große Akzeptanz gegenüber den statischen HUD-Anzeigen. In dieser Untersuchung wurde ein „in-between“-Versuchsdesign zwischen einem statischen HUD vergleichbar mit der BMW-Serie und dem GenericHUD gewählt. Als subjektives Maß wurde ein „semantisches Differential“ der beiden Systeme erhoben. Bei diesem Verfahren beurteilt die Testperson ihre Einstellung zum zu testenden System auf einer mehrstufigen Skala. An deren Ende sind polare Assoziationsbegriffe wie „gut/schlecht“, „stark/schwach“ vorgegeben. Die verwendeten 60 Adjektivpaare waren in fünf Kategorien eingeteilt: Image, Komfort, Modernität, Prestige und Usability. Das adaptive GenericHUD hat in den Kategorien „Image“ und „Modernität“ signifikant besser abgeschnitten als das statische HUD. In den anderen Kategorien wurde kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Systemen ermittelt. Weiterhin erfolgte eine persönliche Befragung der Versuchspersonen, bei der das GenericHUD von den meisten Versuchspersonen als entlastend, verständlich und besser lesbar bewertet wurde. Alle weiteren Versuchsergebnisse sind in [Brei 07] nachzulesen.

### „Hochzeit“ von Generic Head-Up Display und Orion

Die beiden vorgestellten Systeme werden nun für eine gemeinsame Nutzung im Head-Up Display vereinigt. Um Anzeigekonflikte und eine überladene Anzeigefläche zu vermeiden, wird im Folgenden ein Konzept für ein Anzeigeprioritätenmanagement entwickelt.

## 4.4.2 Prioritätenmanagement

Durch situationsangepasstes Anzeigen oder Ausblenden nicht relevanter Inhalte soll die Wahrnehmung relevanter Meldungen gezielt verbessert, und die Ablenkung von der

Fahraufgabe minimiert werden. Aus diesem Grund ist ein prioritätengesteuertes Anzeigemanagement notwendig, das dynamisch dafür sorgt, dass nur aktuell wichtige Anzeigehalte präsentiert werden.

Das endgültige System muss zu jedem Zeitpunkt für den Nutzer klar verständlich und transparent sein. Dies ist ein entscheidender Punkt beim Entwurf des Konzepts. Insbesondere im Automobil müssen Anwendungen dieser Art sowohl für geübte, als auch ungeübte Anwender schnell, einfach und verständlich zu bedienen sein und auch schon beim Erstkontakt einen schnellen Lernprozess ermöglichen. Der Nutzer darf in keiner Situation das Gefühl verspüren, bevormundet zu werden oder überfordert zu sein.

In das Konzept werden folgende Inhalte integriert:

- Generic Head-Up Display
- Orion Menüinteraktion
- Ankommender Telefonanruf
- Adaptive Cruise Control (ACC) und Tempomat

Daneben müssen folgende Anzeigen berücksichtigt werden, bei denen es zwar keiner Bedienung, aber zwingend einer Anzeige bedarf:

- Warnmeldungen
- Statusmeldungen
- Führungsinformation Navigationssystem

Für die Fahraufgabe besonders relevant sind neben akuten Warnmeldungen die Anzeige von Geschwindigkeit und ACC-Aktivität. Das Anzeigekonzept sieht vor, die Eigengeschwindigkeit des Fahrzeugs und die ACC-Aktivität ständig anzuzeigen. Diese werden nur in Ausnahmesituationen von hochpriorären Warnmeldungen, beispielsweise vor einem drohenden Auffahrunfall, überdeckt.

Wie die schematische Abbildung des GenericHUD und Orion zeigt, muss das Layout einer der beiden Komponenten geändert werden, um bei der gemeinsamen Darstellung keinen Konflikt zwischen ACC und Listenauswahl zu erhalten. Abbildung 41 zeigt die umgesetzte Variante der Anzeigenanordnung. Dabei wird die ACC-Anzeige aus der Gruppendynamik des GenericHUD entfernt und erhält eine eigene, fixe Position auf der linken Seite der HUD-Anzeigefläche (rote Kennzeichnung). Vorteil dabei ist, dass die Anzeige des ACC nicht verschoben werden muss und die Verschiebung beim Ein- und Ausschalten von Orion vermieden wird. Grundlage für die Positionierung der ACC-Anzeige oberhalb der Geschwindigkeit ist eine harmonische Anzeigegestaltung durch das Gruppieren einzelner Elemente. Dabei wird Symmetrie und das Mittel der geschlossenen Gestaltung eingesetzt [Tull 84]. Wie in Abbildung 41 links dargestellt, lassen sich im angepassten GenericHUD zwei Gruppen bilden. Diese sind mit einem roten und einem blauen Rahmen gekennzeichnet. Die Mittelpunkte der gruppierten Elemente lassen sich durch gedachte Linien verbinden (gestrichelte Linien), um eine harmonische Anzeige zu schaffen [Wick 92]. Ist das ACC deaktiviert, bleibt diese Anzeigefläche leer. Die rot gekennzeichnete Gruppe löst sich auf, die blaue bleibt vollständig erhalten. Bei Aktivierung von Orion werden die Gruppen der Verkehrsschilderkennung und der Navigation ausgeblendet, das Menü hingegen eingeblendet.

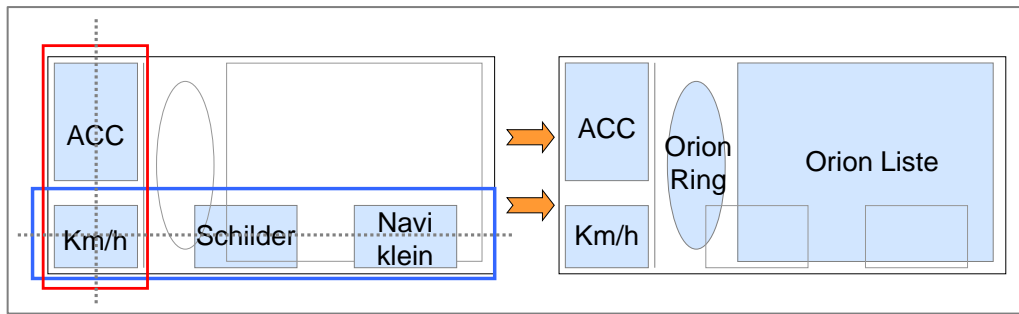


Abbildung 41: Layout im GenericHUD bei Aktivierung des Menüs

Nach der Gestaltung des Layouts werden die möglichen Systemzustände erfasst und näher betrachtet.

aktuell \ neu		Systeminitiiert							Fahrerinitiiert	
		iBrake	ACC „take over“ request	ACC „go“ request	CC-Warnung	CC-Meldung	Navi-Update	ankommender Anruf	ACC Bedienung Fahrer	Orion Menü-Interaktion
Systeminitiiert	iBrake		iBrake	iBrake	iBrake	iBrake	iBrake	iBrake	iBrake	iBrake
	ACC „take over“ request	iBrake		n.a.	"take over"	"take over"	"take over"	"take over"	"take over"	"take over"
	ACC „go“ request	n.a.	n.a.		CC-Warn.	"go"	"go"	"go"	n.a.	"go"
	CC-Warnung	iBrake	"take over"	CC-Warn.		CC-Warn.	CC-Warn.	CC-Warn.	CC-Warn.	CC-Warn.
	CC-Meldung	iBrake	"take over"	"go"	CC-Warn.		Navi-Update	Anruf	ACC	Orion
	Navi-Update	iBrake	"take over"	"go"	CC-Warn.	Navi-Update		Navi-Update	Navi-Update	Orion
	ankommender Anruf	iBrake	"take over"	"go"	CC-Warn.	Anruf	Navi-Update		Anruf	Orion
Fahrerinitiiert	ACC Bedienung Fahrer	iBrake	"take over"	"go"	CC-Warn.	ACC	ACC	Anruf		ACC
	Orion Menü-Interaktion	iBrake	"take over"	"go"	CC-Warn.	Orion	Orion	Anruf	Orion	

Tabelle 11: Prioritätenmatrix der Usecases

Als „Usecase“ werden mögliche sequentielle Abfolgen der Systemzustände betrachtet. In der ersten Zeile ist der aktuelle Zustand beschrieben. In der ersten Spalte sind alle neu ankommenden Systemzustände aufgeführt. In der Zelle ist das System angetragen, das nach der Priorisierung angezeigt wird. Diese Matrix beschreibt ein festes Regelwerk und bringt ein deterministisches<sup>16</sup> Verhalten des Systems mit sich, das die zuvor geforderte Transparenz und Verständlichkeit für den Anwender beinhaltet.

<sup>16</sup> deterministisch: Ein System heißt deterministisch, wenn eine eindeutige Beziehung zwischen Eingabedaten und Ausgabedaten besteht.

Anhand der Prioritätenmatrix aus der Tabelle 11 kann für jeden Zustand ein eigenes Zustandsdiagramm generiert werden, das alle Zustandsübergänge beinhaltet. Die Abbildung 42 zeigt einen Ausschnitt eines solchen Flowcharts. Eine detaillierte Darstellung befindet sich zusammen mit allen weiteren Informationen in [Raub 08].

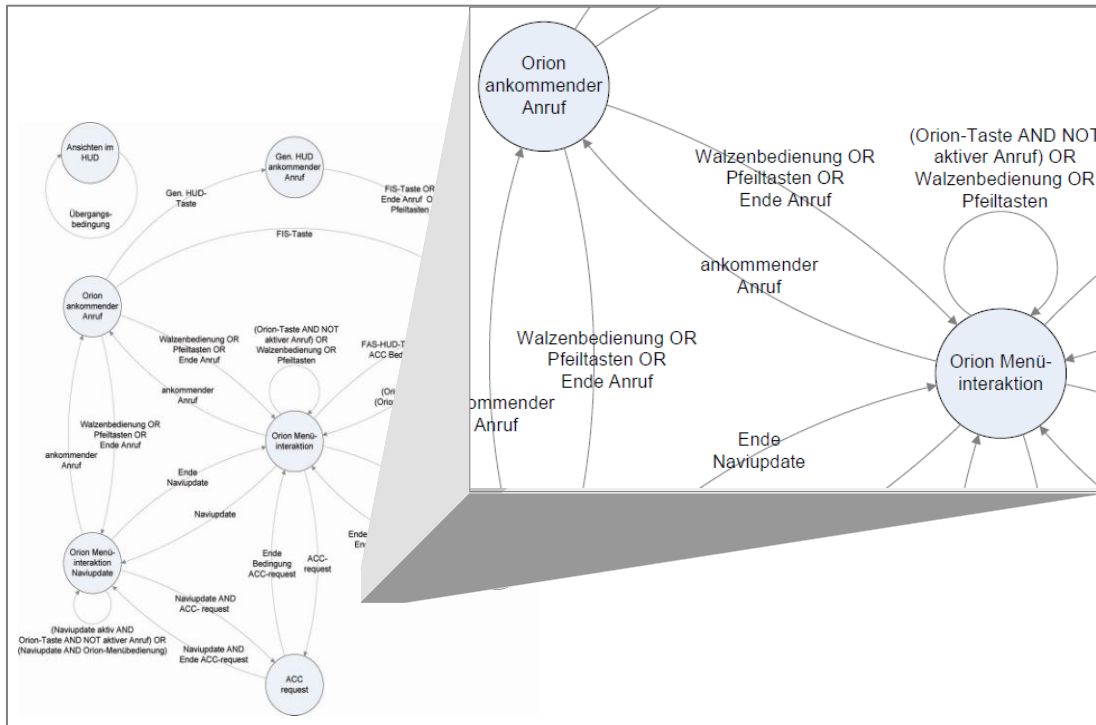
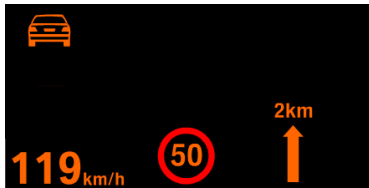


Abbildung 42: Zustandsübergangendiagramm Orion Menüinteraktion

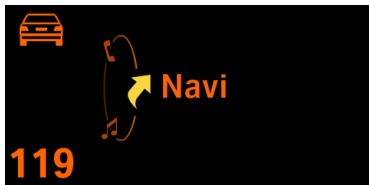
### 4.4.3 Konzept

In der Abbildung 43 zeigt Bild 1 das angepasste GenericHUD mit der ACC-Anzeige oben links und der Geschwindigkeitsanzeige unten links.

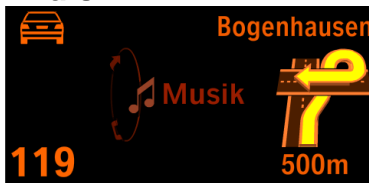
**Bild 1**



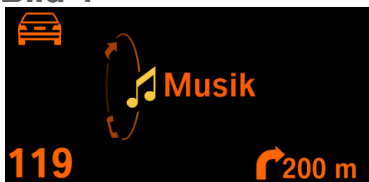
**Bild 2**



**Bild 3**



**Bild 4**



**Bild 5**



**Bild 6**

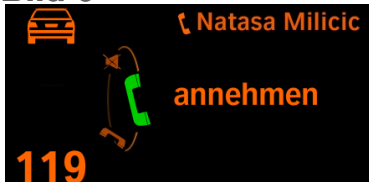


Bild 2 illustriert Sisco bei aktiviertem Menü. Die Umschaltung von GenericHUD zur Menüinteraktion erfolgt über „Ausblenden“ der Elemente von Verkehrsschildanzeige und Navigation. Das Orion-Menü wird „eingebledet“.

Bei einem Update der Navigation (Bild 3) während der Menübedienung wird das Orion-Menü gedimmt und kleiner skaliert. Es entsteht der Eindruck einer Tiefenwirkung, durch den das Menü in den Hintergrund der Anzeige rückt. Durch diesen Effekt wird vermittelt, dass das Menü im Hintergrund geöffnet bleibt und bei Bedarf weiter bedient werden kann. Somit wird die Unterbrechung der Menübedienung besser verstanden. Durch die Verkleinerung wird zusätzlich eine Überdeckung oder Überlappung von Anzeigehalten vermieden. Bei einem Navigationsupdate vergrößert sich die Meldung der Navigation ausgehend von rechts unten und erscheint im Bild. Wird diese Meldung nicht vom Fahrer bestätigt, so bleibt sie präsent, bis der Vorgang der Navigation abgeschlossen ist. Bei Betätigung einer der Tasten zur Menübedienung während des Navigationsupdates wird die große und detailgenaue Meldung der Navigation verkleinert und vereinfacht unten rechts dargestellt (Bild 4). Das Menü kann wieder bedient werden. Diese verkleinerte Darstellung der Navigation verschwindet von selbst, sobald die betroffene Kreuzung vom Fahrzeug passiert wurde.

Bild 5 zeigt einen Ausschnitt aus der Menübedienung im Untermenü „Radio“. Links oben im Bild wird die eingestellte Wunschgeschwindigkeit des ACC angezeigt.

Der ankommende Telefonanruf „Ringauswahl“ wird in Bild 6 in der realisierten Form gezeigt. Analog zum Menü erfolgt die Darstellung in Form eines Ringes mit aussagekräftigen Piktogrammen. Mittels Drehen und Drücken der Walze am Bedienelement wird dieser bedient.

**Abbildung 43:**  
Anzeigebedienkonzept für das Primär-HUD (Sisco)

#### 4.4.4 Experiment 3: Vergleich vom Primär und Sekundär-HUD

Um die durch Sisco realisierte Menüinteraktion im Head-Up Display auf Gebrauchstauglichkeit und eine mögliche Anwendung im Automobil zu untersuchen, wird sie einem Fahrversuch im Simulator unterzogen. Das durchgeführte Experiment baut auf dem Setting des Experimentes 2 im Kapitel 3.2.4 (Folgefahrt auf der Autobahn mit PDT) auf. Die Ergebnisse der vorausgehenden Arbeit haben bereits das Potenzial einer Menüinteraktion im HUD gezeigt. Dort wurde die Menübedienung auf einer exklusiven Anzeigefläche neben den vorhandenen Anzeigen im HUD angeboten. Hier soll nun untersucht werden, ob sich diese Ergebnisse auch auf eine durch Sisco integrierte Menüinteraktion mit Anzeigemanagement in das primäre HUD übertragen lassen. Damit wird die dritte Frage „Treten negative Effekte auf wenn im HUD eine größere Anzeigefläche zur Verfügung steht?“ adressiert.

Der erste Schwerpunkt wird auf die Umsetzung des Prioritätenmanagements gelegt. Daher werden die möglichen Konfliktsituationen, die eine Unterbrechung der Menübedienung zur Folge haben, z.B. Warnmeldung oder Navigationshinweis, betrachtet. Weiterhin wird in diesem Versuch der Einfluss der Nutzung einer größeren Anzeigefläche im HUD untersucht.

Hierfür werden verschiedene Leistungsmaße der Fahraufgabe, des Bedienverhaltens in der Nebenaufgabe und der Performance in der PDT untersucht. Daneben erfolgt die Erhebung subjektiver Daten zum Verständnis und zur Akzeptanz des Konzepts, zur Einschätzung der Beanspruchung durch die Menübedienung im HUD und zur Bewertung des Systems durch Fragebögen [Raub 08].

##### *Ergebnisse*

Die Auswertung der Time To Collision (TTC) hat keine verwertbaren Ergebnisse erzielt. Die Standardabweichung von der mittleren Spurhaltung (SDLP) hat bei gleichen Bedingungen keinen Unterschied zwischen den zwei Anzeigeorten für die Menübedienung hervorgebracht. Somit ist anhand der Ergebnisse zur Fahrleistung kein Unterschied zwischen den Systemen feststellbar.

Beim Bedienverhalten zeigten sich nur für die Bedienungen mit dem Navigationsupdate nennenswerte Unterschiede zwischen den Systemen. Diese sind auf die Unterbrechung der Menübedienung in System Sisco zurückzuführen. Die Bedienzeiten verlängerten sich bei Sisco um die Dauer der angezeigten Meldung signifikant ( $p < .001$ ). Außerdem wurden in Sisco, bedingt durch die Unterbrechung, mehr Bedienfehler begangen. Die Ergebnisse zum Bedienverhalten zeigen, dass die „Performance der Menübedienung“ unabhängig vom System ist, solange gleichwertige Bedingungen vorliegen (keine Unterbrechung oder gleiche Unterbrechung in beiden Systemen durch ankommenden Anruf). Das bedeutet, dass der Anzeigeort (Sisco im zentralen Blickfeld, bzw. Orion um 12 Grad nach rechts versetzt) keinen Einfluss auf die Performance hat. Bei einer Unterbrechung der Menübedienung sind jedoch Einbußen in der Performance zu verzeichnen.

Die Fehlerrate bei der Erkennung der angezeigten Meldungen hat ergeben, dass die Wahrnehmungsleistung im System Sisco signifikant besser ist. Dies ist auf die Unterbrechung der Menübedienung und der Anzeige der Meldungen am Anzeigeort des Menüs zurückzuführen.

Anhand der PDT-Reaktionszeit konnte kein Unterschied zwischen den Systemen festgestellt werden. Diese Tatsache lässt die Aussage zu, dass es abhängig vom System keinen Unterschied in der verursachten kognitiven Beanspruchung gibt. Die PDT-Erkennungsrate hingegen hat messbare Unterschiede bei den Bedienungen mit zusätzlicher Beanspruchung ergeben. Sie ist für die Systeme an den Positionen am größten, an denen das Menü angezeigt wird. Folglich verschiebt sich das zentrale

Blickfeld des Fahrers hin zum Anzeigort des Menüs. Außerdem lässt die Erkennungsleistung bei zusätzlicher Beanspruchung durch die Meldungen/ Unterbrechungen tendenziell an den Rändern des Blickfeldes nach, wodurch auf eine Einengung des Blickfeldes geschlossen werden kann. Diese Einengung entspricht qualitativ der Einengung, die bei der Bedienung im CID (Experiment in Kapitel 3.2.4) erfasst wurde. Somit ist darauf zu schließen, dass durch eine Interaktion unabhängig vom Anzeigort eine geringfügige Verschlechterung in der peripheren Wahrnehmung verursacht wird. Die Ergebnisse der PDT zeigen also, dass der Anzeigort des Menüs im Versuch Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung von Reizen in der Fahrszene hat. Durch die PDT hat sich kein Hinweis für eine Interaktion der genannten Effekte (Cognitive Capture und Perceptual Tunneling) mit den Unterbrechungen in Sisco ergeben (Leistung bei Anruf und Navigationsmeldung gleichwertig).

Die gute Selbsteinschätzung der Versuchspersonen zur PDT-Erkennungsrate zeigt, dass ein Bewusstsein für die Ablenkung durch die Menübedienung vorhanden ist.

Die durch die Integration des Menüs bedingten Unterbrechungen werden von den Versuchspersonen, hinsichtlich Verständnis und Akzeptanz, angenommen und als sinnvoll erachtet.

Die subjektiv empfundene Beanspruchung, gemessen durch den standardisierten DALI-Fragebogen (Kapitel 3.2.4.1), ist bei der Integration der Menübedienung ins primäre HUD (Sisco) knapp, aber dennoch signifikant ( $p < .042$ ) geringer als bei der Menübedienung in einer nach rechts versetzten, exklusiven HUD-Fläche (Orion).

Die durchaus sehr positive persönliche Bewertung der Systeme, sowohl durch den standardisierten SUS-Fragebogen, als auch durch gezielte Fragen zu den Systemen, ergab keine nennenswerten Unterschiede zwischen Sisco und Orion.

Der Versuch konnte dazu beitragen, dass die „Likeability“ einer Menübedienung im HUD bei den Versuchspersonen signifikant ( $p < .001$ ) gestiegen ist. Dies hat eine Befragung vor und nach dem Versuch ergeben.

Mit dieser Untersuchung wurde neben der Integration der Menübedienung in das Primär-HUD auch der Einfluss der Verbreiterung der Anzeigefläche untersucht. Es lässt sich zeigen, dass die Verbreiterung der Anzeigefläche um  $12^\circ$  nach rechts keinen Einfluss auf die Fahrleistung und Bedienleistung (ohne Unterbrechungen) hat. Anhand der PDT-Daten ist darauf zu schließen, dass durch eine Interaktion unabhängig vom Anzeigort (Primär-HUD, Sekundär-HUD und CID) eine geringfügige Verschlechterung in der peripheren Wahrnehmung verursacht wird. Die Effekte Cognitive Capture und Perceptual Tunneling konnten im Zusammenhang mit dem HUD nicht nachgewiesen werden.

Das ABK für das HUD wurde in einem standardisierten Setting abgesichert. Die noch offenen Fragen adressieren einen natürlichen Umgang mit dem System in kritischen Situationen sowie im realen Straßenverkehr. Diese Fragestellungen werden im nachfolgenden Kapitel unter dem Namen „Bewertung des Systems“ behandelt.





## 5 BEWERTUNG DES SYSTEMS

Nach der Absicherung der Interaktion und Vergrößerung der Anzeigefläche in zwei Simulatorversuchen mit einer einfachen und standardisierten Fahraufgabe (Folgefahrt auf der Autobahn) wird im weiteren Verlauf das Bedien- und Fahrverhalten der Fahrer während der „natürlichen“ Fahrt analysiert. Das HUD wird daher mit weiterführenden Methoden im Hinblick auf die Verkehrssicherheit und die verursachte Ablenkung untersucht. Dabei bilden die Fragen „Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?“ und „Treten negative Effekte auf wenn im HUD eine größere Anzeigefläche zur Verfügung steht?“ den Kern der Untersuchungsschwerpunkte.

Mit dem HUD wird im Zusammenhang mit Cognitive Capture ebenfalls das Modell des Situationsbewusstseins (SB) in Verbindung gebracht [Hain 91], wie schon im Kapitel 3.1.3 herausgearbeitet. Fehlendes Situationsbewusstsein und damit ein nicht an die Situation angepasstes Fahrverhalten kann aus Cognitive Capture resultieren. Die Herausforderung in einem realistischeren Szenario, die Auswirkungen des HUD auf das Fahrverhalten und die genutzten Strategien in komplexen und kritischen Situationen zu untersuchen, ist ebenfalls aus wissenschaftlicher und methodischer Sicht interessant. Neben den Untersuchungen im Fahrsimulator, fokussiert auf das Situationsbewusstsein in kritischen Situationen, wird der Einfluss des HUD im realen Straßenverkehr analysiert. Der Schwerpunkt liegt hier auf dem natürlichen Fahr- und Bedienverhalten. Zusätzlich zur Analyse des Fahrverhaltens stellt das Blickverhalten eine Herausforderung dar.

### 5.1 Experiment 4: Einfluss der Anzeigehalte im HUD auf das Situationsbewusstsein während der Fahrt

Das Konstrukt des Situationsbewusstseins stammt ursprünglich aus der Luftfahrt [Kabe 97]. Es entwickelt sich zu einem neuen Schwerpunkt in der „Beurteilung von Auswirkungen von Fahrerassistenz und Fahrerinformationssystemen (FAS/FIS) auf das Fahrverhalten und die Fahrsicherheit“ [Rauc 07]. Der Begriff befindet sich im Spannungsfeld von Intention, Erfahrung und Wahrnehmung.

Situationsbewusstsein ist ein schwer erfassbarer Begriff, weil nur dessen Abwesenheit messbar ist. Somit baut sich der Zirkelschluss auf, wie ihn Flach definiert: „How does one know that Sit was lost? Because the human responded inappropriately? Why did the human respond inappropriately? Because Situationawareness (SA) was lost.“ [Flac 95].

### 5.1.1 Theoretische Grundlagen zum Situationsbewusstsein

Situationsbewusstsein gilt als zentrales Konstrukt in komplexen, dynamischen Situationen, wenn die Verfolgung mehrerer Ziele oder mehrerer auszuführender Aufgaben mit unterschiedlicher Relevanz nötig ist. Des Weiteren ist das SB das relevante Konstrukt bei Handlungsausführungen, die in dynamischen Umwelten von hohem Zeitdruck geprägt sind [Kabe 97].

Es wird untersucht, wie Menschen beispielsweise während der Fahrt eine Gefahrensituation antizipieren und sie durch Verhaltensanpassungen entschärfen können. Auf Verhaltensebene stehen dazu verschiedene Strategien zur Verfügung. Im Verhalten während einer Gefahrensituation bildet sich somit das jeweilige SB und die davon abhängigen Fahrstrategien ab. Um mögliche Risiken, die durch die Bedienung von Nebenaufgaben während der Fahrt entstehen, abzuschätzen, muss das Fahrverhalten vollständig beschrieben und bewertet werden. SB messbar zu machen ist derzeit jedoch das zentrale Problem in der Diskussion um den Mehrwert des Konstrukts.

#### *Konstrukt Situationsbewusstsein*

In der Flugforschung sind unterschiedliche Ansätze für die Betrachtung und Interpretation des SB entstanden [Bret 01]: Prozess-orientierte Definitionen nutzen den Begriff als Bezeichnung für die Vielzahl der kognitiven Prozesse, wie z.B. Wahrnehmung, Aufmerksamkeit oder Kategorisierung von Informationen, die für dynamische und durch Mehrfachanforderungen gekennzeichnete Situationen entscheidend sind [Sart 95].

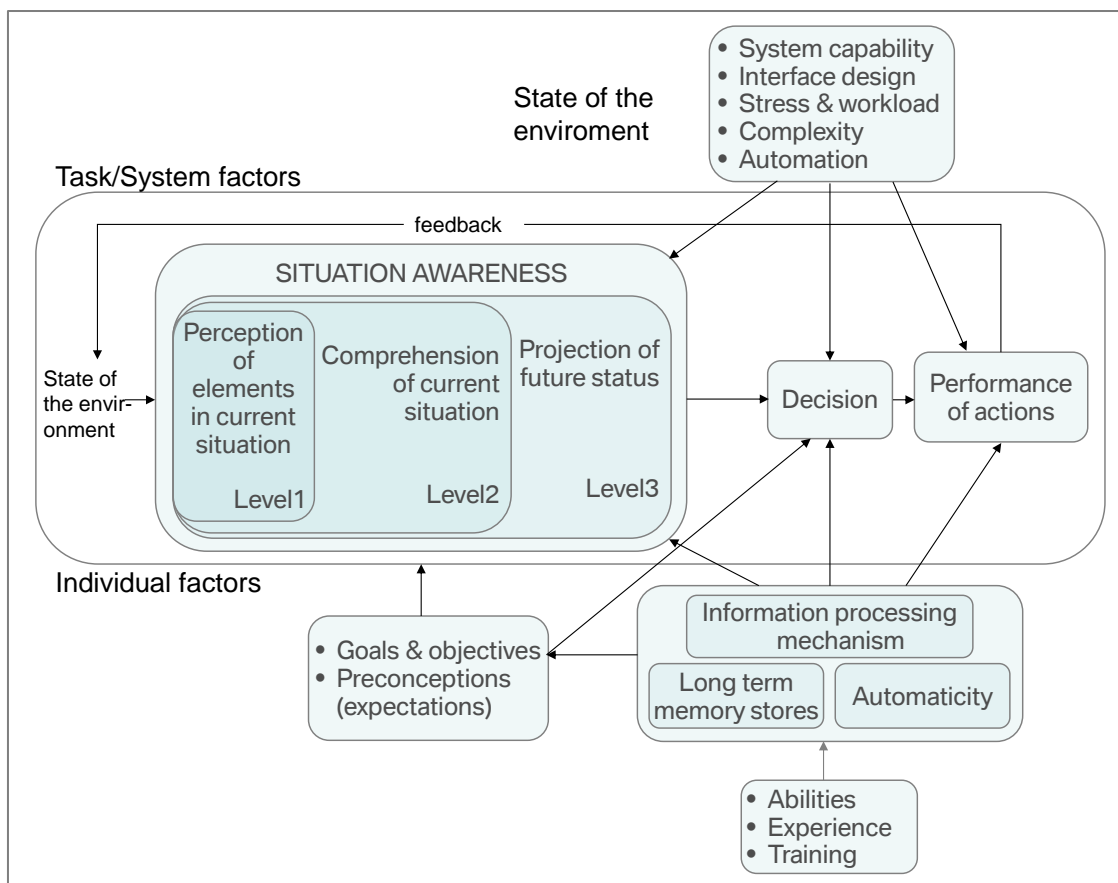


Abbildung 44: Modell des Situationsbewusstseins [Ends 95]

Andererseits existieren Zustands-orientierte Definitionen, bei denen SB als Wissenszustand betrachtet wird, der von den Prozessen, die zu diesem Zustand führen, abgetrennt werden muss. Die gängigste Begriffsdefinition dieser Art wurde von Mica Endsley aufgestellt: „Situation awareness is the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future“ [Ends 88-1]. Ein Schaubild mit allen Einflussfaktoren ist in der Abbildung 44 zu sehen.

Dabei setzt sich das SB aus drei Ebenen der menschlichen Informationsverarbeitung zusammen. Die erste Ebene ist die Wahrnehmung von Informationen in einer dynamischen Umgebung („perception of elements“), im nachfolgenden Schritt muss deren Bedeutung im gegenseitigen Kontext richtig verstanden werden („comprehension of current situation“) und, um anschließend aus allen Informationen und Erkenntnissen den Zustand in der nahen Zukunft antizipieren zu können („projection of future status“).

Die Bedeutung der zeitlichen Dynamik wird von Endsley besonders betont [Ends 00], da die Abschätzung der Zeit der kritische Faktor für den Entscheidungsprozess oder die Durchführung einer Handlung ist. Dafür müssen in hochdynamischen Umgebungen die zeitlichen Änderungen der Informationen und deren Zusammenwirken ständig neu eingeschätzt werden. Der Entscheidungsprozess für eine Handlung gehört aber nach Endsley nicht mehr zum SB, sondern resultiert vielmehr daraus. In der Abbildung 44 ist ersichtlich, dass im Entscheidungsprozess viel mehr Faktoren zum Tragen kommen, wie z.B. Ziele, Stress oder Workload. Somit ist es möglich, trotz eines guten SBs eine falsche Entscheidung bzw. die richtige Entscheidung trotz fehlenden SBs zu treffen.

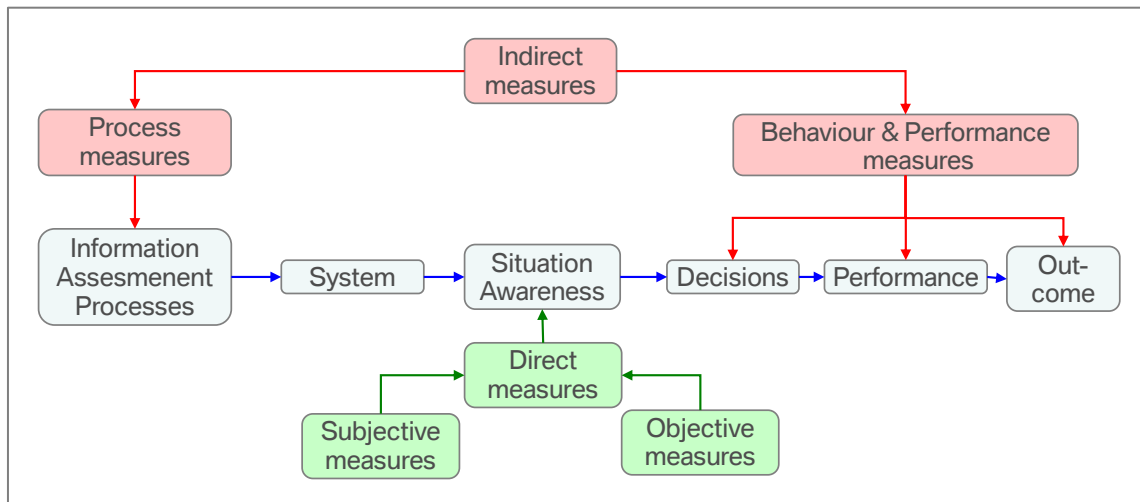
Eine Reihe kognitiver Prozesse stehen im direkten Zusammenhang mit dem SB. Neben Gedächtnisprozessen und Mustererkennung bei der Informationsverarbeitung, ist die Wahrnehmung die erste Voraussetzung für ein situationsbewusstes Handeln. Der zweite entscheidende Faktor ist die Aufmerksamkeit, die als Selektionsprozess verstanden werden kann, mit dem Informationen priorisiert werden. Wahrnehmungsfehler, wie z.B. zu spät bemerkte andere Fahrzeuge, sind die häufigste Unfallursache im Kreuzungsbereich [Simo 00]. Dieses Problem wird als sog. looked-but-failed-to-see Phänomen (LBFS) oder als Inattentive Blindness bezeichnet [Simo 00]. Cognitive Capture, welche vom HUD verursacht werden kann, kann ebenfalls zu Inattentive Blindness führen. Haines stellte bei schlechten Sichtverhältnissen im Flugsimulator fest, dass 2 von 8 Piloten bei der Zuhilfenahme des HUD beim Landeanflug andere unerwartet auf der Landebahn erscheinende Flugzeuge übersahen [Hain 91]. Dies ist ein Hinweis auf den Zusammenhang von Situationsbewusstsein und die Anwendung von HUDs. Die Ergebnisse aus der Flugforschung können nicht alle direkt übernommen werden. Bei Piloten handelt es sich um eine ganz andere Personengruppe (ausgebildetes Fachpersonal vs. zum Teil Fahranfänger) und die Situationen und zu bedienenden Systeme unterscheiden sich massiv in ihrer Komplexität. Daher muss diese Beziehung vor allem aus sicherheitsrelevanten Gesichtspunkten für den Straßenverkehr untersucht werden. Im Bezug auf die Fahrsicherheit ist es notwendig, den Einfluss des HUDs auf SB und damit auf das Fahrverhalten zu erfassen.

#### *Erfassung von Situationsbewusstsein*

Wie man in der nachfolgenden Skizze sieht, kann das SB auf direktem oder indirektem Wege gemessen werden. Beide Vorgehensweisen haben unterschiedliche Schwerpunkte und Nachteile.

Das am häufigsten eingesetzte direkte Verfahren in Form einer Befragung ist Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) [Ends 88-2]. Die Methode baut auf der Hypothese auf, dass die Beantwortung von Fragen zur Situation Aufschluss über das SB geben kann. Dazu wird zu vorgegebenen Zeitpunkten die Simulation „eingefroren“

und die Person daraufhin zur aktuellen Situation befragt. Der Methode ist anzumehmen, dass das SB nicht vollständig erfasst werden kann, da nicht alle handlungsrelevanten Informationen verbalisiert werden. Andererseits führt das Einfrieren der Situation dazu, dass eine Fokussierung auf bewusst auch außerhalb der eigentlichen Situation abrufbare Informationen führt [Sart 91].



**Abbildung 45: Klassifikation der Messmethoden zur Erfassung von Situationsbewusstsein [Ends 00]**

Eine ausführlichere Zusammenfassung der theoretischen Hintergründe, sowie Forschungsergebnisse zu weiteren direkten Methoden sind im Bericht „Das Konzept des SBs und seine Implikationen für die Fahrsicherheit“ [Rauc 07] zu finden.

Da der Zusammenhang der HUD-Nutzung und des SBs im Vordergrund steht, sind die Einflüsse auf das Fahrverhalten entscheidend. Somit bieten sich nur indirekte Verfahren zur Messung des SB an.

In neueren Ansätzen wird versucht, Verhaltensmaße und den situationsangepassten Umgang mit Haupt und Nebenaufgaben als Indikatoren des SBs zu messen. Ein rein leistungsorientierter Ansatz greift zu kurz, da komplexe Fahrsituationen eine Vielzahl von richtigen Verhaltensweisen zulassen. Der Versuch, die Anzahl von Bedienfehlern oder die Bedienzeiten in Fahr- oder Nebenaufgabe als direkte Ableitung des Konstrukts zu sehen, reichen nicht aus. Zielführender ist es, bestimmte Strategien im Umgang mit einer komplexen Fahrsituation zu definieren. Anschließend kann dann überprüft werden, inwiefern sich diese unterscheiden, wenn die Situation den Aufbau eines exakteren, weiter in die Zukunft gerichteten SBs zulässt.

Theoretische Vorüberlegungen zu diesem Vorgehen sind im Rahmen des BMBF-Projekts EMPHASIS [Buld 02] entstanden und wurden im bereits erwähnten Projekt „Das Konzept des SBs und seine Implikationen für die Fahrsicherheit“ [Rauc 07] weitergeführt. Dabei wurden spezifische Situationen konstruiert, in denen sich SB im Fahrverhalten abbilden sollte. Die Weiterentwicklung der Methodik und eine ausführliche Interpretation der Ergebnisse wurden in Zusammenarbeit mit Platten durchgeführt und kann in [Plat 10] nachgelesen werden.

## 5.1.2 Versuch zum Situationsbewusstsein

Das Verfahren aus diesen Studien wurde weiterentwickelt, um den Einfluss des Anzeigortes der Nebenaufgabe (HUD/CID) auf das SB zu messen [Mili 09] [Plat 10].

### 5.1.2.1 Fragestellungen

Diese Untersuchung klärt die Frage, ob die Bedienung von Nebenaufgaben im HUD das SB und die Kompensationsstrategien stärker beeinflusst als die Bedienung im CID, welches sich bei vielen Fahrzeugherstellern für die Bearbeitung von Nebenaufgaben durchgesetzt hat. Im Einzelnen werden folgende Fragen beantwortet:

- Hat der Anzeigort der Nebenaufgabe einen Einfluss auf das Situationsbewusstsein?
- Werden in Gefahrensituationen andere Fahrstrategien abhängig vom Anzeigort angewendet?
- Haben die Hinweise auf eine Gefahrensituation einen vom Anzeigort abhängigen Einfluss auf das Situationsbewusstsein und das Fahrverhalten?
- Unterscheidet sich das Blickverhalten abhängig vom Anzeigort der Menübedienung?

### 5.1.2.2 Methodisches Vorgehen

Es wurde ein in-between Design angewendet. Eine Versuchspersonengruppe durchfuhr die Versuchsstrecke mit dem Anzeigort HUD, die zweite mit CID.

Für diesen Versuch wurde der gleiche Simulatorenbau, wie in den vorausgegangenen Experimenten, genutzt. Dieser ist in Kapitel 3.2.2 nachzulesen. Aufbauend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche wurde für diesen Versuch ein Parcours mit vier kritischen Situationen entwickelt. Dabei wurde das Verhalten kontinuierlich erfasst und unter den Gruppen verglichen.

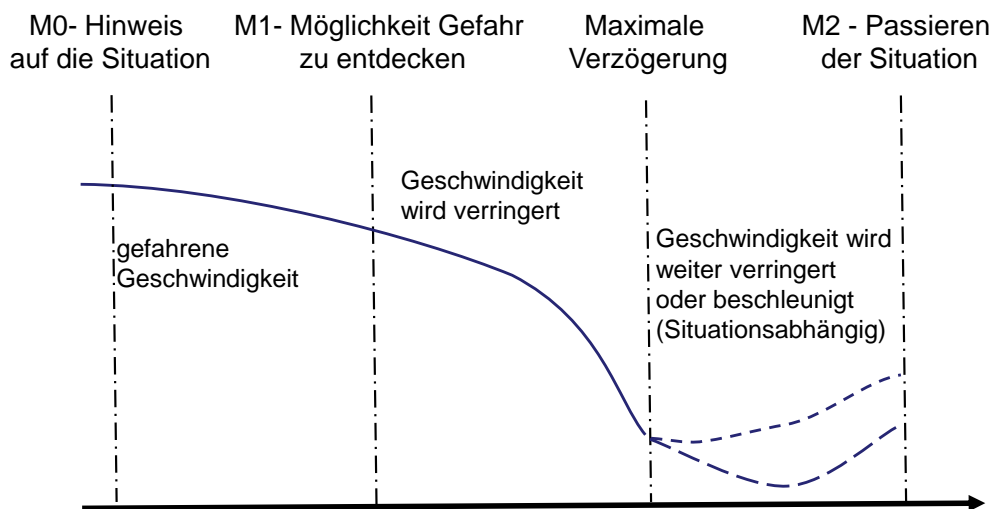


Abbildung 46: Markierungen auf der Strecke in einer Situation

Jede der kritischen Fahrsituationen, bei denen eine Bedienung stattfindet, wird in zwei Variationen durchfahren. Dabei wurde die Prädiktion der Situation durch Hinweisreize

variiert. Das Ziel ist es festzustellen ob anhand des Hinweisreizes die Gefahrensituation früher erkannt wird und darauf aufbauend eine Entschärfung der Situation stattfindet. Dies entspricht einem, abhängig vom SB, angepassten Verhalten, das sich in Form von Fahr- oder Bedienverhaltensanpassung äußern kann. Die Verhaltensanpassung wird in die Kategorie der Kompensationsstrategien eingeordnet. In der Tabelle 12 sind alle Situationen beschrieben.









SITUATION	MIT HINWEISREIZ (LEICHT)	OHNE HINWEISREIZ (SCHWER)
<b>Baustelle: Verengung der Fahrbahn bei Gegenverkehr</b>	mit Schild „Achtung Baustelle“ 	schlecht einsehbare Baustelle hinter der Kurve ohne Beschilderung 
<b>Fußgänger: Fußgänger überquert die Fahrbahn</b>	Warnhinweis Zebrastrreifen 	ohne Hinweisreiz und mit Verdeckung 
<b>Ausparker: Fahrzeug biegt auf Fahrbahn ein</b>	das letzte Fahrzeug in der Parkbucht (gut sichtbar) blinkt und biegt auf die Fahrbahn ein 	eins der vorderen Fahrzeuge (nicht gut erkennbar) schert auf die Fahrbahn bei entgegenkommendem Verkehr ein 
<b>Panne: Pannenfahrzeug steht am Straßenrand hinter einer Kuppe</b>	ein Warndreieck befindet sich vor der Kuppe auf der Fahrbahn 	kein Warnhinweis auf das Pannenfahrzeug hinter der Kuppe 

Tabelle 12: Situationen im SA-Versuch

Während der Fahrt wurden örtlich kodierte Events beim Vorbeifahren ausgelöst. Eine schematische Darstellung ist in der Abbildung 46 skizziert. Damit ist der örtliche und zeitliche Bezug auf der Strecke unter den Gruppen herstellbar. Bei den leichten Situationen wurden die Hinweise auf die Gefahr mit einem Marker (M0) codiert. Der Ort, an dem die Situation sichtbar wurde, wurde mit M1 markiert. Der letzte Marker M2 identifizierte den Ort der Gefahrenstelle und wurde beim Vorbeifahren ausgelöst. Somit

ist es möglich, für alle Versuchspersonen den örtlichen Bezug der Situationsentwicklung und des Fahrverhaltens in Verbindung zu bringen.

Aus technischen Gründen konnte die Reihenfolge der Situationen nicht permutiert werden. Sie wurden aber so platziert, dass schwere und leichte Situationen in unterschiedlicher Reihenfolge passiert wurden. Es wurde ebenfalls darauf geachtet, dass die gleiche Situation in den Abstufungen „leicht“ und „schwer“ nicht direkt aufeinander folgte. Zwischen den Situationen wurden zusätzliche Bedienvorgänge ausgelöst, damit die Probanden nicht die Nebenaufgabe immer mit einer unerwarteten Situation verbinden.

#### *Nebenaufgabe*

Bei der Zweitaufgabe handelte es sich um die in Kapitel 4.4. beschriebene Sisco-Menüinteraktion im Primär-HUD. Die Bedienanweisungen wurden vor dem Versuch durch den Versuchsleiter aufgezeichnet und in der Fahrsimulation gespeichert. Bei den Fahrten mit den Systemen HUD und CID wurden jeweils sechzehn Menüinteraktionen durch Anweisungen über Lautsprecher im Simulationsfahrzeug instruiert. Diese Instruktionen waren an bestimmte Positionen auf der Versuchsstrecke gekoppelt, so dass sichergestellt war, dass die Anweisungen bei allen Fahrten und Versuchspersonen an den gleichen Orten stattfanden.

Als Nebenaufgabe wurde die Auswahl aus unterschiedlichen Listen des Orion-Menüs (Kapitel 4.3) mit 13 bis 17 Bedienschritten verwendet. Ein Bedienvorgang sah wie folgt aus: Die oberste Ebene des Menüs enthielt die Kategorien Navigation, Telefon und Musik. Nach der Auswahl der Kategorie wählte man eine von drei Unterebenen. Beim Telefon sind dies beispielsweise die unterschiedlichen Telefonlisten „Gespräche“, „Verpasst“ und das „Telefonbuch“. Nach der Auswahl der Unterebene gelangt man immer zu der entsprechenden Liste. Aus dieser ist dann jeweils der in der Aufgabe gestellte Eintrag auszuwählen.

Dieser Usecase hat sich in vorausgehenden Versuchen für das HUD als geeignet erwiesen (siehe Experiment 2 im Kapitel 3.2.4) und stellt zurzeit im CID eine der am häufigsten durchgeführten Aufgaben da. Weiterhin bildet diese Aufgabe eine über die Zeit kontinuierliche Beanspruchung ab, die für das Versuchsziel von entscheidender Bedeutung ist. Somit ist es möglich, die Aktivität in der Nebenaufgabe als einen Parameter für den situationsbewussten Umgang zu interpretieren.

#### *Blickerfassungssystem*

In diesem Versuch wurde erneut das Blickerfassungssystem Dikablis eingesetzt. Die Funktionsweise kann im Kapitel 3.2.2 nachgelesen werden.

#### *Abhängige Variablen*

Die Auswertung der aufgezeichneten Daten verlief in zwei Strängen mit unterschiedlichem Schwerpunkt.

Die übliche Vorgehensweise bei der Datenauswertung der Simulatorversuche entspricht einer diskreten Auswertung. Diese erfolgte anhand der Mittelwertbildung über unterschiedliche Fahrparameter in den durch M1 und M2 markierten Bereichen. Dieses Vorgehen eignet sich wahrscheinlich nicht, um ein ganzheitliches Bild über das vorhandene Situationsbewusstsein aufzuzeigen. Es wurde aber betrachtet, um festzustellen, ob mit diesem einfachen Auswertungsverfahren ein Unterschied zwischen den Anzeigeorten feststellbar ist. Dazu wurde die Leistung in der Fahr- und Nebenaufgabe anhand nachfolgender Parameter analysiert.

Neben den üblichen Maßen für das Bedienverhalten wurde auch der Startzeitpunkt der Bearbeitung abhängig vom Anzeigeort betrachtet. Dieses Maß hat sich in den

vorausgegangen Untersuchungen [Rauc 07] als zielführend für ein situationsangepasstes Fahrverhalten erwiesen.

Die ausgewählten Fahrdaten beziehen sich hauptsächlich auf die Längsführung und enthalten verschiedene Ausprägungen der Beschleunigung und Verzögerung.

Die analysierten Blickparameter wurden genutzt, um den Unterschied im Blickverhalten über alle Versuchspersonen abhängig vom Anzeigeort zu quantifizieren

AUSGEWERTETE PARAMETER	
BEDIEN-DATEN	Startzeitpunkt der Bearbeitung der Nebenaufgabe nach der Ansage
	Total Task Time = Bediendauer der Aufgaben
	Anzahl der Bedienschritte
FAHR-DATEN	Mittlere Beschleunigung
	Mittlere Geschwindigkeit
	Integral über die Verzögerung des Ego-Fahrzeugs
	Maximale Verzögerung
	Zeitpunkt der maximalen Verzögerung pro Situation und VP
	Anzahl der Fahrfehler
BLICK-DATEN	Kumulierte Blickdauer auf das Display während eines Bedienvorganges
	Anzahl der Blicke auf das Display während eines Bedienvorganges
	Mittlere Blickdauer auf das Display während eines Bedienvorganges
	85%-Perzentil der Blickdauer auf das Display während eines Bedienvorganges
	Kumulierte Blickdauer außerhalb des Displays während der Bedienung

**Tabelle 13: Abhängige Variablen der diskreten Auswertung**

#### *Betrachtung des Fahr-, Bedien- und Blickverhaltens im Situationsverlauf*

Um dynamische Verhaltensanpassungen zeigen zu können, müssen insbesondere die Veränderungen des Verhaltens in Abhängigkeit zur wahrgenommenen Situation gemessen werden. Daher wird das Fahr- und Bedienverhalten im Verlauf erfasst. Dieses Vorgehen beschreibt den zweiten Strang der Auswertung. Das Geschwindigkeits-, Verzögerungs- und Bedienverhalten wurde über die Zeit und den Weg in den Bereichen zwischen M0, M1 und M2 für alle Versuchspersonen für beide Anzeigeorte gegenübergestellt.

Da die Versuchspersonen nicht mit der gleichen Geschwindigkeit fahren, wurden die gleichen Wegstrecken in unterschiedlicher Zeit zurückgelegt. Um ein Verlaufsmaß über die Zeit für alle Versuchspersonen zu finden, wurde der Mittelwert pro Sekunde (Abtastfrequenz 100 Hz) über alle Versuchspersonen gemittelt.

#### **Formel 9: Mittlere Geschwindigkeit in einer Sekunde über alle Versuchspersonen**

$$\bar{v} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m v_j \quad \text{mit} \quad v_j = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^f v_i$$

- $\bar{v}$  : Mittlere Geschwindigkeit über alle Versuchspersonen in einer Sekunde
- $v_j$  : Mittlere Geschwindigkeit von Versuchsperson  $j$  in einer Sekunde
- $m$  : Anzahl der Versuchspersonen
- $f$  : Abtastfrequenz der Datenaufzeichnung 100 Hz
- $i, j$  : Laufvariablen für die Iterationen in den Berechnungen



**Formel 10: Mittlere Beschleunigung in einer Sekunde über alle Versuchspersonen**

$$\bar{a} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_j \quad \text{mit} \quad a_j = \frac{1}{f} \sum_{i=1}^f a_i$$

- $\bar{a}$  : Mittlere Beschleunigung über alle Versuchspersonen in einer Sekunde  
 $a_j$  : Mittlere Beschleunigung von Versuchsperson  $j$  in einer Sekunde  
 $m$  : Anzahl der Versuchspersonen  
 $f$  : Abtastfrequenz 100 Hz  
 $i, j$  : Laufvariablen für die Iterationen in den Berechnungen

Somit konnten die Geschwindigkeit und die Beschleunigung in Bezug zu den Aktivitätsdaten gesetzt werden. Diese bilden ab, wie viel Prozent aller Versuchspersonen in der Sekunde  $i$  bedient haben.

**Formel 11: Berechnung der Aktivität in der Nebenaufgabe**

$$b_i = \frac{n_i}{m} \times 100$$

- $b_i$  : Aktivitätsmaß pro Sekunde  $i$   
 $n_i$  : Anzahl der aktiven Personen in der Sekunde  $i$   
 $m$  : Anzahl aller Versuchspersonen

*Subjektive Daten*

Die Erhebung subjektiver Daten und Nutzerpräferenzen erfolgte während und nach dem Versuch mittels Fragebögen zu folgenden Themen:

- Vergleichende Einschätzung zwischen den zwei Anzeigeorten zur Ablenkung, Unfallgefahr und Verlängerung der Reaktionszeit
- Einschätzung des Aufmerksamkeitsanteils der für die Menübedienung aufgewendet wurde
- Generelle Akzeptanz einer Menübedienung im HUD

Der standardisierte Fragebogen "Driving Activity Load Index" DALI wurde verwendet um die subjektiv empfundene Beanspruchung in den Kategorien, wie z.B. mentale, visuelle Beanspruchung oder verursachter Stress zu messen. Weitere Informationen zum Fragebogen sind im Kapitel 3.2.4.1 nachzulesen.

*Versuchsablauf*

Das Experiment fand im statischen Fahrsimulator der BMW Group in München statt. Zu Beginn des Versuchs wurde von jeder Versuchsperson (VP) ein freiwilliger Fragebogen zur Erhebung demografischer Daten ausgefüllt. Nach einer Einweisung in die Fahrsimulation folgte eine längere Eingewöhnungsfahrt ohne Messdatenerhebung. Nachdem die Versuchspersonen genügend Übung mit dem Fahren im Simulator, sowie mit der Bearbeitung der Nebenaufgabe hatten, wurde die Messfahrt gestartet. Die Versuchspersonen wurden darauf hingewiesen, dass sie sich an die StVO halten sollen. Weiterhin wurde betont, dass Wert auf das natürliche Fahr- und Bedienverhalten gelegt wird und es ihnen frei steht wann und ob sie die Nebenaufgaben bearbeiten.

Nach Ende der Fahrt wurde ein abschließender Fragebogen zum Versuch ausgefüllt.

### *Stichprobe*

Am Versuch nahmen insgesamt 58 Probanden teil, ein Viertel davon war weiblich (n=14), drei Viertel männlich (n=44). Das mittlere Alter betrug 38,17 Jahre (sd=11,253), der jüngste Fahrer war 22, der älteste 60 Jahre alt. Alle Versuchspersonen waren im Besitz eines gültigen Führerscheins. Bei 59% der Fahrer betrug die jährliche Fahrleistung mehr als 10 00 km. 21% fuhren im Jahr weniger als 5000 km. Die jährliche Fahrleistung der übrigen Fahrer konnte dazwischen eingeordnet werden. 40% der Probanden (n=25) hatte eine Sehschwäche, aber ihre Sehhilfe beim Versuch dabei. Ein Großteil schätzte sich im Vergleich zu anderen Autofahrern als „erfahren“ bzw. „sehr erfahren“ ein (n= 43), die zweite Gruppe (n=7) bezeichnete sich weder als „erfahren“ noch als „unerfahren“. 8 Probanden gaben an, unerfahren beim Autofahren zu sein. Bei der Angabe zum Fahrstil zwischen „ruhig/ausgeglichen“ und „sportlich dynamisch“ lagen 45 VP im Mittelfeld, zwei bezeichneten sich als ruhig, 11 als sportlich/dynamisch. 37 von ihnen hatten vor dem Versuch schon einmal ein HUD benutzt. 18 wussten was ein HUD ist, nur einer Testperson war der Begriff neu.

### 5.1.2.3 Ergebnisse

Im Folgenden wird zuerst auf die diskrete Auswertung eingegangen. Im Anschluss wird dann die Analyse der Verläufe diskutiert (vgl [Mili 09] [Plat 10]).

#### *Diskrete Betrachtung des Fahrverhaltens*

Vor der Betrachtung des Fahrverhaltens wurde die Anzahl der Fahrfehler, beispielsweise eine Kollision mit einem Objekt, analysiert.

#### *Fahrfehler*

Anhand der sehr geringen Anzahl an Fahrfehlern, die in Tabelle 14 abgebildet ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Probanden die Situationen zumeist unfallfrei passieren konnten. Der Unterschied zwischen HUD und CID wurde in einem Kruskal-Wallis-Test nicht signifikant.

<b>FAHRFEHLER</b>	<b>HUD</b>	<b>CID</b>
Absolute Anzahl an Fahrfehler	5	6
Relative Anzahl an Fahrfehler	2,98 %	4,16 %

**Tabelle 14: Anzahl der Fahrfehler**

#### *Fahrverhalten*

Die in Tabelle 13 aufgezählten Fahrdaten wurden als abhängige Variablen in eine multivariate mehrfaktorielle Varianzanalyse (MANOVA) einbezogen.

- erster Faktor zweistufig: Schweregrad (leicht/schwer)
- zweiter Faktor vierstufig: Situation (Baustelle, Fußgänger, Panne, Ausparker)
- dritter Faktor zweistufig: Anzeigeort (HUD/CID)

Dabei gingen die Datensätze von 18 Versuchspersonen im CID und 21 im HUD in die Berechnung mit ein.

Der Faktor Schweregrad hat einen signifikanten Einfluss ( $F(5, 33)=76.62$ ;  $p=.001$ ) auf das Fahrverhalten. Dieser lässt sich bei zwei der sechs Parameter nachweisen. Die maximale Verzögerung ist betragsmäßig größer in der Gruppe der schweren Situationen und die mittlere Beschleunigung ist höher in der Gruppe der leichten Situationen.

Diese Ergebnisse deuten auf einen Unterschied im Fahrverhalten, abhängig von vorhandenen Hinweisreizen in der Fahrscene hin. Sie können also als Indiz für situationsbewusstes Handeln interpretiert werden, klären aber nicht eindeutig über das Verhalten der Versuchspersonen in den Situationen auf.

Der Faktor Anzeigeort hatte keinen signifikanten Einfluss auf die erfassten Variablen ( $F(5, 33)=1.05$ ;  $p=.40$ ). In der nachfolgenden Tabelle sind alle erfassten Variablen für die beiden Anzeigeorte zusammengefasst.

<b>FAHRDATEN: MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG</b>	<b>HUD</b>	<b>CID</b>
Integral über die Verzögerung	1886,33 (sd=267,14)	1878,41 (sd=213,58)
Zeitpunkt der maximalen Verzögerung in s	388,83 (sd=53,17)	408,53 (sd=74,04)
Mittlere Beschleunigung in m/s <sup>2</sup>	-0,86 (sd=0,41)	-0,94 (sd=0,39)
Mittlere Geschwindigkeit in km/h	34,79 (sd=4,36)	34,38 (sd=3,48)
Maximale Verzögerung in m/s <sup>2</sup>	-7,60 (sd=1,18)	-7,45 (sd=1,00)

**Tabelle 15: Fahrverhalten**

Somit liefern die diskret ausgewerteten Fahrdaten insgesamt keinen Hinweis auf einen Unterschied abhängig vom Anzeigeort (HUD vs. CID).

*Diskrete Betrachtung des Bedienverhaltens*

Beim Bedienverhalten wurden die Parameter Anzahl der Bedienschritte, Bediendauer (TTT- Total Task Time) und Startzeitpunkt der Bearbeitung erfasst. Hier wurde ebenfalls eine MANOVA mit den gleichen Faktoren wie bei der Betrachtung des Fahrverhaltens angewendet.

Der Anzeigeort hatte einen signifikanten Einfluss auf das Bedienverhalten ( $F(3, 15)=7.64$ ;  $p=.002$ ;  $N(CID)=7$ ;  $N(HUD)=12$ ). Die Mittelwerte aller Parameter sind in Tabelle 16 abgebildet.

<b>BEDIENDATEN: MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG</b>	<b>HUD</b>	<b>CID</b>
Startzeitpunkt der Bearbeitung der Nebenaufgabe nach der Ansage in s	3,85 (sd=1,14)	3,71 (sd=1,66)
Total Task Time = Bediendauer der Aufgaben in s	18,74 (sd=4,28)	23,94 (sd=6,13)
Anzahl der Bedienschritte	16,91 (sd=1,22)	17,40 (sd=2,67)

**Tabelle 16: Bedienverhalten**

Der Einfluss des Anzeigeortes konnte bei der Bediendauer (TTT) signifikant nachgewiesen werden ( $F(1, 17)=9.073$ ;  $p=.008$ ). Im nachfolgenden Diagramm ist TTT für alle Situationen genauso wie der Mittelwert über alle Situationen angetragen.

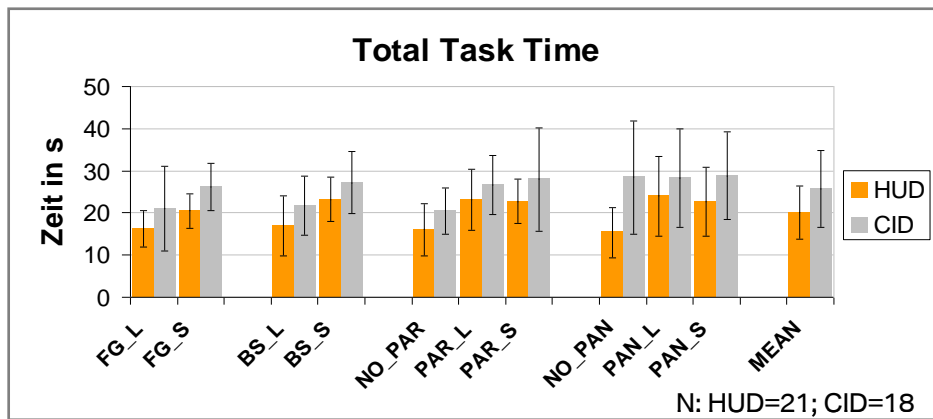


Diagramm 8: SA Total Task Time

Die Bedienung erfolgte im HUD schneller als im CID. Dieses Ergebnis ist als Replikation der vorhergehenden Untersuchungen zur Menüinteraktion zu sehen und deutet auf eine geringere Beanspruchung der Interaktion im HUD hin.

Der Startzeitpunkt der Bearbeitung zeigt ein signifikant unterschiedliches Bedienverhalten abhängig vom Anzeigort ( $F(1, 19)=6.670$ ;  $p=.019$ ). Im nachfolgenden Diagramm sind die Werte für alle Situationen angetragen.

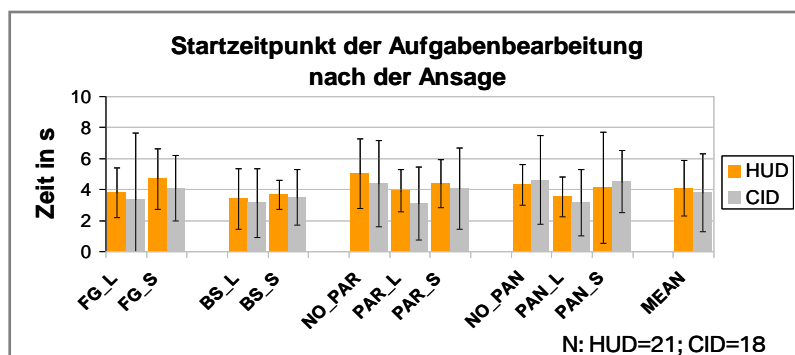


Diagramm 9: Startzeitpunkt der Aufgabenbearbeitung

Im CID fingen die Versuchspersonen früher an, die Nebenaufgabe zu bearbeiten, d.h. die Präsentation der Interaktion im primären Sichtfeld hat nicht dazu beigetragen, dass die Versuchspersonen schneller mit der Bearbeitung der Aufgabe begonnen haben.

Der Faktor Schweregrad hat einen signifikanten Einfluss ( $F(3, 15)=5.26$   $p=.01$ ) auf das Bedienverhalten und zeigt sich in allen drei abhängigen Variablen. Die Bearbeitung der Aufgaben dauert in zwei der vier schweren Situationen länger und benötigt mehr Bedienschritte als in den leichten Situationen. Somit kann man in den Bediendaten ebenfalls ein von der Situation abhängiges Verhalten feststellen.

#### Analyse des Blickverhaltens

Das Blickverhalten aller Versuchspersonen wurde anhand der Parameter in der Tabelle 13 analysiert. Hier wurde ebenfalls eine MANOVA mit den oben erwähnten Faktoren berechnet. Blicke auf das Kombiinstrument, die Innen- und Außenspiegel oder das Bedienelement tauchten kaum auf. Aus diesem Grund wurden sie in der Analyse nicht berücksichtigt. In die Auswertung gingen die Daten von 15 Versuchspersonen (HUD) und 14 (CID) ein.

Der Anzeigort hat einen signifikanten Einfluss auf das Blickverhalten ( $F(5,200)=1904.626$ ;  $p<.001$ ) Dabei zeigt sich der Unterschied in den Variablen kumulierte Blickdauer ( $F(1, 204)=9.835$   $p=.002$ ) und Dauer der Blicke außerhalb des Displays ( $F(1, 204)=35.243$   $p<.001$ ). Prozentual sind diese im Diagramm 13 angetragen. Die anderen Parameter differenzieren nicht zwischen den zwei Anzeigorten. In der Tabelle 17 sind die Mittelwerte für beide Anzeigorte angetragen.

<b>BLICKDATEN: MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG</b>	<b>HUD</b>	<b>CID</b>
Kumulierte Blickdauer auf das Display in s	8,70 (sd=2,91)	7,50 (sd=2,86)
Anzahl der Blicke auf das Display	8,97 (sd=3,41)	8,21 (sd=3,12)
Mittlere Blickdauer auf das Display in s	1,07 (sd=0,49)	0,96 (sd=0,30)
85%-Perzentil der Blickdauer auf das Display in s	1,6 (sd=0,58)	1,56 (sd=0,40)
Kumulierte Blickdauer außerhalb des Displays während der Bedienung in s	12,00 (sd=6,74)	17,67 (sd=7,6)

Tabelle 17: Blickverhalten

Die Versuchspersonen benötigten des Weiteren länger für die Kontrollblicke auf die Fahrscene beim CID als bei der Benutzung des HUDs. Die signifikant längere Blickdauer außerhalb des Displays während der Bearbeitung der Nebenaufgaben im CID deutet auf einen höheren visuellen Aufwand hin. Dafür verweilten die Probanden im Durchschnitt länger auf dem HUD. Dieses Verhalten bewirkte eine schnellere Bearbeitung der Nebenaufgaben bei der Nutzung des HUDs.

Einen weiteren Einblick in das Blickverhalten gibt das Histogramm aller Blicke auf die Displays während aller Bedienvorgänge des Versuches.

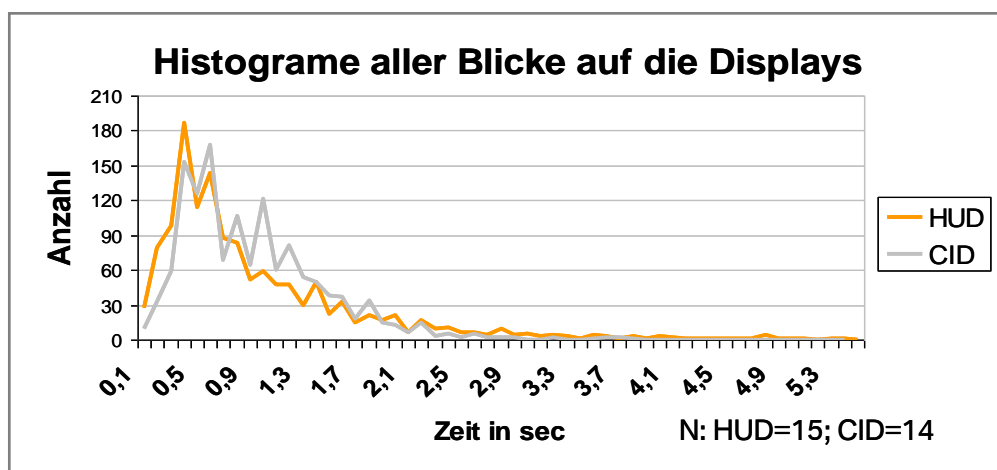


Diagramm 10: Histogramm aller Blicke auf die Displays

Es zeigt sich, dass der am häufigsten vorkommende Blick im HUD (Maximum bei ca. 0,4s) kürzer ist als im CID (Maximum bei ca. 0,7s). Weiterhin kann man sehen, dass der Verlauf der Blicke im HUD steiler abfällt. Eine weitere Besonderheit des HUDs zeigt sich in den vereinzelt langen Blicken von ca. 5 Sekunden. Die langen Blicke wurden einer

manuellen Prüfung der Blickvideos abhängig von der jeweiligen Situation unterzogen und haben zu keinem sicherheitskritischen Verhalten geführt.

Bei der Entwicklung von MMI in der Automobilindustrie ist das 85%-Perzentil der Blickdauern das relevante Kriterium. Im Rahmen von AAM hat sich BMW verpflichtet, eine Grenze von 2 Sekunden für alle genutzten Informationssysteme nicht zu überschreiten (siehe Kapitel 3.1.2).

Bei der verwendeten Interaktion an beiden Anzeigeorten wird die kritische Schwelle von 2 Sekunden weit unterschritten (siehe Tabelle 17).

#### Subjektive Daten

Ein Unterschied in der Beanspruchung von Versuchspersonen während der Bedienung von Nebenaufgaben konnte anhand der Bedien- und Blickdaten abgängig vom Anzeigeort objektiv nachgewiesen werden.

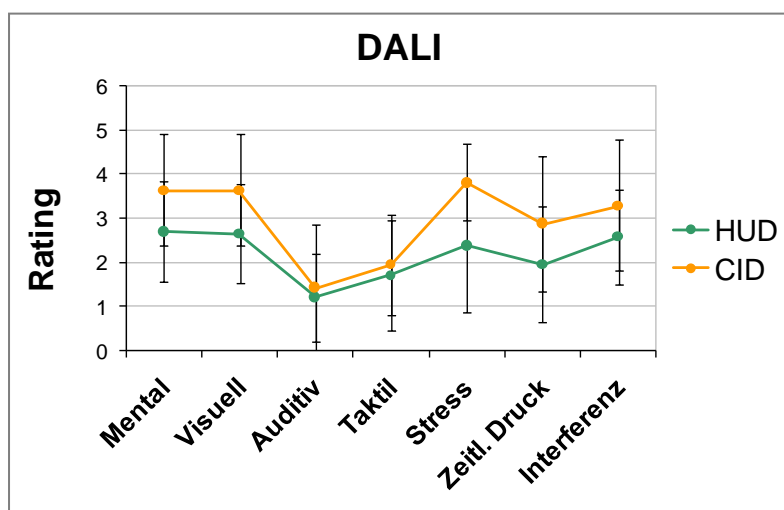


Diagramm 11: SA-Versuch DALI

Interessant ist aber die Frage, ob die Fahrer in der Lage sind, diese Beanspruchung selber einzuschätzen und sie mit Hilfe eines Fragebogens wiederzugeben. Dazu wurde in dieser Untersuchung DALI (siehe Kapitel 3.2.4.1) verwendet. Im Diagramm 12 sind die Mittelwerte der Ratings der sieben Dimensionen der Beanspruchung abgebildet.

Ein signifikanter Unterschied zwischen den Systemen zeigte sich in den Dimensionen mentale Aufmerksamkeit ( $T(0.95, 33)=-2.714$ ;  $p=.011$ ), visuelle Beanspruchung ( $T(0.95, 33)=-2.438$ ;  $p=.021$ ), verursachter Stress ( $T(0.95, 33)=-3.815$ ;  $p=.001$ ) und verursachter zeitlicher Druck ( $T(0.95, 32)=-2.020$ ;  $p=.050$ ).

Der geringere zeitliche Druck ist auch in den Bediendaten zu finden, da sich die Versuchspersonen signifikant mehr Zeit vor der Bearbeitung der Nebenaufgabe in der Bedingung HUD gelassen haben.

In der Gesamtbewertung erzielte das HUD einen Wert von 41,8 ( $sd=20,7$ ) und das CID von 59,0 ( $sd=19,4$ ). Der Unterschied ist auf dem Niveau von  $p=.019$  signifikant. Die empfundene Beanspruchung bei der gleichen Bedienung im HUD ist geringer als im CID.

Weiterhin wurden Fragen zur Ablenkung der Menüinteraktion abhängig vom Anzeigeort gestellt.

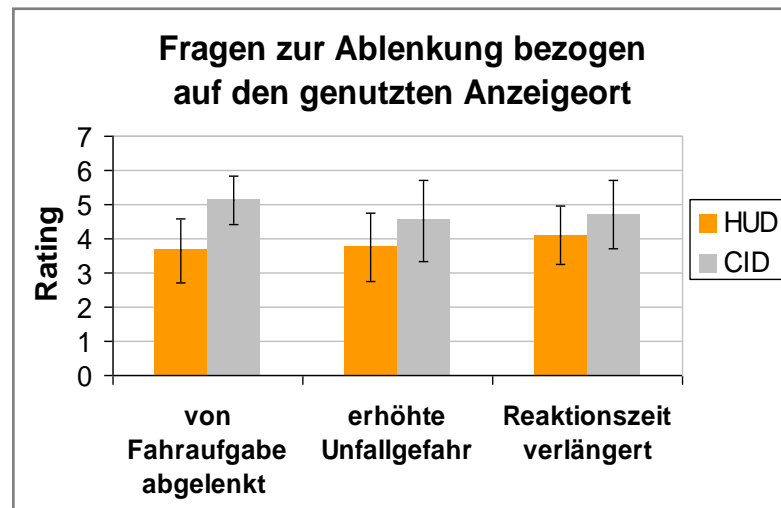


Diagramm 12: Einschätzung zur Ablenkung

Die Einstufung des HUD fiel bei allen drei Fragen signifikant geringer aus (Ablenkung von der Fahraufgabe  $T(0.95, 33)=-5.392$ ;  $p<.001$ ; erhöhte Unfallgefahr  $T(0.95, 33)=-2.357$ ;  $p=.025$ ; Reaktionszeit verlängert  $T(0.95, 33)=-2.219$ ;  $p=.034$ ). Somit schätzten die Probanden die verursachte Ablenkung, Unfallgefahr und Verlängerung der Reaktionszeit beim HUD als geringer ein.

Die Verteilung der Aufmerksamkeit zwischen der Fahr- und Nebenaufgabe abhängig vom Display wurde gleich eingeschätzt und beträgt ca. 75% für die Fahr- und ca. 25% für die Nebenaufgabe.

Bezogen auf die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit entspricht die Selbsteinschätzung der Aufmerksamkeit beim CID fast der Verteilung der zeitlichen visuellen Zuwendung zum Display (7,5s = 30%) und außerhalb des Displays (17,5s = 70%) während einer Bedienung.

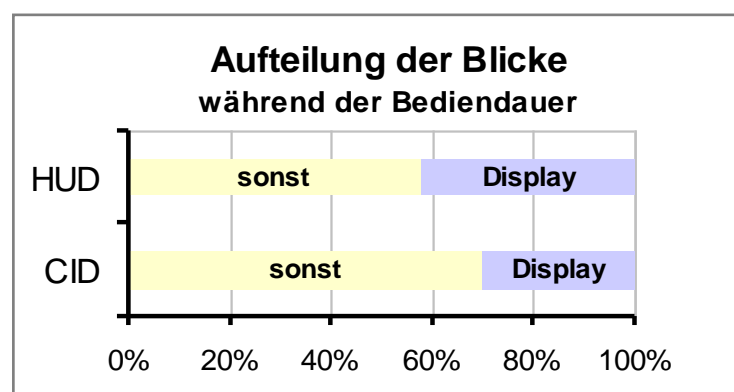


Diagramm 13: SA Aufmerksamkeitsverteilung - HUD vs. CID

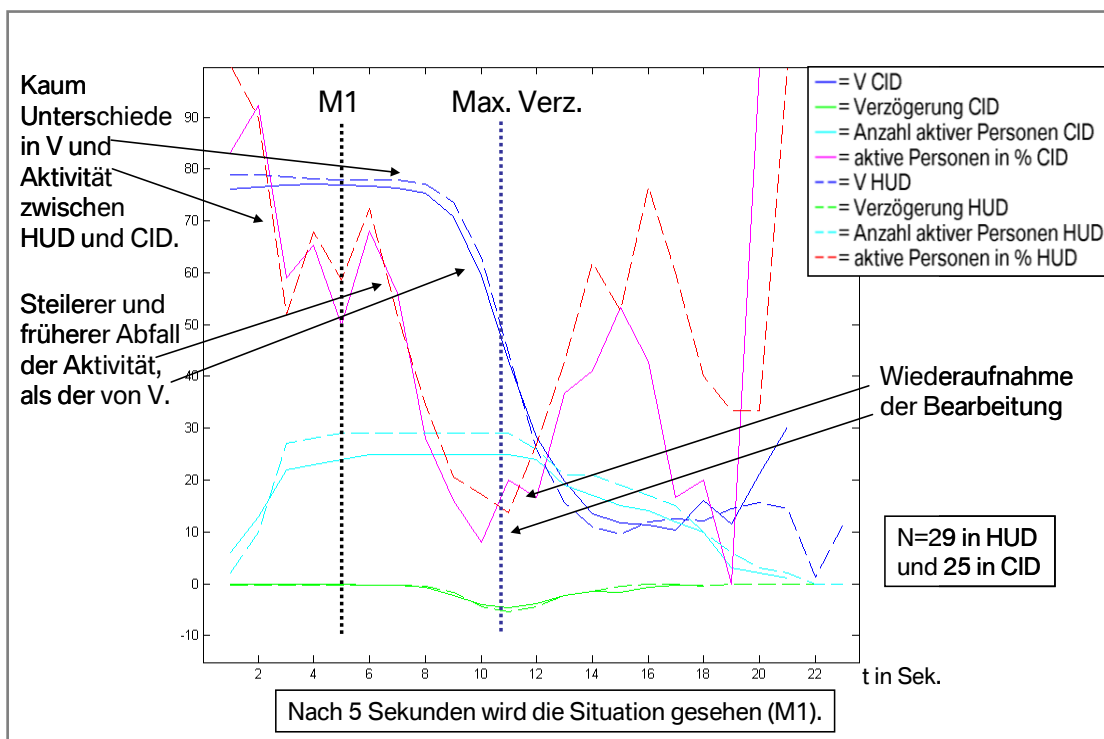
Im HUD liegt die zeitliche Zuwendung der Blicke auf das Display bei ca. 42% (8,7s). Beim Blick auf das HUD liegt die Straße im parafovealem Bereich des Sehfeldes. Aus diesem Grund überblicken die Probanden das Straßengeschehen und schätzen die der Menüinteraktion zugeteilte Aufmerksamkeit im HUD genauso hoch ein wie im CID.

## Verläufe

In den bisherigen Daten konnte man Indizien für ein situationsbewusstes Handeln finden. Deren Analyse hat nicht zum Verständnis beigetragen, wie Fahrer mit kritischen Situationen umgehen und, ob die angewandten Strategien die Situationen zu entschärfen, einheitlich sind. Anhand der sehr geringen Anzahl an Fahrfehlern kann man davon ausgehen, dass die Probanden die Situationen gut gemeistert haben. Aus der weiteren Auswertung sind Situationen pro Versuchsperson, mit kritischem Fahrverhalten, wie z.B. Kollisionen mit Objekten ausgeschlossen worden. Insgesamt traf das auf 2,3 % aller Fälle zu. Der Unterschied zwischen HUD und CID wurde nicht signifikant (siehe Tabelle 14).

Die wichtigsten Parameter, die in einen kontinuierlichen Zusammenhang gebracht werden müssen, sind die gefahrene Geschwindigkeit, Verzögerung und die Aktivität in der Nebenaufgabe. Im Folgenden wird der Verlauf dieser Verhaltensdaten exemplarisch für die Baustellensituation im Diagramm 14 erläutert.

Hier ist der örtliche Marker M1 (Situation sichtbar) angetragen. An diesem wurden die Verläufe aller Versuchspersonen ausgerichtet. Da die Versuchspersonen die Situation unterschiedlich schnell passieren, fällt der örtliche Marker M2 für die Situation zeitlich nicht zusammen. Aus diesem Grund ist er nicht abgebildet.



**Diagramm 14: Verlauf der Situation ohne Hinweisreiz**

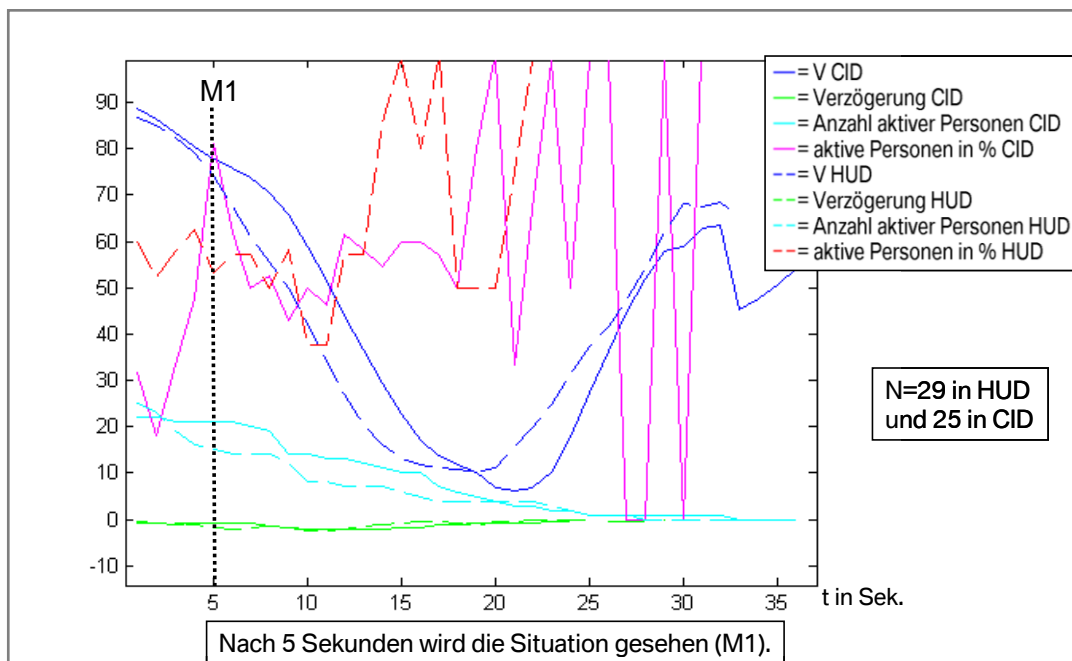
Der Verlauf im CID ist bei allen Parametern durchgezogen und der des HUDs gestrichelt dargestellt. Blau angetragen ist die mittlere Geschwindigkeit aller Versuchspersonen pro Sekunde. Im unteren Bereich des Diagramms ist der Verlauf der Verzögerung abgebildet. Ein wichtiger und markanter Punkt ist der Ort der maximalen Verzögerung. Dieser ist durch eine zusätzliche vertikale Markierung gekennzeichnet. Türkis dargestellt ist die Anzahl der noch aktiven Probanden. D.h. sie haben die Nebenaufgabe angefangen und zu diesem Zeitpunkt noch nicht beendet. Auf Grund dieser Gesamtheit



wird der Prozentsatz der aktiven Versuchspersonen pro Sekunde berechnet. Diese Aktivität in der Nebenaufgabe ist mit Lila angetragen.

Die Versuchspersonen fahren mit einer Geschwindigkeit von ca. 80 km/h und konstantem Bedienverhalten auf hohem Niveau in die Baustellensituation hinein. Ab M1 wird die Situation sichtbar. Nachdem die Situation gesehen wurde sank die Aktivität in der Nebenaufgabe ab. Zeitlich gefolgt wurde dieses von einer Reduktion der Geschwindigkeit, die allerdings weniger steil abfiel. An dem Punkt der maximalen Verzögerung wurde die Aktivität in der Nebenaufgabe wieder aufgenommen. Bedien- und Fahrverhalten in HUD und CID zeigten den gleichen Verlauf. In allen markanten Punkten wie der der maximalen Verzögerung, der Abfall und Anstieg der Nebenaktivität und der Geschwindigkeit fielen die Werte in den beiden Bedingungen zeitlich zusammen und hatten ungefähr die gleichen Werte.

Im Vergleich dazu ist im Diagramm 15 der Verlauf aller Parameter der Baustellensituation mit einem vorhergehenden Hinweisreiz auf die Gefahr angetragen. In diesem Diagramm ist ebenfalls M1 angetragen, d.h. in Sekunde Fünf wird die Situation sichtbar. Der vorhergehende Hinweisreiz führt dazu, dass die Geschwindigkeit früher verringert wird und keine starke Bremsung, wie in der schweren Variante der Situation, notwendig ist. Das Bedienverhalten kann durch die Situation hinweg auf gleichem Niveau gehalten werden.



**Diagramm 15: Verlauf der Situation mit Hinweisreiz**

Dieser Unterschied im Verhalten und die fehlende Notwendigkeit der in der schweren Situation angewendeten Kompensationsstrategien deuten auf einen situationsangepassten Umgang mit der Situation hin. Ein ähnlicher Verlauf im Verhalten wurde in allen schweren Situationen gefunden. Genauso konnte in den meisten leichten Situationen das situationsangepasste Verhalten nachgewiesen werden.

Um diese Verhaltensänderung auch statistisch aufzeigen zu können, werden im nachfolgenden Abschnitt die Mittelwerte der Verhaltensdaten für alle Situationen und Versuchspersonen diskutiert. Die Einteilung der Bereiche erfolgte anhand der örtlichen Marker:

- erster Bereich: M0 (Hinweisreiz) bis M1(Situation sichtbar)
- zweiter Bereich: M1 bis zum Zeitpunkt der maximalen Verzögerung
- dritter Bereich: Ort der maximalen Verzögerung und M2 (Situation)

Mit den Daten wurde eine MANOVA mit dem Zwischensubjektfaktor „Anzeigeort“ in den Ausprägungen „HUD“ und „CID“ und den Innersubjektfaktoren „Situation“, „Schweregrad“ und „Zeitabschnitt“ gerechnet.

Das Verhalten unterscheidet sich abhängig vom Schweregrad in allen Situationen ( $F(3,35)= 31.635$ ;  $p<.001$ ). Damit wird auch statistisch der Nachweis erbracht, dass der Verlauf in allen Situationen vom Hinweisreiz beeinflusst wird und eine Anpassung des Fahrverhaltens stattgefunden hat. Die drei Bereiche einer Situation werden signifikant durch das Fahr- und Bedienverhalten differenziert ( $F(6,146)= 500.081$ ;  $p<.001$ ). Somit lässt sich ein Situationsverlauf in typische Zeitabschnitte gliedern, wie schon oben aufgeführt.

Der Faktor Anzeigeort hat keinen signifikanten Einfluss auf Geschwindigkeit ( $F(1,37)= 2.790$   $p=.103$ ) und Verzögerung ( $F(1,37)=.198$ ;  $p=.659$ ). Zur Illustration ist das Diagramm der Verzögerung über die drei Zeitabschnitte für beide Anzeigeorte abgebildet.

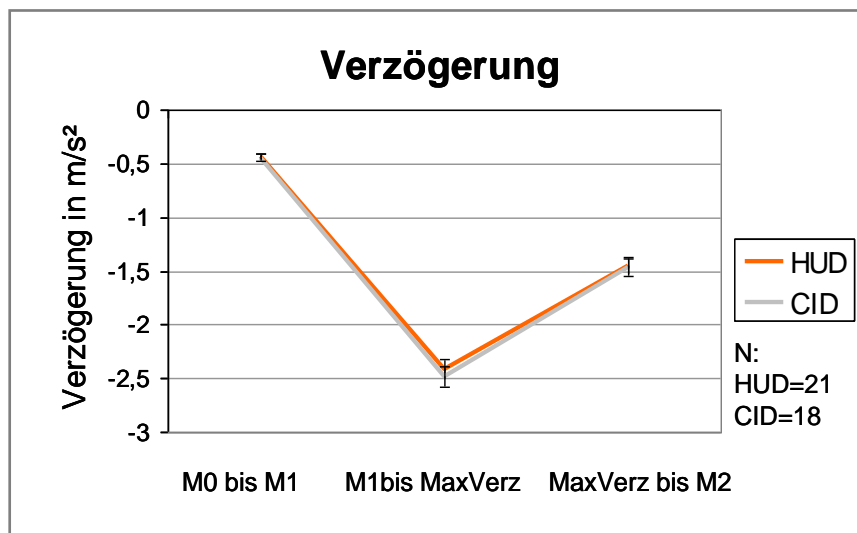


Diagramm 16: Verzögerung in den drei Abschnitten

Damit lässt sich abschließend kein Einfluss des Anzeigeortes auf das Fahrverhalten zeigen.

Bei der Eingabeaktivität gibt es einen signifikanten Unterschied ( $F(1,37)=12.084$   $p=.001$ ) zwischen den Anzeigeorten. Die Aktivität in der Nebenaufgabe zeigt einen identischen Verlauf bei beiden Anzeigeorten, liegt aber im HUD um 10% höher als im CID wie im Diagramm 17 zu sehen ist.

Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass mit der Bedienung im HUD anders umgegangen wird. Die Versuchspersonen machen um 10% mehr Eingaben während des gleichen Zeitabschnittes einer Situation. Dies führt zur effizienteren Bearbeitung der Nebenaufgabe, wobei dieses Verhalten keinen zusätzlichen Einfluss auf das Fahrverhalten zur Folge hat.

Dieser unterschiedliche Umgang mit den Anzeigeorten wird im nachfolgenden Experiment unter realen Straßenbedingungen ausführlich untersucht.

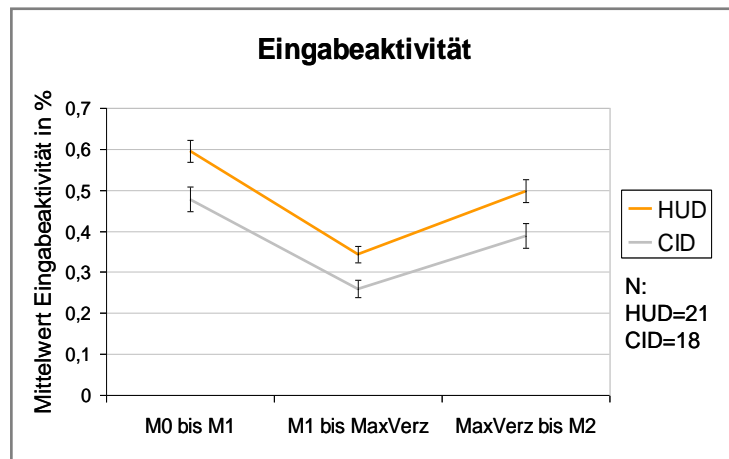


Diagramm 17: Eingabeaktivität in den drei Abschnitten

In Anbetracht aller Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass die Bedienung unabhängig vom Anzeigort den gleichen Einfluss auf das Situationsbewusstsein und die daraus resultierenden Verhaltensanpassungen hat.

### 5.1.3 Zusammenfassung und Diskussion

Für die Entwicklung von Anzeigebedienkonzepten im Fahrzeug müssen wahrnehmungspsychologische Effekte untersucht werden, mit denen das HUD in anderen Domänen in Verbindung gebracht wird. Dazu zählt unter anderem Cognitive Capture [Gish 95] [Tufa 97] und der Einfluss des HUDs auf das Situationsbewusstsein [Hain 91]. Dabei lässt sich der Effekt durch das Phänomen Inattentional Blindness erklären [Simo 00].

Der hier beschriebene Versuch zum Situationsbewusstsein klärt, ob sich diese Nachteile im automobilen Kontext ebenfalls nachweisen lassen. Insbesondere wurde untersucht, ob der Anzeigort der Menü-Bedienung einen Einfluss auf das Situationsbewusstsein und die angewendeten Fahrstrategien hat.

Die Ergebnisse der diskreten Auswertung der Blick-, Bedien und Fahrdaten weisen auf eine geringere Ablenkung bei der Bedienung der Nebenaufgaben im HUD. Die Kontrollblicke auf die Fahrscene während der Bedienung sind im CID signifikant länger. Dafür verweilen die Probanden im Durchschnitt länger auf dem HUD. Dieses Verhalten resultiert in einer schnelleren Bearbeitung der Nebenaufgaben bei der Nutzung des HUDs und deutet auf eine geringere Beanspruchung der Interaktion im HUD hin.

Diese geringere Beanspruchung spiegelt sich auch im subjektiven Empfinden der Probanden wieder. Neben der allgemein geringer empfundenen Beanspruchung verursacht das HUD bei der Bedienung einen geringeren zeitlichen Druck (Dimension im DALI), der auch in den Bediendaten anhand des Startzeitpunktes der Bearbeitung objektiv gemessen werden konnte. Die Versuchspersonen lassen sich im HUD mehr Zeit vor der Aufgabebearbeitung. Die geringer empfundene Beanspruchung des HUD ist einer der Gründe, weshalb das HUD für die Menüinteraktion subjektiv bevorzugt wird.

Um den Grad dynamischer Verhaltensanpassungen bei verschiedenen Fahrsituationen bewerten zu können, wurden das Fahr- und Bedienverhalten analysiert. Dabei wurden verschiedene Parameter über die Zeit im Situationsverlauf miteinander in Bezug gesetzt.

Aus der Analyse der Verhaltensdaten im Verlauf kann man ableiten, dass Fahrer ihr Fahrverhalten und die Eingabeaktivität hinsichtlich der Nebenaufgabe der jeweiligen Situation anpassen und als gute „workload manager“ fungieren. Im Rahmen der dynamischen Verhaltensanpassung wird die Fahraufgabe priorisiert. Daher variiert die Aktivität bei der Bearbeitung einer Nebenaufgabe in Abhängigkeit zur Fahrsituation und weist einen charakteristischen Verlauf auf.

Die dynamische Analyse ermöglicht ein ganzheitliches Bild über das Verhalten von Fahrern im Umgang mit Nebenaufgaben in kritischen Situationen. In Anbetracht der gleichen Kompensationsstrategien bei der Bearbeitung von Nebenaufgaben im HUD und CID kann man keinen Hinweis auf einen negativen Einfluss des HUD auf das Situationsbewusstsein im automobilen Kontext finden.

Anhand der Analyse des dynamischen Fahr- und Bedienverhaltens, wie auch der diskreten Auswertung der Fahrdaten, kann kein Einfluss des Anzeigeortes auf das Fahrverhalten ermittelt werden. Es zeigt sich lediglich, dass die Interaktion im HUD effizienter ist.

Hier sei aber noch mal betont, dass die Interaktion im Vorfeld auf das HUD ausgelegt wurde. Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen die Forderung, in dieser sensiblen Anzeigefläche vernünftig mit der Informationsmenge und –gestaltung umzugehen!

Nachdem im Fahrsimulator nachgewiesen wurde, dass kritische Situationen bei der Menübedienung im HUD genauso gut wie im CID gemeistert werden, wird der nächste Schritt in der Absicherung vollzogen. Es ist noch zu zeigen, dass in Alltagssituationen während der Fahrt im realen Straßenverkehr die Fahrer mit der Bedienung im HUD umgehen können.

## **5.2 Experiment 5: Auswirkungen des Systems auf das Fahr- und Blickverhalten im realen Straßenverkehr**

Im ersten Fahrsimulationsversuch wurden die Grundlagen für eine Menüinteraktion im HUD gelegt. Dabei wurden die Interaktionsprinzipien, die sich für den Einsatz im HUD eignen, identifiziert. Daraufhin folgte die Absicherung eines HUD-Menüs im Fahrsimulator in einem standardisierten Setting mit dem Schwerpunkt die Vergrößerung der Anzeigefläche zu untersuchen. Die nächste Komplexitätsstufe in der Versuchsreihe stellte der Versuch zum Situationsbewusstsein dar. Hier lag der Schwerpunkt auf dem Umgang mit dem System in kritischen Situationen. Nachdem in diesem kein Nachteil durch die Interaktion im HUD aufgezeigt wurde, wird im letzten und abschließenden Versuch zur Thematik der Menüinteraktion im HUD deren Einfluss auf das Fahrerverhalten im realen Straßenverkehr untersucht (siehe Abbildung 3). Das Hauptaugenmerk liegt bei diesem Feldversuch auf der Beanspruchung, die während eines Bedienvorgangs bei dem Fahrer verursacht wird. In diesem Zusammenhang wird die Beanspruchung als ein Konstrukt aus Fahr-, Bedien- und Blickverhalten sowie der subjektiv empfundenen Beanspruchung verstanden und auch anhand dieser Parameter analysiert.

Beide Anzeigepositionen der Menübedienung, im Primär- und Sekundär-HUD, werden untersucht. Damit wird die Frage nach der Vergrößerung der Anzeigefläche adressiert. Anhand dieser Ergebnisse soll eine Empfehlung abgeleitet werden, ob die Entwicklung des HUDs in die Breite gefördert werden soll.

Die Menübedienung im HUD wird mit dem gängigen Anzeigort für die Interaktion, dem CID, verglichen. Dieser Vergleich wirft im Wesentlichen zwei verschiedene Schwerpunkte auf. Die verursachte Beanspruchung wird bei gleichbleibender Darstellung und Struktur des Menüs in Abhängigkeit vom Anzeigort untersucht. Somit wird der Einfluss des Anzeigortes alleine untersucht.

Der zweite Schwerpunkt beinhaltet neben der Variation des Anzeigortes auch die Variation des ABKs. Hier wird die Standard-Menübedienung, das iDrive im X5 (E70) im CID, mit dem Konzept im HUD verglichen. Dieses Vorgehen ermöglicht einen realistischen Vergleich und deckt den Benefit einer HUD-Interaktion im Fahrzeug gegenüber dem bestehenden System auf.

### 5.2.1 Theoretische Grundlagen

Die zentrale Fragestellung lautet also: Wie hoch ist die Beanspruchung im realen Straßenverkehr, die durch eine Menüinteraktion im HUD verursacht wird?

Das theoretische Fundament für diese Untersuchung setzt sich aus der *Beanspruchung*, die durch die zusätzliche Menüinteraktion entsteht und der Verkehrssituation, die den äußeren Rahmen für alle vom Fahrzeugführer durchgeführten Handlungen abbildet, zusammen. Da in einem Versuch im realen Straßenverkehr die Umgebungsbedingungen nicht konstant gehalten werden können, ist es notwendig die auftretenden Verkehrssituationen zu kategorisieren um die Ergebnisse richtig interpretieren zu können. Die Grundlagen zur Beanspruchung können im Kapitel 3.1.2.1 nachgelesen werden.

#### *Verkehrssituation*

Reichert unterscheidet die Begriffe der Verkehrs-, Fahr- und Fahrersituation anhand der objektiv gegebenen, der vom Fahrer subjektiv wahrnehmbaren und der tatsächlich wahrgenommenen Konstellation verschiedener Faktoren des Verkehrsgeschehens [Reic 00]. Eine vollständige Beschreibung einer Situation ist aufgrund der großen Anzahl an verschiedenen Faktoren und Konstellationen kaum möglich. Deshalb beschränkt man sich auf definierte Klassen von Situationen und eine bestimmte Anzahl relevanter Faktoren mit endlicher Anzahl verschiedener Ausprägungen. Dabei wird die Klassifizierung auf der Ebene der Verkehrssituationen oder Fahrsituationen durchgeführt. Somit ist diese unabhängig von individuellen Faktoren und der durch eine Nebenaufgabe verursachten Beanspruchung. Fastenmeier entwickelte ein Klassifizierungssystem der Verkehrssituationen, welches für diesen Versuch modifiziert wurde [Fast 95]. Dieser Ansatz erlaubt eine Gruppierung verschiedener Versuchsstreckenabschnitte und legt die Grundlage für die Vergleichbarkeit der Ereignisse. Um eine vollständige Beschreibung der Situation zu erhalten, wird noch der Schwierigkeitsgrad in Betracht gezogen. Dieser wird anhand der Kennzahlen zur geforderten Informationsverarbeitung an den Fahrer (32 Faktoren) und den nötigen Fahrzeugbedientätigkeiten (7 Faktoren) abgeleitet. Einige der Faktoren sind z. B. vorhandene Kreuzungen, Verkehrsdichte, aber auch Einsatz von Hand- und Fußbedienungen [Fast 95].

Zusammenfassend kann man sagen, dass Situationen mit niedrigen Anforderungen an Informationsverarbeitung und Fahrzeugbedienung auf freien, geraden Strecken auf der Autobahn oder Landstraße statt finden. Die schwierigsten Situationen sind meistens in der Stadt an Kreuzungen mit Wartepflicht für den Fahrer. Niedrige Anforderungen an die Fahrzeugbedienung, aber hohe an die Informationsverarbeitung stellen Situationen in der Stadt mit Vorfahrtsberechtigung oder auf der Autobahnauffahrt dar. Umgekehrte

Anforderungen treten auf älteren Landstraßen oder bei kurvigem Verlauf auf. Die Klassifizierung der Situationen in diesem Versuch wird im Kapitel 5.2.2.2 explizit behandelt. Weitere Details sind in [Pote 09] nachzulesen.

## 5.2.2 Versuch zur Beanspruchung im realen Straßenverkehr

Nach den theoretischen Vorüberlegungen (Kapitel 3.1.2.1) wird die Beanspruchung als ein Konstrukt verstanden. Dieses wird anhand der Blick-, Bedien- sowie Fahrverhalten des Fahrers erfasst und lässt sich unter dem Begriff Fahrerverhalten zusammenfassen. Dieser Begriff zielt auf die Gesamtheit der vom Fahrzeugführer durchgeführten Handlungen ab und bildet somit die Auswirkungen der einwirkenden Belastung am besten ab. Die objektiv gemessenen Leistungs- und Verhaltensmaße werden mit den Daten der subjektiven Einschätzung kombiniert, um ein ganzheitliches Bild der verursachten Beanspruchung zu erhalten.

### 5.2.2.1 Fragestellungen

Die Menüinteraktion im HUD wird in diesem Experiment aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet:

#### Fragestellung Primär- vs. Sekundär-HUD

Im ersten Schritt wird untersucht, ob das Menü abhängig von der Position der Anzeige in einem vergrößerten HUD eine unterschiedliche Beanspruchung verursacht und somit einen Einfluss auf das Fahrerverhalten hat.

Hypothese 1:

Es gibt keinen Unterschied im Fahrerverhalten abhängig von der Position des HUDs.

Herleitung:

Beide HUD-Anzeigen sind in der gleichen Entfernung von 2,2 m zu sehen. Das Primär-HUD ist um vier Grad nach unten von der zentralen Sehachse versetzt. Das Sekundär-HUD ist zusätzlich um zwölf Grad vom Fahrer aus gesehen nach rechts verschoben. Somit kann nur die Positionierung außerhalb des parafovealen Blickbereichs die Strategie bei der Aufmerksamkeitsteilung beeinflussen. Die Ablesedauer ändert sich nur aufgrund der längeren Sakkade. Dieser Unterschied errechnet sich nach der Formel von Schweigert (Seite 9 aus [Schw 03]) zu ca. 18ms Zeitvorteil für das Primär-HUD. Aufgrund der minimal veränderten Ablesedauer wird kein Unterschied beim Blickverhalten postuliert.

Geht man vom gleichen Blickverhalten bei beiden HUD-Positionen aus, so sind beim Bedienenverhalten ebenfalls keine Unterschiede zu erwarten. Gleiche Blickdauern bei gleicher Anzahl der Blicke für die Bedienung im gleichen Menü bedeuten auch gleich viel Zeit für die Bearbeitung der Nebenaufgabe.

Verfolgt man die Argumentationskette weiter, so ist beim gleichen Blick- und Bedienenverhalten auch keine Abhängigkeit des Fahrverhaltens von der Position des HUDs zu erwarten.

Die bisherigen Hypothesen postulieren in allen für die Beanspruchung relevanten Größen keinen Unterschied, somit ist zu erwarten, dass sich die subjektiv erlebte Beanspruchung bei den beiden HUD Anzeigeorten nicht unterscheidet.

Damit wird sich im Fahrerverhalten keine Auswirkung der HUD-Position zeigen.

Aufgrund dieser Daten wird sich die Frage nach einer Vergrößerung der Anzeigefläche beantworten lassen.

### **Fragestellung HUD vs. CID**

Im zweiten Schritt wird der Vergleich zum Referenzanzeigort (CID) für eine Menübedienung im Fahrzeug gezogen. Hier kommen die gleiche Menüstruktur und das gleiche Bedienelement am Lenkrad zum Einsatz, allein der Anzeigort wird variiert.

Hypothese 2:

Das Fahrerverhalten ist abhängig vom Anzeigort und der Verkehrssituation.

Herleitung:

Die geringeren Ablesedauern sowie die Möglichkeit, die Straße während der Bedienung im HUD im Blick zu behalten, führen zur Annahme, dass bei den Anzeigorten HUD und CID verschiedene Strategien im Blickverhalten angewandt werden. Aufgrund der Positionierung im Fahrzeuginneren ist bei einer Menübedienung im CID eine kürzere Blickabwendung zu erwarten. Bei gleicher Aufgabenlänge bedeutet dies eine im Vergleich zum HUD erhöhte Anzahl an Blicken. Die Aufteilung der Ressourcen der visuellen Wahrnehmungsmodalität hängt dabei auch von der Komplexität der umgebenden Verkehrssituation, ab.

Entsprechend dem Blickverhalten werden Unterschiede in der Vorgehensweise der Nutzer bei der Bedienung erwartet. Diese können aufgrund der unterschiedlichen Blickabwendungszeiten und der Dauer für die nötige Informationsaufnahme erklärt werden. Dabei spielen Dauer der beiden Sakkaden, Adaption- und Akkomodationszeiten eine Rolle. Die kürzere Blickabwendung, gepaart mit einer erhöhten Anzahl der Blicke bei einer Bedienung im CID, führen zu häufigeren Unterbrechungen des Bedienvorganges, was in einer längeren Bediendauer resultiert.

Die Fahraufgabe wird erst nach der Degradierung der Nebenaufgabe durch die Beanspruchung beeinflusst. Die Aufteilung der visuellen Wahrnehmungsmodalität zwischen der Anzeige und der Fahrszene, schränkt jedoch die Aufnahme der für die Fahraufgabe relevanten Informationen ein. Es ist deshalb anzunehmen, dass aufgrund des unterschiedlichen Blick- und Bedienverhaltens die Variation des Anzeigorts Auswirkungen auf die Fahraufgabe zur Folge hat. Es ist zu erwarten, dass durch unterschiedlich aufwendige Strategien bei der Aufteilung der Aufmerksamkeit verschiedene Kompensationsstrategien angewandt werden.

Aufgrund der bisherigen Hypothese ist mit einer unterschiedlichen Einschätzung der verursachten Beanspruchung der Probanden im HUD und im CID zu rechnen.

### **Fragestellung Orion vs. iDrive**

Die dritte Fragestellung betrifft den Vergleich des vorgestellten Konzepts zum Standard-FIS im Fahrzeug (iDrive).

Hypothese 3:

Das Blickverhalten ist abhängig vom System.

Herleitung:

In der abschließenden Fragestellung zur Beanspruchung wird der Unterschied zwischen der Orion-Menüinteraktion im HUD und dem Standard-FIS iDrive im CID untersucht:

Bei gleicher räumlicher Konstellation der Anzeigen, wie bei der letzten Fragestellung und einer zusätzlichen Variation des Menüs, ist ein Unterschied zwischen den beiden Systemen zu erwarten. Dies ist einerseits durch die verschiedenen Anzeigorte und andererseits durch das unterschiedliche Anzeige-Bedien-Konzept zu begründen. Nicht nur, dass die Menüstrukturen unterschiedliche Komplexität aufweisen, es kommen auch zwei unterschiedliche Bedienelemente zum Einsatz.

### **Fragestellung Akzeptanz und Präferenz**

Die Akzeptanz und die Präferenz der Menüinteraktion im HUD bilden die letzte Fragestellung.

#### **Hypothese 4.1**

Die Menüinteraktion im HUD wird akzeptiert.

Herleitung:

Vorausgehende Simulatoruntersuchungen zeigen, dass die Menüinteraktion im HUD akzeptiert wird [Mili 08]. Es ist zu erwarten, dass das reale Straßengeschehen keine Veränderung in dieser Hinsicht bringt.

#### **Hypothese 4.2**

Die Menüinteraktion im HUD wird im Vergleich zu den CID-Systemen bevorzugt.

Herleitung:

Andere Studien (z.B. [BMW 05], [Mili 08-2]) konnten zeigen, dass das HUD gegenüber dem CID bevorzugt wird. Ausgehend von diesen Ergebnissen und den aufgestellten Hypothesen, ist eine Präferenz der Menüinteraktion im HUD zu erwarten.

Innerhalb dieser Fragestellungen lassen sich detaillierte Hypothesen zu einzelnen Größen formulieren. Diese sind aber im gegenseitigen Zusammenspiel zu interpretieren und werden an dieser Stelle auch zusammen diskutiert [Pote 09].

### **5.2.2.2 Methodisches Vorgehen**

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen und Fragestellungen wurde ein Feldversuch konzipiert und durchgeführt, der die Menüinteraktion in alltäglichen Situationen untersucht. Ein FIS wird in der Regel dann bedient, wenn die Verkehrssituation nicht zu beanspruchend ist und die Bedienung zulässt. Der Schwerpunkt lag darauf, alle drei Straßentypen und verschiedene Verkehrssituationen in der Untersuchung abzutesten [Pote 09].

#### *Versuchsdesign*

Die dieser Untersuchung zugrunde liegenden Fragestellungen sind Vergleiche der drei verschiedenen Anzeigeorte (Primär-HUD, Sekundär-HUD und CID) und der Vergleich der zwei verschiedenen Systeme (Orion und iDrive). Somit wird der Versuch in zwei Teile aufgeteilt.

Im ersten Versuchsteil wurde ein mixed-design angewandt. Das CID-System gilt als Referenz für Menüinteraktion im Automobil und wird auch in dieser Untersuchung als Bezugsgröße für beide HUD Systeme herangezogen. Beim Vergleich der beiden HUD-Anzeigeorte wurde die Stichprobe in zwei Gruppen aufgeteilt. Ein Teil der Stichprobe erprobte die Menübedienung im Primär-HUD und der andere Teil im Sekundär-HUD. Der erste Versuchsteil beinhaltete zwei Fahrten auf derselben Versuchsstrecke. Die Reihenfolge der HUD- und CID-Fahrten, sowie die Reihenfolge Primär-HUD und Sekundär-HUD wurde permutiert, um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden.

Der zweite Teil des Versuches fand auf einer anderen Versuchsstrecke statt, die von jeder Versuchsperson nur einmal befahren wurde. Er beinhaltete lediglich eine zweifache Variation des Systems, was einen klassischen messwiederholten Ansatz erlaubte.

Die Abbildung 47 zeigt den schematischen Versuchsaufbau beider Versuchsteile:



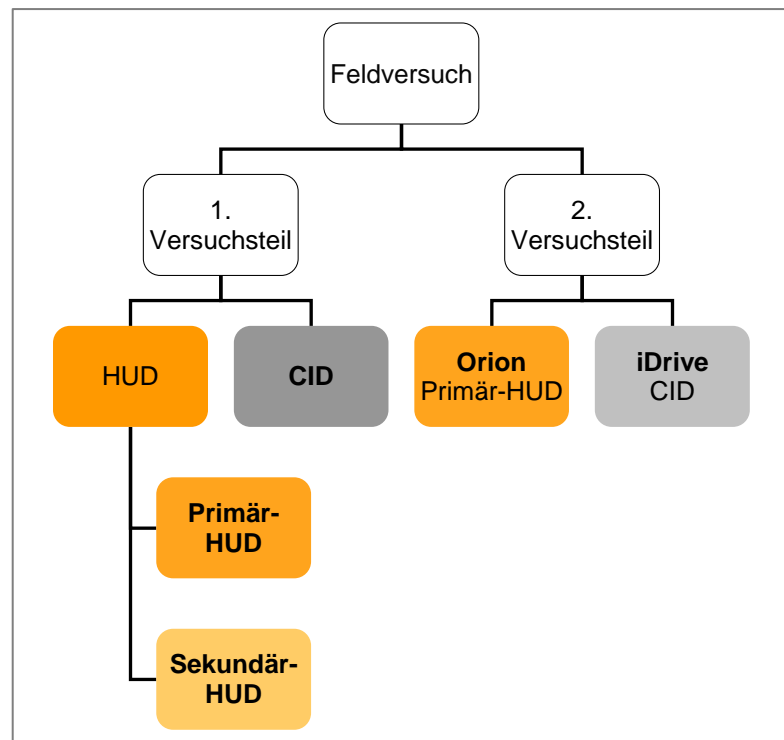


Abbildung 47: Feldversuch Versuchsbedingungen

#### Versuchsstrecke

Diese ausgewählte Strecke im Münchener Norden (Abbildung 48) beinhaltet alle drei Straßentypen und besitzt insgesamt eine Länge von 18 km und ist in ca. 40 min zu durchfahren. Die Stadtfahrt fand in einem Gewerbegebiet statt. Somit wurde eine Personengefährdung minimiert. Während der umfangreichen Vorversuchsphase wurden verkehrsarme Perioden beobachtet. Diese wurden für die Versuchsdurchführung genutzt.

Trotz des relativ geringen Verkehrsaufkommens ist die Fülle verschiedener Verkehrssituationen auf dieser Strecke groß. Anhand der Taxonomie von Fastenmeier [Fast 95] wurde eine Gruppierung der verschiedenen Streckenabschnitte vorgenommen und diese für den Feldversuch operationalisiert.

#### 1. Versuchsteil

Bei dem ersten Versuchsteil sollten die Auswirkungen der verschiedenen Anzeigeorte in zwei Versuchsfahrten auf derselben Strecke untersucht werden. Diese beinhaltete drei Straßentypen mit zwölf verschiedenen Streckenabschnitten. Jeweils zwei vergleichbare Streckenabschnitte wurden zu einer Verkehrssituation anhand der Klassifizierung [Fast 95] gruppiert. Die Klassifizierung der Verkehrssituationen, sowie die Anforderungen an Informationsverarbeitung (IV) und an Fahrzeugbedienung (FB) sind in der Tabelle 18 abgebildet. Die angegebenen Indices sind relative Werte, die zum Vergleich zweier Situationen herangezogen werden können. Die letzte Spalte gibt die minimale Anzahl der Bedienschritte für die Nebenaufgabe in dieser Verkehrssituation an.

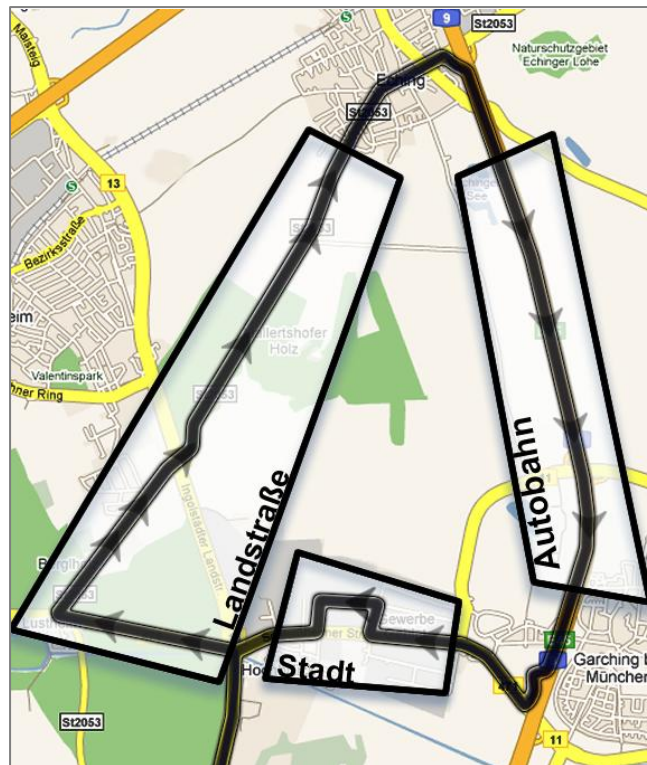


Abbildung 48: Feldversuch Versuchsstrecke

Alle verwendeten Verkehrssituationen stellen, entsprechend der Zielsetzung, niedrige Anforderungen an die Informationsverarbeitung des Fahrers und die Fahrzeugbedienung dar (4. und 5. Spalte der Tabelle 18). Diese Anforderungen unterscheiden sich jedoch von Verkehrssituation zu Verkehrssituation und können genauso wie alle weiteren Details zum Versuch in der Arbeit von [Pote 09] nachgelesen werden.

VERKEHRSSITUATION	KLASSIFIZIERUNG	IV	FB	BEDIENSCHRITTE
<b>Geschwindigkeitsreduktion</b>	L1; H0; K0	niedrig 59	niedrig 16	9
<b>Stadtfahrt</b>	C4; H0; K0	niedrig 64	niedrig 14	10
<b>Kurve</b>	L1; H1; K0	niedrig 70	niedrig 18	11
<b>Kreuzung</b>	L1; H0; K3	niedrig 66	niedrig 14	12
<b>'gerade Strecke'</b>	L1; H0; K0	niedrig 59	niedrig 16	13
<b>Autobahnfahrt</b>	A1; H0; K0	niedrig 55	niedrig 13	15

Tabelle 18: Klassifizierung von Verkehrssituationen

Die Verkehrssituationen „Geschwindigkeitsreduktion“, „Kurve“, „Kreuzung“ und „gerade Strecke“ befanden sich auf der Landstrasse und stellten unterschiedliche Anforderungen an die Informationsverarbeitung (z.B. wechselnde Geschwindigkeitsvorgaben während des Bedienvorganges) oder die Fahrzeugbedienung (z.B. höhere Anforderungen an das Lenkverhalten in Kurven).

Die Verkehrssituation „Stadtfahrt“ kennzeichnet sich durch die Anzahl der, für die Fahraufgabe, irrelevanten Objekte am Straßenrand, wie z. B. Werbeplakate oder Geschäfte und ein höheres Verkehrsaufkommen aus.

Auf der Autobahn wurden die Probanden aus Sicherheitsgründen und um die Rahmenbedingungen konstant zu halten, instruiert, nur die ganz rechte Fahrspur zu befahren. Durch diese Vorgabe wurde die Geschwindigkeit der Versuchspersonen bei ungefähr 90 km/h konstant gehalten, da diese Fahrspur von LKWs und Bussen befahren wird. Dadurch war immer ein vorausfahrendes Fahrzeug vorhanden und es gab keine Überholvorgänge. Die Probanden sollten den Abstand von 2 Sekunden bzw. 2 Leitpfosten zum Vordermann konstant halten.

## **2. Versuchsteil**

Die Strecke für den zweiten Versuchsteil, bei dem die Menüinteraktion im Primär-HUD mit dem BMW FIS iDrive verglichen werden sollte, beinhaltete vier verschiedene Streckenabschnitte - zwei für die Fahrt mit der Bedienung im Primär-HUD und dem Bedienelement auf dem Lenkrad und zwei für die iDrive Bedienung im CID mit dem Controller in der Mittelkonsole. Dabei kamen zwei vergleichbare Verkehrssituationen auf der Landstraße zum Einsatz.

### *Nebenaufgabe*

Die ORION-Menübedienung bildete die Nebenaufgabe ab (siehe 4.3). Im Versuch wurden die Ansagen anhand markanter Punkte an der Straße, z. B. bestimmter Verkehrsschilder oder Nebenstraßen, vom Versuchsleiter ausgelöst.

### *Versuchsablauf*

Alle Versuchspersonen wurden im Anschluss an die Begrüßung über Sicherheitsrisiken, sowie über die Verantwortung, die sie während eines Feldversuches tragen, aufgeklärt. Diese Einweisung bestätigten sie mit ihrer Unterschrift. Nach einem demographischen Fragebogen wurde das System erklärt und der Umgang damit geübt. Um natürliches Bedienverhalten während der Versuchsfahrt zu gewährleisten, wurden die Versuchspersonen gebeten, nur dann zu bedienen, wenn sie das normalerweise auch tun würden.

Die Hinfahrt zur Versuchstrecke, diente der Gewöhnung an das Fahrzeug und die Bedienung während der Fahrt. Kurz vor Beginn der Versuchstrecke, wurde das Blickerfassungssystem Dikablis aufgesetzt (näheres zu System im Kapitel 3.2.4.3) und der Versuchsperson die Route auf einer Karte gezeigt. Auf diese Weise konnten Reihenfolgeeffekte bei der zweiten Fahrt auf der Strecke minimiert werden.

Es folgte die erste Versuchsfahrt, bei der entweder in einem der beiden HUDs oder im CID bedient wurde. Nach jedem Straßentyp (Landstraße, Autobahn, Stadt) wurden subjektive Daten zur erlebten Beanspruchung erhoben. Somit wurden Gedächtniseffekte und sogenannten Recency-Effekt<sup>17</sup> vermieden. Nach der ersten Versuchsfahrt wurden subjektive Daten zur Akzeptanz des jeweiligen Anzeigeorts erhoben. Die Strecke wurde im Anschluss mit dem Menü am jeweils anderen Anzeigeort erneut befahren.

Daraufhin folgte der zweite Versuchsteil. Im Anschluss wurden die Versuchspersonen gebeten, den abschließenden Fragebogen auszufüllen und ihre Meinung über das Konzept im HUD in einem Interviews abzugeben.

Die Versuchsfahrt dauerte insgesamt zwei Stunden, dabei wurde eine Strecke von 55 km zurückgelegt.

---

<sup>17</sup> Psychologisches Gedächtnisphänomen: später erfasste Information wird gegenüber anderen Informationen bevorteilt; [Sche 02] zeigen, dass dieser Effekt einen entscheidenden Einfluss auf die Validität der Ergebnisse eines Fragebogens hat.

### *Variablen*

Die ausgesuchten Variablen sollen ein ganzheitliches Bild über die Beanspruchung und die Akzeptanz der Menüinteraktion geben und das Fahrerverhalten abbilden.

Die Beanspruchung als die subjektive Wahrnehmung der Belastung kann nicht direkt gemessen werden und wird indirekt anhand der Leistungsmaße in der Nebenaufgabe und der Fahraufgabe gemessen. Dieses Konstrukt wird durch die Analyse des Blickverhaltens vervollständigt. Die subjektiv empfundene Beanspruchung soll als eine Vergleichsgröße für die Ergebnisse der objektiv erfassten Daten dienen.

### *Blickverhalten*

Die Blicke des Fahrers sind als Indikator der Aufmerksamkeitszuwendung zu verstehen. Obwohl eine Blickzuwendung nicht zwingend eine kognitive Verarbeitung der visuell aufgenommenen Daten nach sich zieht, ist sie für eine kognitive Verarbeitung der Situation notwendig [Wick 04]. Ob und wie die Situation wahrgenommen wird, lässt sich anhand von Blickdaten nicht eindeutig festlegen. Sie dienen viel mehr der Erfassung der Dauer und der Anzahl der Abwendungen von der Straße. Diese Maße sind aber hinsichtlich der Strategie bei der Verteilung der Aufmerksamkeit zu untersuchen. Diese Strategie hängt von den verfügbaren Ressourcen und somit von der verursachten Beanspruchung ab. Sie ist als ein Teil des Workload-Managements zu verstehen.

Das Blickverhalten wird anhand der Dikablis Daten (näheres zum System im Kapitel 3.2.4.1) analysiert. Die erfassten abhängigen Variablen sind: Blickdauer auf das Display, Anzahl der Blicke auf das Display, kumulierte Blickdauer auf das Display, sowie das 85%-Perzentil der mittleren Blickdauer entsprechend der AAM Empfehlung (siehe Kapitel 3.1.2) [AAM 06].

### *Bedienverhalten*

Abgeleitet aus dem Dual-Task-Modell [Biev 02] wird sich die Beanspruchung zuerst auf die Leistung in der Nebenaufgabe auswirken. Die primäre Aufgabe wird aufgrund der höheren Priorität von den Einflüssen der verursachten Beanspruchung abgeschirmt. Insofern kann die Leistung in der Nebenaufgabe als das sensibelste Maß zur Erfassung der verursachten Beanspruchung gesehen werden.

Das Bedienverhalten wird durch die Bediendauer und die Anzahl der Bedienschritte beschrieben. Die Bediendauer zeigt, wie effizient die Nebenaufgabe bearbeitet wird, bzw. wie oft die Bedienung wegen der Fahraufgabe unterbrochen werden. Die Unterbrechung der Bedienung wird in der Verkehrssituation Kurve als eine Form der Kompensationsstrategie interpretiert.

Die Anzahl der Bedienschritte gibt an, wie effektiv die Nebenaufgabe bearbeitet wurde. Sie beinhaltet auch die Anzahl der Fehlbedienungen. Dieser Mehraufwand in der Bedienung deutet auf ein erhöhtes Beanspruchungsniveau hin.

Darüber hinaus wurden Beobachtungen, ob die Bedienung richtig oder falsch abgeschlossen oder ob sie abgelehnt wurde, gemacht.

### *Fahrverhalten*

Die Einflüsse der Beanspruchung auf die primäre Aufgabe während eines Bedienvorgangs werden anhand eines Fahrfehlerkatalogs erfasst. Dabei werden Fehler auf der Stabilisierungsebene betrachtet. Die Interferenz zwischen der Fahr- und der Nebenaufgabe ist aufgrund der hohen Anforderungen der beiden Aufgaben an die visuelle Wahrnehmungsmodalität auf dieser Ebene zu erwarten.

Der Fahrfehlerkatalog entstammt ursprünglich der Wiener Fahrprobe [Riss 85]. Schweigert [Schw 03] hat den Fahrfehlerkatalog an die Anforderungen einer Fahrt mit einer Nebenaufgabe angepasst. Diese Version wurde auf die Anforderungen dieses Versuches adaptiert.

Die Beobachtung der Fahrfehler durch den Versuchsleiter wurde auf Quer- und Längsführung bezogen und erfolgte über einen ganzen Bedienvorgang bzw. einen Streckenabschnitt.

Bei der Längsführung wurden, wenn kein vorausfahrendes Fahrzeug vorhanden war, die gefahrene Geschwindigkeit und ihre Veränderung protokolliert. Die Grenze von  $\pm 5$  km/h wurde strenger gewählt, um dieses Maß sensibel für die Veränderungen in der primären Aufgabe zu machen. Im Gegenzug wurden die Versuchspersonen explizit darauf hingewiesen, die Geschwindigkeitsvorgaben genau zu beachten.

Wurde die geltende Geschwindigkeitsvorgabe um fünf km/h überschritten, so wurde dies als ein Hinweis auf eine reduzierte Aufnahme der fahrrelevanten Informationen verstanden. Dieses nicht angepasste Fahrverhalten wird als Fahrfehler gedeutet.

Eine um mehr als 5 km/h zu niedrig gewählte Geschwindigkeit weist auf ein hohes Beanspruchungsniveau der Situation hin, so dass der Fahrer dieses aktiv reduzieren musste. Geschwindigkeitsreduktion gilt in der Literatur als eine typische Maßnahme zur Reduktion des Beanspruchungsniveaus [Gsta 97] und wird in die Gruppe der Kompensationsstrategien eingeordnet.

Im Falle eines vorausfahrenden Fahrzeugs wurde auch die Abstandshaltung betrachtet. Bei Nichteinhaltung der 2- bzw. 1-Sekunden-Regel außerhalb bzw. innerhalb geschlossener Ortschaften, wurde der Längsabstand als Fahrfehler vermerkt. Die Vergrößerung des Längsabstands wurde ebenso wie eine Geschwindigkeitsverringerung als kompensatorische Handlung gedeutet.

Bei schwankender Querführung in der Fahrspur wurde eine ungenaue Spurhaltung als Fahrfehler verstanden. Musste die Querführung mit einer ruckartigen Lenkbewegung korrigiert werden, wurde dieses Merkmal, als die stärkere Ausprägung ungenauer Spurhaltung, ebenfalls als Fahrfehler klassifiziert.

#### *Subjektiv erlebte Beanspruchung*

Die subjektiv erlebte Beanspruchung wird mit dem Fragebogen Driver Activity Load Index (näheres zum Fragebogen im Kapitel 3.2.4.1) erfasst.

Insgesamt waren drei DALI Fragebögen, einer nach jedem Straßentyp, pro Versuchsfahrt im ersten Versuchsteil auszufüllen.

#### *Akzeptanz und Präferenz*

Die Akzeptanz der Anzeigeorte wurde anhand der subjektiven Daten erfasst.

Der standardisierte Fragebogen System Usability Scale (SUS) wurde verwendet, um die Effektivität, Effizienz und Erlernbarkeit des Systems zu bewerten (näheres zum Fragebogen im Kapitel 3.2.3.2).

Ein abschließender Fragebogen, der die Akzeptanz des vorgestellten Konzepts, sowie die subjektive Einschätzung des Gefahrenpotentials einer Menüinteraktion im HUD im Vergleich zum CID abfragte, wurde eingesetzt. Diese Fragen wurden einmal vor und einmal nach dem Versuch gestellt, um den Einfluss der Versuchsfahrt ausmachen zu können.

Im Anschluss an diesen Fragebogen wurden mit der Versuchsperson verschiedene Funktionalitäten der Menüinteraktion im HUD und ihre Realisierung im Fahrzeug in Form eines teilstrukturierten Interviews diskutiert. Diese Datenerhebungsmethode verspricht Aufdeckung neuer negativer sowie positiver Aspekte eines Systems.

### Stichprobe

Insgesamt nahmen 35 Versuchspersonen am Versuch teil. 21 Versuchspersonen erprobten die Menübedienung im Primär-HUD und 14 im Sekundär-HUD. Die asymmetrische Aufteilung der Stichprobe ist in der Priorisierung der Systeme begründet, da die technischen Voraussetzungen für das Primär-HUD im Gegensatz zum Sekundär-HUD bereits gegeben sind. Das Durchschnittsalter lag bei 36,4 (sd=8,2) Jahren, dabei war die jüngste Versuchsperson 27 und die älteste 58 Jahre alt. Rund 20% (n=7) des Versuchspersonenkollektivs waren weiblich. Ein Viertel (n=9) der Versuchspersonen hatte eine Sehschwäche, diese Versuchspersonen trugen jedoch Kontaktlinsen. 71% (n=26) der Versuchspersonen haben eine jährliche Fahrleistung von 10000 km und mehr und gelten somit als erfahrene Fahrer. Bei der Frage nach dem eigenen Fahrstil zeigt sich eine leichte Tendenz zum sportlichen Fahren.

Der Begriff Head-Up Display war allen Versuchspersonen bekannt; 90% (n=32) der Versuchspersonen hatten vor dem Versuch bereits das HUD benutzt. iDrive kannten bis auf eine Versuchsperson alle.

### 5.2.2.3 Ergebnisse

Dieses Kapitel ist entsprechend den Fragestellungen (Kapitel 5.2.2.1) in vier Abschnitte gegliedert.

Die Untersuchung des Fahrerverhaltens, als Zusammensetzung aus verschiedenen Variablen, verlangt nach einer statistischen Methode, die neben diesen auch die Abhängigkeit vom Anzeigeort und der Verkehrssituation berücksichtigt. Daher wurde die mehrfaktorielle multivariate Varianzanalyse (MANOVA siehe Kapitel 3.2.1) folgender Variablen berechnet:

DATENART	VARIABLE
BLICK-DATEN	Mittlere Blickdauer
	Anzahl der Blicke
	Kumulierte Blickdauer
BEDIEN-DATEN	Bedienschritte
	Bediendauer
FAHR-DATEN	Fahrfehler
	Kompensationsstrategien

Tabelle 19: Abhängige Variablen

#### Fragestellung Primär- vs. Sekundär-HUD

Die oben aufgelisteten Variablen wurden zusammen in der MANOVA auf Unterschiede zwischen der Menübedienung im Primär-HUD und im Sekundär-HUD geprüft. Die unabhängige Stichprobe setzt sich zusammen aus 21 Versuchspersonen in der Gruppe Primär-HUD und 14 in der Gruppe Sekundär-HUD.

Bei der MANOVA ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden HUD-Anzeigeorten ( $F(7, 145)=2.194$   $p<.05$ ). Dieser ist auf die unterschiedliche Anzahl der Blicke zurückzuführen. Alle anderen Ergebnisse weisen keine Signifikanz auf. Bei der mittleren Blickdauer ist lediglich eine Tendenz zu erkennen.

ABHÄNGIGE VARIABLE		F	SIGNIFIKANZ
BLICK-DATEN	Anzahl der Blicke	10,180	0,002
	Mittlere Blickdauer	2,353	0,127
	Kumulierte Blickdauer	1,367	0,244
BEDIEN-DATEN	Bedienschritte	2,058	0,153
	Bediendauer	0,114	0,736
FAHR-DATEN	Fahrfehler	0,041	0,840
	Kompensationsstrategien	0,007	0,934

Tabelle 20: Vergleich des Fahrerverhaltens - Primär- vs. Sekundär-HUD

Nach der AAM Norm aus dem Kapitel 3.1, darf das 85%-Perzentil der mittleren Blickdauer auf das Display nicht zwei Sekunden übersteigen und das 85%-Perzentil der kumulierten Blickdauer auf das Display bei einer Nebenaufgabe nicht größer als 20 Sekunden sein. Diese Vorgabe wird bei beiden Anzeigeorten eingehalten, wie in der Tabelle 21 zu sehen ist.

ABHÄNGIGE VARIABLE	PRIMÄR-HUD	SEKUNDÄR-HUD
85%-Perzentil der mittleren Blickdauer	1,520	1,755
85%-Perzentil der kumulierten Blickdauer	12,110	11,928

Tabelle 21: AAM-Kriterien Primär- und Sekundär-HUD

Bei einer genaueren Analyse der Blickdaten zeigt sich, dass bei der Fahrt mit dem Primär-HUD die Anzahl der Blicke höher ist als während einer Fahrt mit dem Sekundär-HUD. Tendenziell sind die Blicke ins Primär-HUD jedoch kürzer (siehe [Pot 09]).

Die beiden Head-Up Anzeigen unterscheiden sich primär durch ihre Position. Weiterhin wird im Primär-HUD zusätzlich zum Menü die Geschwindigkeit angezeigt (siehe Kapitel 4.4). Aufgrund der unmittelbaren Nähe der Geschwindigkeitsanzeige und des Menüs im Primär-HUD, ist die Differenzierung der beiden Bereiche bei der Genauigkeit des verwendeten Blickerfassungssystems nicht möglich. Die Blicke auf die Geschwindigkeitsanzeige im Primär-HUD während der Menübedienung im Sekundär-HUD konnten infolge der klaren räumlichen Trennung erfasst werden.

Da bei den Fahrdaten kein Unterschied festgestellt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Geschwindigkeit bei beiden HUD-Anzeigeorten annähernd gleich oft kontrolliert wurde. Aus diesem Grund werden zu den Blicken ins Sekundär-HUD die Blicke für die Geschwindigkeitskontrolle addiert. Diese Maßnahme sollte die Blicke auf die Geschwindigkeitsanzeige im Primär-HUD kompensieren und das Blickverhalten der beiden HUD Anzeigeorte vergleichbar machen.

Die MANOVA mit den neuen Daten, weist keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden HUD Anzeigeorten auf ( $F(7, 145)=0.801$   $p=.587$ ). In der Tabelle 22 sind die Differenzen in den einzelnen Variablen und die Signifikanzen nachzusehen. Die mittlere Differenz gibt den Unterschied zwischen Primär- und Sekundär-HUD an. Die relative Differenz errechnet sich aus dem Quotienten der mittleren Differenz und dem jeweiligen Wert des Primär-HUDs.

Das Fahrerverhalten ist bei diesen beiden HUD-Positionen weitgehend identisch. Die nachfolgend diskutierten Unterschiede sind statistisch nicht belegbar, aber die Analyse

dieser trägt zum bessern Verständnis der Vorgänge bei einer Vergrößerung der Anzeigefläche bei.

Das Blickverhalten weist nun die geringsten Unterschiede auf. Im Gegensatz zu den vorigen Ergebnissen, ist die Anzahl der Blicke ins Sekundär-HUD durch die zusätzlichen Blicke zur Geschwindigkeitskontrolle etwas höher als im Primär-HUD. Die Geschwindigkeit im HUD kann relativ schnell abgelesen werden (0,54s [Geng 97]), was dazu führt, dass die mittlere Blickdauer im Sekundär-HUD abnimmt. Sie ist dann fast identisch mit jener im Primär-HUD. Die kumulierte Blickdauer ist beim Sekundär-HUD aufgrund der höheren Anzahl an Blicken auf das Display ebenfalls etwas höher als im Primär-HUD.

ABHÄNGIGE VARIABLE		ANZEIGEORT	MW	MITTLERE DIFFERENZ	RELATIVE MITTLERE DIFFERENZ	SIG,
BLICKDATEN	Mittlere Anzahl der Blicke	Primär-HUD Sekundär-HUD	8,625 8,908	-0,283	-3,278%	0,971
	mittlere Blickdauer in Sekunden	Primär-HUD Sekundär-HUD	1,212 1,191	0,022	1,792%	0,623
	Mittlere kumulierte Blickdauer in Sekunden	Primär-HUD Sekundär-HUD	9,529 9,698	-0,169	-1,777%	0,910
BEDIEN-	Mittlere Anzahl an Bedienschritte	Primär-HUD Sekundär-HUD	13,481 14,177	-0,696	-5,164%	0,621
	Mittlere Bediendauer in Sekunden	Primär-HUD Sekundär-HUD	11,127 10,987	0,141	1,265%	0,530
FAHR-	Mittlere Anzahl der Fahrfehler	Primär-HUD Sekundär-HUD	0,795 0,815	-0,020	-2,505%	0,482
	Mittlere Anzahl der Kompensationsstrategien	Primär-HUD Sekundär-HUD	0,670 0,662	0,009	1,330%	0,853

Tabelle 22: Differenzen im Fahrerverhalten Primär- vs. Sekundär-HUD

Die Bediendaten weisen minimale Unterschiede auf. Die Nebenaufgabe wurde fast gleich schnell bearbeitet, im Sekundär-HUD wurden aber insgesamt etwas mehr Bedienschritte benötigt. Bei dieser Variable zeigt sich der größte Unterschied zwischen den beiden HUD-Positionen.

Bei dem Fahrverhalten ist der Unterschied bei der Anzahl der begangenen Fahrfehler hervorzuheben. Die Bedienung im Sekundär-HUD verursacht etwas mehr Fahrfehler als die im Primär-HUD. Dieses Ergebnis ist jedoch nicht signifikant und konnte anhand der Unabhängigkeit mehrerer  $\chi^2$ -Tests (siehe [Pote 09]) bestätigt werden. Keines der Merkmale aus dem Fahrfehlerkatalog ergibt hier einen signifikanten Unterschied zwischen Primär- und Sekundär-HUD.

Der Mittelwert der subjektiv erlebten Beanspruchung über alle Straßentypen ergibt beim Primär-HUD eine mittlere Beanspruchung von 27,667 (sd=2,094). Bei der Bedienung im Sekundär-HUD ist dieser Wert etwas höher: 30,032 (sd=2,418). Die DALI-Werte zeigen weder in der mittleren erlebten Beanspruchung noch in einer der sieben einzelnen Dimensionen einen signifikanten Unterschied zwischen diesen beiden Head-Up Anzeigeorten.



Fasst man diese Ergebnisse zusammen, so kann man davon ausgehen, dass das Fahrerverhalten und die verursachte Beanspruchung unabhängig von der Position des HUDs sind. Damit wird die Hypothese 1 „Es gibt keinen Unterschied im Fahrerverhalten abhängig von der Position des HUDs.“ bestätigt. Somit ist nichts gegen eine Verbreiterung der Anzeigefläche einzuwenden. Sie kann dazu genutzt werden, den Platzbedarf und die Informationsdichte im HUD zu entspannen.

Im Folgenden wird deshalb zwischen diesen beiden Anzeigeorte nicht mehr unterschieden. Die Daten werden zu einem großen HUD Datensatz (Grundgesamtheit = 35) zusammengefasst, der dann mit den Daten der Menübedienung im CID verglichen wird.

*Fragestellung HUD vs. CID*

Die Einflüsse der zwei Anzeigeorte HUD und CID auf das Fahrerverhalten werden anhand der am Anfang dieses Kapitels beschriebenen MANOVA verglichen. Die multivariate Varianzanalyse wird in Abhängigkeit von den Faktoren Anzeigeort und Verkehrssituation berechnet. Die Unterschiede zwischen den beiden Anzeigeorten erweisen sich als signifikant ( $F(7, 312)=15.718$   $p<.001$ ). Der Faktor Verkehrssituation hat einen signifikanten Einfluss auf das Fahrerverhalten ( $F(35, 1580)=7.767$   $p<.001$ ). Somit wird die Hypothese 2 „Das Fahrerverhalten ist abhängig vom Anzeigeort und der Verkehrssituation.“ bestätigt.

Um die Unterschiede zu verstehen, wurden die Daten im Hinblick auf die Strategien beim Umgang mit den Anzeigeorten in verschiedenen Situationen analysiert.

*Faktor Anzeigeort*

Die detaillierte Betrachtung der einzelnen Variablen erfolgt anhand der berechneten ANOVAs, deren Signifikanzwerte in der Tabelle 23 zusammengefasst sind. Die signifikanten Ergebnisse sind farblich markiert.

ABHÄNGIGE VARIABLE		F(1, 318)	p
BLICK-DATEN	Anzahl der Blicke	0,214	.644
	Mittlere Blickdauer	42,085	.000
	Kumulierte Blickdauer	20,731	.000
BEDIEN-DATEN	Bedienschritte	5,084	.025
	Bediendauer	10,172	.002
FAHR-DATEN	Fahrfehler	33,920	.000
	Kompensationsstrategien	2,789	.096

**Tabelle 23: Einfluss Anzeigeort auf Fahrerverhalten - CID vs. HUD**

Im Gegensatz zum Vergleich der zwei HUD-Anzeigeorte weisen hier fast alle berechneten Ergebnisse einen signifikanten Unterschied zwischen dem CID und dem HUD auf. Bei der Anzahl der angewandten Kompensationsstrategien zeichnet sich eine Tendenz zum unterschiedlichen Verhalten ab.

Die qualitative Analyse der Variablen erfolgt anhand der berechneten Mittelwerte, die in der Tabelle 24 zu sehen sind. Die beiden rechten Spalten stellen die Differenz zwischen den Mittelwerten und die relative Differenz bezogen auf die Werte aus dem CID dar. Die signifikanten Ergebnisse sind farblich hervorgehoben.

ABHÄNGIGE VARIABLE			MITTELWERT	MITTLERE DIFFERENZ	RELATIVE MITTLERE DIFFERENZ
BLICKDATEN	Mittlere Anzahl der Blicke	CID HUD	8,063 7,919	0,144	1,781%
	mittlere Blickdauer in Sekunden	CID HUD	0,994 1,266	-0,272	-27,396%
	mittlere kumulierte Blickdauer in Sekunden	CID HUD	7,676 9,214	-1,538	-20,033%
BEDIEN-	Mittlere Anzahl Bedienschritte	CID HUD	14,475 13,769	0,706	4,878%
	Mittlere Bediendauer in Sekunden	CID HUD	11,999 11,049	0,950	7,920%
FAHR-	Mittlere Anzahl der Fahrfehler	CID HUD	1,225 0,798	0,427	34,851%
	Mittlere Anzahl der Kompensationsstrategien	CID HUD	0,777 0,668	0,109	14,010%

Tabelle 24: Mittelwerte Fahrerverhalten - CID vs. HUD

Bei dem Blickverhalten des Fahrers zeigen sich Unterschiede zwischen diesen beiden Anzeigeorten. Am deutlichsten fällt der Unterschied bei der kumulierten Blickdauer aus.

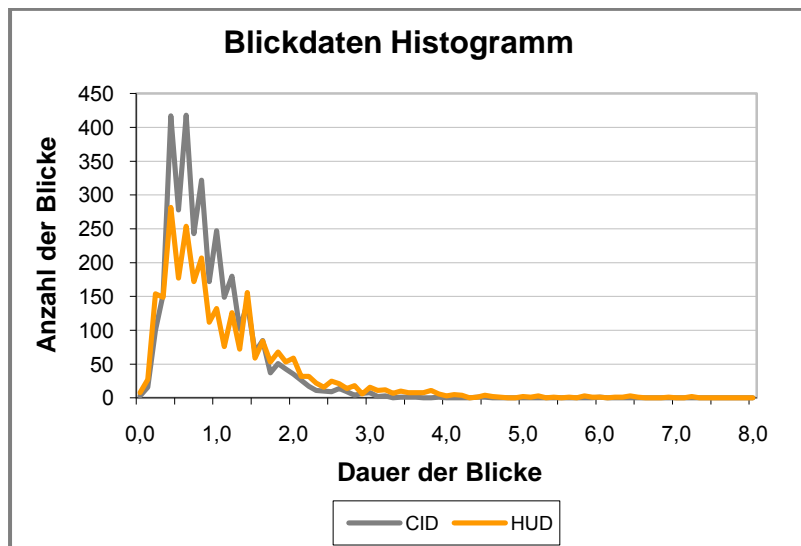


Diagramm 18: Feldversuch – Blickverhalten

Das HUD wird bei der Menübedienung insgesamt länger angeschaut. Auch die durchschnittliche Blickdauer zeigt, dass die Blicke ins HUD länger sind. Die Anzahl der Blicke ist am wenigsten von der Variation des Anzeigeortes betroffen. Das vorausgegangene Histogramm über alle Blicke verdeutlicht das Blickverhalten bei beiden Anzeigeorten.

Während die Anzahl der Blicke ins CID unter 1,5 Sekunden deutlich höher ist als beim HUD, zeigt sich ab diesem Wert eine etwas höhere Anzahl der Blicke ins HUD. Die zwei ausgeprägten Maxima beim CID sind beim HUD an derselben Position zu finden. Im

Gegensatz zu den beiden Maxima im CID, ist beim HUD ein Unterschied zwischen diesen Werten zu sehen. Die höhere Anzahl der Blicke bei 0,6 Sekunden, die ungefähr der Ablesedauer der Geschwindigkeitsanzeige im HUD entsprechen (0,54 s [Geng 97]), ist auf die Blicke zur Geschwindigkeitskontrolle im Primär-HUD zurückzuführen.

Die Mehrheit der Blicke liegt bei beiden Systemen unter der von AAM vorgeschriebenen Grenze. Somit gilt die AAM-Norm für beide Anzeigeorte als erfüllt. Die 85%-Perzentile der mittleren Blickdauer und der kumulierten Blickdauer sind in der Tabelle 25 zu finden.

ABHÄNGIGE VARIABLE	CID	HUD
85%-Perzentil der mittleren Blickdauer	1,216	1,618
85%-Perzentil der kumulierten Blickdauer	9,678	11,900

Tabelle 25: AAM-Kriterien für Blickdauer HUD vs.CID

Bei der Leistung in der Nebenaufgabe zeigt sich das HUD dem CID überlegen. Es wird signifikant schneller bedient und dabei werden signifikant weniger Bedienschritte gebraucht.

Die Anzahl der begangenen Fahrfehler ist im HUD signifikant kleiner. Eine Tendenz zu weniger kompensatorischen Handlungen während der Menübedienung im HUD wird deutlich.

#### Faktor Verkehrssituation

Der Faktor Verkehrssituation hat neben dem Anzeigeort einen signifikanten Einfluss auf das Fahrerverhalten während einer Menübedienung. Die verschiedenen Verkehrssituationen, gekoppelt mit verschiedenen Längen der Aufgaben, wirken sich auf unterschiedliche Art und Weise auf die einzelnen Variablen aus. Die Ergebnisse der ANOVAs mit dem Faktor Verkehrssituation sind in der Tabelle 26 einzusehen. Die Signifikanzen sind farblich hervorgehoben.

ABHÄNGIGE VARIABLE		F(5,318)	SIGNIFIKANZ
BLICK-DATEN	Anzahl der Blicke	6,462	0,000
	Mittlere Blickdauer	6,049	0,000
	Kumulierte Blickdauer	8,955	0,000
BEDIEN-DATEN	Bedienschritte	46,935	0,000
	Bediendauer	15,858	0,000
FAHR-DATEN	Fahrfehler	1,165	0,326
	Kompensationsstrategien	9,415	0,000

Tabelle 26: Einfluss Verkehrssituation auf Fahrerverhalten - HUD vs. CID

#### Blickverhalten

Das Blickverhalten weist in allen dazugehörigen Variablen signifikante Unterschiede, abhängig von der Verkehrssituation, auf. Der Zusammenhang ist im Diagramm 19 dargestellt. Die linke Skala bezieht sich auf die Anzahl der Blicke, auf der rechten ist die mittlere Blickdauer aufgetragen. Die Verkehrssituationen sind aufsteigend nach der Anzahl der minimal notwendigen Bedienschritte auf der x-Achse geordnet.

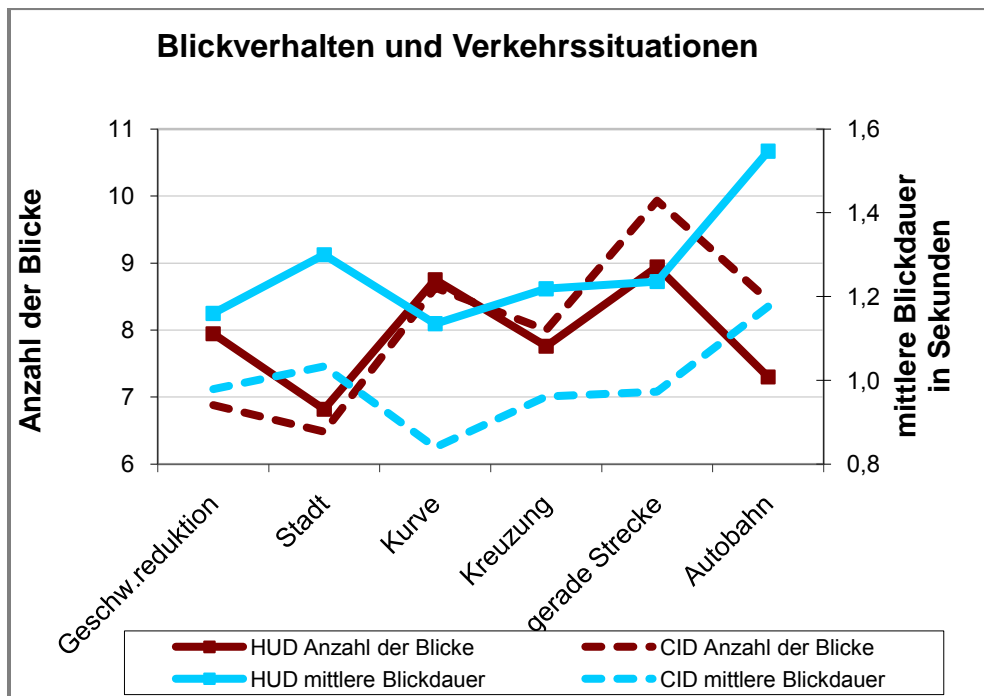


Diagramm 19: Blickverhalten und Faktor Verkehrssituation – HUD vs. CID

Die beiden Anzeigorte weisen bei der mittleren Blickdauer (blaue Kurven) gleichen Verlauf, wobei die Blicke auf das HUD (durchgezogene Linie) durchschnittlich um 0,272 s länger sind.

Die kürzesten Blicke treten bei der dritten Verkehrssituation auf. Der kurvige Straßenverlauf und das hohe Verkehrsaufkommen stellen die höchsten Anforderungen an die Fahrzeugbedienung und relativ hohe Anforderungen an die Informationsverarbeitung des Fahrers dar. Aufgrund der hohen Komplexität der Situation reduzieren die Fahrer die Länge der Blickabwendung auf ein Minimum. Diese Strategie hat eine erhöhte Anzahl an Blicken zur Folge.

Die mit Abstand längsten Blicke in beiden Anzeigorten sind in der „Autobahn“-Situation zu finden, bei der minimal 15 Bedienschritte für die Nebenaufgabe benötigt werden. Beim HUD treten hier verhältnismäßig sehr lange Blicke auf. In dieser Verkehrssituation sollte der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug konstant gehalten werden. Dieses befindet sich während der Bedienung im HUD im peripheren Sichtbereich und kann, ohne den Blick auf das Objekt zu richten wahrgenommen werden. Aus diesem Grund wird die HUD-Anzeige insgesamt länger angeblickt (Periphere Wahrnehmung siehe Kapitel 3.1.2).

Die beiden Graphen „Anzahl der Blicke auf das Display“ (braune Kurven) schneiden sich in der Mitte der x-Achse. Während im HUD (durchgezogene Linie) mehr Blicke in der ersten Hälfte des Diagramms zu finden sind, ist bei den letzten drei Verkehrssituationen das Verhalten genau umgekehrt. Der kleinste Unterschied zwischen den beiden Anzeigorten ist in der „Kurve“-Situation zu finden. Die Anzahl der Blicke ins HUD ist bei den ersten beiden Situationen höher.

Die erste Situation, in der die Geschwindigkeitsvorgabe sukzessive reduziert wird, erfordert ein erhöhtes Maß an visueller Aufmerksamkeit vom Fahrer. Dieser muss die Verkehrsschilder am Straßenrand wahrnehmen, seine Geschwindigkeit kontrollieren, und diese dann anpassen. Es werden also auch erhöhte Anforderungen bzgl. der Fahrzeugbedienung gestellt.

Bei der zweiten Situation „Stadt“ fährt man durch ein Gewerbegebiet mit der Höchstgeschwindigkeit von 50 bzw. 60 km/h. Hier sind häufige Blicke auf den Tacho oder auf die Geschwindigkeitsanzeige im Primär-HUD zu erwarten. Dieser Unterschied in der Anzahl der Blicke ist vermutlich auf die Blicke ins Primär-HUD (Geschwindigkeitskontrolle) zurückzuführen. Diese Störgröße sollte, da die Geschwindigkeitsanzeige beim Sekundär-HUD sowie beim CID nicht vorhanden war, bei einem Vergleich zwischen diesen beiden Anzeigeorten das Blickverhalten nicht mehr beeinflussen. Berechnet man die MANOVA nur mit den Daten der Menübedienung im CID und im Sekundär-HUD, so ergeben sich bei allen drei Variablen zum Blickverhalten signifikante Unterschiede. Das Diagramm 20 zeigt die neuen Ergebnisse. Die mittlere Blickdauer auf das HUD ist nach der Eliminierung der Blicke zur Geschwindigkeitskontrolle fast konstant. Die einzige Ausnahme stellt die „Autobahn“-Situation dar, die im vorherigen Absatz erklärt wurde.

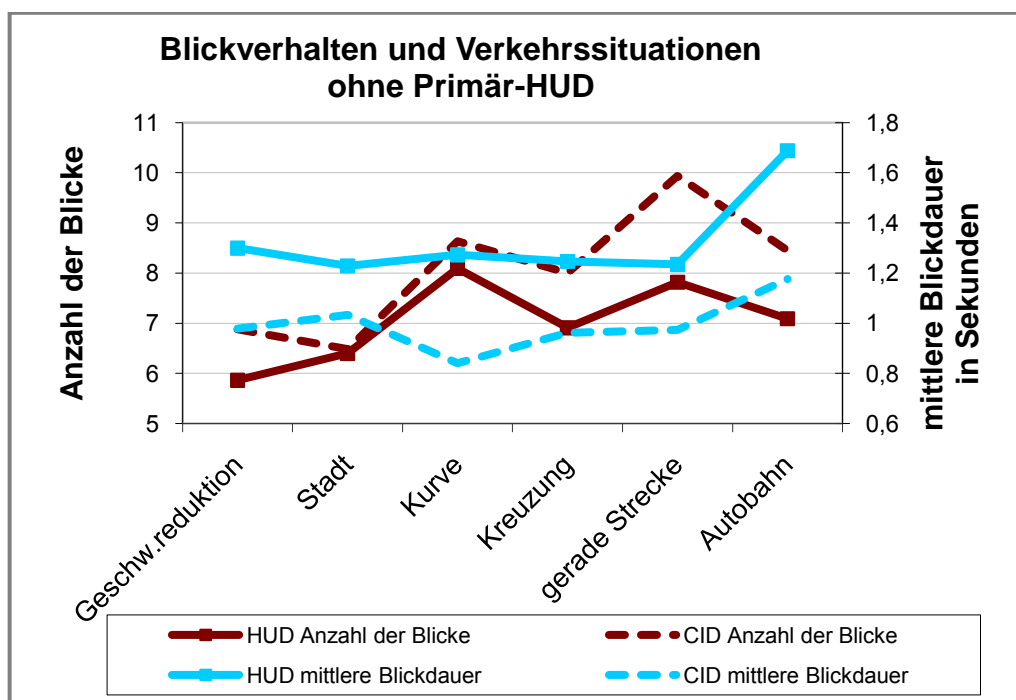


Diagramm 20: Blickverhalten und Faktor Verkehrssituation – Sekundär-HUD vs. CID

Dieser Zusammenhang ist bei allen Verkehrssituationen zu erkennen. Die beiden Kurven, mittlere Blickdauer und Anzahl der Blicke verlaufen antizyklisch. Die Länge der Blicke hängt dabei vom Anzeigeort und der Komplexität der Verkehrssituation ab. Die Anzahl der Blicke steht dabei im direkten Zusammenhang mit der mittleren Blickdauer und der Dauer der Nebenaufgabe.

Beim Blickverhalten zeigen sich zwischen den beiden Anzeigeorten unterschiedliche Vorgehensweisen der Versuchspersonen. Insbesondere nach der Eliminierung der Blicke auf die Geschwindigkeitsanzeige aus der Analyse sind beim CID eine höhere Anzahl der Blicke und eine etwas kürzere mittlere Blickdauer als im HUD zu verzeichnen. Diese beiden Variablen besitzen bei beiden Anzeigeorten einen antizyklischen Verlauf.

#### Bedienverhalten

Bei dem Bedienverhalten zeigt sich erwartungskonform ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Verkehrssituationen. Diese unterscheiden sich nicht nur durch die äußeren Gegebenheiten sondern auch in der Länge der Nebenaufgabe. Wie schnell

die Nebenaufgabe in Abhängigkeit von Verkehrssituation bewältigt wird ist im Diagramm 21 dargestellt.

Die Menübedienung im HUD ist in allen Verkehrssituationen schneller als im Anzeigeort CID. Insbesondere bei der Verkehrssituation „gerade Strecke“ auf der Landstraße fällt dieser Unterschied am deutlichsten aus. In diese Verkehrssituation wird aufgrund fehlender Geschwindigkeitsbegrenzungen 100 km/h gefahren. Diese Geschwindigkeit ist höher als in der „Autobahn“ Situation, bei der auf der ganz rechten Fahrspur in der LKW-Kolonnen in der Regel nicht schneller als 90 km/h gefahren wird. Hinzu kommt nur eine befahrbare Fahrspur in der Fahrtrichtung auf der Landstraße. Dies hat zur Folge, dass trotz kürzerer Nebenaufgabe die Bedienung in der Verkehrssituation „gerade Strecke“ länger dauert, als auf der Autobahn. Aufgrund der hohen Geschwindigkeit und somit schneller wechselnder Fahrszene ergeben sich erhöhte Anforderungen an die Informationsverarbeitung des Fahrers. Die kumulierte Blickdauer (siehe [Pot 09]), obwohl sie in dieser Situation ihr Maximum (9,971s) aufweist, liegt deutlich unter der mittleren Bediendauer (13,622s). Die höchste absolute Differenz zwischen diesen beiden Variablen ist bei dieser Situation zu finden (3,651s) und ist besonders beim CID (5,405s) hoch. Alle Differenzen sind in der Tabelle 27 aufgelistet.

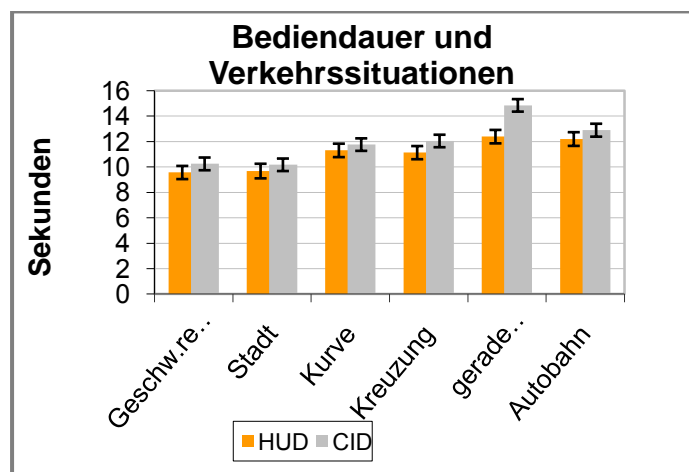


Diagramm 21: Bediendauer und Faktor Verkehrssituation - HUD vs. CID

Dieser Wert kann mit der kumulierten Blickdauer auf die Straße in Verbindung gesetzt werden. Er gibt nicht die exakte Dauer der Blicke auf die Straße an, weil möglicherweise dazwischen das Kombiinstrument oder ein Spiegel fixiert wird. Er dient aber als ein Hinweis, wie lang während der Nebenaufgabe zwischen den einzelnen Bedienvorgängen auf die Straße geschaut wird. In dieser Situation sind die Unterbrechungen am längsten, was zur Folge hat, dass die höchste Bediendauer bei dieser Verkehrssituationen auftritt.

Die bereits besprochene „Kurve“-Situation, die besonders hohe Anforderungen an Informationsverarbeitung und Fahrzeugbedienung stellt, ergibt einen ähnlich hohen Wert bei der Differenz der Bediendauer und der kumulierten Blickdauer. Dies korreliert mit der Kompensationsstrategie „Bedienung während der Kurve unterbrochen“. 8,6% (n=6) der Bedienvorgänge im CID und 1,4% (n=1) im HUD wurden während der gesamten Kurvenlänge unterbrochen. Der Unterschied zwischen den beiden Anzeigeorten ergibt bei einem X<sup>2</sup>-Test eine Signifikanz von p=.053, und kann als Tendenz gedeutet werden. Die Möglichkeit eine Aufgabe während der Fahrt abzulehnen, hat nur eine Versuchsperson in der Autobahnsituation bei der Bedienung im CID wahrgenommen. Dies ist aber auf eine Stau-Umleitung zurückzuführen und entspricht somit nicht den normalen Versuchsbedingungen.

SITUATION	BEDIENDAUER – KUMULIERTE BLICKDAUER		
	HUD	CID	Gesamt
<b>Geschwindigkeitsreduktion</b>	0.902	3.487	2.195
<b>Stadt</b>	2.370	3.774	3.072
<b>Kurve</b>	2.173	5.088	3.630
<b>Kreuzung</b>	2.052	4.513	3.283
<b>gerade Strecke</b>	1.898	5.405	3.651
<b>Autobahn</b>	1.612	3.669	2.640

Tabelle 27: Differenz zwischen Bedien- und kumulierter Blickdauer

Zu der Bediendauer analoge Ergebnisse sind bei der Anzahl der Bedienschritte zu finden [Pot 09]. Das Menü im HUD ist insgesamt effektiver und effizienter als im CID zu bedienen.

#### Fahrverhalten

Das Fahrverhalten wird anhand der Anzahl der aufgetretenen Fahrfehler sowie eingesetzter Kompensationsstrategien analysiert.

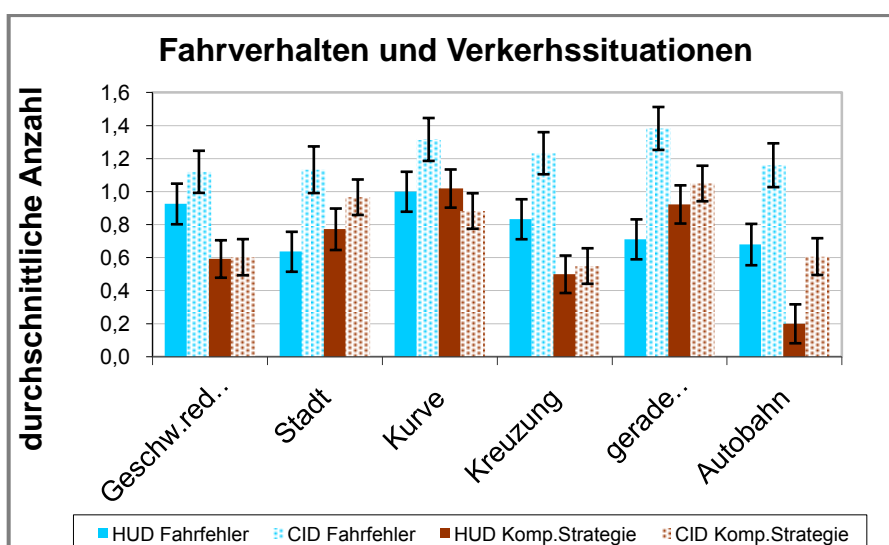


Diagramm 22: Fahrverhalten und Faktor Verkehrssituation - HUD vs. CID

Bei den begangenen Fahrfehlern (blaue Balken) ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Verkehrssituationen. Der Faktor Anzeigort hingegen spielt bei dieser Variable eine signifikante Rolle ( $F(1,318)=33.920$   $p<.001$ ). Bei der Anzahl der eingesetzten Kompensationsstrategien (braune Balken) ist der umgekehrte Zusammenhang zu beobachten. Die Unterschiede zwischen den Verkehrssituationen sind signifikant ( $F(5,318)=9.415$   $p<.001$ ), bei dem Faktor Anzeigort zeigt sich jedoch eine Tendenz hin zu weniger kompensatorischen Handlungen im HUD.

Eine genauere Analyse des Fahrverhaltens soll anhand der einzelnen Merkmale des Fahrfehlerkatalogs erfolgen. Die Tabelle 28 gibt eine Übersicht über Unterschiede zwischen den beiden Anzeigorten. Signifikante Ergebnisse des  $X^2$ -Tests werden farblich hervorgehoben.

ABHÄNGIGE VARIABLE		$\chi^2$	SIGNIFIKANZ
LÄNGSFÜHRUNG	Geschwindigkeitsüberschreitung (zu hoch/zu niedrig)	$\chi^2 (2, N=547) = 1,060$	.589
	Geschwindigkeitsverhalten (erhöht/verringert)	$\chi^2 (2, N=980) = 3,074$	.215
	Längsabstand (zu gering)	$\chi^2 (1, N=436) = 0,394$	.530
	Längsabstand (vergrößert / verkleinert)	$\chi^2 (2, N=439) = 28,449$	.000
QUER- FÜHRUNG	ruckartige Lenkkorrektur	$\chi^2 (1, N=980) = 18,598$	.000
	ungenauere Spurführung	$\chi^2 (1, N=980) = 57,004$	.000

Tabelle 28: Fahrfehler - HUD vs. CID

Signifikante Ergebnisse sind bei dem Faktor Anzeigeort vor allem in der Querführung zu finden. Diese Unterschiede sind im Diagramm 23 zu sehen.

Bei mehr als der Hälfte der Verkehrssituationen wurde im CID eine ungenaue Spurführung beobachtet. Die ausgeprägte Variante der ungenauen Spurführung, bei der der Fahrer seine Position in der Fahrspur ruckartig korrigieren muss, tritt bei 41% Prozent dieser Fälle auf. Die Unterschiede in der ungenauen Spurführung sind bis auf die Kreuzungssituation bei allen Verkehrssituationen signifikant [Pot 09]. Der entscheidende Vorteil des HUDs ist seine Positionierung von vier Grad unterhalb des Horizontes des Fahrers. Der Bereich der Fahrszene, der für die Spurführung zuständig ist, liegt zwischen drei und neun Grad unterhalb der 0°-Sichtlinie [Chat 99].

Diese Aussage lässt sich auf die ruckartige Lenkkorrektur ebenfalls übertragen. Der Unterschied zwischen den beiden Anzeigeorten in dieser Variable ist besonders auffällig in der Verkehrssituation „Geschwindigkeitsreduktion“. Hier ist aufgrund der erhöhten Anforderungen an die Informationsverarbeitung des Fahrers die visuelle Kontrolle der Querposition des Fahrzeugs bei einer Bedienung im CID mehr beeinträchtigt. Die Querführung bei einer Menübedienung im CID wird in dieser Situation bei 21% (n=15) und im HUD bei 7% (n=5) der Fälle ruckartig korrigiert. Dieser Unterschied ist im X<sup>2</sup>-Test signifikant.

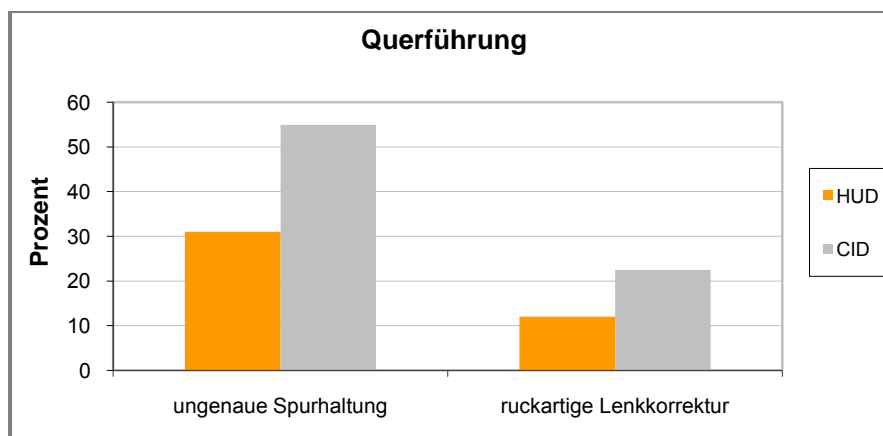


Diagramm 23: Fahrfehler Querführung - HUD vs. CID

Das Verhalten des Fahrers bei einem vorausfahrenden Fahrzeug zeigt ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen der Bedienung im HUD und im CID. Vergrößert die Versuchsperson während der Bedienung den Abstand zum Vordermann, so kann das als



Kompensation der Beanspruchung gedeutet werden. Verkleinert die Versuchsperson den Abstand, so deutet dies auf eine eingeschränkte Wahrnehmung der Fahrszene hin und ist als Fahrfehler zu definieren. Die Ergebnisse über alle Verkehrssituationen sind im Diagramm 24 dargestellt.

Während bei der Bedienung im HUD die beiden Ausprägungen etwa gleich häufig auftreten, ist beim CID eine höhere Anzahl an kompensatorischen Handlungen zu erkennen. Dieser Unterschied wird vor allem in der Verkehrssituation „gerade Strecke“ deutlich. Diese Verkehrssituation stellt wegen der schneller wechselnden Fahrszene, aufgrund der hohen Geschwindigkeit, hohe Anforderungen an die Informationsverarbeitung. Reduziert man die Geschwindigkeit, so nimmt auch die Anzahl der in der Fahrszene relevanten Informationen pro Zeiteinheit ab und somit auch die Ressourcenanforderungen. Der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug wird während der Bedienung aufgrund der erforderlichen Blickabwendung präventiv vergrößert. Dies tritt im CID signifikant häufiger auf als im HUD, weil durch die Positionierung des HUDs im zentralen Blickbereich das vorausfahrende Fahrzeug parafoveal wahrgenommen wird.

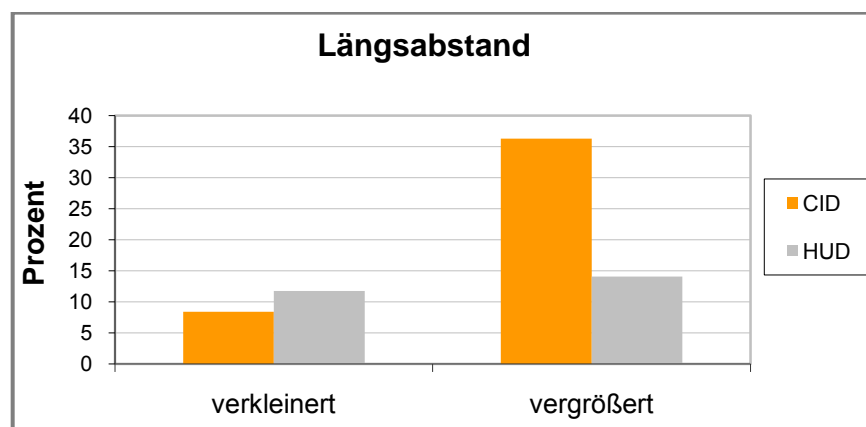


Diagramm 24: Längsabstand bei vorausfahrendem Fahrzeug - HUD vs. CID

Es ist festzuhalten, dass die Anzahl der Fahrfehler im HUD signifikant geringer ist als im CID. Hier zeigen sich insbesondere bei der Querführung Unterschiede. Das Beanspruchungsniveau wird in Abhängigkeit von der Verkehrssituation jedoch im gleichen Maße in beiden Anzeigeorten kompensiert. Die Tendenz zu weniger kompensatorischen Handlungen im HUD ergibt sich aus den unterschiedlichen Strategien im Falle eines vorausfahrenden Fahrzeugs.

#### *Subjektiv erlebte Beanspruchung*

Die Ergebnisse aus dem DALI Fragebogen (Kapitel 3.2.4.1) ergeben eine mittlere Beanspruchung von 28,680 (sd=15,396) beim HUD und 41,007 (sd=17,163) beim CID. Dieser Unterschied ist signifikant ( $t(1,34)=-6,255$   $p<,001$ ). Der höchste Wert ergibt sich dabei bei beiden Anzeigeorten auf dem Straßentyp Landstraße, weil hier auch die schwierigste Verkehrssituation auftritt. Entsprechend der Klassifizierung zeigt die mittlere Beanspruchung in der Stadt den zweithöchsten Wert und die Situation auf der Autobahn den niedrigsten Wert (siehe Tabelle 18).

Es zeigt sich hier, dass die mittlere Beanspruchung während der Menübedienung, obwohl sie als ein relativer Wert zu interpretieren ist, eher gering ist. Auf einer Skala von Null (geringe Beanspruchung) bis Fünf (hohe Beanspruchung), sind die meisten Ergebnisse in der unteren Hälfte der Skala zu finden. Die mittlere Beanspruchung ist auf allen Straßentypen, jedoch im HUD signifikant geringer als im CID (siehe [Pot 09]).

### Diskussion der Fahrerhaltensdaten

Fast man die Ergebnisse aus diesem Kapitel zusammen, so sind die Auswirkungen einer Menüinteraktion auf das Fahrerhalten folgendermaßen zu deuten. Die Aufteilung der Ressourcen der visuellen Wahrnehmungsmodalität erfolgt grundlegend anders bei diesen beiden Anzeigeorten.

Das Blickverhalten während der Bedienung im CID zeigt viele, dafür aber etwas kürzere Blicke als im HUD. Dies kann am besten anhand der Ergebnisse, die die Blicke zur Geschwindigkeitskontrolle ausschließen, belegt werden.

Die Bedienung wird aufgrund der höheren Anzahl der Kontrollblicke auf die Straße im CID öfters unterbrochen. Beim HUD scheint diese Vorgehensweise nicht notwendig zu sein. Die Fahrscene, die sich während der Bedienung im parafovealen Blickbereich befindet, erfordert beim HUD seltener eine gezielte Blickzuwendung. Dass dabei eine leichte Aufmerksamkeitsverschiebung zum rechten Straßenrand hin beim Sekundär-HUD auftritt, kann am besten anhand der Abnahme der Anzahl der Blicke in der Verkehrssituation „Geschwindigkeitsreduktion“ belegt werden.

Die Aufteilung der visuellen Aufmerksamkeit im Bezug auf die beiden Anzeigeorte kann am besten anhand der relativen Differenz zwischen der Bediendauer und der kumulierten Blickdauer verdeutlicht werden.

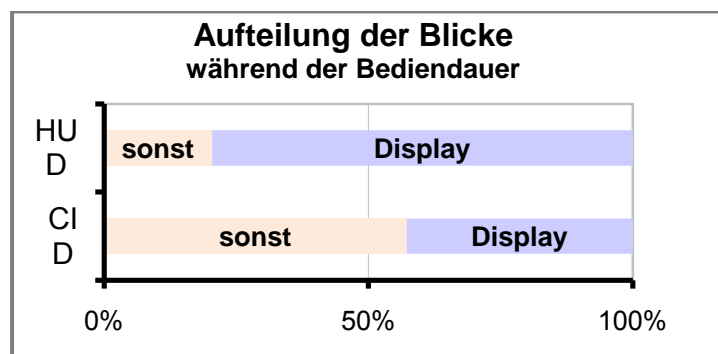


Diagramm 25: Aufmerksamkeitszuwendung

In dem Diagramm 25 ist zu sehen, wie die relative Verteilung der visuellen Ressourcen innerhalb der Bedienzeit zwischen dem jeweiligen Display und den sonstigen Bereichen aussieht. Der Anteil, der im Diagramm „sonst“ bezeichnet wird, kann weitgehend mit den Blicken auf die Straße gleichgesetzt werden. Der prozentuale Anteil der Blicke auf die Anzeige im HUD ist deutlich höher. Dies kann zum Teil mit den kürzeren Bediendauern erklärt werden, die sich aufgrund der längeren Phase der Informationsaufnahme innerhalb eines Blickes ergeben. Der Aufwand bei der Akkomodation und Adaption ist beim CID nachweislich größer. Auch die kleinere Anzahl der Blicke ins HUD erleichtert die Bearbeitung der Nebenaufgabe, ist aber nicht der maßgebende Faktor bei dieser Verteilung.

Die von Grund auf verschiedenen Strategien bei der Aufmerksamkeitsverteilung sind vor allem auf die parafoveale Wahrnehmung der Straße während der Bedienung im HUD zurückzuführen. Die Ressource der visuellen Wahrnehmungsmodalität ist in zwei Kanäle [Wick 04] aufzuteilen und wurde im Kapitel 3.1.2.1 näher erläutert.

Die Ergebnisse der Fahrdaten belegen die parafoveale Wahrnehmung der Straße bei der Nutzung des HUDs. Die Anzahl der Fahrfehler ist, trotz der längeren mittleren Blickdauer, während der Bedienung im HUD signifikant geringer. Bei einem vorausfahrenden Fahrzeug wird beim CID signifikant öfter der Abstand vergrößert. Was darauf hindeutet, dass mit dem HUD diese Notwendigkeit nicht besteht, weil das Fahrzeug während der

Bedienung im HUD noch wahrgenommen wird. Die Bedienung im HUD ermöglicht eine parallele Nutzung des fovealen und des parafovealen Kanals.

Somit wird eine einfachere Aufteilung der Ressourcen beim Einsatz des HUDs ermöglicht. Dies zeigt sich am deutlichsten in der Leistung der Nebenaufgabe, die signifikant schneller und mit weniger Bedienschritten im HUD bearbeitet wird. Von der Versuchsperson subjektiv erlebte Beanspruchung bestätigt diese Thesen. Die Menübedienung wird im HUD als signifikant weniger beanspruchend empfunden als im CID ( $t(34,1)=-6,255$   $p<.001$ ). Dabei treten die größten Unterschiede zwischen diesen beiden Anzeigeorten in den Dimensionen der visuellen Beanspruchung und der Interferenz zwischen der Fahr- und Nebenaufgabe auf. All diese Ergebnisse sind ein Beweis dafür, dass die Menübedienung im HUD weniger beanspruchend ist als im CID.

#### *Fragestellung Orion vs. iDrive*

Beim Vergleich des HUD Konzepts (Orion) mit dem BMW iDrive System wird das Blickverhalten in zwei Verkehrssituationen auf der Landstraße analysiert. Bei einer MANOVA mit dem Faktor System ergibt sich ein signifikanter Unterschied im Blickverhalten ( $F(3,109)=7,192$   $p<.001$ ). Die Ergebnisse der ANOVAs und die Mittelwerte der einzelnen Variablen sind in der Tabelle 29 zu sehen.

ABHÄNGIGE VARIABLE	ORION HUD	IDRIVE CID	F(1, 111)	SIGNIFIKANZ
Anzahl der Blicke	8,411	12,368	17,649	0,000
Mittlere Blickdauer	1,221	0,993	5,963	0,016
Kumulierte Blickdauer	9,336	12,667	6,759	0,011

**Tabelle 29: Blickverhalten - ORION vs. iDrive**

Die mittlere Blickdauer ist analog zu den Ergebnissen aus dem ersten Versuchsteil, im HUD etwas länger als im CID. Dafür treten während der Bedienung mehr Blicke im iDrive als im HUD auf (Tabelle 29). Aufgrund der deutlich höheren Anzahl der Blicke bei iDrive macht sich hier der Einfluss der Geschwindigkeitsanzeige im Primär-HUD nicht bemerkbar.

Insgesamt zeigt sich anhand der kumulierten Blickdauer, dass bei gleicher Anzahl an minimal benötigten Bedienschritten in der Nebenaufgabe die Blickabwendung von der Straße bei der Menübedienung Orion im Primär-HUD deutlich kürzer ist als beim iDrive im CID.

Die mittlere kumulierte Blickdauer beim HUD (9,328s) bleibt im Vergleich zum ersten Versuchsteil (9,214s) fast unverändert. Die mittlere kumulierte Blickdauer beim iDrive (13,012s) ist höher als bei der Orion-Bedienung im CID (7,676s). Dies ist ein Hinweis, dass nicht nur dieser Faktor Anzeigeort eine Rolle spielt, sondern auch das unterschiedliche Anzeige-Bedien-Konzept.

Insgesamt zeigt sich bei diesem Versuchsteil, dass auch bei einem anderen FIS im CID qualitativ dasselbe Blickverhalten wie bei der Orion Menüinteraktion auftritt. Die Strategie der Versuchspersonen bei der Bedienung im CID erweist sich robust gegenüber verschiedenen Menüstrukturen und Darstellungsweisen.

Im Vergleich zur Bedienung im HUD treten im iDrive kürzere aber dafür mehr Blicke auf. Quantitativ erfordert iDrive, verglichen mit Menüinteraktion Orion im CID, mehr Blickabwendung von der Straße, unabhängig davon, in welchem Anzeigeort Orion zu sehen ist. Diese Ergebnisse zeigen, dass durch eine einfache Struktur und eine flache Hierarchie der Orion-Menüinteraktion die Abwendungsdauer im Vergleich zu iDrive weiter reduziert werden kann. Für eine Anzeigefläche im zentralen Blickbereich ist diese

Eigenschaft der Menüinteraktion von essentieller Bedeutung und gilt, ausgehend von diesen Ergebnissen für die Orion Menüinteraktion im HUD, als gelungen.

#### Fragestellung Präferenz und Akzeptanz

Die Beurteilung der Akzeptanz des vorgestellten Konzepts im HUD erfolgt anhand der Daten aus den Fragebögen und dem teilstrukturierten Interview.

Die Gebrauchstauglichkeit des Konzepts im HUD wird anhand des Gesamtscores bei dem System Usability Scale (siehe Kapitel 3.2.3.2) ermittelt. Es ergibt sich von maximal 100 Punkten eine Gesamtscore von 87 beim HUD und 77 Punkten beim CID. Der Unterschied zeigt sich bei einem t-Test mit gepaarten Stichproben als signifikant ( $t(1,34)=-3,208$   $p<.01$ ). Die Unterschiede in den drei Dimensionen der Usability sind im Diagramm 26 abgebildet.

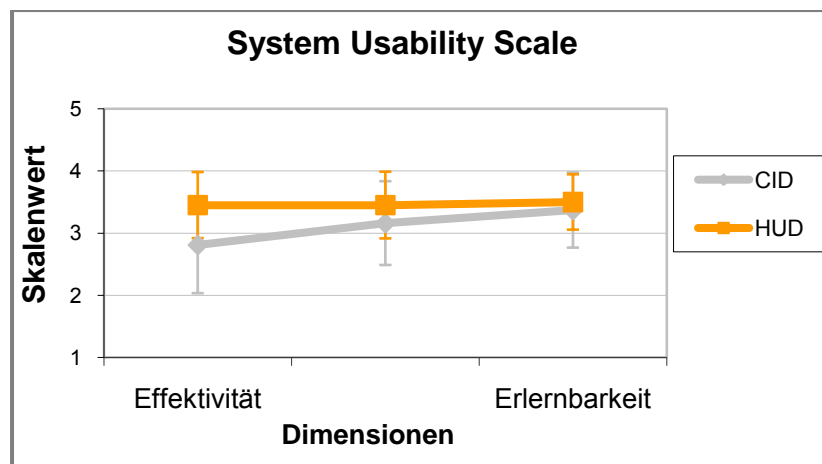


Diagramm 26: System Usability Scale - HUD vs. CID

Der größte Unterschied ergibt sich in der Dimension der Effektivität. Diese hängt von der Eigenschaft des Systems ab, wie gut sich eine bestimmte Aufgabe unter Verwendung des Systems bewältigen lässt. In der Effizienz zeigt sich ebenfalls der Head-Up Anzeigort dem CID überlegen. Die Versuchspersonen sind der Meinung, dass die Menübedienung im HUD auch schneller zu bewältigen ist. Die Unterschiede in diesen beiden Dimensionen erweisen sich in einem t-Test als signifikant. Ein geringer Unterschied zwischen diesen beiden Anzeigorten zeigt sich in der Dimension der Erlernbarkeit, weil nicht das Menü sondern nur der Anzeigort des Menüs variiert wurde. Beim teilstrukturierten Interview beklagten 49% (n=17) Prozent der Versuchspersonen die schlechte Haptik der Drehwalze des Bedienelements.

Die Animation gefällt bis auf einer Versuchsperson allen und die Informationsdarstellung wird insgesamt als gut bezeichnet. Der Informationsumfang wird von keiner Versuchsperson als zu groß empfunden. Insgesamt wird von 37% (n=13) die geringere Ablenkung und von 23% (n=8) die Eigenschaft des HUDs, dass „der Blick auf der Straße bleibt“, als der größte Vorteil dieses Anzeigorts genannt.

Die Orion-Menübedienung im Anzeigort HUD trauen sich alle Versuchspersonen (n=35) während der Fahrt zu. Bei dem Anzeigort CID stößt sie bei 7% (n=5) der Versuchspersonen auf Ablehnung. Auf einer Skala von eins (starke Ablehnung) bis sechs (starke Zustimmung) ergibt sich hierfür beim CID ein Wert von 4,49 (sd=1,29) und beim HUD 5,63 (sd=0,55). Dieser Unterschied ergibt bei einem t-Test eine Signifikanz von  $t(1,34)=5,351$   $p<.001$ .

Das Gefahrenpotential einer Menüinteraktion im Anzeigort HUD schätzen vor der Versuchsfahrt 83% (n=29) der Versuchspersonen geringer als im CID ein. Nach der

Versuchsfahrt steigt dieser Prozentsatz auf 91% (n=32). Betrachtet man den Mittelwert der Angaben auf der eingesetzten Skala von eins (geringeres Gefahrenpotential) bis sechs (höheres Gefahrenpotential), so ergibt sich ein Mittelwert von 2,429 (sd=1,441) vor dem Versuch und 1,943 (sd=1,027) nach dem Versuch. Der Unterschied vor und nach dem Versuch ergibt bei einem t-Test eine Signifikanz von  $t(1,34)=2,352$   $p<.05$ .

Die Frage, ob die Menüinteraktion im HUD erwünscht wird, spiegelt direkt die Akzeptanz des vorgestellten Konzepts im HUD wieder. Diese Frage wird ebenfalls vor und nach der zweistündigen Versuchsfahrt gestellt. Auf einer Skala von eins („Auf keinen Fall.“) bis sieben („Ja, sehr gerne.“) liegt der Mittelwert, der vor dem Versuch erfassten Daten, bei 5,971 (sd=1,200) und nach dem Versuch bei 6,714 (sd=0,458). Die Zunahme bei diesem Wert zeigt sich bei einem t-Test als signifikant  $t(1,34)=-4,120$   $p<.001$ .

Diese Ergebnisse zeigen, dass der Anzeigeort im HUD für eine Menüinteraktion erwünscht und bevorzugt wird. Anhand der Vergleiche vor und nach dem Versuch ist evident, dass das Potential, Menschen für diese Technologie innerhalb kurzer Zeit zu begeistern, sehr hoch ist.

### 5.2.3 Fazit

Die Beanspruchung, die durch Bedienung moderner FIS im Automobil verursacht wird, stellt aufgrund des steigenden Funktionsumfangs die zentrale Problematik bei der Nutzung dieser Systeme dar. Das in dieser Arbeit untersuchte Konzept integriert mit Hilfe einer flachen Menüstruktur ein FIS in das Head-Up Display. Die Auswirkungen der Bedienung dieses Systems auf das reale Fahrerverhalten wurden untersucht.

Ausgehend von theoretischen Überlegungen wurde ein Feldversuch konzipiert, der die durch das System verursachte Beanspruchung erfasste. Auf einer 50 km langen Strecke führten 35 Versuchspersonen in verschiedenen Verkehrssituationen Menübedienungen durch. Während der zweistündigen Versuchsfahrt wurden das Blick-, Bedien- und Fahrverhalten erfasst, sowie subjektive Daten erhoben. Der Versuch gliederte sich in zwei Teile. Im ersten Teil wurde die gleiche Menüstruktur in verschiedenen Anzeigeorten untersucht. Zwei HUD-Varianten und das CID kamen hier zum Einsatz. Bei dem zweiten Versuchsteil wurde das Konzept der Menüinteraktion im Primär-HUD mit dem Standard-FIS iDrive im CID verglichen.

Bei der ersten Fragestellung wurden die Auswirkungen zweier verschiedener Anzeigebereiche für die Menübedienung im HUD auf das Fahrerverhalten untersucht. Nach der Eliminierung der Störgröße, verursacht durch die Geschwindigkeitskontrollblicke im Primär-HUD, konnte in keiner der untersuchten Variablen zwischen diesen Anzeigeorten ein signifikanter Unterschied gefunden werden. Die AAM-Norm zur Länge der visuellen Abwendung von der Straße wurde durch beide Anzeigeorte erfüllt.

Die zweite Fragestellung behandelte den Vergleich der Anzeigeorte HUD und CID. Anhand der signifikant unterschiedlichen Ergebnisse im Blick-, Bedien- und Fahrverhalten wurde gezeigt, dass die verursachte Beanspruchung vom Anzeigeort abhängig ist. Eine Abhängigkeit von der Verkehrssituation konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Während der Bedienung waren die Blicke im HUD länger als im CID, dafür traten mehr Blicke beim CID auf. Der qualitative Verlauf dieser beiden Variablen erwies sich in beiden Anzeigeorten als antizyklisch. Quantitativ zeigte sich hier eine Abhängigkeit in erster Linie vom Anzeigeort aber auch von der Verkehrssituation.

Die AAM Norm wurde durch beide Anzeigeorte erfüllt. In der Leistung der Nebenaufgabe war das HUD dem CID überlegen. Es wurde effektiver und effizienter im HUD bedient. Die Leistung in der Fahraufgabe, gemessen anhand der Fahrfehleranzahl, war im HUD signifikant geringer. Hier kamen vor allem Vorteile des HUDs bei der Querführung zum Ausdruck. Insgesamt wurde die Beanspruchung abhängig von der Verkehrssituation in beiden Anzeigeorten in gleichen Maßen kompensiert. Nur in der Situation mit einem vorausfahrenden Fahrzeug zeigte sich im CID eine signifikant höhere Anzahl an kompensatorischen Handlungen.

Bei der dritten Fragestellung wurde das Konzept im HUD mit dem iDrive im CID verglichen. Die Ergebnisse der Blickdaten zeigten dieselbe Abhängigkeit vom Anzeigeort, wie bei der zweiten Fragestellung. Es stellte sich heraus, dass das qualitative Blickverhalten im CID unabhängig vom System ist. Quantitativ erforderte iDrive vergleichbar mehr Blickzuwendung als das untersuchte Konzept in beiden Anzeigeorten.

Die Frage nach der Akzeptanz und Präferenz der Menüinteraktion ergab ein signifikant höheres Rating der Gebrauchstauglichkeit für den Anzeigeort Head-Up Display. Die Versuchspersonen waren der Meinung, dass die Nutzung des HUDs ein geringeres Gefahrenpotential birgt. Die Menüinteraktion im HUD wurde vor und nach dem Versuch erwünscht, nach dem Versuch sogar signifikant mehr. Dies ist ein Hinweis auf das Potential dieser Technologie, innerhalb relativer kurzer Zeit Begeisterung zu erwecken.

Diese Studie zeigt, dass das Fahrerverhalten während einer Menüinteraktion vom Anzeigeort abhängig ist und dass im HUD und CID verschiedene Strategien bei der Teilung der Aufmerksamkeit angewandt werden. Das ergibt sich aus der Tatsache, dass die Fahrscene, im Gegensatz zum CID, während der Bedienung im HUD parafoveal wahrgenommen werden kann. Aus diesem Grund ist beim Sekundär-HUD, das sich an der Grenze der parafovealen und peripheren Wahrnehmung befindet, eine weitere Verschiebung nach rechts nicht zu empfehlen. Es ist hingegen zu erwarten, dass die geringfügigen Unterschiede zwischen diesen beiden Anzeigepositionen bei näherem Zusammenrücken gänzlich verschwinden. Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich trotz der unterschiedlichen Vorgehensweisen im HUD und CID keine Nachteile im realen Straßenverkehr für das Menü im HUD ergeben. Auf Grund der Bedien- und Fahrdaten zeigt sich sogar, dass das HUD für einfache und häufig vorkommende Bedienaufgaben während der Fahrt zu bevorzugen ist.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Versuchsreihe legt den Grundstein für die zukünftige Nutzung des Head-Up Displays im Fahrzeug. Die Motivation bilden die Sicherheits- und Komfortvorteile, die das HUD mit sich bringt und die Tatsache, dass dieses Potential im automotiven Kontext noch nicht ausgeschöpft ist.

Die Schlüsselfrage ist: „**Wie geht man in Zukunft mit diesem Anzeigort im Fahrzeug um?**“. Dabei ist es notwendig zu untersuchen, wie man dieses Medium einsetzen kann, um einen weiteren Mehrwert zu generieren.

Aus dieser Leitfrage wurden die behandelten drei Fragestellungen abgeleitet:

1. **Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?**
2. **Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?**
3. **Treten negative Effekte auf, wenn im HUD eine größere Anzeigefläche zur Verfügung steht?**

Diese drei Fragestellungen wurden anhand der theoretischen Grundlagen aus der Literatur analysiert und mit Hilfe unterschiedlicher methodischer Ansätze in fünf Experimenten untersucht.

1. **Wie müssen Informationen im HUD dargestellt werden?**

### Experiment 1

Im ersten Experiment ist die Grundlage für die Verwendung von Gestaltungsmitteln im HUD gelegt. Dabei wurden unterschiedliche Darstellungsarten und Gestaltungsmittel für die Anwendung im HUD bewertet. Die Erkenntnisse aus diesem Experiment und die theoretischen und praktischen Ergebnisse aus der Literatur dienen als Bausteine für die Guideline. Diese bildet die Leitlinien für die optimierte Informationsdarstellung im HUD ab.

2. **Welche weiteren Informationen können im HUD angezeigt werden, ohne negative Effekte hervorzurufen?**

Nachdem das HUD bislang nur für die Informationsdarstellung genutzt wurde, ist die logische Weiterentwicklung der MMS im HUD die Einführung der Interaktion. Mit diesem Schritt wird die Frage nach weiteren Inhalten im HUD adressiert. Dieser Ansatz bietet sich weiterhin an die negativen Effekte, die mit dem HUD in Verbindung gebracht werden, zu untersuchen. Bei einer Interaktion ist die Beanspruchung höher als bei einer reinen Präsentation von Informationen und der Theorie nach treten negative kognitive Phänomene früher auf.

### Experiment 2

Darauf aufbauend wurde im Experiment 2 der Einfluss verschiedener Interaktionstypen bei der Bedienung im HUD analysiert. Als Schwerpunkt galt es Interaktionstypen zu identifizieren, die sich für eine Darstellung im HUD eignen. In diesem Zusammenhang werden auch kognitive Effekte Cognitive Capture und Perceptual Tunneling, die mit dem HUD in Verbindung gebracht werden, untersucht.

Grundsätzlich erwies sich eine einfache Interaktion im HUD als effizienter im Vergleich zum CID, bezogen auf die Bearbeitungsdauer, mit einem geringerem Einfluss auf das

Fahrverhalten (SDLP) und einer geringeren visuellen und kognitiven Beanspruchung (PDT). Typ und Gestaltung der Interaktion haben aber einen ausschlaggebenden Einfluss auf das Blickverhalten. Lange Blickdauern ins HUD können durch eine geeignete Informationsdarstellung und Reduktion der Interaktionskomplexität vermieden werden. Daher eignen sich kurze und einfache Bedienvorgänge, wie z.B. Auswahl aus Listen und Einstellung analoger Regler, für die Darstellung im HUD

### Experiment 3

Ein auf der Guideline und den Erkenntnissen aus dem Experiment 2 aufgebautes Konzept wurde in einer weiteren Untersuchung im Fahrsimulator abgesichert.

Mit dieser Untersuchung wurde neben der Integration der Menübedienung in das Primär-HUD auch der Einfluss der Verbreiterung der Anzeigefläche untersucht. Anhand der PDT-Daten ist darauf zu schließen, dass durch eine Interaktion unabhängig vom Anzeigeort (Primär-HUD, Sekundär-HUD und CID) eine geringfügige Verschlechterung in der peripheren Wahrnehmung verursacht wird. Die Effekte Cognitive Capture und Perceptual Tunneling konnten im Zusammenhang mit dem HUD nicht nachgewiesen werden.

### Experiment 4

Nachdem die Interaktion im HUD in zwei Simulatorversuchen mit einer einfachen und standardisierten Fahraufgabe (Folgefahrt auf der Autobahn) abgesichert wurde, wurde im weiteren Verlauf das Bedien-, Fahr- und Blickverhalten der Fahrer während der „natürlichen“ Fahrt analysiert. Das HUD wurde daher mit weiterführenden Methoden im Hinblick auf die Verkehrssicherheit und die verursachte Ablenkung untersucht.

Mit dem HUD wird im Zusammenhang mit Cognitive Capture ebenfalls das Modell des Situationsbewusstseins in Verbindung gebracht. Fehlendes Situationsbewusstsein und damit ein nicht an die Situation angepasstes Fahrverhalten kann aus Cognitive Capture resultieren. Daher werden in einem realistischeren Szenario, die Auswirkungen des HUD auf das Fahrverhalten und die genutzten Strategien in komplexen und kritischen Situationen untersucht.

Anhand der Analyse des dynamischen Fahr- und Bedienverhaltens, wie auch der diskreten Auswertung der Fahrdaten, kann kein Einfluss des Anzeigeortes auf das Fahrverhalten ermittelt werden. Die Versuchspersonen haben unabhängig vom Anzeigeort die gleichen Kompensationsstrategien angewendet und die kritischen Situation fast ohne Fehler gemeistert. Es zeigte sich lediglich, dass die Interaktion im HUD effizienter ist.

### Experiment 5

Nachdem im Fahrsimulator nachgewiesen wurde, dass kritische Situationen bei der Menübedienung im HUD genauso gut wie im CID gemeistert werden, wurde der nächste Schritt in der Absicherung vollzogen. Dabei liegt der Fokus auf Alltagssituationen während der Fahrt im realen Straßenverkehr. Das Fahr-, Bedien- und Blickverhalten der Fahrer wurde während der Bedienung erfasst und im Hinblick auf die Strategien im Umgang mit dem System analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Fahrverhalten während einer Menüinteraktion vom Anzeigeort abhängig ist und dass im HUD und CID verschiedene Strategien bei der Teilung der Aufmerksamkeit angewandt werden. Das ergibt sich aus der Tatsache, dass die Fahrszene, im Gegensatz zum CID, während der Bedienung im HUD parafoveal wahrgenommen werden kann.

Während der Bedienung waren die Blicke im HUD länger als im CID, dafür traten mehr Blicke beim CID auf. Die AAM Norm wurde durch beide Anzeigeorte erfüllt. In der Leistung der Nebenaufgabe war das HUD dem CID überlegen. Es wurde effektiver und



effizienter im HUD bedient. Die Leistung in der Fahraufgabe, gemessen anhand der Fahrfehleranzahl, war im HUD signifikant geringer. Hier kamen vor allem Vorteile des HUDs bei der Querverführung zum Ausdruck. Insgesamt wurde die Beanspruchung abhängig von der Verkehrssituation in beiden Anzeigeorten in gleichen Maßen kompensiert.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich trotz der unterschiedlichen Vorgehensweisen im HUD und CID keine Nachteile im realen Straßenverkehr für das Menü im HUD ergeben. Auf Grund der Bedien- und Fahrdaten zeigt sich, dass das HUD für einfache und häufig vorkommende Bedienungsaufgaben während der Fahrt zu bevorzugen ist.

Abschließend lässt sich aus den Ergebnissen zeigen, dass das Potential des HUDs durch die reine Präsentation von Informationen nicht ausgeschöpft wird. Durch die Interaktion lassen sich bei einer kritischen Auseinandersetzung mit den, aus der Flugforschung bekannten Nebeneffekten bei der Nutzung von HUDs keine negativen Folgen aufzeigen. Im Gegensatz erfolgt die Interaktion im HUD effizienter und wird für die Interaktion mit Informationen bevorzugt.

Hier sei aber noch mal betont, dass die Interaktion im Vorfeld auf das HUD ausgelegt wurde. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe unterstützen die Forderung, in dieser sensiblen Anzeigefläche vernünftig mit der Informationsmenge und -gestaltung umzugehen!

### **3. *Treten negative Effekte auf, wenn im HUD eine größere Anzeigefläche zur Verfügung steht?***

Die Frage nach der Vergrößerung der Anzeigefläche wurde als eine weitere Bedingung in den Experimenten Drei und Fünf untersucht. Im dritten Experiment wurde die umgesetzte Architektur für die größere Anzeigefläche im HUD im Fahrsimulator eingesetzt. Im letzten Versuch im realen Straßenverkehr kam der aufgebaute Versuchsträger HUDMax zum Einsatz.

#### Experiment 3

Mit dieser Untersuchung wurde neben der Integration der Menübedienung in das Primär-HUD auch der Einfluss der Verbreiterung der Anzeigefläche untersucht. Es lässt sich zeigen, dass die Verbreiterung der Anzeigefläche um 12° nach rechts keinen Einfluss auf die Fahrleistung und Bedienleistung hat. Anhand der PDT-Daten ist darauf zu schließen, dass durch eine Interaktion unabhängig vom Anzeigeort (Primär-HUD, Sekundär-HUD und CID) eine geringfügige Verschlechterung in der peripheren Wahrnehmung verursacht wird.

Anhand der Untersuchung im Fahrsimulator kann eine Verbreiterung der Anzeigefläche bis zu 12° nach rechts von der primären Sichtachse des Fahrers empfohlen werden.

#### Experiment 5

Die Auswirkungen zweier verschiedener Anzeigebereiche für die Menübedienung im HUD wurden auf das Fahrerverhalten untersucht. Nach der Eliminierung der Störgrößen konnte im Blick-, Bedien- und Fahrverhalten zwischen diesen Anzeigepositionen kein signifikanter Unterschied gefunden werden. Die AAM-Norm zur Länge der visuellen Abwendung von der Straße wurde durch beide Anzeigepositionen erfüllt.

Das umgesetzte Sekundär-HUD befindet sich an der Grenze der parafovealen und peripheren Wahrnehmung. Um die parafoveale Wahrnehmung des Verkehrsgeschehens während der Bedienung zu ermöglichen, ist eine weitere Verschiebung nach rechts nicht zu empfehlen. Es ist hingegen zu erwarten, dass die geringfügigen Unterschiede

zwischen diesen beiden Anzeigepositionen bei näherem Zusammenrücken gänzlich verschwinden.

Damit ist anhand der Untersuchung im Fahrsimulator, als auch anhand der Untersuchung im realen Straßenverkehr, eine Empfehlung für die Verbreiterung der Anzeigefläche auszusprechen. Die Verbreiterung der Anzeigefläche um 70% und bei einer Auslenkung von  $12^\circ$  von der Primärsichtachse des Fahrers haben keine nachweisbaren negativen Effekte hervorgebracht, entspannen aber die Informationsdichte im HUD.

Diese Arbeit hat den Umgang mit dem HUD in automotiven Kontext aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet. Um die Weiterentwicklung des Anzeigeortes weiter voranzutreiben wurde aus wahrnehmungspsychologischer Sicht, als auch aus technologischer Sicht, der Forschungsbereich gedehnt. Einerseits sind die wahrnehmungspsychologischen Grenzen für den Einsatz von HUDs weiter auszuloten, da diese im Rahmen dieser Arbeit nicht ausgereizt wurden. Andererseits ist aus technologischer Sicht viel Entwicklungsarbeit in die zukünftigen Technologien zu investieren, um eine größere HUD-Anzeigefläche unter den Rahmenbedingungen der Automobilindustrie umzusetzen.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AAM	Alliance of Automotiv Manufacturers
ABK	Anzeigebedienkonzept
ACC	automatischen Abstandsregelung
ANOVA	Univariate Varianzanalyse
BA	Baseline
CAD	Computer Aided Design – Rechnerunterstützte Konstruktion z.B. Catia
CAN	Controller Area Network (Serieller Bus Standard und Netzwerk Protokoll - ISO Standard 11898)
CID	Central Information Display
CPU	Hauptprozessor (zentrale Verarbeitungseinheit eines Rechners)
CSV	Comma-Separated-Values
DALI	Driver Activity Load Index
DVI	Digital Visual Interface (elektrische Schnittstelle zur Übertragung von Videodaten - Standard für den Anschluss von TFT-Monitoren an die Grafikkarte eines Computers)
EEPROM	Speicherbaustein - electrically erasable programmable read-only memory
ESoP	European Statements of Principles
FAS	Fahrerassistenzsystem
FIS	Fahrerinformationssystem
FLORIS	Grafikframework
FMVSS	Federal Motor Vehicle Safety Standard
GUI	Graphical User Interface
HDD	Head-Down Display
HHD	Head-Down Displays
HOE	Holographisch Optische Elemente Abkürzungsverzeichnis
HUD	Head-Up Display
I-Tafel	Instrumenten-Tafel
LCD	Liquid Crystal Display)
LED	Light Emitting Diode (Leuchtdiode)
LIN-Bus	Local Interconnect Network (Feldbus für die Kommunikation von Sensoren und Aktuatoren in Kraftfahrzeugen)
MANOVA	Multivariate Varianzanalyse
MEMS	Micro Electronic Mechanical Systems
MLA	Microlens-Array
MMI	Mensch-Maschine-Interaktionen
MMS	Mensch-Maschine-Systemen
MOST	Media Orented Systems Transport (Serieller Bus und Netzwerkstandard für Multimediadaten in Ringtopologie
NTSC	National Television Systems Committee (Bezeichnung für das erste Farbübertragungssystem für Fernsehsignale)
PDT	Peripheral Detection Task – Entdeckungsaufgab
RGB	rot-grün-blau (additiver Farbraum)
RGR	Rot-Grün-Rot
SA	Situationawareness

SAGAT	Situation Awareness Global Assessment Technique
SB	Situationsbewußtsein
SDLP	Standard Deviation of the lateral Position
StVo	Straßen Verkehrsordnung
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol (Internetprotokollfamilie)
TFT	Thin Film Transistor
TICS	Transport Information and Control Systems
UDP	User Datagram Protocol (minimales, verbindungsloses Netzwerkprotokoll)
VESUV	Videobasiertes Assistenzsystem zur Erhöhung der Sicherheit ungeschützter Verkehrsteilnehmer
WSS	Windschutzscheibe
ZIO	Zentrale I/O-Software mit Datenaufzeichnungsfunktionalität

## LITERATURVERZEICHNIS

- [ATZe 08] ATZ extra: *Der neue BMW 7er*. Springer Automotive Media Leserservice, November 2008.
- [AAM 06] Alliance of Automobile Manufacturers Driver Focus- Telematics Working Group: *Statement of principles, criteria and verification procedures on driver interactions with advanced in-vehicle information and communication systems*. Washington, 2006.
- [Adis 98] Advanced Traveller Information Systems and Commercial Vehicle Operations Components of the Intelligent Transportation Systems: *Head-Up Displays and Driver Attention for Navigation Information*. Publication No. FHWA-RD-96-153 U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Research Development and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center, Georgetown, 1998.
- [aide 04-1] Cherri C., Nodari E., Toffetti A.: *Review of existing Tool and Methods*. Deliverable D2.1.1 of the EU-Project aide (adaptive integrated driver-vehicle interface), 2004
- [aide 04-2] Johansson E., Engström J., Cherri E., Nodari E., Toffetti A., Schindhelm R., Gelau C.: *Review of existing techniques and metrics for IVIS and ADAS assessment*. Deliverable D2.2.1 of the EU-Project aide (adaptive integrated driver-vehicle interface), 2004
- [ATIS 98] Advanced Traveller Information Systems and Commercial Vehicle Operations Components of the Intelligent Transportation Systems: *Head-Up Displays and Driver Attention for Navigation Information*. publication no. FHWA-RD-96-153 U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center Georgetown, 1998.

- [Back 03] Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W., Weiber, R.: *Multivariate Analysemethoden*. 10. Neubearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- [Bern 70] Bernotat, R.: *Anthropotechnik in der Fahrzeugführung*. Ergonomics, 13, S. 353-377, 1970.
- [Biev 02] Biever, W.: *Auditory based supplemental information processing demand effects on driving performance*. Master Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute & State University, 2002.
- [Blac 07] Blcker, A.L., Popovic, V., Mahar, D.P.: *Empirical investigations into intuitive interaction: a summary*. MMI-Interaktiv, Nr. 13, Aug 2007.
- [Blum 03] Blume, J., Klein, W., Mayer, R., Schmidt, P.: *HUD – eine skalierbare Technik für alle Fahrzeugklassen*. VDI Berichte Nr. 1789, 2003.
- [Blum 06] Blume, J., Martin, T., Hohmann, K.: *Immer im Bilde und dabei die Straße stets im Blick*. VDI Berichte Nr. 1944, 2006.
- [BMW 03] BMW internes Forschungsprojekt: *Laserprojektion*. Herrscher, Hauser, J., München, 2003.
- [BMW 04] BMW internes Forschungsprojekt: *Holografischer Spiegel zum Einsatz in einem HUD*. Herrscher, Hauser, J., München, 2004.
- [BMW 05] BMW interne Untersuchung: *Studie zur Kundenzufriedenheit mit dem Head-Up Display*. Spiegel Institut Mannheim, 2005.
- [BMW 06-1] BMW Service: *Produktinformation Head-Up Display*. Aftersales Training, BMW intern, Nippon Seiki Co., Ltd, 2006.
- [BMW 06-2] BMW internes Forschungsprojekt: *Combiner HUD*. Franz, G, München, 2006.
- [BMW 07] BMW interne Untersuchung: *Kundennaher Test zum Nutzerverhalten*. München, 2007.
- [BMW 08] BMW internes Dokument: *Strategie der Anzeigebedienung im Fahrzeug*. Eckstein, L., München, 2008.
- [Bortz 05] Bortz, J.: *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. 6 überarbeitete und aktualisierte Auflage, Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2005.
- [Boss 97] Bossi, L.L., Ward, N.J., Parkes, A.M., & Howarth, P.A.: *The effect of vision enhancement systems on driver peripheral visual performance*. In Y.I. Noy (Ed.), *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces*, Mahwah, NJ: LEA. 1997.
- [Brei 07] Breisinger, M.: *Anzeigekonzept für Head-Up Displays im Automotive Bereich*. Diplomarbeit, Institut für Informatik, LMU, München, 2007.

- [Bret 01] Breton, R. & Rousseau, R.: *Situational Awareness. A review of the concept and its measurement*. Technical Report No. 2001-220, Defense Research and Development Canada, Valcartier, 2001.
- [Broo 96] Brooke, J.: *SUS: a quick and dirty usability scale*. In: P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, A., McClelland (eds.): *Usability Evaluation in Industry*, London, S.189-194, 1996.
- [Broy 06] Broy, V., Althof, F., Klinker, G.: *Animationen für Fahrerinformationssysteme: Ablenkungspotenzial oder Steigerung der Usability?* Useware, Düsseldorf, 2006.
- [Bubb 03] Bubb, H.: *Wie viele Probanden braucht man für allgemeine Erkenntnisse aus Fahrversuchen?* Darmstädter Kolloquium Fahrversuche mit Probanden – Nutzwert und Risiko, Technische Universität Darmstadt, 3./4. April 2003.
- [Bubb 90] Bubb, H., Bolte, U.: *Head-Up Display im Kraftfahrzeug – eine Literaturrecherche*. Professur für Arbeitswissenschaft, Katholische Universität Eichstätt, 1990.
- [Buld 02] Buld, S., Hoffmann, S. & Krüger, H.-P.: *EMPHASIS: Situationsbewusstsein und Performance-Handling in sicherheitsrelevanten Situationen*. Interner Meilensteinbericht. Würzburg: IZVW, 2002.
- [Bund 01] Bundesanstalt für Straßenwesen: *Sicherheitsanalyse der Systeme zum automatischen Fahren*, Heft F35, S. 8-9, 2001.
- [Chat 99] Chatziastros, A., Wallis, G. M., Bülthoff, H. H.: *The Use of optical flow and splay angle in steering a central path*. Technical Report No. 72, Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Tübingen, 1999.
- [Cher 04] Cherri C., Nodari E., Toffetti A.: *Review of existing Tool and Methods*. Deliverable D2.1.1 of the EU-Project aide (adaptive integrated driver-vehicle interface), 2004).
- [DeWa 96] De Waard, D.: *The measurement of drivers' mental workload*. Ph.D. Thesis, Traffic Research Centre VSC, University of Groningen, Haren: 1996
- [Divk 02] Divko, R.: *VESUV - Videobasiertes Assistenzsystem zur Erhöhung der Sicherheit ungeschützter Verkehrsteilnehmer*. Abschlussbericht Kooperationsprojekt, BMW, 2002.
- [Ends 00] Endsley, M.R., Sollenberger, R. & Stein, E.: *Situation awareness: Acomparison of measures*. Human Performance. Situation Awareness and Automation: User Centered Design of the New Millenium Conference, October 2000.
- [Ends 88-1] Endsley, M.R.: *Design and evaluation for situational awareness enhancement*. Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting. HFES, Santa Monica, pp. 97-101, 1988.
- [Ends 88-2] Endsley, M.R.: *Situation Awareness global assessment technique (SAGAT)*. In Proceedings of the National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) (pp. 789-795). New York: IEEE, 1988.

- [Ends 95] Endsley, M.R. & Kiris, E.O.: *The out-of-the-loop performance problem and level of control in automation*. Human Factors, 37 (2), 381-394, 1995.
- [ESoP 06] Commission of The European Communities: *Update of the European Statement of Principles on human machine interface*. Commission Recommendation on 22 December 2006 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems. Brussels, 2006.
- [ETH 01] ETH, Zentrum für Produkte-Entwicklung, TU Darmstadt: *Leitfaden für Interface-Entwickler des Projektes Coma*. Zürich, 2001.
- [Färb 87] Färber, B.: *Geteilte Aufmerksamkeit: Grundlagen und Anwendung im motorisierten Straßenverkehr*. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1987.
- [Fast 95] Fastenmeier, W.: *Autofahrer und Verkehrssituation*. In: Häcker, H. (Hrsg.), Reihe Mensch-Fahrzeug-Umwelt, Band 33, Verlag TÜV Rheinland, Deutscher Psychologen-Verlag, Bonn, 1995.
- [Flac 95] Flach, J.M.: *Situation awareness - proceed with caution*. Human Factors, 37 (1), 149-157, 1995.
- [Frau 09-1] Fraunhofer Institut IPMS: *1D und 2D Microscanner Spiegel*. Produktkatalog, Schenk, H., IPMS, 2009.
- [Frau 09-2] Fraunhofer Institut IPMS: *Laser-Projektionsmodul*. Produktkatalog, IPMS, 2009.
- [Geis 85] Geiser, G.: *Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug*. In: Automobiltechnische Zeitschrift: ATZ 87, No.2, S. 77-84, 1985.
- [Geng 97] Gengenbach, R.: *Fahrerverhalten im Pkw mit Head-Up-Display: Gewöhnung und visuelle Aufmerksamkeit*. VDI Verlag, Düsseldorf, 1997.
- [Ginn 06] Ginnow-Merkert, H.: *Animation und Kontinuität: Grundlagen für die Intuitive Navigation in virtuellen Systemen*. VDI-Berichte Nr.1946 S.159, 2006.
- [Gish 95] Gish, K.W. & Staplin, L.: *Human Factors Aspects of Using Head Up Displays in Automobiles: A Review of the Literature*. Report No. DOT HS 808 320, Washington: U.S. Department of Transportation, 1995.
- [Gsta 97] Gstalter, H. und Fastenmeier, W.: *Wie gehen Autofahrer mit zusätzlicher Belastung durch MMI um?*. Motiv-Teilprojekt MMI AP/5. Unveröffentlichtes Diskussionspapier, 1997.
- [Hain 91] Haines, R.F.: *A breakdown in simultaneous information processing*. In G.Obrecht and L. Stark (eds.), Presbyopia Research, 171-175. New York: Plenum, 1991
- [Heri 99] Hering, E., Martin, R., Stohrer, M.: *Physik für Ingenieure*. Springer, 1999.
- [Horr 03-1] Horrey, W., Wickens, C., Alexander, A.: *The effects of head-up display clutter and in-vehicle display separation on concurrent driving performance*.

- Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 47th Annual Meeting. Santa Monica, 2003.
- [Horr 03-2] Horrey, W. et al.: *Does Workload Modulate the Effects of In-Vehicle Display Location on Concurrent Driving and Side Task Performance?*. DSC North America Proceedings, Michigan, 2003.
- [Huss 98] Hussy, W.: *Denken und Problemlösen*. Stuttgart, Berlin, Köln, W. Kohlhammer, 1998.
- [Iari 91] Iarish, I. und Wickens, C.: *Attention and HUDs: Flying in the dark?*. Society for Information Display international Symposium Digest of Technical Papers, XXII, S.461-464., 1991.
- [Inuz 91] Inuzuka, Y., Osumi, Y., Shinkai, H.: *Visibility of head-up displays (HUD) for automobiles*. Proceedings of the Human Factors Society, 35th Annual Meeting, S. 1574 –1578, 1991.
- [Ishe 07] Isherwood, S.J., McDougall, S. J. P., Curry, M. B.: *Icon identification in context: The changing role of icon characteristics with user experience*. Human Factors, Vol. 49, No. 3, , pp. 465–476, Juli 2007.
- [Joha 93] Johannsen, G.: *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin: Springer, 1993.
- [Kabe 97] Kaber, D.B. & Endsley, M.R.: *Out-of-the-loop performance problems and the use of intermediate levels of automation for improved control system functioning and safety*. Process Safety Programs 16 (3), 126-131, 1997.
- [Kief 00] Kiefer, R.: *Older Drivers' Pedestrian Detection Times Surrounding Head-Up Versus Head-Down Speedometer Glances*. In: A.G. Gale et al. (Eds.), *Vision in Vehicles -VII*, S. 111-118, Elsevier, Amsterdam, 2000.
- [Kief 98] Kiefer, R.J.: *Defining the "HUD Benefit Time Window "*. In: A.G. Gale et al. (Eds.), *Vision in Vehicles - VI* (S. 133-142). Amsterdam: Elsevier, 1998.
- [Klin 92] Kline, D.W.: *Vision, aging, and driving: the Problems of older drivers*. Journal of Gerontology, 47-1, S. 27-34, 1992.
- [Klok 05] Kloke, W. B.: *Zur Bedeutung der Blickabwendungsdauer bei HUDs im Kfz*. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Ausgabe 3, Stuttgart, 2005.
- [Kren 05] Krenzel, U.: *Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik*. 8 erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlag / GWD Fachverlage GmbH, 2005.
- [Krey 91] Kreyszig, E.: *Statistische Methoden und ihre Anwendungen*. 4 unveränderter Nachdruck der 7.Auflage. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht, 1991.
- [Lexi 96] Microsoft Corp. und bibliographisches Institut & Brockhaus AG: *Lexikon*. Version 2.0. 1996.
- [Made 06] Maeda. J.: *The Laws of Simplicity: Design, Technology, Business, Life*. Cambridge, MA: The MIT Press, 2006. kommentiert von Winkler, T. Institut für



- Multimediale und Interaktive Systeme, Universität zu Lübeck in MMI-Interaktiv, Nr. 13, 2007.
- [Mart 00] Martens M.H., van Winsum W.: *Measuring distraction: the Peripheral Detection Task*. TNO Human Factors, Soesterberg, The Netherlands, 2000.
- [Matt 03] Mattes, S.: *The Lane Change Task as a Tool for driver Distraction Evaluation*. In: H. Strasser, H. Rausch and H. Bubb (Eds.), *Quality of Work and Products in Enterprises of the Future*. Stuttgart: Ergonomia Verlag, 2003.
- [Maye 03] Mayer, K., Blume, J., *Optik Design von Head-Up-Displays für Kraftfahrzeuge*. VDI Berichte Nr. 1731, 2003.
- [Maye 05] Mayer, K.: *Head up Display -Eine Bauanleitung - Grundlagen, Vorgehensweisen und Erfahrungen*. CTI Workshop, SVDO, 2005.
- [Mili 08-1] Milicic, N., Ablaßmeier, M. und Bengler, K.: *Das Head-Up Display im Fahrzeug - Potenzial zukünftiger Nutzung*. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft GfA-Press, Dortmund, 2008.
- [Mili 08-2] Milicic, N., Lindberg, T.: *Menu interaction in Head-Up Displays*. Human Factors and Ergonomic Society, Annual Meeting, Soesterberg, The Netherlands, 2008.
- [Mili 09] Milicic, N., Platten, F., Schwalm, M., Bengler, K.: *Head-Up Display und das Situationsbewusstsein*. VDI-Tagung: „Fahrer im 21. Jahrhundert“, Braunschweig, 2009.
- [Naum 87] Naumann, H., Schröder, G.: *Bauelemente der Optik*. 5. Auflage, Hanser, 1987.
- [Pauz 07] Pauzie A., Manzano J.: *Evaluation of driver mental workload facing new in-vehicle information and communication technology*. Pater No. 07-0057, INRETS - National Research Institute on Transport and Safety, LESCOT - Laboratory Ergonomics & Cognitive Sciences in Transport, Frankreich, 2007.
- [Plat 10] Platten, F., Milicic, N.: *Driving while using an Infotainment system – A continuous analysis of behavior adaptations*. In preparation, 2010.
- [Pote 09] Potezica, J.: *Ein Feldversuch zur Beanspruchung bei der Menüinteraktion im Head-Up Display*. Bachelorarbeit, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München, 2009.
- [Prax 03] Praxenthaler, M.: *Experimentelle Untersuchung zur Ablenkungswirkung von Sekundäraufgaben während zeitkritischer Fahrsituationen*. Dissertation, Philosophische Fakultät II (Psychologie und Pädagogik), Universität Regensburg, 2003.
- [Raki 06] Rakic, M., Bubb, H., Breuer, J.: *Bewertung von Gestaltungsvarianten eines Informations- und Kommunikationssystems anhand sicherheitsrelevanter Kriterien in einer Fahrsimulatorstudie*. VDI Berichte Nr. 1946, 2006.
- [Rasc 02] Rasch, B., Frieser, M., Hofmann, W.: *Quantitative Methoden – Eine Einführung für Psychologen. Band I&II, 2 überarbeitete Auflage*. Manuskript zur Vorlesung Statistik. Fakultät Psychologie Universität Trier, 2002.

- [Rasm 83] Rasmussen, J.: *Skills, rules, and knowledge: signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models*. IEEE Trans. Systems, Man, Cybernetics, SMC-13, S. 257-266, 1983.
- [Raub 08] Raubitschek, C.: *Prioritätenorientierte Implementierung einer Menüinteraktion im Head-Up Display für den Automobilbereich*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TUM, München, 2008.
- [Rauc 07] Rauch, N., Gradenegger, B.: *Das Konzept des Situationsbewusstseins und seine Implikationen für die Fahrsicherheit*. Abschlussbericht für das FAT-BASSt-Projekt „Das Konzept des Situationsbewusstseins und seine Implikationen für die Fahrsicherheit“. Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW), Würzburg, 2007.
- [Reca 03] Recarte, M., Nunes, L.: *Mental Workload While Driving: Effects on Visual Search, Discrimination, and Decision Making*. In: Journal of Experimental Psychology, Vol. 9, Nr. 2, S. 119–137, 2003.
- [Reic 00] Reichart, G.: *Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen - Möglichkeiten der Analyse und Bewertung*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, TU München, 2000.
- [Renn 95] Renner, G. J.: *Fahrzeugführung unter kognitiver Belastung – Eine Simulationsstudie*. Dissertation, RWTH Aachen, 1995.
- [Riss 85] Risser, R. und Brandstätter, Ch.: *Die Wiener Fahrprobe*. Kleine Fachbuchreihe, Band 21, Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit, 1985.
- [Rock 71] Rockwell, T. H.: *Eye movement analysis of visual information acquisition in driving: an overview*. Paper presented at the North Carolina State University, Raleigh, 1971.
- [Sart 91] Sarter, N.B. & Woods, D.D.: *Situation awareness: a critical but ill defined phenomenon*. International Journal of Aviation Psychology, 1, 45-57, 1991.
- [Sart 95] Sarter, N.B. & Woods, D.D.: *How in the world did we ever get in that mode? Mode error and awareness in supervisory control*. Human Factors, 37, 5-19, 1995.
- [Sche 02] Scheufler, I.: *Qualitative Bestimmung der situativen Fahrerbelastung*. 38. BDP-Kongress für Verkehrspsychologie Universität Regensburg 2002.
- [Schm 93] Schmidtke, H.: *Ergonomie*. 3. Neubearbeitete und erweiterte Auflage. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993.
- [Schw 03] Schweigert, M.: *Fahrerblickverhalten und Nebenaufgaben*. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, TU München, 2003.
- [Simo 00] Simons, D. J.: *Current approaches to change blindness*. Visual Cognition, 7, 1-15, 2000.

- [Sojo 90] Sojourner, R. und J. Antin: *The effects of a simulated head-up display speedometer on perceptual task performance*. Human Factors, 32(3), 329-339., 1990.
- [Spie 09] Spießl, W.: *Automobiltechnik und kontextsensitive Fahrzeugsysteme*. Vorlesung, Pervasive Computing, Gastvortrag an der Universität Duisburg-Essen, 2008.
- [Stro 03] Strobl, M. H.: *SPIDER - Das innovative Software-Framework der BMW Fahrsimulation*. VDI-Berichte Nr. 1745, 2003.
- [Theo 02] Theofanou, D.: *Maße zur Erfassung von visueller Ablenkung bei verschiedenen komplexen Streckenabschnitten*. Dissertation, Philosophische Fakultät II (Psychologie und Pädagogik), Universität Regensburg, 2002.
- [Totz 03] Totzke, I., Rauch, N., Krüger, H-P.: *Kompetenzerwerb und Struktur von Menüsystemen im Fahrzeug: „Breiter ist besser?“* VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 22 Bd. 16. Entwerfen und Gestalten: 5.Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2003.
- [Totz 05] Totzke, I., Meilinger, T., Krüger, H.P.: *Adaptivität und Adaptierbarkeit von menügesteuerten Informationssystemen – Kein Ansatz zur Lösung des Problems der Erlernbarkeit!*. ZMMS 05 6, Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Plenarvortrag „Zustandserkennung und Systemgestaltung“, 13.-15. Oktober 2005.
- [Tsim 01] Tsimhoni, O., Green, P., Watanabe, H.: *Detecting and Reading Text on HUDs: Effects of Driving Workload and Message Location*. ITSA (Intelligent Transport Society of America), 11th Meeting Miami Beach, USA, 2001.
- [Tufa 97] Tufano, D.: *Automotive HUDs: The overlooked safety issues*. Human Factors, Nr. 39, 1997.
- [vanW 99] Van Winsum, W., Martens, M. & Herland, L.: *The effects of speech versus tactile driver support messages on workload, driver behaviour and user acceptance*. TNO-report, TM-00- C003. Soesterberg, The Netherlands, 1999.
- [VHTB 08] VHTB – Verbundname, *Verbesserte Herstellungstechniken für Tageslichttaugliche Bildschirmhologramme: Optische Komponenten und Systeme für Volumenmärkte*. Kooperationsprojekt, 2008.
- [Wein 92] Weintraub, D., Ensing, M.: *Human Factors Issues in Head-up Display Design: The Book of HUD*. Alexandra, 1992.
- [Wick 04] Wickens C.D., Lee J., Liu D., Gordon-Becker S.E.: *Introduction to human factors engineering*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2004.
- [Wick 92] Wickens C.D.: *Engineering psychology and human performance*. New York: HarperCollins, 1992.
- [Wood 95] Wood, N. und Cowan, N.: *The cocktail party phenomenon revisited: How frequent are attention shifts to one's name in an irrelevant auditory channel?*.

Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. Vol. 21(1), S.2 55-260, 1995.

[Zimm 98] Zimmer, A.: *Definition und Validierung von Kriterien für die Ablenkungsauswirkung von MMI-Lösungen*. Motiv-Teilprojekt MMI AP/5. Unveröffentlichtes Diskussionspapier, 1998.

Internetquellen:

[@ Dika] Dikablis Blickerfassungssystem: <http://www.ergoneers.com/index.html>

[@ Macr] Macromedia FLASH Professional 8: <http://www.marcomedia.com>

[@ Vect] Vector - CAN-Hardware und Canalyzer-Software: <http://www.vector-worldwide.com>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Fahrszene mit den HUD-Anzeigen eines BMW 5er (E60) [Raub 08] .....	1
Abbildung 2: Positionierung des virtuellen Bildes .....	3
Abbildung 3: Methoden für die Evaluierung von ABKs im Fahrzeug .....	4
Abbildung 4: HUD-Strahlengang [Maye 05] .....	8
Abbildung 5: HUD-Komponenten [BMW 06] .....	9
Abbildung 6: Einflussgrößen auf die HUD-Optik .....	11
Abbildung 7: Optischer Weg .....	12
Abbildung 8: Asphärische Linse mit Pfeilhöhe z .....	14
Abbildung 9: Konvergenz und Disparity .....	16
Abbildung 10: Kissenförmige Verzeichnung vor und nach der Vorverzerrung .....	17
Abbildung 11: Combiner-HUD (links) und Outside World Distortion (rechts) .....	19
Abbildung 12: Aufbau Projektions-HUD und Umsetzung VESUV .....	20
Abbildung 13: Grundprinzip der Laser-Projektion [BMW 03] .....	22
Abbildung 14: a) Laserprojektions-Modul; b) 2-achsiger Scannerspiegel; c) MLA (suss- microoptics) .....	22
Abbildung 15: Farbdreieck Laser-HUD .....	23
Abbildung 16: Sandwich-Hologramm mit 3 Reflexionshologrammen [BMW 04] .....	24
Abbildung 17: Projektions-HUD mit HOE [BMW 04] .....	25
Abbildung 18: "Footprints" auf dem Konkavspiegel .....	27
Abbildung 19: Erste Simulation Verbau zwei HUDs .....	28
Abbildung 20: Zweite Simulation Verbau zwei HUDs .....	29
Abbildung 21: HUD-Bilder an der Windschutzscheibe (WSS) .....	29
Abbildung 22: Mechanischer Einbau .....	30
Abbildung 23: Konstruktion des Bedienelementes .....	30
Abbildung 24: Gesamtarchitektur Realfahrzeug und Fahrsimulator .....	31
Abbildung 25: Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (links) .....	36
Abbildung 26: Multiple-Ressource-Modell nach Wickens .....	39
Abbildung 27: Dual-Task-Modell .....	41
Abbildung 28: Die drei Sichtbereiche des menschlichen Auges .....	42

Abbildung 29: Darstellung der $\alpha$ -Fehler- und .....	50
Abbildung 30: Aufbau Fahr Simulator .....	53
Abbildung 31: Head-Up Display im Simulator .....	55
Abbildung 32: Blickerfassungssystem DIKABLIS.....	55
Abbildung 33: Usability-Versuch Tischaufbau (links) und virtuelles Bild (rechts).....	57
Abbildung 34: Positionierung der PDT-Reize und der Displays .....	63
Abbildung 35: Systemergonomie [Spie 08] .....	81
Abbildung 36: MMI-Entwicklungsprozess [ATZe 08]. .....	82
Abbildung 37: Aufteilung der Displays und Bedienelemente im Fahrzeug und Informationspriorisierung .....	83
Abbildung 38: Strukturierung der Informationsdarstellung im HUD [ATZe 08].....	84
Abbildung 39: Orion Menüinteraktion mit Lenkradbedienelement.....	89
Abbildung 40: Generic Head-Up Display [Brei 07] .....	91
Abbildung 41: Layout im GenericHUD bei Aktivierung des Menüs.....	93
Abbildung 42: Zustandsübergangdiagramm Orion Menüinteraktion.....	94
Abbildung 43: Anzeigebedienkonzept für das Primär-HUD (Sisco).....	95
Abbildung 44: Modell des Situationsbewusstseins [Ends 95].....	100
Abbildung 45: Klassifikation der Messmethoden zur Erfassung von Situationsbewusstsein [Ends 00] .....	102
Abbildung 46: Markierungen auf der Strecke in einer Situation .....	103
Abbildung 47: Feldversuch Versuchsbedingungen .....	123
Abbildung 48: Feldversuch Versuchsstrecke .....	124

## DIAGRAMMVERZEICHNIS

Diagramm 1: Zufriedenheit mit dem HUD .....	2
Diagramm 2: Anteil an Fehlbedienungen .....	70
Diagramm 3: PDT-Reaktionszeit während der Eingabe von Ziffern .....	71
Diagramm 4: Übersehene PDT-Reize während der Einstellung von digitalen Werten ....	72
Diagramm 5: Histogramm der Blickdauern während der "Auswahl aus Listen".....	74
Diagramm 6: Histogramm der Blickdauern während der Eingabe von Ziffern.....	75
Diagramm 7: Mittlere Dauer erster Blick .....	75
Diagramm 8: SA Total Task Time .....	110
Diagramm 9: Startzeitpunkt der Aufgabenbearbeitung .....	110
Diagramm 10: Histogramm aller Blicke auf die Displays.....	111
Diagramm 11: SA-Versuch DALI.....	112
Diagramm 12: Einschätzung zur Ablenkung .....	113
Diagramm 13: SA Aufmerksamkeitsverteilung - HUD vs. CID.....	113
Diagramm 14: Verlauf der Situation ohne Hinweisreiz .....	114
Diagramm 15: Verlauf der Situation mit Hinweisreiz .....	115
Diagramm 16: Verzögerung in den drei Abschnitten .....	116
Diagramm 17: Eingabeaktivität in den drei Abschnitten .....	117
Diagramm 18: Feldversuch – Blickverhalten.....	132
Diagramm 19: Blickverhalten und Faktor Verkehrssituation – HUD vs. CID .....	134
Diagramm 20: Blickverhalten und Faktor Verkehrssituation – Sekundär-HUD vs. CID .	135
Diagramm 21: Bediendauer und Faktor Verkehrssituation - HUD vs. CID .....	136
Diagramm 22: Fahrverhalten und Faktor Verkehrssituation - HUD vs. CID .....	137
Diagramm 23: Fahrfehler Querführung - HUD vs. CID .....	138

Diagramm 24: Längsabstand bei vorausfahrendem Fahrzeug - HUD vs. CID.....	139
Diagramm 25: Aufmerksamkeitszuwendung.....	140
Diagramm 26: System Usability Scale - HUD vs. CID .....	142

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Eigenschaften von optischen Elementen.....	13
Tabelle 2: Erster Ansatz - Größe des virtuellen Bildes, Eyebox und Displays.....	26
Tabelle 3: Zweiter Ansatz - Größe des virtuellen Bildes, Eyebox und Displays.....	27
Tabelle 4: Aufschlüsselung der Nebenaufgaben.....	65
Tabelle 5: Versuchsdesign.....	67
Tabelle 6: Abhängige Variablen .....	67
Tabelle 7: Total Task Time in Sekunden.....	69
Tabelle 8: SDLP – Standard Deviation of Lateral Position .....	71
Tabelle 9: Blickdauern und -häufigkeiten abhängig vom Anzeigeort und Interaktionstyp	73
Tabelle 10: Funktionsumfang Orion-Menü.....	88
Tabelle 11: Prioritätenmatrix der Usecases.....	93
Tabelle 12: Situationen im SA-Versuch.....	104
Tabelle 13: Abhängige Variablen der diskreten Auswertung .....	106
Tabelle 14: Anzahl der Fahrfehler.....	108
Tabelle 15: Fahrverhalten .....	109
Tabelle 16: Bedienverhalten .....	109
Tabelle 17: Blickverhalten.....	111
Tabelle 18: Klassifizierung von Verkehrssituationen .....	124
Tabelle 19: Abhängige Variablen .....	128
Tabelle 20: Vergleich des Fahrerverhaltens - Primär- vs. Sekundär-HUD .....	129
Tabelle 21: AAM-Kriterien Primär- und Sekundär-HUD .....	129
Tabelle 22: Differenzen im Fahrerverhalten Primär- vs. Sekundär-HUD.....	130
Tabelle 23: Einfluss Anzeigeort auf Fahrerverhalten - CID vs. HUD .....	131
Tabelle 24: Mittelwerte Fahrerverhalten - CID vs. HUD .....	132
Tabelle 25: AAM-Kriterien für Blickdauer HUD vs.CID .....	133
Tabelle 26: Einfluss Verkehrssituation auf Fahrerverhalten - HUD vs. CID.....	133
Tabelle 27: Differenz zwischen Bedien- und kumulierter Blickdauer .....	137
Tabelle 28: Fahrfehler - HUD vs. CID .....	138
Tabelle 29: Blickverhalten - ORION vs. iDrive .....	141

## FORMELVERZEICHNIS

Formel 1: Polynom für die Beschreibung einer Freiformfläche .....	12
Formel 2: Gleichung für die Meridiankurve einer asphärischen Fläche .....	14

---

Formel 3: Sinus-Bedingung .....	16
Formel 4: Zeitvorteil bei einer Sakkade.....	44
Formel 5: Berechnungsvorschrift für die Anzahl der Versuchspersonen .....	50
Formel 6: Gesamtabweichung bei einer zweifaktoriellen Varianzanalyse .....	52
Formel 7: Berechnungsvorschrift für Time to Collision (TTC).....	61
Formel 8: Berechnungsvorschrift für Standard Deviation of Lateral Position (SDLP).....	62
Formel 9: Mittlere Geschwindigkeit in einer Sekunde über alle Versuchspersonen .....	106
Formel 10: Mittlere Beschleunigung in einer Sekunde über alle Versuchspersonen .....	107
Formel 11: Berechnung der Aktivität in der Nebenaufgabe .....	107