

Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München

Das Steer-by-Wire System im Kraftfahrzeug

–

Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit

Irina Theis

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

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

Prüfer der Dissertation:

1. Univ-Prof. Dr. rer.nat. Heiner Bubb
2. Univ-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Karl-Theodor Renius

Die Dissertation wurde am 15.01.2002 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 19.04.2002 angenommen.

Ingrid und Helmut gewidmet

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei der BMW Technik GmbH, München für die Überlassung des sehr interessanten Themas bedanken. Meinen damaligen Vorgesetzten, Kolleginnen und Kollegen danke ich für ihre freundliche Unterstützung.

Herrn Prof. Heiner Bubb (Lehrstuhl für Ergonomie der TU München) gilt mein besonderer Dank. Zahlreiche wissenschaftliche Diskussionen, seine konstruktiven Hinweise und Anregungen haben maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Oliver Sträter für sein großes Interesse und Engagement. Die wertvollen Diskussionen brachten die entscheidenden Impulse für diese Dissertation.

Herrn Rainer Marstaller vom Lehrstuhl für Ergonomie danke ich für seine Hilfsbereitschaft und Unterstützung bei der Durchführung der Fahrsimulatorstudie.

Meiner Familie und Sven danke ich herzlich für ihre Ermutigungen und Aufmunterungen – ihre Unterstützung auf meinem Weg ist von besonderer Bedeutung.

Inhalt

Inhalt	I
1 Einleitung	1
2 Funktionale Spezifikationen eines Steer-by-Wire Systems	3
2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen	6
2.2 Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen an die Steer-by-Wire Systemkonfiguration	8
2.3 Systemzustände	11
2.4 Analyse der technischen Zuverlässigkeit	13
2.4.1 Qualitative Analyse der technischen Zuverlässigkeit	13
2.4.2 Analyse der Common Mode Failures	15
2.4.3 Quantitative Analyse der technischen Zuverlässigkeit	17
2.5 Warnungen	19
3 Menschliche Handlungszuverlässigkeit	26
3.1 Methoden zur Analyse der menschlichen Handlungszuverlässigkeit	28
3.1.1 Methoden der ersten Generation	29
3.1.2 Methoden der zweiten Generation	31
3.2 Anwendung von CREAM auf die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle des Steer-by-Wire Systems	32
4 Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle	35
4.1 Kontextanalyse	35
4.2 Faktorenanalyse	36
4.3 Sachliche Leistungsvoraussetzungen	39
4.3.1 Organisatorische Vorbedingungen	39
4.3.2 Technische Vorbedingungen	39
4.4 Klassifizierung gemäß systemergonomischem Ansatz	42
4.5 Menschliche Leistungsvoraussetzungen	45
4.6 Klassifizierung der Fehlerarten	48
4.7 Klassifizierung der kognitiven Verhaltenstendenzen	49
4.8 Ermittlung kritischer Kombinationen von Situationsfaktoren und kognitiven Verhaltenstendenzen	52
4.9 Anwendung von CAHR	54
5 Fahrsimulatorstudie	57
5.1 Zielsetzung der Fahrsimulatorstudie	58
5.2 Konfiguration der Fahrsimulatorstudie	59
5.2.1 Versuchsaufbau	59

5.2.2	Versuchsbedingungen	61
5.2.3	Konfiguration der Warnung	62
5.2.4	Versuchspersonen	63
5.2.5	Aufgaben der Versuchspersonen	63
5.3	Auswertung der Fahrsimulatorstudie	69
5.3.1	Auswertung des Fragebogens „Fragen zur Person“	70
5.3.2	Analyse der Reaktionen der Versuchspersonen auf die Warnung	70
5.3.3	Auswertung des Fragebogens „Allgemeine Fragen“	73
5.3.4	Ermittlung der kognitiven Verhaltenstendenzen	77
5.3.5	Auswertung des Fragebogens Teil 2	82
5.4	Ergebnis	83
5.5	Ableitungen von Maßnahmen aus den Versuchsergebnissen	84
6	Zusammenfassung	85
7	Literaturverzeichnis	87
Anhang I	Klassifizierung der kognitiven Verhaltenstendenzen	95
Anhang II	Expertenvoting – Auswertung	100
Anhang III	Der Fragebogen	103
Anhang IV	Rückmeldung der Versuchsleitung	110
Anhang V	Zusammenhang Selbsteinschätzung und Verhalten der Versuchspersonen	112
Anhang VI	Korrelationsanalyse – Bezug Fragebogen allgemeiner Teil / Allgemeine Fragen	116

1 Einleitung

Zur Verbesserung der Sicherheit im Straßenverkehr werden im Kraftfahrzeug zunehmend intelligente Assistenzsysteme wie Dynamische Stabilitätskontrolle, Aktive Geschwindigkeitsregelung, Automatische Abstandsregelung (Active Cruise Control), Navigationssysteme oder X-by-Wire Systeme (z.B. Steer-by-Wire oder Brake-by-Wire) eingesetzt.

Bei elektronischen Systemen, die über mechanische oder hydraulische Rückfallebenen verfügen, wird die Fahrzeugsicherheit bei Auftreten eines sicherheitsrelevanten Fehlers in der Elektronik durch die Deaktivierung der elektronischen Komponenten unter Rückgriff auf die mechanischen bzw. hydraulischen Komponenten gewährleistet.

Diese Systeme sind nach dem fail-safe-Prinzip ausgelegt, d.h. bei Auftreten eines Fehlers fallen sie zur sicheren Seite aus. Insbesondere bei den X-by-Wire Systemen ist der Trend zu verzeichnen, dass sie zukünftig ohne mechanische Rückfallebenen realisiert werden. Dies erfordert neben der Bestimmung der technischen Zuverlässigkeitsmerkmale auch die detaillierte Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle und auf deren Grundlage die Entwicklung neuer Ansätze eines Fehlermanagements, das sowohl die zuverlässige Handhabung auftretender Fehler als auch die geeignete Warnung und Information des Fahrers zu gewährleisten hat.

In den Bereichen Schienenverkehr, Luftverkehr, Nukleartechnik und chemische Großindustrie liegen bereits detaillierte Konzepte zur Beurteilung der menschlichen Handlungszuverlässigkeit sowie zur Gestaltung der Warneinrichtungen und Prozeduren zum Verhalten der Operateure im Fehlerfall vor. Im Automobilbereich waren bislang nur Analysen der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle von fail-safe-Systemen erforderlich.

Durch die Implementierung von by-Wire Systemen ohne mechanische Rückfallebene werden an den Fahrer neben der Fahraufgabe zusätzliche Anforderungen gestellt. Sie werden zunehmend in das Sicherheitskonzept des Gesamtsystems integriert, ihr Verhalten im Systemfehlerfall hat damit einen entscheidenden Einfluss auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Systems.

Um eine effiziente Aussage hinsichtlich der zuverlässigkeitstechnischen Eigenschaften sicherheitsrelevanter Fahrzeugsysteme zu erzielen, sind neben der technischen Zuverlässigkeit auch die Aspekte der menschlichen Handlungszuverlässigkeit sicherheits- und zuverlässigkeitstechnisch zu analysieren.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Vorgehensweise zur zuverlässigkeitstechnischen Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle eines sicherheitsrelevanten Fahrzeugsystems, einem rein elektronischen Steer-by-Wire System (SbW) entwickelt.

Diese Vorgehensweise beinhaltet die qualitative und die quantitative Bewertung der technischen Zuverlässigkeit einer SbW-Systemkonfiguration sowie die Analyse der menschlichen Handlungszuverlässigkeit im Systemfehlerfall.

Es erfolgt eine Kontextanalyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle des SbW-Systems, die neben der Analyse straßenverkehrsspezifischer Situations- und Umgebungsfaktoren die Bewertung individueller menschlicher Faktoren sowie die Beurteilung von Prinzipien der menschlichen Informationsverarbeitung umfasst.

Auf der Basis der Kombination sachlicher Faktoren mit menschlichen Aspekten werden Fehlermechanismen ergründet und mögliche Verhaltensweisen von Fahrern und ihre Relevanz im Fehlerfall des SbW-Systems prognostiziert.

Die Anwendung des systemergonomischen Ansatzes sowie des methodischen Werkzeugs CAHR auf die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle soll den Nachweis erbringen, dass dieses Verfahren geeignet ist, die Mensch-Technik-Interaktionen verschiedener Industriebereiche miteinander zu vergleichen und damit einen Synergieeffekt der entwickelten Methode auf unterschiedliche technische Anwendungsbereiche belegen.

Die Durchführung einer Fahrsimulatorstudie, in der die menschliche Reaktion auf eine Warnung im Systemfehlerfall analysiert wird, dient der abschließenden Verifizierung der methodischen Vorgehensweise und der Validierung der dabei erzielten Ergebnisse.

2 Funktionale Spezifikationen eines Steer-by-Wire Systems

Im Automobilbereich stellen mechanische Lenkanlagen mit hydraulischer oder elektrischer Kraftunterstützung den Stand der Technik dar. Diese herkömmlichen Lenkanlagen gelten als ausfallsicher, da ihre Komponenten deterministisch konstruiert werden: Unter Berücksichtigung der maximal zu erwartenden Belastung und der entsprechenden Auslegung der Belastbarkeit wird z.B. durch Überdimensionierung einem mechanischen Bauteilversagen konstruktiv vorgebeugt. In der Literatur werden keine nennenswerten Unfälle erwähnt, die durch den Ausfall einer Lenkanlage verursacht wurden. Es liegen darüber hinaus keine Statistiken über Defekte mechanischer Komponenten in Lenkanlagen vor. Kommt es bei konventionellen Lenkanlagen zu einem Ausfall der Kraftunterstützung, so bleibt die Grundfunktion „Lenken“ erhalten, das Fahrzeug ist, wenn auch mit größerem Kraftaufwand, noch lenkbar.

Gleiches gilt für elektronische Systeme, die über mechanische oder hydraulische Rückfallebenen verfügen, wie z.B. bei ABS oder DSC. Diese Systeme sind ebenfalls nach dem fail-safe-Prinzip ausgelegt: Die Fahrzeugsicherheit wird bei Auftreten eines sicherheitsrelevanten Fehlers in der Elektronik durch die Deaktivierung der elektronischen Komponenten unter Rückgriff auf die mechanischen bzw. hydraulischen Komponenten gewährleistet. Bei Ausfall des ABS ist die Grundfunktion „Bremsen“ noch immer vorhanden, bei Ausfall des Fahrdynamikregelsystems DSC erfährt der Fahrer unmittelbar keine merkliche Beeinträchtigung der Fahreigenschaften.

Insbesondere bei den X-by-Wire Systemen ist der Trend zu verzeichnen, dass sie zukünftig ohne mechanische Rückfallebenen realisiert werden, da eine mechanische Redundanz die Vorteile rein elektronischer Systeme stark reduzieren und die Kosten steigern würde (ATZ, 1999).

Das in dieser Arbeit betrachtete System ist ein rein elektronisches SbW-System, d.h. die mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und Lenkgetriebe wird vollständig durch elektromechanische Komponenten ersetzt. Das System verfügt damit nicht über eine mechanische Rückfallebene, auf die im Fehlerfall zurückgegriffen werden kann (siehe Bild 2-1).

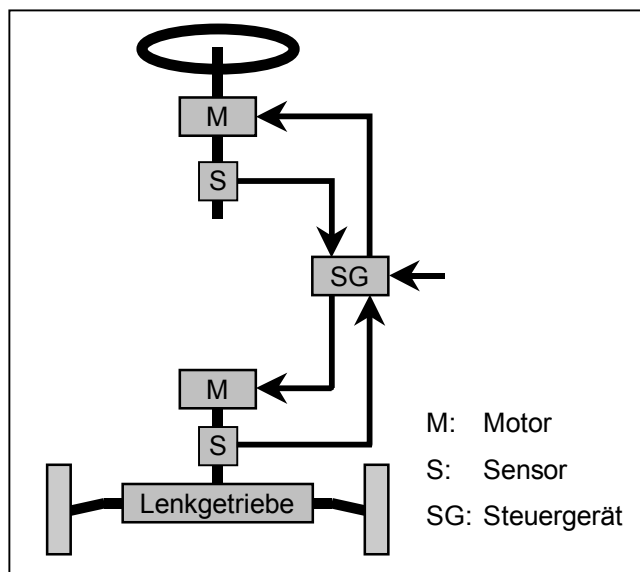


Bild 2-1: Prinzipdarstellung eines rein elektronischen Steer-by-Wire Systems

Systemkonfiguration

In Anlehnung an Guldner (1999) werden nachfolgend die Systemkonfiguration und die Funktionalitäten der Module und Komponenten dargestellt.

Das System besteht aus den Modulen Lenkrad, Lenkgetriebe, Steuergerät und Batterie. Über das Lenkrad erfolgt die Lenkwinkelvorgabe durch den Fahrer sowie die Rückmeldung des „Lenkgefühls“ an den Fahrer. Das Lenkrad ist über die Lenksäule mit einem elektrisch kommutierten (bürstenlosen) Gleichstrommotor mit integrierter Antriebselektronik verbunden, der das Rückmeldemoment erzeugt. Über Winkelsensoren wird der Lenkwinkel erfasst, kapazitive Drehmomentsensoren messen das Lenkradmoment. Die Fahrervorgabe des Lenkwinkels wird durch das Lenkgetriebe in eine Lenkbewegung der Vorderräder umgesetzt, des Weiteren wird die Rückmeldekräft aus dem Rad/Straße-Kontakt ermittelt. Durch zwei elektrisch kommutierte (bürstenlose) Gleichstrommotoren wird ein winkelüberlagerndes Planetengetriebe mit selbsthemmenden Antriebswellen und damit direkt das Lenkgetrieberitzel angetrieben. In das Überlagerungsgetriebe sind ebenfalls Winkel- und Drehmomentsensoren implementiert. Aus den Messdaten des Lenkrad- und des Lenkgetriebe-Moduls werden im Steuergerät die Ansteuersignale für die elektrischen Antriebe ermittelt, das gleichzeitig auch alle Systemkomponenten überwacht. Im Fehlerfall wird durch das Steuergerät die Fahrerwarnung aktiviert. Die Energieanbindung des SbW-Systems an das Bordnetz wird durch das Batteriemodul mit integrierter Pufferbatterie realisiert, das bei Ausfall des Bordnetzes das Batteriemodul eine Notversorgung des SbW-Systems sicher stellt.

Auf das Sicherheitskonzept wird in Kapitel 2.2 eingegangen.

Motivation der Entwicklung eines rein elektronischen Steer-by-Wire Systems

Die vollständige mechanische Entkopplung zwischen Lenkrad und Lenkgetriebe ermöglicht die Implementierung von Funktionen, die für konventionelle Lenkungssysteme nicht oder nur sehr schwer und mit großem Aufwand zu realisieren sind. Einige Vorteile eines SbW-Systems gegenüber herkömmlichen Lenkanlagen werden nachfolgend exemplarisch aufgeführt. Eine ausführliche Darstellung der funktionalen SbW Potenziale enthalten u.a. die Arbeiten von Stanton (1996), Stanton (1997), Guldner (1999) sowie ATZ (1999).

Als ein wesentlicher Vorteil rein elektrischer Lenkanlagen gegenüber mechanischen ist die Variation der Systemeigenschaften zu nennen, die allein durch Änderung steuerungs- und regelungstechnischer Softwareparameter erzielt werden kann.

Bei rein mechanischen Lenkanlagen sind die Lenkcharakteristiken durch die technischen Rahmenbedingungen definiert, durch die Implementierung von SbW ist es hingegen möglich, die Kennlinien der Lenkeigenschaften individuell zu gestalten. Die Kennlinien der Lenkübersetzung (Lenkradwinkel/Radwinkel), Momentenübersetzung von Lenkgetriebe und Lenkrad und auch die Kennlinie des rein in Software realisierten Feder/Dämpfer-Systems am Lenkrad, das der Verbesserung der Störunterdrückung mit Beibehaltung der fahrerrelevanten Rückmeldung vom Rad/Straße-Kontakt dient, können optimal parametrisiert werden.

Um eine maximale Radstellung zu erreichen, sind in derzeitigen Lenkungsanlagen mehrere Lenkraddrehungen erforderlich. Durch SbW kann eine Reduzierung des Lenkwinkelbereichs erfolgen, indem durch die variable Programmierung der SbW-Software erreicht wird, dass eine kleine Lenkradbewegung eine maximale Radstellung erzielt. Der Lenkwinkel kann mechanisch am Lenkrad auf $\pm 160^\circ$ begrenzt werden, wodurch ein Fahren ohne Umgreifen in allen Fahrsituationen und insbesondere ein bequemes Parkieren realisiert werden kann.

Bei SbW kann eine fahrzustandsabhängige Lenkübersetzung definiert werden. Es wird ermöglicht, eine geschwindigkeitsabhängige Empfindlichkeit der Lenkung zu realisieren, Störeinflüsse, sowohl an den Vorderrädern als auch am Lenkrad, verursacht durch z.B. Kopfsteinpflaster, Bahnschienen oder Seitenwind, sind ausgleichbar. Fahrdynamikeingriffe zur Fahrzeugstabilisierung, automatisiertes Einparken, Spurhalteunterstützung und automatische Spurführung sind ebenfalls zu ermöglichen.

In bisherigen Lenkungsanlagen hat ein Frontalaufprall zur Folge, dass die Sicherheit des Fahrers durch die mit der Rückverlagerung der Lenksäule in den Fahrgastraum verbundenen Lenkradrückverlagerung stark beeinträchtigt ist. Durch SbW kann eine signifikante Erhöhung der passiven Sicherheit erreicht werden. Beim Frontalaufprall wird der Fahrer nicht mehr der Lenkradrückverlagerung und damit verbundenen Gefährdung ausgesetzt, durch den Entfall der Lenksäule wird der Überlebensraum nicht reduziert und der Platz ist z.B. für intelligentere Airbags nutzbar.

Durch den Entfall der Lenksäule ergeben sich zudem bessere Möglichkeiten für das Vorderwagen – Package und konstruktive Möglichkeiten für den Einbau von Aggregaten im Motorraum.

Die Implementierung eines mechanisch entkoppelten SbW ermöglicht des weiteren den Fahrerplatz innovativ zu gestalten, es wird dabei eine höhere Flexibilität bei der Lenkrad-Positionierung erzielt. Neue Möglichkeiten der Lenkradgestaltung und die Entwicklung von Bedienkonzepten, wie sie z.B. durch den Joystick oder durch Bedienelemente ähnlich derer in Flugzeugen zu realisieren sind, stellen weitere Vorteile des SbW dar.

2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Entwicklung und Herstellung von Produkten werden durch verschiedene rechtliche Rahmenbedingungen reglementiert. Für technische Systeme wird aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten gefordert, dass ein Fehler nicht zu einer Gefährdung führen darf.

Der Begriff „Fehler“ wird in VDI VDE 3542 folgendermaßen definiert:

„Nichterfüllung mindestens einer Anforderung an ein erforderliches Merkmal einer Betrachtungseinheit“ (VDI VDE 3542, 1988).

Unter „Fehler“ ist somit der Zustand einer Betrachtungseinheit zu verstehen, in dem diese unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen.

Das Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte – Produkthaftungsgesetz vom 15.12.1989 (ProdHaftG, 1989) beinhaltet die allgemein gehaltene Anforderung an den Hersteller eines Produkts, das Produkt so auszulegen, dass durch einen Fehler an dem von ihm hergestellten Produkt keine Gefahr ausgehen darf. Die Verpflichtung des Herstellers Schadenersatz zu leisten, wenn ausgehend von einem Fehler an dem von ihm hergestellten Produkt ein Mensch oder eine Sache bei dem ordnungsgemäßen Gebrauch des Produkts beschädigt wird, wird folgendermaßen formuliert:

„§ 1. (1) Wird durch den Fehler eines Produkts jemand getötet, sein Körper oder seine Gesundheit verletzt oder eine Sache beschädigt, so ist der Hersteller des Produkts verpflichtet, dem Geschädigten den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen. Im Falle der Sachbeschädigung gilt dies nur, wenn eine andere Sache als das fehlerhafte Produkt beschädigt wird und diese andere Sache ihrer Art nach gewöhnlich für den privaten Ge- oder Verbrauch bestimmt und hierzu von dem Geschädigten hauptsächlich verwendet worden ist.“

Für den konkreten Fall der Entwicklung eines SbW-Systems kommen zusätzlich die für Lenkanlagen geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen zur Anwendung. Aus den zum Zeitpunkt der Analyse des SbW-Systems geltenden europäischen und deutschen Regelwerken zur Zulassungsfähigkeit von Lenkanlagen geht eindeutig hervor, dass rein elektrische Lenkanlagen ohne mechanische Wirkverbindung zwischen Lenkrad und gelenkten Rädern nicht zulassungsfähig sind:

Gemäß StV 13/36.25.25.10-06 (zu §38 StVZO) wird in folgenden Paragraphen festgelegt (StVZO, 2000):

§2.2.2.1 vom 13.5.1987 „Lenkanlagen dürfen keine rein elektrischen (...) und keine rein pneumatischen Übertragungseinrichtungen haben.“

§2.2.4.2.1 „Fremdkraftlenkanlagen sind nur zulässig in Kraftfahrzeugen mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 50 km/h, (...) und wenn (...) zusätzlich zur Energiequelle noch ein weitere Fremdkraftquelle vorhanden ist.“

ECE-R 79 (zu §38 StVZO), Stand 5.12.1994

§5.2.1.1.3 „(Es) muß (...) eine kontinuierliche, gleichbleibende Abhängigkeit zwischen dem Lenkwinkel der Betätigungseinrichtung und dem Lenkwinkel der Räder bestehen.“

EWG 70/311 (92/62) Anhang I, Stand 2.7.1992 (EWG 1999)

§4.1.6 „(...) rein elektrische Übertragungseinrichtungen (...) sind so lange verboten, bis die Vorschriften dieser Richtlinie durch spezielle Vorschriften für diese Einrichtungen ergänzt wurden.“

Die im Automobilbereich vorliegenden Stückzahlen und die unregelmäßigen Wartungsintervalle der Automobile erfordern besonders hohe Sicherheitsanforderungen an by-Wire Systeme. Gegenwärtig befassen sich verschiedene Automobilhersteller und die Automobilzulieferindustrie mit der Entwicklung von by-Wire Systemen im Kraftfahrzeug, die zudem gemeinsam die Erwirkung einer Modifizierung der gesetzlichen Vorschriften sowie die Zulassungsfähigkeit von by-Wire Systemen anstreben. Im Vordergrund der Überarbeitung der Regelwerke zur Zulassungsfähigkeit von by-Wire Systemen stehen dabei die Festlegung von Fehlertoleranz- und Fehlerüberwachungsmechanismen sowie geeigneter Testverfahren. Es kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass by-Wire Systeme mindestens die gleichen Sicherheitscharakteristika aufweisen müssen wie herkömmliche Lenkungsanlagen.

Aus Herstellersicht besteht eine gesellschaftsorientierte Notwendigkeit, bei der Entwicklung sicherheitsrelevanter Fahrzeugsysteme zielgerichtete Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalysen mit maximalem Aufwand zu betreiben, anhand der dabei gewonnenen Erkenntnisse Maßnahmen zu ergreifen, um somit einen optimalen Schutz der Verkehrsteilnehmer vor materiellen Schäden und Personenschäden zu gewährleisten (Leveson, 1995).

Nicht nur aus ethisch-moralischen Gründen spielt die Durchführung von Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalysen sicherheitsrelevanter Systeme eine bedeutende Rolle, sie sind auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten für die Automobilhersteller unabdingbar.

Dies zeigen insbesondere die aus USA bekannt gewordenen Schadenersatzklagen im US-amerikanischen Rechtsgebiet „Produkthaftung“, bei dem immer höhere Schadenersatzurteile gegen Automobilhersteller ausgesprochen werden.

Im Amerikanischen Produkthaftungsprozess verliert der Beklagte immer, selbst dann, wenn das beklagte Unternehmen den Produkthaftungsprozess gewinnt. Gegenüber dem deutschen Recht muss der Prozessgewinner in USA seine eigenen Anwalts- und Verteidigungskosten selbst tragen, die sich für den Hersteller nicht selten auf mehrere Millionen US-Dollar belaufen. Die Prozesshaftungsfälle können sich über eine Dauer von fünf, nicht selten auch über zehn Jahre hinziehen. Das bislang höchste Urteil in einem Automobilhaftungsprozess wurde 1999 von einer Jury in Los Angeles ausgesprochen, die General Motors zu einer Schadenersatzsumme in Rekordhöhe von 4,9 Milliarden US-Dollar verurteilte (Hecht, 2000). In der ersten Instanz wurde diese Summe zwar auf 1,2 Milliarden US-Dollar reduziert, aber auch diese Größenordnung zeigt, welche Bedeutung das Thema „Sicherheit und Zuverlässigkeit“ im Automobilbau einnimmt.

Das diskutierte Steer-by-Wire System stellt eine Konzeptstudie dar und unterliegt daher nicht der derzeit geltenden Rahmengesetzgebung. Im Hinblick auf die Zulassungsfähigkeit rein elektrischer Lenkungsanlagen wird der Nachweis erbracht werden müssen, dass diese Lenkungsanlagen mindestens die gleichen Sicherheitskriterien erfüllen wie herkömmliche Lenkungsanlagen.

Um diesbezüglich die Grundlage für eine Serienentwicklung des SbW-Systems zu schaffen, wurden in diesem Projekt die Methoden und Maßnahmen der Sicherheits- und Zuverlässigkeitstechnik angewandt. Die gewonnenen Erkenntnisse können damit direkt in den Entstehungsprozess weiterführender SbW-Projekte einfließen. Die in dieser Arbeit dargestellte Vorgehensweise der Durchführung der Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse ist auf andere Krafffahrzeugsysteme übertragbar, die sicherheitsrelevanten gesetzlichen Zulassungskriterien unterliegen.

2.2 Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen an die Steer-by-Wire Systemkonfiguration

Die Vorteile von SbW-Systemen wurden in Kapitel 2 erörtert. Dem gegenüber stehen Nachteile wie der Einfluss von Umgebungsbedingungen (Klimatische Bedingungen, EMV) und insbesondere die somit schwer zu prognostizierende Sicherheit und Zuverlässigkeit des Systems.

Der Ersatz der physikalischen Funktion eines mechanischen Lenkungssystems durch ein elektrisch/elektronisches kann bei gleichem Sicherheitsstandard nur mit einem großen Aufwand an Hardware und Software ermöglicht werden. Die daraus resultierende höhere Systemkomplexität weist eine geringere Zuverlässigkeit auf (Meyna, 1994). Die dadurch entstehenden Problemstellungen sind nur durch eine konsequente Betrachtung der Sicherheitsaspekte lösbar. Anhand von Regelwerken (DIN V 19250, 1994) und (DIN V 19251, 1995) sind Risikodefinitionen und Abschätzungen der funktionalen Sicherheit zu erstellen.

Im Hinblick auf die Optimierung der Gesamtsystemzuverlässigkeit ist bei der Systemkonfiguration zu bedenken, wie potenzielle Fehler kompensiert werden können. Das Bild 2-2 zeigt, dass die Zuverlässigkeit von nicht fehlertoleranten Seriensystemen mit zunehmender Komponentenanzahl abnimmt, fehlertolerante Parallelsysteme erzielen bei zunehmender Komponentenanzahl eine höhere Systemzuverlässigkeit. So ist, sofern möglich, eine fehlertolerante Systemkonfiguration anzustreben.

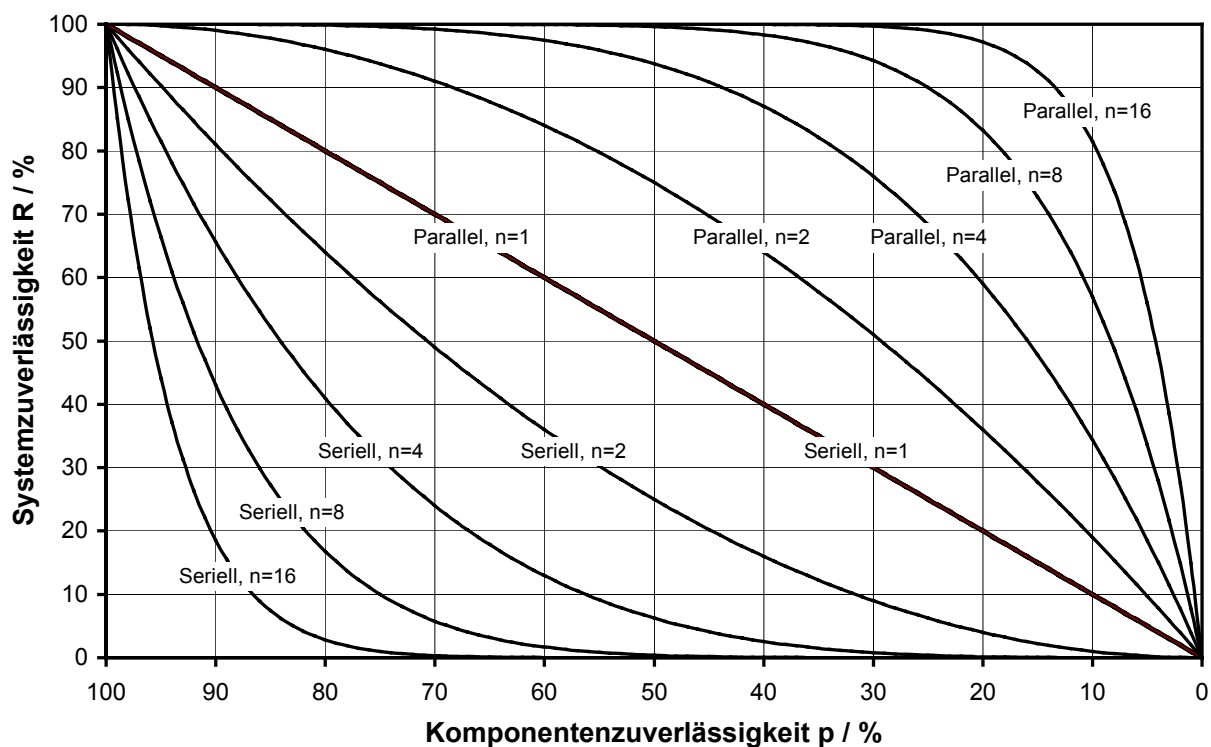


Bild 2-2: Einfluss der Komponentenanzahl n (Komplexität) auf die Systemzuverlässigkeit R mit $p =$ Überlebenswahrscheinlichkeit (Zuverlässigkeit) einer Komponente (nach Meyna, 1994)

Es gilt zu beachten, dass der Einsatz elektronischer Komponenten hinsichtlich der Vorhersage ihrer Sicherheits- und Zuverlässigkeitscharakteristika grundsätzlich durch folgende Faktoren erschwert wird.

Die konstruktive Prüfung elektronischer Komponenten ist problematisch, da die Komponenten stets verkapselt sind. Interne Inspektionen, abgesehen von Röntgenstrahlendiagnose für Bauteile mit höchsten Zuverlässigkeitsanforderungen und Fehlerdiagnosen sind daher kaum möglich. Bei elektronischen Bauteilen sind sehr exakte Abmessungen erforderlich, jedoch sind Produktionsschwankungen bei Grundgesamtheiten elektronischer Komponenten aufgrund der hohen Stückzahlen nahezu unvermeidlich. Funktionsausfälle elektronischer Bauteile können innerhalb ihrer Spezifikationen durch automatische Prüfverfahren diagnostiziert werden, ein Komponentenverschleiß ist allerdings nur sehr bedingt feststellbar.

Es ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, die prinzipielle Vorgehensweise zur Konfiguration und Auslegung sicherheitsrelevanter Komponenten und Systeme zu beschrei-

ben. Die möglichen Methoden und Maßnahmen zur Systemsynthese werden u.a. von Meyna (1994), O'Connor (1990) und Bedford (1997) ausführlich diskutiert. Zudem ist es nicht angedacht, die detaillierte Systemkonfiguration und die spezifischen Funktionalitäten des SbW darzustellen. Vielmehr wird im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigt, wie eine Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse systematisch und methodisch durchgeführt werden sollte, um anhand der gewonnenen Erkenntnisse eine sicherheitstechnisch bestmögliche Systemkonfiguration zu entwickeln, die eine mit den herkömmlichen Lenkungsanlagen vergleichbare Zuverlässigkeit aufweist und damit gesetzliche Forderungen erfüllt.

Neben den in Kapitel 2 beschriebenen funktionalen Anforderungen an das SbW-System wurden in der Designphase folgende sicherheits- und zuverlässigkeitstechnischen Anforderungen gestellt, die bei der Systemkonfiguration zu berücksichtigen waren.

- Das Gesamtsystem soll eine Fehlertoleranz aufweisen, wodurch die geforderte Funktion des Systems bei Auftreten von Fehlzuständen von Komponenten oder Modulen weiterhin gewährleistet ist.
- Die Lenkvorgabe des Fahrers muss bei Auftreten eines Fehlers erhalten bleiben, unabhängig von der Fehlerart und der Lokalität des Fehlers
- Das Gegenmoment am Lenkrad darf bereits bei einem Fehler ausfallen
- Jeder Fehler muss systemseitig zuverlässig erkannt und registriert werden
- Der Fahrer muss bei Auftreten eines sicherheitsrelevanten Fehlers zuverlässig gewarnt werden.

Unter Berücksichtigung der in der Sicherheits- und Zuverlässigkeitstechnik angewandten Methodik zur Systemsynthese, der sicherheitsgerechten Auslegung von Komponenten (z.B. ausreichend hohe Festlegung der Grenzlast von Elektromotoren) und der o.g. Prämissen wurde eine prinzipielle Systemkonfiguration entwickelt, der das Prinzip der aktiven, funktionsbeteiligten Redundanz zugrunde liegt. Mit dieser mehrfachen Auslegung sich gleichzeitig in Betrieb befindender Komponenten soll die Steigerung der Systemzuverlässigkeit erzielt werden, die Konfiguration ist in Bild 2-3 dargestellt:

- Dreifache Redundanz der Winkelsensorik im Lenkrad- und im Lenkgetriebe-modul
- Dreifache Redundanz der Steuergeräte
- Zweifache Redundanz der Aktuatorik im Lenkgetriebe-modul
- Zweifache Redundanz der Drehmomentsensorik (MS) in Lenkrad- und Lenkgetriebe-modul
- Einfach ausgelegte Aktuatorik im Lenkradmodul

- Jedem Steuergerät ist ein Satz Sensorik zugeordnet; jedes Steuergerät berechnet unabhängig ein Ansteuersignal für jeden der drei Aktuatoren
- Ausfallsichere Mehrheitsentscheidungskomponenten (Voter) bestimmen durch Majoritätsredundanz (2-von-3 Auswahl für das Fahrer-Lenkvorgabe-/Lenkgetriebemodul, 1-von-2 Auswahl für das Rückmeldung-/Lenkradmodul) für jeden Aktuator, welches Ansteuersignal verwendet wird. Fehlerhafte Größen werden von der Bildung der Ausgangsgröße ausgeschlossen.
- Zwei unabhängige Energieversorgungen für jede einzelne Komponente
- Zusätzliche Batterie neben dem Bordnetz (nicht in Bild 2-3 gezeigt)
- Jeder Aktuator wird von jedem Steuergerät überwacht
- Die Fahrerwarnung ist zweifach redundant

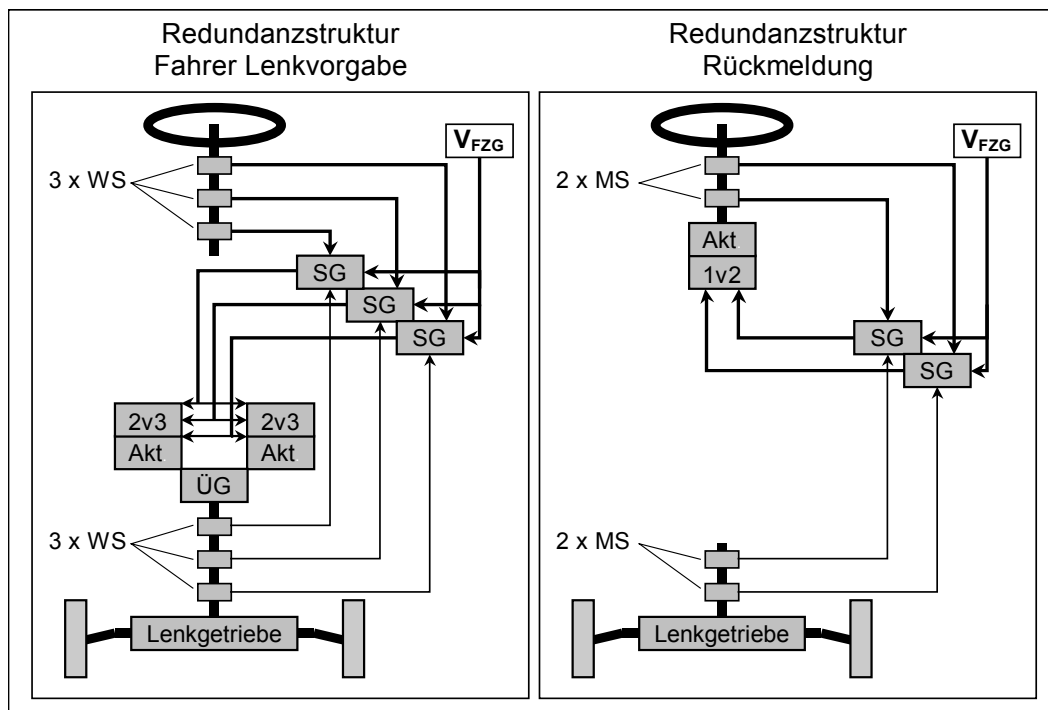


Bild 2-3: Redundanzstrukturen der SbW-Systemkonfiguration (Guldner, 1999) Legende: SG – Steuergerät, Akt – Aktuator, ÜG - Überlagerungsgetriebe, WS - Winkelsensor, MS – Drehmomentsensor, V_{FZG} – Versuchsfahrzeug

2.3 Systemzustände

Systeme, die über ein Sicherheits-Subsystem wie im vorliegenden Fall mit Votern verfügen oder mit Redundanzstrukturen ausgestattet sind, in denen die nach einem Komponentenausfall verbleibenden Komponenten nur zeitlich begrenzt ihre geforder-

te Funktion erfüllen, können verschiedene Systemzustände einnehmen (Theis, 1997).

Beim vorliegenden SbW-System führt die geforderte Fehlertoleranz und die daraus resultierende redundante Konfiguration der Sensoren, Voter und Antriebe System zu drei möglichen Systemzuständen: Zwei funktionsfähige Zustände S1 und S2 und einen Fehlzustand S3. Bild 2-4 verdeutlicht die möglichen Systemzustände des SbW-Systems.

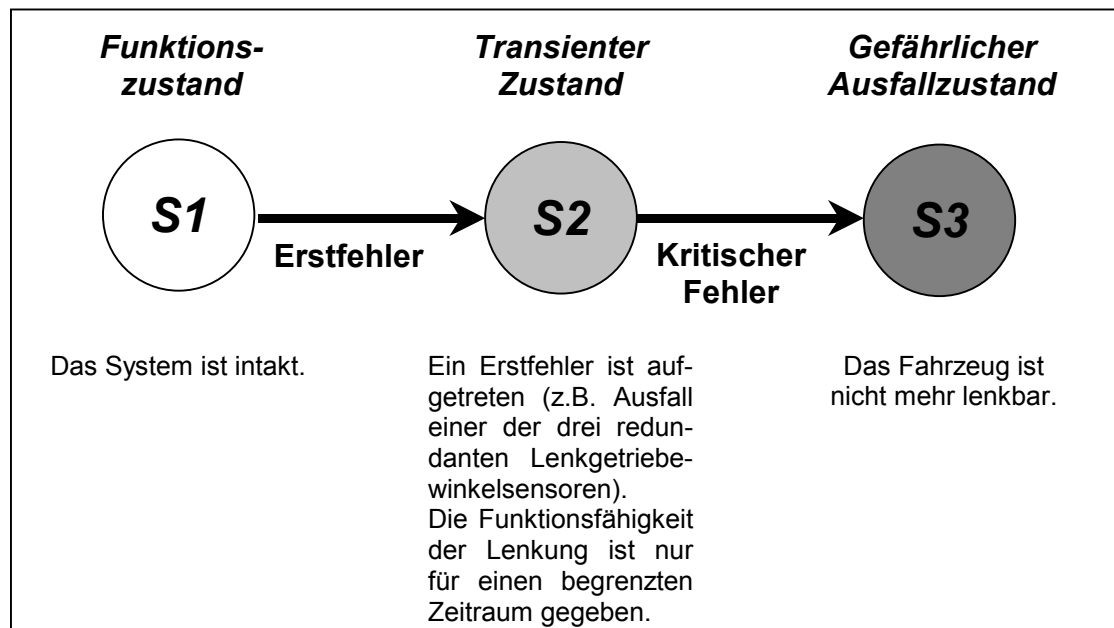


Bild 2-4: Systemzustände des Steer-by-Wire Systems

In Zustand S1, dem Sollzustand, erfüllt das System alle Anforderungen hinsichtlich Funktionalität, Sicherheit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit. Nach Auftreten eines sicherheitsrelevanten Erstfehlers in einer Komponente oder in einem Modul (Beispiel Ausfall eines Sensors in einer 2v3-Redundanz) nimmt das System den transienten sicherheitsrelevanten Funktionszustand S2 ein, in dem das System zwar funktionsfähig ist, die Funktionalität aber nur begrenzt gewährleistet ist. Ein weiterer Fehler innerhalb dieses Moduls (Ausfall eines zweiten Sensors) überführt das System in den gefährlichen Ausfallzustand S3. In diesem Systemzustand wird die geforderte Funktion nicht mehr erfüllt, das System ist nicht mehr lenkbar.

Nach Auftreten eines sicherheitsrelevanten Erstfehlers muss der Fahrer daher zuverlässig gewarnt und über den Systemzustand informiert werden und erklärende Handlungshinweise zu seinem weiteren Verhalten erhalten.

Dies erfordert die Entwicklung eines geeigneten Warnszenarios (siehe Kapitel 2.5).

2.4 Analyse der technischen Zuverlässigkeit

Die technische Zuverlässigkeit ist „die Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt eine geforderte Funktion erfüllt, ohne unter bestimmten Bedingungen über einen bestimmten Zeitraum zu versagen“ (Connor, 1990).

Aus den in Kapitel 2 dargestellten funktionalen Anforderungen an das SbW-System resultiert die in Kapitel 2.2 beschriebene Systemkonfiguration und die in Kapitel 2.3 aufgeführten möglichen Systemzustände. Um diese Systemkonfiguration und das Verhalten des Systems sicherheits- und zuverlässigkeitstechnisch bewerten zu können, ist die Anwendung qualitativer und quantitativer Analyseverfahren erforderlich.

Zur Analyse der technischen Zuverlässigkeit des SbW-Systems wurden die Ausfallart- und Fehlereffekt-Analyse und die Analyse der Common Mode-Failures sowie die Fehlerbaumanalyse angewandt.

Die Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

2.4.1 Qualitative Analyse der technischen Zuverlässigkeit

Zur qualitativen Analyse der Steer-by-Wire Systemkonfiguration wurde die in der Automobilindustrie am häufigsten angewandte Methode gewählt, die Ausfallart- und Fehlereffektanalyse (FMEA – Failure Mode and Effects Analysis). Die Durchführung der FMEA ermöglicht, potenzielle Komponenten- und Systemfehler und ihre Ausfallarten systematisch zu erfassen. Durch die FMEA kann eine präventive Qualitätsverbesserung erzielt werden, da sich schon in der Entwicklungsphase eines Produkts oder Systems potenzielle Schwachstellen ermitteln lassen und damit frühzeitig Verbesserungsmaßnahmen zur Risikovermeidung und Risikobegrenzung eingeleitet werden können.

Im Rahmen des SbW-Projekts wurde eine FMEA „Produkt“ durchgeführt. Im Gegensatz zur FMEA „Prozess“, in der der Herstellungsprozess eines Produkts analysiert wird, erfolgte hier durch die FMEA die Analyse möglicher Funktionsfehler des Produkts „Steer-by-Wire System“. Die Vorgehensweise zur Durchführung der FMEA wird in (VDA, 1996) beschrieben.

In dieser Arbeit erfolgt eine Beschränkung auf die Darstellung der bei der Durchführung der FMEA gewonnenen Erkenntnisse, die zum Gesamtverständnis der Arbeit erforderlich sind. Detaillierte Ausführungen zur Durchführung und zu den Resultaten der FMEA sind der Dokumentation von Guldner (1999) zu entnehmen.

Das Steer-by-Wire System wurde in *mechanische Komponenten*, *elektronische Komponenten* und *Energieversorgung* unterteilt. Auf die Analyse der in herkömmlichen Lenkanlagen enthaltenen Elemente *Lenkrad*, *Spurstange* und *Lenksäule* wurde verzichtet, da diese bei ihrer Konstruktion mit ausreichend hohen Sicherheitsfaktoren beaufschlagt wurden.

Tabelle 2-1 bietet einen zusammenfassenden Überblick der durch die FMEA ermittelten möglichen Ausfallarten der einzelnen Systemkomponenten bzw. Module.

Tabelle 2-1: Zusammenfassender Überblick über die Ausfallarten des Steer-by-Wire Systems

Komponente/Modul	Ausfallart
Sensoren	kein Messwert falscher Messwert Kurzschluss
Verbindungsleitungen (Datentransfer und Energieversorgung)	Unterbrechung Kurzschluss fehlerhafte Datenübertragung
Steuergeräte	Ausfall (keine Funktion) Teilausfall (einige Komponenten sind nicht funktionsfähig) fehlerhafter interner Zustand fehlerhafte Berechnung der Kenngrößen
Aktuatoren	freies Durchdrehen (stromlos) Verklemmung aktive Fehlfunktion (z.B. Ist-Drehzahl entspricht nicht der Soll-Drehzahl)
Energieversorgung	Ausfall Spannungseinbruch Kurzschluss

Die vorliegende FMEA (Guldner, 1999) wurde mit der Zielsetzung durchgeführt, die Funktionssicherheit der derzeitigen Systemkonfiguration zu beurteilen und bei dringendem Handlungsbedarf Maßnahmen zu ergreifen. Auf Grund des Prototypenstatus des SbW-Systems wurde auf die bei einer FMEA üblicherweise durchgeführte Bewertung, Priorisierung und anschließende langfristige Verfolgung der Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheits- und Zuverlässigkeitsmerkmale verzichtet.

Zusammenfassend konnten durch die FMEA folgende Erkenntnisse gewonnen werden.

- Es wurden 135 mögliche Fehlerarten ermittelt.
- Bei den mechanischen Komponenten wies kein Systemelement die Eigenschaft auf, die gemäß der in (VDA, 1996) angegebenen Bewertungskriterien einen unmittelbaren Handlungsbedarf zur Risikominderung erfordern würde
- Es wurde z.B. eine Systemschwachstelle bei Steckverbindungen innerhalb der elektronischen Komponenten identifiziert.
- Das Sicherheitskonzept der redundanten Auslegung zu Erhöhung der Systemzuverlässigkeit wurde durch die FMEA bestätigt. Durch die fehlertolerante Redundanzstruktur werden Erstfehler kompensiert.

2.4.2 Analyse der Common Mode Failures

Die Sicherheit und Zuverlässigkeit technischer Systeme werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Das gleichzeitige, auf eine gemeinsame Ursache zurückzuführende Versagen mehrerer Komponenten oder Module eines Systems wird als common mode failure bezeichnet. Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Vibration, Schmutz, Störfelder), fehlerhafte Montage der Komponenten, unzureichende Komponentenspezifikationen etc. stellen potenzielle Quellen für common mode failures dar. Fehler gemeinsamer Ursache können teilweise bereits in der Designphase des Systems identifiziert und ihre Auftretenswahrscheinlichkeit durch die Entwicklung von Maßnahmen minimiert werden. Bei redundanten Strukturen ist die Betrachtung von common mode failures von besonderer Relevanz, da hierbei die Wahrscheinlichkeit besteht, dass eine Fehlerursache bei allen gleichartigen Komponenten die gleichen Auswirkungen zeigt und so anstatt eines einzelnen Erstfehlers durch die gemeinsame Fehlerursache ein Mehrfachfehler entsteht, die gewünschte Fehlertoleranz aufgehoben und ein Systemausfall verursacht wird. Nachfolgend werden die Erkenntnisse der Analyse aufgeführt.

Komponentenkonfiguration/Redundanzform

Die Systemkonfiguration wurde durch eine durchweg homogene Redundanz der Komponenten und Module realisiert. Um common mode failures zu vermeiden, sollte Redundanz möglichst diversitär, d.h. mit ungleichartigen Komponenten oder Modulen ausgelegt werden. Aufgrund des Prototypenstatus der meisten Systemkomponenten war es nicht möglich, eine diversitäre Redundanzstruktur der Komponenten zu realisieren. Es ist allerdings situativ zu überprüfen, ob eine diversitäre Redundanz immer sinnvoll ist. Die im vorliegenden System angewandte Majoritätsredundanz, bei der eine zeitliche Synchronisierung der einzelnen Module erforderlich ist, ist bei identischer Redundanz leicht, bei diversitärer Redundanz hingegen erheblich schwerer realisierbar. Eine weitere Maßnahme, die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von common mode failures innerhalb der homogen redundanten Module zu minimieren, ist das Redesign der Modul-Architektur. Durch die Verwendung selbstüberwachender Komponenten kann der Voter entfallen, womit einem Ausfall der identischen Voter aufgrund einer gemeinsamen Ursache sowie einem daraus resultierenden Systemausfall vorgebeugt wird.

Umgebungsbedingungen

Die Analyse der durch die Umgebungsbedingungen verursachten common mode failures umfasste u.a. die Betrachtung folgende Parameter:

Temperatur

Die Elektronikkomponenten sind für einen erweiterten Temperaturbereich spezifiziert, d.h. von -40°C bis $+85^{\circ}\text{C}$, die Batterie hat eine Temperaturspezifikation von -40°C bis $+50^{\circ}\text{C}$. Da das System im Versuchsbetrieb des Prototypenstadiums diese Tem-

peraturbereiche nicht unter- bzw. überschreiten wird, ist nicht mit dem Auftreten von common mode failures infolge zu großer Temperatureinwirkung zu rechnen.

Feuchtigkeit/Korrosion

Bei der vorliegenden Systemkonfiguration wurde ein spritzwassergeschützter Einbau im Innenraum realisiert. Durch die Isolierung ist ein ausreichender Schutz gegen Feuchtigkeit und damit auch gegen Korrosion gewährleistet.

Vibration

Vibrationen wirken sich insbesondere auf Stecker, Steckverbindungen und Kabel kritisch aus. Beim Befahren von z.B. Kopfsteinpflaster oder Stoßfugen können große Vibrationen hervorgerufen werden, die

- eine Durchbiegung von Platinen im Steuergerät,
- ein Abheben eines Steckers oder
- eine ungenügende Halterung der Platinen

zur Folge haben können und damit als Ursache für mögliche common mode failures gelten. Um z.B. common mode failures bei Steckern und Steckverbindungen vorzubeugen, könnten die Verbindungen gelötet oder idealerweise gekrimpt werden.

Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Der Einsatz von Filtern und gefilterten Steckern an den Ein- und Ausgängen der Platinen ermöglicht, Mehrfachfehler, die durch Störfelder verursacht werden können, zu vermeiden. Aus Platzgründen wurde beim SbW-System auf diese Maßnahmen verzichtet, den einzige Schutz gegen EMV stellt das die Elektronik umgebende Blechgehäuse dar. Für eine Weiterentwicklung des Systems sind daher effiziente Maßnahmen gegen die Einwirkung von Störfeldern zu erarbeiten.

Software

Common mode failures in der Software sind hinsichtlich eines Serieneinsatzes des Systems von besonderer Relevanz. Im vorliegenden Fall der Prototypenrealisierung ist die Auswirkung eines Fehlers in der Software auf ein Fahrzeug begrenzt. Im Hinblick auf eine weiterführende, auf hohe Stückzahlen ausgerichtete Entwicklung muss berücksichtigt werden, dass im Gegensatz zu mechanischen Fehlern Softwarefehler in allen mit diesem System ausgestatteten Fahrzeugen auftreten können. Das Aufstellen detaillierter Entwicklungspläne und die Durchführung umfangreicher Tests stellen präventive Maßnahmen dar, um common mode failures durch eine rechtzeitige Identifikation vorzubeugen und damit die Zuverlässigkeit der Software zu erhöhen. Eine weitere mögliche Maßnahme ist die Verwendung von zertifizierter Software. Diese Software wurde gegenwärtig hauptsächlich für die Luft- und Raumfahrt-technik entwickelt und in diesem Rahmen zertifiziert. Ob sie in der Kraftfahrzeug-technik angewandt werden kann, ist situativ zu entscheiden.

2.4.3 Quantitative Analyse der technischen Zuverlässigkeit

Die Fehlerbaumanalyse (Fault-Tree-Analysis — FTA) stellt derzeit in der Automobilindustrie die Standardmethode für quantitative Zuverlässigkeitsanalysen dar. Dieses Verfahren wurde auch auf das vorliegende SbW-System angewandt. Bei der FTA werden ausgehend von einem vorgegebenen unerwünschten Ereignis (TOP-event) durch die logische Verknüpfung von Komponenten- und Teilsystemausfällen die Ursachen, die zu dem unerwünschten Ereignis führen, deduktiv ermittelt und grafisch dargestellt. Darüber hinaus erfolgt die Bestimmung der funktionalen Zusammenhänge von Komponenten und Teilsystemen sowie die Ermittlung der Zuverlässigkeitskenngrößen wie Ausfallwahrscheinlichkeiten, Ausfallraten. Die Zuverlässigkeitskenngrößen der Komponenten werden verschiedenen Standards entnommen bzw. in Testverfahren ermittelt. (VDA,1996), (DIN25424, 1981) und (DIN25424, 1990) beinhalten die Methode und diskutieren ausführlich die Vorgehensweise bei ihrer Anwendung.

Im Rahmen der FTA des SbW-Systems wurden die Zuverlässigkeitskenngrößen für das TOP-event „Ausfall der Lenkfunktion“ ermittelt. Aufgrund der Komplexität des Systems wurde die Systemkonfiguration modularisiert. Für die Votereinheiten (VE) und die Sensoreinheiten (SE) wurden jeweils ein Fehlerbaum für das TOP-event „Ausfall der Energieversorgung“ und ein Fehlerbaum für das TOP-event „Ausfall der Funktionalität“ des Moduls erstellt, für die Energieversorgung des Gesamtsystems wurde ein Fehlerbaum für das TOP-event „Ausfall der Energieversorgung“ entwickelt. Die Teilfehlerbäume wurden jeweils quantifiziert und anschließend zu einem Gesamfehlerbaum mit dem TOP-event "Ausfall der Lenkfunktion" zusammengefasst, der ebenfalls quantitativ analysiert wurde. Einzelheiten dazu beschreibt Guldner (1999).

Aufgrund des Prototypenstatus des Systems lagen für die meisten elektronischen Komponenten keine Zuverlässigkeitskenngrößen vor. Unter Berücksichtigung der konstruktiven und funktionalen Komponentenspezifikationen des SbW-Systems wurden als Referenzwerte Zuverlässigkeitskenngrößen vergleichbarer Komponenten aus den Standards, u.a. dem MIL-Handbuch (MIL-HDBK, 1997) gewählt. Für die Komponenten wurde die Exponentialfunktion als Verteilungsfunktion der Ausfallwahrscheinlichkeit angewandt.

Ein Ausschnitt des Fehlerbaums mit dem TOP-event „Ausfall der Lenkfunktion“ ist in Bild 2-5 dargestellt.

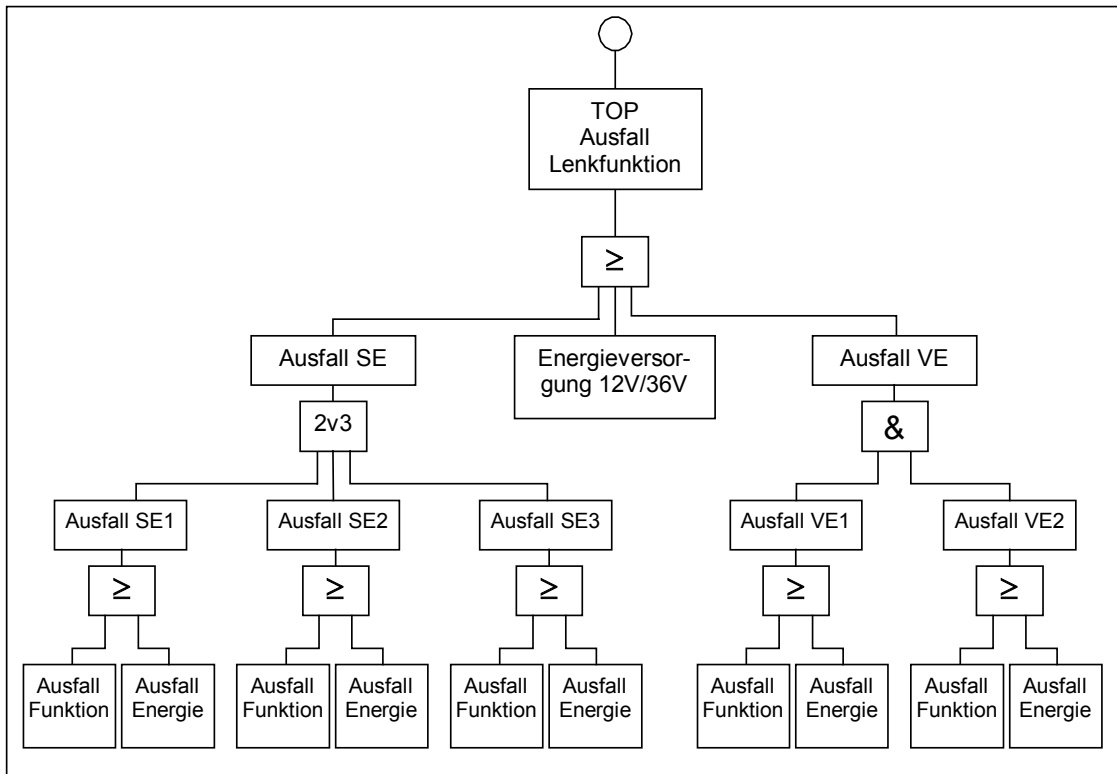


Bild 2-5: Modularisierter SbW-Fehlerbaum (Ausschnitt). Legende: SE: Sensoreinheit; VE: Votereinheit; (vgl. Kap. 2.2). Ausfallarten vgl. Tabelle 2-1

Die mechanischen Komponenten wurden bei der FTA nicht berücksichtigt. Es wurde die Annahme getroffen, dass auf Grund der bei der Auslegung der mechanischen Komponenten erfolgten ausreichend hohen Dimensionierung nur sehr kleine Ausfallwahrscheinlichkeiten zu erwarten waren, die sich bei der quantitativen FTA nur äußerst geringfügig ausgewirkt hätten.

Die Softwarezuverlässigkeit wurde bei der FTA nicht integriert, da dafür keine Zuverlässigkeitskenngrößen vorlagen. Für sicherheitsrelevante Systemfunktionen ist eine Abschätzung der Software-Zuverlässigkeit aus Erfahrungswerten und Systembeobachtungen wie z.B. Fehlermeldungen nicht empfehlenswert. Es ist erforderlich, sicherheitsrelevante Software durch sorgfältig geplante Tests, idealerweise während des Software-Entstehungsprozesses, zu analysieren. Die Tests sollten alle Elemente und Funktionen der späteren realen Anforderung enthalten.

Die Fahrerwarnung wurde folgendermaßen realisiert: Blieben z.B. Motorsignale, Votersignale etc. aus, wurde über den CAN-Bus die Fahrerwarnung aktiviert und der Fahrer über ein Head-up-Display (HUD) und eine Hupe gewarnt. Da das Modul „Fahrerwarnung“ fail-safe ausgelegt war, wurde es nicht in den SbW-Fehlerbaum integriert und eine Quantifizierung des TOP-Ereignis "Totalausfall erfolgt ohne Warnung, da Warneinrichtung vorher ausgefallen" wurde nicht durchgeführt.

2.5 Warnungen

Warnungen ersetzen grundsätzlich nicht die sorgfältige und angemessene sicherheitsgerichtete Systemsynthese. Die Systemkonfiguration des SbW-Systems wurde hinsichtlich der Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen und hinsichtlich der Prototypenentwicklung bestmöglich ausgelegt. Dennoch bleibt ein Restrisiko erhalten. Als zusätzliche Maßnahme zur Minimierung des Restrisikos wurde im SbW-Projekt die Prämisse festgelegt, dass eine zuverlässige Fahrerwarnung erfolgen muss, sobald das System nach Auftreten eines Erstfehlers in einer sicherheitsrelevanten Komponente oder in einem sicherheitsrelevanten Modul vom sicheren Funktionszustand S1 in den sicherheitsrelevanten transienten Zustand S2 übergeht.

Der Versuchingenieur, der das Fahrzeug in der Erprobungsphase als Einziger fuhr, war in den Entwicklungsprozess integriert und besaß damit die ausreichende Fach- und Sachkenntnis beim Umgang mit dem SbW-System. Bei den Erprobungsfahrten wurde er bei Auftreten eines sicherheitsrelevanten Fehlers visuell durch in das Head-up-Display (HUD) eingeblendete Warnleuchten sowie akustisch über eine Hupe gewarnt. Diese Warnung war auf Grund des Prototypenstatus des Fahrzeugs ausreichend. Bei einer weiterführenden Entwicklung des SbW-Systems mit dem Ziel des Serieneinsatzes ist zu berücksichtigen, dass das System von einer vielschichtigen Fahrerschaft genutzt wird (siehe Kapitel 4.5).

Die Gestaltung der Fahrer-Warneinrichtung und des Warnszenarios haben einen entscheidenden Einfluss sowohl auf die Wahrnehmung der Warneinrichtung durch den Fahrer als auch auf sein Verhalten und Handeln im Fehlerfall des SbW-Systems, das Format der Warnung ist von großer Bedeutung und erfordert die systematische Beachtung ergonomischer Prinzipien.

In der Literatur wurde die Vorgehensweise zur Analyse der Mensch-Technik-Stelle im Wesentlichen nur für sicherheitsrelevante Industriebereiche wie Luftverkehr, chemische Großindustrie, Nuklear- und Kraftwerktechnik diskutiert.

Diese Studien beziehen sich damit hauptsächlich auf technische Bereiche, in denen ausgebildetes Fachpersonal mit unerwünschten Ereignissen des technischen Systems konfrontiert wird. Dieses Personal wird im Rahmen seiner Ausbildung geschult, bei Eintreten eines Störfalls einer definierten und vorgegebenen Handlungsprozedur systematisch zu folgen, um durch dieses Notfallszenario einer möglichen, vom technischen System ausgehenden Gefährdung vorzubeugen. Im Gegensatz dazu wird die Mensch-Technik-Schnittstelle im Fahrzeug von einer Fahrerschaft bedient (siehe Kapitel 4), deren Ausbildung sich im Wesentlichen auf die Fahrausbildung beschränkt.

Die Möglichkeiten und Grenzen der Übertragbarkeit der in anderen Anwendungsgebieten als dem Automobilbereich gewonnenen Erkenntnisse werden im Hinblick auf vorliegende Problemstellung herausgearbeitet.

Die Literaturstudie ergab, dass zur Gestaltung der Warneinrichtung für den Kernkraftwerksbereich (Hickling, 1994) und für die Aviation (Kuchar, 1995), (Onken, 1998) umfangreiche Untersuchungen zur Gestaltung und Optimierung der Mensch-Technik-Interaktion vorliegen. Dennoch gelten die entwickelten Szenarien und das Design der Warneinrichtung selbst für den erfahrenen Bediener häufig als zu komplex (Varde, 1998) und zu wenig verständlich (Sudano, 1994). Warneinrichtungen werden vom Bedienpersonal der Leitwarten in Kraftwerken vielfach fehlinterpretiert, da bei der Gestaltung der Warneinrichtung ergonomische Gesichtspunkte zu wenig berücksichtigt werden und des Weiteren keine ausreichende Beachtung der psychologischen Aspekte der Informationsverarbeitung des Bedienpersonals erfolgt (Sudano, 1994).

Edworthy (1996) nimmt eine allgemeine Betrachtung der Thematik „Gestaltung von Warnungen“ vor. Der Fokus liegt dabei in der Analyse der Effektivität der Warnung durch die Verwendung von Symbolen.

Untersuchungen hinsichtlich der Gestaltung und Wirksamkeit von Warnungen im Kraftfahrzeug wurden vornehmlich für Fahrerassistenzsysteme wie z.B. ACC durchgeführt (Nilsson, 1995), (Nirschl, 1997), bei der im Wesentlichen das Zeit-Reaktionsverhalten des Fahrers bei Ausfall des Systems betrachtet wurden. Bielaczik (1999) analysiert die Auswirkung einer Warneinrichtung zur aktiven Fahrerbeeinflussung durch ausschließlich haptische Informationssignale. Die Zielsetzung dieser Studie liegt in der Gestaltung eines Assistenzsystems zur individuellen Unterstützung des Fahrers in kritischen Fahrsituationen. Baber (1994) diskutiert die Instrumentierung in Kraftfahrzeugen und des Weiteren verschiedene Ansätze zur Gestaltung einer Fahrerwarnung. Für die Auslegung der Fahrer-Warneinrichtung sicherheitsrelevanter elektronischer Kraftfahrzeugsysteme liegen in der Literatur keine Erkenntnisse vor. Gleiches gilt für die Gestaltung eines Warnszenarios beim Ausfall von by-Wire-Systemen im Kraftfahrzeug.

Der zunehmende Einsatz elektronischer Systeme im Kraftfahrzeug und die damit verbundene neue Aufgabenstellung an den Fahrer, in kritischen Situationen durch Befolgen einer vorgegebenen Warnprozedur das Restrisiko zu minimieren, erfordert jedoch die Entwicklung von fahrgerechten Warnszenarien.

Es ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, einen detaillierten Entwurf eines für das SbW-System geeigneten Warnszenarios zu erstellen. Vielmehr soll an dieser Stelle aufgezeigt werden, welche Faktoren bei einer systematischen Konzeption einer Fahrerwarnung zu beachten sind.

Grundsätzlich unterscheiden sich die Informationen, die dem Fahrer im Kraftfahrzeug präsentiert werden, hinsichtlich ihrer Kritikalität für die Fahr- und Verkehrssicherheit. Sie können im Wesentlichen in drei Gruppen unterteilt werden:

- Kontrollleuchten und Anzeigen: Ihnen ist eine reine Indikatorfunktion zuzuordnen. Sie informieren den Fahrer z.B. über den Status der von ihm zu kontrollierenden Fahrzeugfunktionen wie dem Füllstand der Scheibenreinigungsan-

lage. In Kombination mit den folgenden Funktionen können Kontrollleuchten an Sicherheitsrelevanz gewinnen.

- Handlungshinweise: Sie informieren den Fahrer über zu tätige Aufgaben, die nicht unmittelbar zu einem Problem führen (z.B. die Durchführung eines Ölwechsels), jedoch eine Gefahr im Verzug darstellen.
- Warnungen: Einer Fahrerwarnung sind prinzipiell zwei verschiedene Funktionalitäten zuzuordnen: Einerseits die alarmierende Funktion, die gleichzeitig einen emotionalen Charakter besitzt und damit hinsichtlich der Reaktion des Fahrers auf die Warnung eine motivierende Wirkung erzeugt und andererseits die informierende Funktion, den Fahrer über den sicherheitsrelevanten Systemzustand in Kenntnis zu setzen und ihm gegebenenfalls erklärende Handlungshinweise zu erteilen.

Die Fahrerwarnung für ein sicherheitsrelevantes Kraftfahrzeugsystem kann über den optischen, akustischen und haptischen Sinneskanal erfolgen.

Tabelle 2-2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Kombination der Warnungsmodi mit den Sinneskanälen.

Tabelle 2-2: Übersicht der Möglichkeiten der Kombinationen von Warnungsmodi mit den Sinneskanälen

Sinneskanal \ Modus	Optisch	Akustisch	Haptisch
Verbal	Anzeige von Text	Sprachausgabe	-
Nonverbal / Digital	Symbole	Klangzeichen	Vibration in einem Stellteil der Fahrzeugführung

Optische Warnungen

Optische Warnungen sind über verschiedene Anzeigemedien zu realisieren, z.B. Instrumententafel, Head-Up-Display oder zentraler Bordmonitor. Außer durch verbale, d.h. textuelle Warnungen sind Warnungen durch Symbole darstellbar (vgl. Tabelle 2-2). Bei Texteinblendungen können verschiedene Begriffe, die alle auf eine Gefahr im Verzug hinweisen, unterschiedliche Stufen eines gefährlichen Systemzustands vermitteln. Die Begriffsbildung bei einer Texteinblendung ist daher von entscheidender Bedeutung. In empirischen Studien wurde nachgewiesen, dass die Signalbegriffe „Vorsicht“ und „Achtung“ einen weniger kritischen Eindruck der Gefährlichkeit des Systemzustands vermitteln als der Signalbegriff „Warnung“ (Edworthy, 1996). Zudem erweckt der Signalbegriff „Warnung“ beim Lesen eine größere Aufmerksamkeit und erfüllt damit eine alarmierende Funktion. Unterstützend auf die Wahrnehm- und Erkennbarkeit einer visuellen Warnung wirkt sich neben der Schriftgröße und dem

Schriftfont, die Farbe des dargestellten Textes aus. Mit der Farbe rot wird bei Warnungen gemäß Edworthy (1996) eine größere Kritikalität des Systemzustands verbunden als bei monochromer Darstellung und bei einer anderen farblichen Darstellung. In experimentellen Untersuchungen wurde zudem eine direkte Abhängigkeit zwischen Schriftgröße und -farbe festgestellt. Wird die textuelle Darstellung des Signalworts „Warnung“ beispielsweise monochrom präsentiert, so müsste der Schriftfont zweimal so groß sein als wäre sie in roter Farbe dargestellt, um die gleiche Wirkung zu erzielen. Da sie einen hohen Informationsgehalt besitzen können, ist es erforderlich, ausschließlich in Textform präsentierte Warnungen so zu gestalten, dass sie die Aufmerksamkeit des Fahrers nicht vom Verkehrsgeschehen ablenken. Auf die Aspekte der Informationsverarbeitung und der kognitiven Wahrnehmungsprozesse wird in Kapitel 5 detailliert eingegangen.

Symbole repräsentieren ebenfalls eine Möglichkeit der visuellen Warnung. Im Kraftfahrzeugbereich ist die Darstellung von Warnungen durch Symbole am häufigsten vertreten. Dabei werden in der Instrumententafel Warnungen für fehlerhafte Systemfunktionen dargestellt und mittels unterschiedlicher Farbgebungen wird der „Schweregrad“ der Warnung vermittelt. Bei Warnungen durch Symbole ist von Nachteil, dass die Automobilhersteller für die Warnsymbole trotz geltender ISO-Vorschriften jeweils unterschiedliche Farbgebungen wählen und keine einheitliche Platzierung der Symbole im Instrumententafel vornehmen (Edworthy, 1996). Dadurch und durch die Vielzahl der im Fahrzeug zusätzlich zur Warnung eingesetzten Symbole wird die Interpretation der Symbole und ihre Wiedererkennung erschwert, auf Grund des geringen Informationsgehalts ist für den Fahrer auch die Zuordnung zu der dem Symbol hinterlegten Funktion und zum Systemzustand problematisch (Dingus, 1997). Baber (1994) wies nach, dass sich für die meisten Versuchspersonen die Interpretation und Zuordnung von Symbolen im Kraftfahrzeug als schwierig gestaltete. In dieser Studie wurden am häufigsten solche Symbole erkannt, die reine Indikatorfunktionen besitzen, wie z.B. die Kraftstoffanzeige und die vergleichsweise oft im Fahrzeug erscheinen und damit den Versuchspersonen offensichtlich vertraut waren. Die Interpretation der für die Fahrzeugsicherheit bedeutsamen Symbole erwies sich in dieser Studie hingegen als besonders problematisch. Daraus resultiert die Schlussfolgerung, dass für das sicherheitsrelevante SbW-System eine sehr konkrete visuelle Darstellung der Fahrerwarnung erfolgen muss, um jeglichen Missverständnissen und Fehlinterpretationen vorzubeugen.

Akustische Warnungen

Akustische Warnungen können nonverbal durch Klangzeichen, z.B. einem Gong oder einem Klingelton sowie verbal, d.h. durch Sprachausgabe erfolgen (vgl. Tabelle 2-2).

Klangzeichen

Ähnlich wie bei der ausschließlich durch Symbole durchgeführten optischen Warnung, stellt die Interpretation der Klangzeichen das zentrale Problem der rein akusti-

schen Warnung dar. Für die Fahrer ist es häufig schwierig, die Bedeutung der akustischen Warnung zuzuordnen. Zu viele unterschiedliche Klangzeichen im Fahrzeug und zu laute Umgebungsgeräusche erschweren ebenfalls die Interpretation. Eisele (1996) wies nach, dass laute Fahrgeräusche oder ein eingeschaltetes Radio zum Überhören der Klangzeichen oder deren Fehlinterpretationen führen. Um dem Fahrer die Dringlichkeit der vorliegenden Warnung zu verdeutlichen, ist ein lauter werdendes Signal denkbar. Die Erzeugung zu lauter Klangzeichen kann sich jedoch in bestimmten Fahrsituationen als problematisch erweisen, da ein mögliches Erschrecken des Fahrers seine Fahrleistung beeinträchtigen und damit ein Unfall verursacht wird. Es ist daher erforderlich, die Auslegung der Klangzeichen an die akustischen Bedingungen im Fahrzeuginnenraum anzupassen.

Sprachausgabe

Die Sprachausgabe stellt ein weiteres mögliches Medium zur verbalen Fahrerwarnung dar, die jedoch ebenfalls die Problematik der Interpretierbarkeit und der Wahrnehmbarkeit in sich birgt. Insbesondere die logische und technische Hierarchisierung der Sprachausgabe wird bei gleichzeitiger Aktivität verschiedener Sprachausgabquellen schwierig: Eine Priorisierung der gleichzeitig aktiven Sprachausgabe des Navigationssystems, des Radios und einem eingehenden Telefonanruf gestaltet sich bislang als problematisch. Eine weitere Sprachausgabe, die zudem sicherheitsrelevante Informationen beinhaltet und damit auch eine Dringlichkeit der Warnung vermitteln soll, stellt einen weiteren Effekt dar, den es nicht nur hinsichtlich der logischen Abläufe und der technischen Realisierung zu umzusetzen gilt, auch im Hinblick auf die Wahrnehmbarkeit, Interpretierbarkeit und Effizienz der Warnung aus Fahrersicht ist der Einsatz von gesprochenen Warnungen detailliert zu überdenken.

Haptische Warnung

Im Gegensatz zum optischen oder akustischen Sinneskanal erlaubt der haptische Sinneskanal nicht die gleiche Informationsvariabilität, er bietet jedoch eine deutlich höhere Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung, da diese auf der quasi-reflektorischen Ebene, d.h. unterbewusst erfolgt (Förster, 1992). Dieser Wahrnehmungskanal wird in der Fahrzeugtechnik kaum genutzt, jedoch birgt er ein großes Potenzial, um eine fahrgerechte Auslegung der Warneinrichtung durchzuführen. Für das SbW-System ist die Vermittlung eines sicherheitsrelevanten Systemzustands über den haptischen Sinneskanal vorstellbar. Zur haptischen Fahrerwarnung eignen sich die Stellteile der Fahrzeugführung (Brems-, Fahrpedal, Lenkrad), wobei sich für das SbW-System primär das Lenkrad anbietet, um beim Fahrer die direkte Assoziation eines Defekts in der Lenkung zu erzeugen. Die haptische Rückmeldung ist über die das Lenkradmodul ansteuernde Software zu realisieren.

Die Gestaltung der Fahrer-Warneinrichtung ist für die Wahrnehmung, für die Interpretation und für die Entscheidung des Fahrers auf die Warnung zu reagieren von großer Bedeutung. Aus ergonomischer Sicht gilt es daher, dass die Warnung nur relevante, eindeutige und schnell zu verstehende Inhalte vermittelt (Mutschler, 2001). Zur

Gestaltung einer Warneinrichtung eines sicherheitsrelevanten Systems wird daher zusammenfassend empfohlen, folgende Faktoren und Prinzipien zu beachten. Hinzu kommen die psychologischen Aspekte, die es zu berücksichtigen gilt und die in Kapitel 5 ausführlich diskutiert werden.

Empfehlung zur Auslegung einer Warneinrichtung für sicherheitsrelevante Fahrzeugsysteme

Rahmenbedingungen des Systems

- Analyse der Systemfunktionen und Ausfallarten des Systems
- Überprüfung der technischen Realisierbarkeit der Fahrer-Warneinrichtung

Inhalte und Ziele der Warnung

- Analyse der Inhalte der Warnung, die für den Fahrer zur Interpretation der Warnung erforderlich sind
- Analyse der an den Fahrer gerichteten Aufgabenstellung bzw. der geforderten Reaktion des Fahrers auf die Warnung
- Analyse der erklärenden Handlungshinweise, die dem Fahrer das weitere Verhalten vorgeben sollen
- Unmissverständliche, logische, konsistente und semantisch richtige Darbietung der Fahrerwarnung
- Das Bewusstsein des Fahrers, dass ein sicherheitskritischer Systemzustand vorliegt, muss angemessen geweckt werden, ohne, dass eine zu große Ablenkung von der eigentlichen Fahraufgabe erfolgt, sich der Fahrer erschreckt etc.

Zeitlichen Faktoren

- Klassifizierung und Priorisierung von Warnungen: sicherheitsrelevante Warnungen haben immer erste Priorität
- Sofern die Warnung hinsichtlich der Dringlichkeit ein gestuftes Szenario beinhaltet, deutliche Vermittlung der steigenden Kritikalität des Systemzustands
- Optimierung des zeitlichen Ablaufs

Redundanz/Multimodalität der Warnung

- Realisierung der Warnung über verschiedene Sinneskanäle: möglichst durch Kombination visueller, akustischer und haptischer Signale

Auslegung der Anzeige- und Bedienelemente

- Leicht abzulesende Displays hinsichtlich Blickwinkel, Kontraste, Schriftgrößen etc.
- Verwendung von Warnsymbolen nur in Kombination z.B. mit erklärender Texteingabe

- Leicht zu erreichende Bedienelemente, sofern z.B. eine Bestätigung der Warnung durch den Fahrer erfolgen soll
- Gut hörbare und eindeutig identifizierbare akustische Signale
- Eindeutig identifizierbare und dem fehlerhaften Systemzustand zuzuordnende haptische Warnung über das Lenkrad

Akzeptanzstudie/Benutzertests

- Durchführung von Fahrsimulatorexperimenten zur Analyse der Effizienz einzelner Warnungsmodi bzw. des gesamten Warnszenarios

Bei der Konzeption einer Fahrerwarneinrichtung und eines Warnszenarios ist die Fragestellung „Wie reagiert der Fahrer auf die Warnung?“ von entscheidender Bedeutung. Dazu ist es erforderlich, das menschliche Verhalten mit geeigneten Methoden zu analysieren, um somit eine aussagekräftige Beurteilung der menschlichen Handlungszuverlässigkeit zu erzielen.

3 Menschliche Handlungszuverlässigkeit

Definition „menschliche Zuverlässigkeit“

Unter „menschlicher Zuverlässigkeit“ werden generell alle Aktivitäten des Menschen verstanden, die die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit eines Systems gewährleisten (VDI 4006, 1999a).

Ein menschlicher Fehler wird gemäß Reason (1994) definiert als „eine unangemessene oder unerwünschte menschliche Entscheidung oder Handlung, die die Sicherheit und Effektivität eines technischen Systems reduziert.“

Die menschliche Handlungszuverlässigkeit nimmt in sicherheitsrelevanten Industriebereichen wie der Kernkraftwerktechnik eine bedeutsame Rolle hinsichtlich der Gesamtzuverlässigkeit des Systems ein. Störfälle z.B. in Tschernobyl oder Three Mile Island werden eindeutig auf menschliche und organisatorische Faktoren zurückgeführt (Reason, 1994), (Leveson, 1995).

Den Medienberichten ist zu entnehmen, dass die menschliche Handlungszuverlässigkeit zunehmend auch im Transportwesen, d.h. dem Schiffs-, Zug-, Straßen- und Luftverkehr als ein die Systemsicherheit und -zuverlässigkeit beeinflussender Faktor betrachtet wird. Das Tankerunglück der Exxon Valdez, das Zugunglück von Brühl und der Zusammenstoß zweier Flugzeuge auf Teneriffa stellen Unfallereignisse dar, die mit menschlichem Fehlverhalten begründet werden (Murphy, 1994), (Johnson, 1997). Gemäß Nelson (1997) gelten 60 Prozent aller Vorkommnisse und Unfälle der zivilen Luftfahrt als durch den Menschen verursacht, 80 bis 90 Prozent der Unfälle im Kraftfahrzeugsektor werden auf menschliches Fehlverhalten zurück geführt (Ludwig, 1990).

Durch solche Ereignisse und deren Schadensausmaß wird der Öffentlichkeit die Rolle des Menschen in technischen Systemen immer bewusster. Nicht nur die Fehler des Bedienpersonals werden als kritisch erachtet, sondern auch die Funktions- und Organisationsstrukturen der Betreiber geraten zunehmend in den Fokus der Öffentlichkeit, die letzten Endes außer für die technischen Systembelange auch für die Ausbildung und das Training des Personals und damit für den sicheren Betrieb des Gesamtsystems verantwortlich sind.

Diese Kritik bezieht sich nicht mehr allein auf die Kernkraftwerktechnik, sondern auch auf Bereiche, in denen der Benutzer täglich einen „direkten Kontakt“ mit dem technischen System hat Boecker (2000), wie das Zugunglück von Brühl zeigt: Hier wurde beispielsweise vorschnell von „menschlichem Versagen“ des Zugführers als „abschließende Erklärung“ des Unfallereignisses berichtet, bevor überhaupt mit der Unfallursachenanalyse begonnen wurde. Damit sollten mögliche organisatorische Mängel oder technische Unzulänglichkeiten verschwiegen und damit die Verantwortung an den Lokführer abgetreten werden (Huf, 2000). Gleiches gilt für das Tanklast-

zugunglück von Herborn, bei dem ebenfalls direkt nach dem Ereignis ein technischer Defekt als Unfallursache ausgeschlossen wurde (Ludwig, 1990).

Auch die Automobilindustrie gerät zunehmend in das Blickfeld „menschliche Zuverlässigkeit“. Veröffentlichungen wie in Zeit (1999) und von Kraft (2000) verdeutlichen, dass die Sicherheit elektronischer Systeme im Kraftfahrzeugbereich nicht mehr nur auf abstrakter Ebene in der „Fachwelt“ diskutiert wird. Die Rolle des Fahrers, seine Fähigkeiten, die Fahrzeugssysteme zu beherrschen und die Auswirkungen seines Verhaltens auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Systems „Straßenverkehr“ gewinnen in der breiten Öffentlichkeit zunehmend an Interesse und an Bedeutung.

Es wird davon ausgegangen, dass die technischen Systeme hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeitscharakteristika zwar optimal konfiguriert werden, aber die grundsätzlich verbleibende Wahrscheinlichkeit eines Systemdefekts nur durch das richtige Fahrerverhalten aufgefangen werden kann. Wie Dougherty (1997), Kraft (2000) und Bresensdorf (2000) darlegen, wird gleichzeitig in Frage gestellt, dass die hinsichtlich ihrer Fähigkeiten und Erfahrungen sehr variable Fahrerpopulation ohne Ausbildung oder gründliche Unterweisung diesen Anforderungen gerecht werden kann.

Beim Steer-by-Wire System wird dem Fahrer eine neue, verantwortungsvolle Aufgabe übertragen, deren Inhalte und Konsequenzen bislang in der „Automobilwelt“ als unerforscht gelten. Nach einer hinsichtlich der sicherheits- und zuverlässigkeitstechnischen Eigenschaften optimierten Systemkonfiguration, stellt der Fahrer im Gesamtsystem „Steer-by-Wire“ die letzte Instanz dar, die einen Systemausfall kompensieren soll. Der Fahrer wird damit ein Bestandteil des Sicherheitskonzepts des SbW-Systems.

Durch die sorgfältige Anwendung ergonomischer Prinzipien kann eine fahrgerechte Gestaltung der Fahrer-Warneinrichtung erfolgen, die es ermöglicht, den Fahrer zuverlässig über den Systemzustand zu informieren, ihn zu warnen und ihm Hinweise für sein weiteres Verhalten zu geben (Schmidtke, 1993), (Swain, 1983), (Mutschler, 2001). Die Reaktion des Fahrers auf diese Warnung ist für die Fahr- und Verkehrssicherheit von großer Bedeutung und wirft gleichzeitig auch juristische Fragestellungen wie die der Produkthaftung auf (siehe Kapitel 2.1).

Im Automobilbereich sind gegenwärtig keine Erkenntnisse über die möglichen Reaktionen des Fahrers auf die Warnung im Fehlerfall des SbW-Systems vorhanden. Analyseverfahren, deren Anwendung eine aussagekräftige Beurteilung des Fahrerhaltens und damit der menschlichen Zuverlässigkeit erzielen können, liegen im Kraftfahrzeugbereich ebenfalls nicht vor.

Daher werden die in der Kernkraftwerktechnik angewandten Methoden zur Beurteilung der menschlichen Handlungszuverlässigkeit und die dort gewonnenen Erkenntnisse als Grundlage für die Analyse der menschlichen Handlungszuverlässigkeit der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle des SbW-Systems heran gezogen.

Die Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit (HRA – Human Reliability Analysis) wird bei komplexen Mensch-Technik-Systemen als Teil einer Probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA – Probabilistic Safety Assessment) durchgeführt. Die PSA umfasst die sicherheitstechnische Gesamtbeurteilung des Systems durch die qualitative Identifikation von Systemfehlzuständen und deren quantitativer Bestimmung. Wie die PSA beinhaltet die HRA auch die qualitative und die quantitative Vorgehensweise: Die potenziellen menschlichen Fehler werden systematisch ermittelt und die Bedeutung ihrer Auswirkung für das Gesamtsystem in Verbindung mit anderen menschlichen Fehlern, aber auch in Verbindung mit technischen Fehlern quantifiziert.

3.1 Methoden zur Analyse der menschlichen Handlungs- zuverlässigkeit

Erste Studien zur Beurteilung des menschlichen Verhaltens in komplexen technischen Systemen wurden in den frühen 50er Jahren des letzten Jahrhunderts für US-amerikanische Waffensysteme durchgeführt. Sie gelten als der Beginn wissenschaftlicher Untersuchungen im neuen Themenbereich „Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit“, Human Reliability Analysis (HRA). In den folgenden Jahren fand die Thematik Einzug in die Kernkraftwerktechnik und gilt dort seitdem für sicherheitstechnische Systembetrachtungen als unverzichtbar. Hier erfolgte auch hauptsächlich die Methodenentwicklung.

Die Verfahren werden zunehmend in weiteren sicherheitsrelevanten Arbeitsbereichen wie der chemischen Prozessindustrie, dem Luft- und Schienenverkehr angewandt. Neben der Analyse der technischen Zuverlässigkeit stellt die Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit mittlerweile auch dort einen festen Bestandteil bei der Beurteilung der Sicherheit des Gesamtsystems dar (Mehl, 1999), (Nelson, 1997), (Lanzilotta, 1995), (Macwan, 1992).

Die in den Medien geschilderten Katastrophen (z.B. Tschernobyl, Zugunglücke von Brühl, Hannover und Eschede) werden nicht auf das Unterlassen vorgeschriebener Handlungen oder die Fehlbetätigung von Stellteilen zurück geführt, sondern vielmehr auf Fehler bei der bewussten Entscheidungsfindung des Menschen und bei der Einschätzung der Situation (Sträter, 2000a).

Für die Prognose der menschlichen Handlungszuverlässigkeit sind daher die Mechanismen der menschlichen Informationsverarbeitung zu berücksichtigen (Rasmussen, 1986).

Die Ausprägungen menschlichen Fehlverhaltens sind anhand ihres Erscheinungsbildes (z.B. Auslassung einer Handlung) zu beobachten. Die Ursachen der auf den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess zurück zu führenden Fehlhandlungen, ergründet die kognitive Psychologie.

Sie wird gemäß Anderson (1996) folgendermaßen definiert:

„Die kognitive Psychologie ist ein Teilgebiet der Psychologie. Ihr Ziel ist die Identifizierung kognitiver Prozesse und Wissensbestände, die den alltäglichen Aktivitäten von Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Erinnerung, Lernen, Verstehen und Problemlösen zu Grunde liegen. Der Mensch wird innerhalb dieser Disziplin als informationsverarbeitendes Wesen gesehen. Insofern ist die kognitive Psychologie auch die Wissenschaft von der menschlichen Informationsverarbeitung.“

Fehler, die auf einem Denk- bzw. Informationsverarbeitungsprozess zurück zu führen sind, werden als kognitive Fehler bezeichnet.

Bei den Methoden, die derzeit zur Analyse der menschlichen Handlungszuverlässigkeit (HRA) angewandt werden, wird zwischen Methoden der ersten Generation und Methoden der zweiten Generation unterschieden. Den Verfahren liegen unterschiedliche Hypothesen hinsichtlich derjenigen Ursachen und Faktoren zu Grunde, die die menschlichen Aktionen hervorrufen.

Die Methoden der ersten Generation basieren auf der Annahme, dass im Systemfehlerfall die Auslegung des Alarms und des Warnszenarios die Art und die Ausprägung des menschlichen Verhaltens bestimmen.

Die Methoden der zweiten Generation hingegen beurteilen die menschliche Handlungszuverlässigkeit vor dem Hintergrund der persönlichen Eigenschaften, Fähigkeiten und Zielstellungen des Menschen, die sein Verhalten im Systemfehlerfall maßgeblich beeinflussen.

An dieser Stelle soll nur ein kurzer Überblick über die grundsätzlichen Charakteristika der Verfahren der ersten und zweiten Generation gegeben werden, so weit es für das weitere Verständnis der Arbeit erforderlich ist. Die Inhalte und Grenzen dieser Verfahren diskutiert und bewertet u.a. Sträter (1997a) ausführlich.

3.1.1 Methoden der ersten Generation

Die Methoden zur Durchführung von HRA, die derzeit in der Kernkraftwerktechnik, im Militärbereich und in der chemischen Prozesstechnik zur Anwendung kommen, sind u.a. THERP (Technique for Human Error Rate Prediction) (Swain, 1983), ASEP (Accident Sequence Evaluation Program) (Swain, 1987) und SLIM (Success Likelihood Index Methodology) (Embrey, 1984). Sie zählen zu den Methoden der ersten Generation.

Den Methoden der ersten Generation liegt das sequenzielle Informationsverarbeitungsmodell zu Grunde (Bye, 1998). Es wird in die Prozessabschnitte

- Wahrnehmen des Ereignisses,
- Entscheiden über das weitere Vorgehen und
- Handeln

gegliedert. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass Handlungen auch durch einen abgekürzten Prozess von Wahrnehmen zu Handeln, d.h. ohne, dass ein Entscheidungsprozess vollzogen wurde, hervorgerufen werden können.

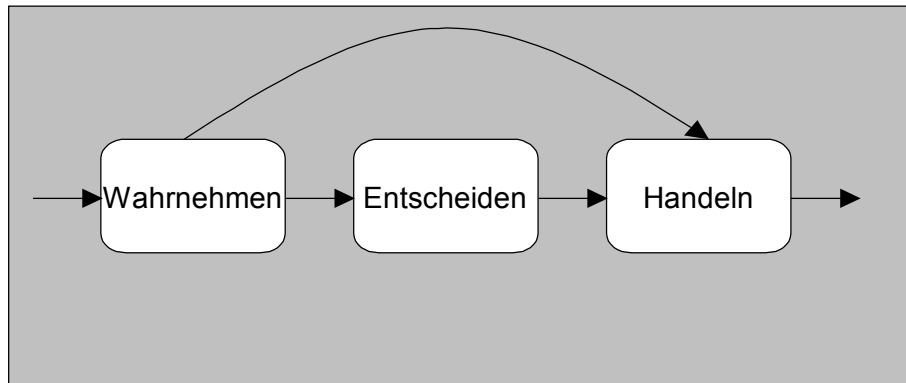


Bild 3-1: Modell der Informationsverarbeitung - Analyseverfahren der ersten Generation (Theis, 2001)

Das sequenzielle kognitive Verarbeitungsmodell basiert auf einer zwangsweise gekoppelten Reihenfolge seiner Einzelprozesse, bei der das menschliche Handeln als eine direkte Reaktion auf ein Ereignis, auf eine Warnung oder auf ein Signal betrachtet wird. Aus psychologischer Sicht wird der kognitive Verarbeitungsprozess dabei auf ein einfaches Reiz-Reaktionsmodell reduziert

Die Verfahren der ersten Generation stoßen insbesondere auf Grund des sequenziellen Informationsverarbeitungsprozesses an ihre Grenzen. Einflüsse wie persönliche Fähigkeiten und individuelle Zielstellungen sowie variierende situative Faktoren können die Reihenfolge der Sequenzen der Informationsverarbeitung beeinflussen. Diese Faktoren werden auf Grund der Kopplung im sequenziellen Informationsverarbeitungsmodell nicht als Einflussgrößen berücksichtigt. Das sequenzielle Informationsverarbeitungsmodell bildet damit den kognitiven Verarbeitungsprozess nur eingeschränkt ab (Bye, 1998). Das menschliche (Fehl)Verhalten ist jedoch nur unter Berücksichtigung des fortlaufenden Abgleichs zwischen der äußeren, d.h. auf den Menschen einwirkenden Faktoren und den internen Modellen des Menschen, d.h. seinen Erwartungen an die Welt zu ergründen (Sträter, 1998) und (Neisser, 1976).

Ein weiteres Defizit der Verfahren der ersten Generation liegt in der ausschließlichen Unterscheidung zwischen Erfolg und Misserfolg einer Handlung. Es erfolgt keine Bewertung des tatsächlichen Verhaltens.

In einigen technischen Bereichen überwiegt noch immer die Meinung, dass ein optimiertes Alarm- und Warnszenario ausreicht, um die richtige Reaktion des Menschen zu erwirken und eine damit verbundene Überführung des Systems in den sicheren Zustand zu erreichen. Reagiert der Mensch nicht wie gefordert, wird ihm die Verantwortung für das resultierende Systemversagen übertragen.

Wird eine solche Betrachtungsweise der menschlichen Handlungszuverlässigkeit verfolgt, gelten die Verfahren der ersten Generation zur Analyse des menschlichen Verhaltens als ausreichend (Theis, 2001).

3.1.2 Methoden der zweiten Generation

Zu den Analysemethoden der zweiten Generation zählen ATHEANA (A Technique for Human Error Analysis) (NUREG, 1998), CODA (Conclusions from Occurrences by Description of Actions) (Reer, 1997), CAHR (Connectionism Assessment of Human Reliability) (Sträter, 1997a) und CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) (Hollnagel, 1996).

Diese Verfahren dienen der Beurteilung kognitiver Prozesse und daraus resultierender kognitiver Fehler. Sie berücksichtigen, dass das menschliche Verhalten weitaus mehr beinhaltet als die Wahrnehmung von Signalen und Warnungen und dem darauffolgenden bestmöglichen Ausführen vorgeschriebener Handlungsprozeduren. Diese Verfahren ziehen Folgendes in Betracht.

- Der Mensch muss bei der Informationsverarbeitung grundsätzlich mehr als ein Signal gleichzeitig verarbeiten; zusätzliche Einflüsse wie z.B. Witterungs- und Umgebungsbedingungen beim Autofahren stellen eine erhöhte Beanspruchung des kognitiven Verarbeitungsprozesses dar.
- Der Mensch besitzt Erwartungen, Ziele und Vorlieben; er hat z.B. Erwartungen an das technische System, bei einer Autofahrt steht für ihn z.B. die Zielerreichung im Vordergrund.

Der kognitive Verarbeitungsprozess wird, wie in Bild 3-2 dargestellt, durch die Zielorientierung des Menschen und die Umgebung sowie die situativen Faktoren maßgeblich beeinflusst.

Gegenüber der sequenziellen Modellbildung der Verfahren der ersten Generation können innerhalb des kognitiven Verarbeitungsprozesses, der den Methoden der zweiten Generation zu Grunde liegt, Rekursionsschleifen auftreten. Die einzelnen Prozessabschnitte unterliegen keiner gekoppelten Reihenfolge. Geringfügige Abweichungen der situativen Faktoren oder der persönlichen Erwartungen und Ziele führen jeweils zu einer neuen kognitiven Strategie der Informationsverarbeitung (Sträter, 2000).

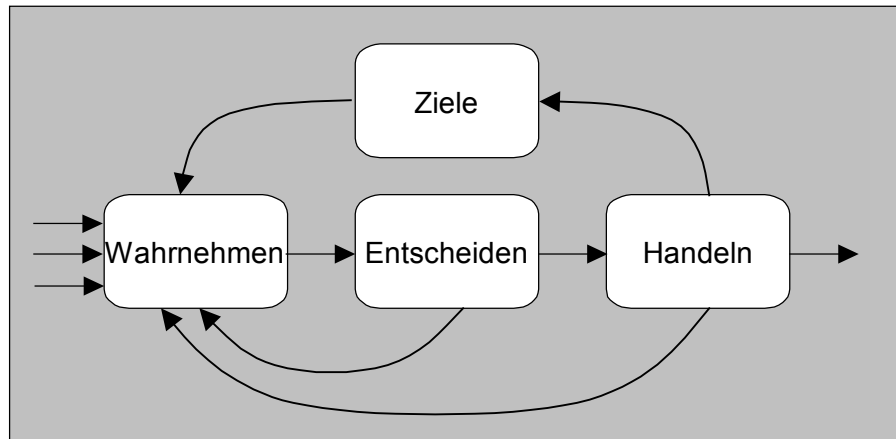


Bild 3-2: Modell der Informationsverarbeitung - Analyseverfahren der zweiten Generation (Theis, 2001)

Im Gegensatz zu den Verfahren der ersten Generation wird bei den Verfahren der zweiten Generation das menschliche Verhalten nicht binär betrachtet, sondern es erfolgt eine detaillierte Analyse bzw. Prognose des menschlichen Verhaltens.

3.2 Anwendung von CREAM auf die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle des Steer-by-Wire Systems

Zur Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle des SbW-Systems wurde mit CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) ein Verfahren der zweiten Generation angewandt.

Hollnagel (1998) stellt CREAM als ein Verfahren dar, das auf die unterschiedlichsten Bereiche, in denen die Mensch-Technik-Schnittstelle zu analysieren gilt, ohne Generierung der eigentlichen Methode angewandt werden kann. Eine spezielle Kenntnis der Vorgehensweise bei der Durchführung von Analysen der menschlichen Handlungszuverlässigkeit setzt CREAM nicht voraus, es erfordert lediglich eine gute Kenntnis des Anwendungsgebietes. CREAM wird als bidirektionales Verfahren beschrieben, d.h. durch die Anwendung der gleichen Prinzipien sind sowohl retrospektiv Ereignisse analysierbar als auch Prognosen des menschlichen Verhaltens zu erstellen. Das Verfahren bietet unter besonderer Berücksichtigung kognitiver Aspekte die Kombination von qualitativer Analyse und quantitativer Vorhersage der menschlichen Handlungszuverlässigkeit (Hollnagel, 1998).

Die Anwendung der Methode CREAM auf die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle eines SbW-Systems zeigte, dass es sich um ein Verfahren handelt, das teilweise allgemein gehalten ist, teilweise aber auch ausschließlich auf den Kernkraftwerkbereich ausgegerichtete Aspekte enthält, sodass die Methode für den Automobilbereich und wie Krell (1999) verdeutlicht, auch für den Bereich der Avionik in einigen Punkten einer grundlegenden Anpassung und Modifizierung bedarf.

Nachfolgend werden einige Punkte aufgeführt, die Anwendbarkeit von CREAM auf die konkrete Problemstellung einschränken.

- Die Anwendung von CREAM unterliegt einer methodischen Vorgehensweise, die nur bedingt auf nicht kernkraftwerktechnische Fragestellungen angewandt werden kann. Bei der Aufgabenanalyse wird z.B. deutlich, dass CREAM nur auf Arbeitsabläufe anwendbar ist, deren Vorgehensweise detailliert und Schritt für Schritt vorgegeben ist. Die zu betrachtende Aufgabenstellung der Reaktion des Fahrers auf die Warnung des SbW-Systems umfasst jedoch keine festgelegte Reihenfolge des Handelns, es wird vielmehr das Ergebnis mehrerer Handlungen, und zwar das Ergebnis des Anhaltens gefordert.
- Die Vorgehensweise der Analyse des menschlichen Verhaltens ist bei CREAM auf die Beurteilung des Verhaltens von professionellen Einzelpersonen ausgerichtet und nicht auf die Analyse eines Personalteams. Ein Transfer auf die gesamte Fahrerpopulation ist mit CREAM nicht möglich, wodurch die zu erzielende Gesamtaussage bzgl. des menschlichen Verhaltens im Systemfehlerfall des SbW mit CREAM nicht erreicht werden kann.
- Die Betrachtung des kognitiven Anforderungsprofils und der kognitiven Fehler ist zu wenig differenziert. Sie wird auf die sehr abstrakte Struktur der kognitiven Funktionen Kontrolle, Kompetenz, Planung und Ausführung beschränkt. CREAM kommt damit nicht dem Anspruch nach, mit dieser Methode eine möglichst realitätsnahe und im Hinblick auf kognitive Prozesse fundierte Analyse des menschlichen Verhaltens durchführen zu können.
- Die Anwendung von CREAM sieht eine nicht hierarchische Klassifizierung der Umgebungsbedingungen vor, die sich lediglich auf die Betriebsräume im Kernkraftwerk beziehen und damit den Anwendungsbereich der Methode auch hinsichtlich äußerer Einflussfaktoren stark einschränkt. Eine hierarchisch strukturierte Klassifizierung der Umgebungsbedingungen ist insbesondere bei der Betrachtung der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle von Relevanz, da sie das Verhalten des Fahrers und in der Konsequenz die Straßenverkehrssicherheit erheblich beeinflussen (Benda, 1983).
- Die in CREAM zur Quantifizierung der menschlichen Zuverlässigkeit verwendete Datenbasis basiert auf subjektiven Expertenschätzungen und stellt damit die Erzielung realistischer Ergebnisse in Frage.

Für die vorliegende Aufgabenstellung der Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle im Fehlerfall des Steer-by-Wire Systems erwies sich das Verfahren aus den genannten Gründen als nicht anwendbar.

Um eine aussagekräftige Vorhersage des menschlichen Verhaltens zu erzielen, ist es unabdingbar, das System und seine Umgebungsbedingungen zu analysieren, die kognitiven Prozesse des Menschen detailliert zu beurteilen und die Interaktion zwi-

schen Mensch und Technik auf der Basis empirisch ermittelter Daten zu quantifizieren.

Es wird in der vorliegenden Arbeit ein Ansatz entwickelt, bei dem sachliche (Umgebungsfaktoren, situative Faktoren etc.) und menschliche Einflussfaktoren (u.a. kognitive Aspekte) und ihre Wechselbeziehungen gemeinsam in einem Verfahren betrachtet werden. Es erfolgt zudem eine Quantifizierung des menschlichen Verhaltens durch die Anwendung eines Verfahrens der zweiten Generation, der Methode CAHR (Connectionism Assessment of Human Reliability) (Sträter, 1999), das ebenfalls auf Erfahrungswerten von Analysen sicherheitsrelevanter Betriebsereignisse in deutschen Kernkraftwerken basiert.

4 Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle

Mit der steigenden Komplexität technischer Systeme wird gleichzeitig die Zuverlässigkeitsvorhersage des Gesamtsystems erschwert. Gründe dafür sind z.B. die durch größere Komponentenanzahl bedingte Zunahme der Ausfallkombinationen und common mode Fehler (siehe Kapitel 2.4). Wenngleich die Systeme hinsichtlich ihrer technischen Sicherheits- und Zuverlässigkeitscharakteristika durch die Anwendung effizienter Analyseverfahren bestmöglich ausgelegt werden können, verbleibt eine Wahrscheinlichkeit, dass das System durch einen Fehler in einen kritischen Zustand übergeht (siehe Kapitel 2.3).

Der Mensch besitzt in diesem Fall als „letzte Instanz“ die Fähigkeit, die Situation zu erfassen, zu beurteilen und durch aktives Eingreifen das System in den sicheren Zustand zu überführen. Er wird damit in das Sicherheitskonzept des Steer-by-Wire Systems integriert. Ihm und seinem Handeln wird im Vergleich zu herkömmlichen elektronischen Fahrzeugsystemen (wie z.B. ABS) eine neue Verantwortung übertragen. Sein Handeln im Fall eines Systemfehlers ist für die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems von großer Relevanz, da nur er durch sein richtiges Verhalten die vom System ausgehende Gefahr kompensieren kann.

Um die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems zu gewährleisten, ist es daher erforderlich, das technische System und die Fähigkeiten des Menschen bestmöglich aufeinander abzustimmen. In Untersuchungen wurde nachgewiesen, dass durch die Berücksichtigung der menschlichen Zuverlässigkeit ein Optimierungspotenzial für die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems geschaffen wird (Sträter, 1999a), (Hollnagel, 1996).

Zur Abstimmung der technischen Voraussetzungen und der menschlichen Fähigkeiten ist die Betrachtung des Systems und seines Kontexts notwendig.

4.1 Kontextanalyse

Das Gesamtsystem *Straßenverkehr* umfasst die Subsysteme *Straßennetz*, *Fahrzeuge*, *Fahrer* und *nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer*. Diese Subsysteme stehen miteinander in einer ständigen Wechselbeziehung.

Die Interaktion zwischen Mensch und Technik lässt das Verkehrssystem *Fahrer-Fahrzeug-Straße* zu den Mensch-Maschine-Systemen (MMS) zuordnen, einem grundlegenden und kontextbezogenen Ansatz, durch den systematisch alle Parameter der Systemumgebung dargestellt und darüber hinaus ergonomische, personelle und organisatorische Faktoren sowie ihre Wechselwirkungen erfasst werden.

Bild 4-1 verdeutlicht die Struktur des MMS *Fahrer-Fahrzeug-Straße*.

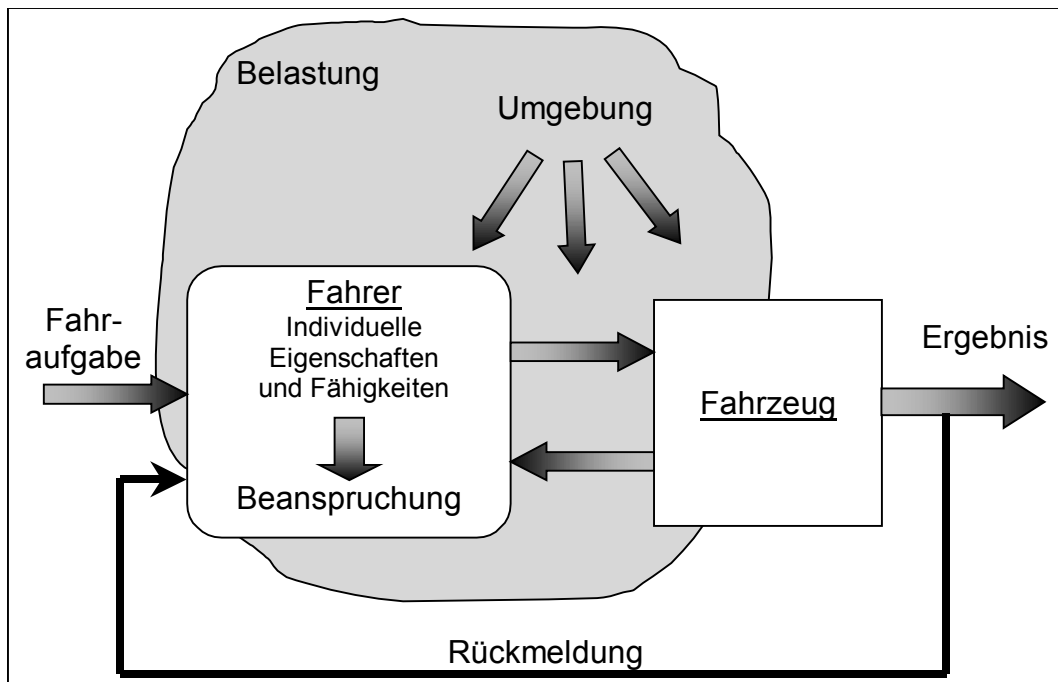


Bild 4-1: Strukturschema des MMS „Fahrer-Fahrzeug“ in Anlehnung an (VDI 4006, 1999a)

Die durch den Straßenverkehr bedingten dynamischen Prozesse, die insbesondere bei hohem Verkehrsaufkommen durch schnell wechselnde Fahrsituationen geprägt sind, und die damit verbundene ständig variierende Informationskomplexität stellen eine Belastung für den Fahrer dar. In Abhängigkeit der individuellen Voraussetzung führen diese Belastungen zu einer Beanspruchung des Fahrers und damit zu einer Einschränkung seiner Leistungsfähigkeit. Erschwerend wirken sich Umgebungsbedingungen wie Wetter- und Straßenverhältnisse auf die Interaktion von Fahrer und Fahrzeug aus. Diese Faktoren haben damit einen entscheidenden Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Fahrers und damit auf die Sicherheit des Gesamtsystems *Strassenverkehr* (IFAPLAN, 1984).

4.2 Faktorenanalyse

Faktoren, die die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug beeinflussen und zu einer Belastung und Beeinträchtigung der individuellen Leistungsvoraussetzung führen, werden als *leistungsbeeinflussende Faktoren* (performance shaping factors – PSF) bezeichnet. PSF beeinflussen den kognitiven Verarbeitungsprozess und erschweren damit die Prognose des menschlichen Verhaltens im Fehlerfall.

Die Vielzahl und die Variabilität der theoretisch möglichen PSF, ihrer Zustände und Wechselwirkungen erfordert eine systematische und methodische Betrachtung dieser Faktoren. Eine transparente und strukturierte Darstellung der Analyse der leistungsbeeinflussenden Faktoren stellt die Grundlage für die Identifikation von Parametern und deren Kombinationen dar, die Auswirkungen auf die Leistung des Fahrers und

damit auf die menschliche Handlungszuverlässigkeit und in der Konsequenz auf die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems haben.

Zur Realisierung dieser Faktorenanalyse wurde das in der PSA und HRA häufig angewandte methodische Werkzeug der *Klassifizierung* gewählt (Hollnagel, 1998). Die Klassifizierung ermöglicht die eindeutige, konsistente und klar strukturierte Darstellung einer Informationsbasis der situativen Merkmalkategorien des MMS *Fahrer-Fahrzeug-Straße*.

In der vorliegenden Arbeit bildet die Klassifizierung die Voraussetzung, einen Bezug zwischen den straßenverkehrsspezifischen Klassen und den kognitiven Verhaltenstendenzen herzustellen, die das menschliche Verhalten maßgeblich bestimmen (siehe Kapitel 4.7).

Die vorgenommene Klassifizierung basiert auf der in der Richtlinie VDI 4006 (1999a) enthaltenen Darstellung von leistungsbeeinflussenden Faktoren in Mensch-Maschine-Systemen. Sie wurde im Hinblick auf die Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle des SbW-Systems generiert und ist in Bild 4-2 grafisch dargestellt.

Dazu werden die leistungsbeeinflussenden Faktoren in externe, d.h. sachliche (external PSF) sowie interne, d.h. menschliche Leistungsvoraussetzungen (internal PSF) gegliedert.

Sachliche Leistungsvoraussetzungen werden durch organisatorische und technische Vorbedingungen definiert. Organisatorische Vorbedingungen sind z.B. die Warnstrategie im Fehlerfall des SbW-Systems und der Fahrttyp. Zu den technischen Vorbedingungen zählen die Schwierigkeit der Fahraufgabe und situative Faktoren wie Umgebungsbedingungen und Wetterverhältnisse.

Bei den internen, menschlichen Leistungsvoraussetzungen wird zwischen Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft differenziert, die durch die individuellen psychischen und physischen Voraussetzungen bestimmt werden. Weiterhin erfolgt die Klassifizierung unter Berücksichtigung der von Benda (1983) erarbeiteten „Anforderung an die Klassifikation“ der eindeutigen Zuordnung jedes Elements der Grundmenge zu nur einer Teilmenge.

Gegenüber der Arbeit von Benda (1983) ist die Erreichung der vollständigen Abbildung der sachlichen und menschlichen Leistungsvoraussetzungen hier nicht die Zielsetzung der Klassifizierung. Das Ziel der Klassifizierung ist vielmehr eine im Hinblick auf die menschliche Informationsverarbeitung optimierte Bildung von Taxonomien zur Beschreibung des MMS *Fahrer-Fahrzeug-Straße*, um in der Konsequenz eine Aussage über die menschliche Handlungszuverlässigkeit unter den verschiedenen situativen Bedingungen zu treffen.

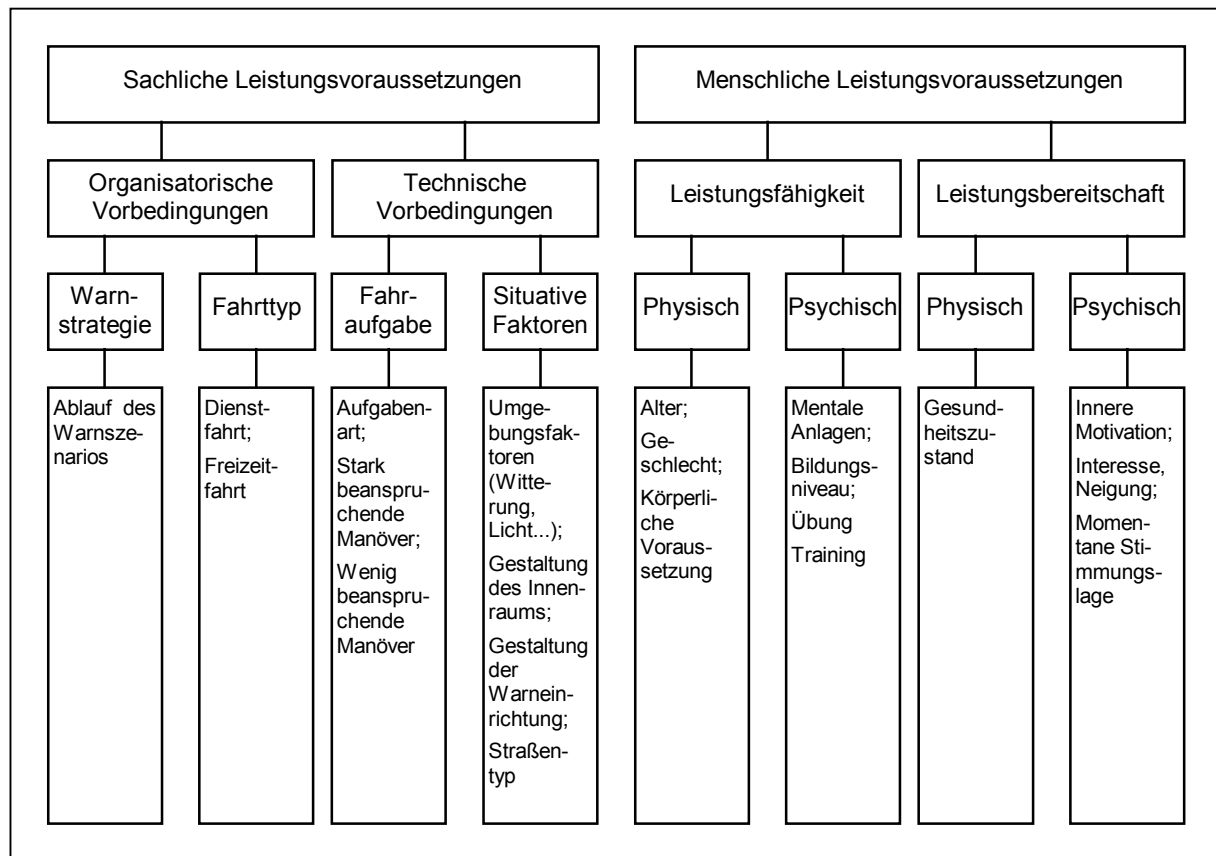


Bild 4-2: Leistungsbeeinflussende Faktoren des Fahrers in Anlehnung an (VDI 4006, 1999a)

In der Literatur liegen einige Beiträge vor, die eine Klassifizierung des MMS Fahrer-Fahrzeug-Straße beinhalten. Benda (1983), Fastenmeier (1995), IFAPLAN (1984), und Polizei (1998) diskutieren Klassifizierungen zu diesem Thema.

Diese Klassifizierungen erfassen objektive Parameter des MMS durch eine begrenzte Anzahl von Kategorien. Sie sind beobachtungsorientiert zusammengestellt, d.h. es wird hauptsächlich der visuelle Input im Gesichtsfeld des Autofahrers berücksichtigt. Damit werden die Häufigkeiten des Auftretens der dargestellten Situationen und Faktoren erfasst.

Diese Vorgehensweise lässt jedoch nur bedingt einen Rückschluss auf die Wahrnehmungsprozesse des Fahrers und damit auf die Zuverlässigkeit seiner Handlungen zu.

Um diesbezüglich Erkenntnisse zu gewinnen, erfolgte eine Modifikation der Klassifizierungen unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte:

- 1) Abgleich mit den in Bild 4-2 und den von Benda (1983), Fastenmeier (1995) und Polizei (1998) dargestellten Kriterien.
- 2) Reduktion und Auswahl unter der in den von Benda (1983) und Fastenmeier (1991) erarbeiteten sowie in Polizei (1998) enthaltenen Klassifizierungen.

3) Schwerpunktbildung im Hinblick auf kognitive Parameter und Kriterien der Informationsverarbeitung.

Im Folgenden wird zunächst eine detaillierte Spezifizierung der sachlichen Leistungsvoraussetzungen vorgenommen.

4.3 Sachliche Leistungsvoraussetzungen

4.3.1 Organisatorische Vorbedingungen

Ablauf der Warnstrategie

Die Grundlagen zur Auslegung von Warnstrategien wurden in Kapitel 4.5 dargestellt. Auf dieser Basis wird ein auf das SbW-System angepasstes Warnszenario in Kapitel 5.2.3 entwickelt.

Klassifizierung der Fahrttypen

Die Klassifizierung der Fahrttypen erfolgte auf der Grundlage der in Pro Driver (1995) enthaltenen Kategorien repräsentativer Fahrttypen, deren Taxonomien sich am Fahrtzweck orientieren. In Tabelle 4-1 wurden diese Taxonomien unter Berücksichtigung der kognitiven Beanspruchung modifiziert.

Tabelle 4-1: Klassifizierung der Fahrttypen

Fahrttyp	Spezifizierung	Erläuterung
Dienstfahrt	Fahrt zu einem Termin	
	Fahrt zur / von der Arbeit	
	Transportfahrt	LKW-Fahrer, Taxifahrer
	Einsatzfahrt	Polizei, Feuerwehr
Freizeitfahrt	Wochenend-/Urlaubsfahrt	
	Erledigungsfahrt	Einkaufsfahrt

4.3.2 Technische Vorbedingungen

Schwierigkeit der Fahraufgabe

Das hierarchische Drei-Ebenen-Modell von Bernotat (1970) gliedert die Fahraufgabe im Allgemeinen in das Navigieren, Bahnführen und Stabilisieren. Sehr detailliert wird die Fahraufgabe von McKnight (1970) beschrieben. Diese Darstellungen sind sehr umfangreich, sodass für die Aufgabenstellung der Analyse des Fahrerverhaltens im Fehlerfall des SbW-Systems eine Beschränkung auf die leistungsbeeinflussenden Faktoren vorgenommen wurde.

In der vorliegenden Klassifizierung wird die Fahraufgabe unter Berücksichtigung des leistungsbeeinflussenden Kriteriums „Schwierigkeit der Fahraufgabe“ und anhand des Berichts Polizei (1998) kategorisiert. Es wird im Hinblick auf die Anforderung an

die Informationsverarbeitung zwischen normaler und erhöhter Fahrerbeanspruchung durch die Fahraufgabe bzw. das Fahrmanöver differenziert.

Tabelle 4-2: Klassifizierung der Fahrmanöver/-aufgabe

Manöver	Spezifizierung
Regeln und Kontrolle von Geschwindigkeit und Spurführung normale Fahrerbeanspruchung	Beschleunigen, Verzögern, Lenken, Anpassen der Geschwindigkeit, Einhalten des Sicherheitsabstandes
Regeln und Kontrolle von Geschwindigkeit und Spurführung erhöhte Fahrerbeanspruchung	Überholen, Überholt werden, Vorbeifahren, Nebeneinander fahren, Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Halten, Einparken

Klassifizierung der situativen Faktoren und der Umgebungsfaktoren

Die Situations- und Umgebungsfaktoren werden in einer gemeinsamen Kategorie dargestellt, da sie oftmals einander bedingen. Die Klassifizierung wurde in Anlehnung an die Arbeit von Fastenmeier (1995) sowie die Berichte IFAPLAN (1984) und Polizei (1998) vorgenommen. Pro Driver (1995) definiert Verkehrssituationen als „Elemente einer Fahrt“, „die Situation selbst beschreibt die Umgebung des MMS *Fahrer-Fahrzeug-Straße*“. Die in den o.a. Werken enthaltenen Kategorien der situativen Faktoren und Umgebungsfaktoren wurden miteinander abgeglichen und in Tabelle 4-3 unter Berücksichtigung der Informationsverarbeitungskriterien und kognitiven Beanspruchung des Fahrers modifiziert.

Tabelle 4-3: Klassifizierung der situativen und Umgebungsfaktoren

Situative Faktoren	Parameter	Spezifizierung
Verkehrssituationen	Verkehrsbewegung	hohe Verkehrsdichte; geringe Verkehrsdichte; konstanter Verkehrsfluss; Kolonnenverkehr; Stau; hohe Geschwindigkeit; geringe Geschwindigkeit
Verkehrsteilnehmer	Kraftfahrzeuge; Fahrräder; Fußgänger	
Umgebungsfaktoren	Parameter	Spezifizierung
Lichtverhältnisse	Tageslicht; Nachtlicht; Diffuses Licht	Sonnenschein; Dunkelheit; Nebel; Morgengrauen; Dämmerung
Innenraumklima	Hitze; Kälte; Luftfeuchtigkeit	
Niederschlag	Regen; Schnee; Hagel	
Seitenkräfte	Seitenwind; Böen	
Geräusche/Fahrgeräusche	Radio; TV; Telefon; Naviga- tionssystem; Warneinrich- tungen; Motor; Reifen; Tun- nel; Fahrtwind; Wind	
Topographie / momentane Umgebung	Bergig Eben	städtische Umgebung; ländliche Umgebung städtische Umgebung; länd- liche Umgebung
Gestaltung des Innenraums	Anthropometrische und ergonomische Gestaltung der Warneinrichtung	Auslegung der Warneinrich- tung (Display, akustische Warneinrichtung)

Klassifizierung der Straßentypen

Die Gruppierung der Straßentypen erfolgte in Anlehnung an die in den Arbeiten von McKnight (1970) und Pro Driver (1995) aufgeführten beobachtungsorientierten Klassifizierungen. Als Kriterien der Klassifizierung wurden die Anforderungen, die die verschiedenen Straßentypen an die Informationsverarbeitungsmechanismen und kognitiven Verarbeitungsprozesse des Fahrers stellen, zu Grunde gelegt. Die Klassifizierung ist in Bild 4-4 enthalten.

Tabelle 4-4: Klassifizierung der Straßentypen

Umgebungsfaktoren	Parameter	Spezifizierung
Straßengruppe	Autobahn; Bundes-, Landes- Kreis- straße; Gemeindestraße	
Anzahl der Fahrspuren	Eine Fahrspur; Mehrere Fahrspuren	
Straßenverlauf	Normale Fahrerbeanspru- chung; Erhöhte Fahrerbeanspru- chung	Gerade Strecke; Kurven Verschwenkung, Gefälle, Steigung, Insel, Engpass, Einfädungsstreifen, Be- schleunigungsstreifen, Kreuzung, Bahnübergang, Baustellenbereich, Fußgän- gerüberweg, Parkplatz/- haus, Bauwerke (Tunnel, Brücke)
Hindernisse neben der Fahrbahn	Baum, Mast, Brückenpfei- ler, Schutzplanke	
Straßenverhältnisse	Schneeglätte, Eisglätte, Aquaplaning, Laub	
Straßenzustand	Spurrillen, Schlaglöcher	

4.4 Klassifizierung gemäß systemergonomischem Ansatz

Die Systemergonomie befasst sich mit der menschengerechten Gestaltung der Bedienung technischer Produkte und Systeme, in dem der Informationsfluss zwischen Mensch und Maschine optimiert wird (Bubb, 1992).

Der systemergonomische Ansatz, der auf dem Ansatz des MMS aufbaut, stellt eine personenunabhängige Klassifikation der äußeren Situation dar und betrachtet damit objektiv die unter bestimmten situativen Faktoren durchzuführende Aufgabe und ermöglicht darüber hinaus eine Modellierung der kognitiven Belastung (Bubb, 1992). Mit Hilfe der Systemergonomie können kognitive Aspekte strukturiert werden. Dazu werden folgende Parameter und Deskriptoren verwendet.

- **Aufgabe** – Handelt es sich um eine monotone Aufgabe, d.h. beobachtet der Fahrer etwas oder liegt eine aktive, d.h. durchführende Aufgabe vor?
- **Bedienung** – Ist eine simultane, d.h. koordinierende oder eine sequenzielle bzw. befolgende Bedienung erforderlich?
- **Darstellungsart** – Handelt es sich bei der Aufgabe um eine Folgeaufgabe, bei der der Fahrer den Unterschied zwischen Aufgabenstellung und Aufgabenerfüllung selbst erkennen muss oder liegt eine Kompensationsaufgabe vor, bei

der der Unterschied zwischen Aufgabenstellung und Aufgabenerfüllung aufgezeigt wird und der Fahrer nur die Abweichungen erkennen kann?

- **Dimensionalität** – Die Dimensionalität beschreibt die Anzahl der Freiheitsgrade des zu steuernden Systems, auf die unabhängig voneinander Einfluss genommen werden kann.
- **Führungsart** – Ist der Fahrer bei der Durchführung der Aufgabe räumlich und zeitlich festgelegt (dynamische Führungsart), d.h. muss er verfolgende Tätigkeiten ausüben oder ist die Aufgabe nicht zeitlich determiniert (statische Führungsart), muss der Fahrer zeitlich unabhängig etwas bedienen?
- **Kompatibilität** – Liegt eine innere Kompatibilität vor, gleicht der Fahrer sein inneres Modell bzgl. der Systemeigenschaften mit den tatsächlichen Systemeigenschaften ab und muss der Fahrer somit assoziieren oder liegt eine äußere Kompatibilität vor, d.h. vergleicht der Fahrer die Systemeigenschaften mit denen anderer Systeme?
- **Rückmeldung** – Erhält der Fahrer eine Rückmeldung vom technischen System oder der Umgebung?

Tabelle 4-5 beinhaltet die systemergonomischen Klassifikationen ausgewählter sachlicher Leistungsvoraussetzungen (vgl. Kapitel 4.3) zur Modellierung der kognitiven Belastung. Die Auswahl der sachlichen Leistungsvoraussetzungen erfolgte im Hinblick auf die Darstellbarkeit im Fahrsimulatorexperiment. Ausgelagert aus der Tabelle 4-5, sind im Folgenden zunächst die grundsätzlichen, situationsunabhängigen systemergonomischen Charakteristika der Fahrzeugführung aufgeführt (vgl. (Bubb, 1992) und (Reichart, 2000)).

Die Aufgabenart der Fahrzeugführung ist durchweg aktiv.

Die Darstellungsart ist eine Kompensationsaufgabe. Mit Ausnahme von Geschwindigkeits- und Navigationsanzeige erfolgt die Fahrzeugführung ohne technische Kompensationsanzeige ausschließlich über die Sicht nach außen. Der Fahrer muss die Veränderungen der Fahrumgebung identifizieren, bildet die jeweilige Aufgabenstellung und generiert die mentalen Sollgrößen. Diese mentalen Sollgrößen werden mit der Aufgabenerfüllung verglichen und Abweichungen kompensiert.

Die Fahrzeugführung ist grundsätzlich eine zweidimensionale Aufgabe. Der Fahrer kann die Längs- und Querführung des Fahrzeugs mit Lenkrad und Bremspedal beeinflussen und stellt sich dabei die räumliche Veränderung der Lage des Fahrzeugs vor.

Tabelle 4-5: Klassifizierung gemäß systemergonomischem Ansatz

1) Klassifizierung der Straßen- und Verkehrssituationen	Systemergonomische Klassifikation / Ausprägung; kognitive Aktivität	Bewertung
Unterschiedliche Straßenarten, hohe Verkehrsdichte, Engstellen, starker Mischverkehr, städtische Umgebung, enge Bebauung, gute Infrastruktur, kurvenreiche Strecke / Passstraße <u>Beispiel:</u> Fahrer ist stark in den Verkehr eingebunden	Bedienung: <i>Simultan</i> ; koordinieren Führungsart: <i>Dynamisch</i> ; verfolgen Kompatibilität: <i>Äußere</i> ; vergleichen Rückmeldung: <i>Ja</i>	<i>Hohe Belastung</i>
Landstraße, geringe Verkehrsdichte, gerader Straßenverlauf, ländliche Umgebung <u>Beispiel:</u> Fahrer "fährt vor sich hin", ohne große Beeinträchtigungen	Bedienung: <i>Sequenziell</i> ; befolgen Führungsart: <i>Dynamisch</i> ; verfolgen Kompatibilität: <i>Innere</i> ; assoziieren Rückmeldung: <i>Ja</i>	<i>Geringe Belastung</i>
2) Klassifizierung der Situations- / Umgebungsfaktoren	Systemergonomische Klassifikation / Ausprägung; kognitive Aktivität	Bewertung
Nebel, Lichtreize, Blendlicht, Lichtreflexe, Schneefall, Glätte <u>Beispiel:</u> Fahrer "tappt" durch den Nebel, versucht, im Blendlicht etwas zu erkennen, starrt auf die Straße	Bedienung: <i>Sequenziell</i> ; befolgen Führungsart: <i>Statisch</i> ; bedienen Kompatibilität: <i>Äußere</i> ; vergleichen Rückmeldung: <i>Nein</i>	<i>Hohe Belastung</i>
Dunkelheit, Regen <u>Beispiel:</u> Fahrer fährt "normal vor sich hin", ohne große Beeinträchtigung	Bedienung: <i>Simultan</i> ; koordinieren Führungsart: <i>Dynamisch</i> ; verfolgen Kompatibilität: <i>Äußere</i> ; assoziieren Rückmeldung: <i>Ja</i>	<i>Geringe Belastung</i>
3) Klassifizierung der Fahrmanöver/-aufgabe	Systemergonomische Klassifikation / Ausprägung; kognitive Aktivität	Bewertung
Überholen, Überholtwerden, Vorbeifahren, Nebeneinander fahren, Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Halten, Einparken, Telefonieren <u>Beispiel:</u> Fahrer ist stark mit Fahraufgabe beschäftigt	Bedienung: <i>Simultan</i> ; koordinieren Führungsart: <i>Dynamisch</i> ; verfolgen Kompatibilität: <i>Äußere</i> ; assoziieren Rückmeldung: <i>Ja</i>	<i>Hohe Belastung</i>
Beschleunigen, Verzögern, Lenken, Anpassen Geschwindigkeit, Einhalten Sicherheitsabstand, Bedienung Klimaanlage / Radio <u>Beispiel:</u> Fahrer "fährt vor sich hin"	Bedienung: <i>Sequenziell</i> ; befolgen Führungsart: <i>Statisch</i> ; bedienen Kompatibilität: <i>Innere</i> ; vergleichen Rückmeldung: <i>Ja</i>	<i>Geringe Belastung</i>

Die systemergonomische Klassifikation stellt den Ausgangspunkt dar, verschiedene technische Anwendungsbereiche hinsichtlich kognitiver Aspekte systematisch miteinander zu vergleichen.

Da im Automobilbereich keine Analysemethoden zur Untersuchung der menschlichen Zuverlässigkeit insbesondere hinsichtlich kognitiver Aspekte vorliegen (Hollnagel, 1996), werden Methoden aus dem Kernkraftwerkbereich angewandt und dort gewonnene Erkenntnisse auf den Bereich der Automobilindustrie übertragen.

Die Übertragbarkeit der Erkenntnisse anhand der Spezifikation der external PSF zur Modellierung der kognitiven Belastung wird in Kapitel 4.9 bzw. 5.3 verifiziert.

4.5 Menschliche Leistungsvoraussetzungen

Klassifizierung der Fahrertypen

Die Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit anhand seiner Fähigkeiten erfordert neben der Analyse der sachlichen Leistungsvoraussetzungen auch die Analyse der menschlichen Leistungsvoraussetzungen.

Die Analyse der menschlichen Leistungsvoraussetzungen (internal PSF) gestaltet sich ungleich schwieriger. Hierbei handelt es sich nicht um quantifizierbare oder definierbare Parameter wie Niederschlagsmenge, Helligkeit oder Kurvenradius, die im Rahmen einer Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse objektiv bewertet werden können, sondern vielmehr um individuelle, einer großen Variabilität unterliegenden Merkmale, deren Abstraktion von Einzelfällen auf die Gesamtheit der Fahrerpopulation nur schwer möglich ist.

Die menschlichen Leistungsvoraussetzungen, die in Anlehnung an die Richtlinie VDI 4006 (1999a) auf die Problemstellung „Warnung des Fahrers im Fehlerfall des SbW-Systems – wie wird er auf die Warnung reagieren“ modifiziert wurden, sind in Bild 4-2 aufgeführt. Es wird zwischen *physischer Leistungsfähigkeit* und *physischer Leistungsbereitschaft* einerseits und *psychischer Leistungsfähigkeit* und *psychischer Leistungsbereitschaft* andererseits unterschieden.

Zunächst werden die physischen Faktoren auf der Grundlage von IFAPLAN (1984) sowie Dingus (1997) klassifiziert (vgl. Tabelle 4-6). In der Spalte Einflussfaktoren werden die Kriterien der Klassifizierung angegeben, in der Spalte Parameter und Spezifizierung werden sie näher definiert.

Tabelle 4-6: Klassifizierung der physischen Einflussfaktoren

Leistungsfähigkeit		
Einflussfaktoren	Parameter	Spezifizierung
Alter		
Geschlecht	m/w	
körperliche Voraussetzungen	Konstitution	Größe, Gewicht, Kraft, Ausdauer (z.B. Belastbarkeit, Durchhaltevermögen), motorische Fähigkeiten (z.B. Reaktionsvermögen) Handicaps (Sehschwäche, Hörschwäche)
Leistungsbereitschaft		
Einflussfaktoren	Parameter	Spezifizierung
Gesundheitszustand	gesund krank	
	momentane Verfassung	Müdigkeit Hunger, Durst

Zur Erläuterung der den Wahrnehmungsprozess beeinflussenden psychischen Leistungsfähigkeits- und Leistungsbereitschaftsfaktoren (vgl. Tabelle 4-7) enthält die Spalte Parameter die Umschreibung des Faktors, die Spalte Spezifizierung eine exemplarische Fragestellung, an die Problemstellung „SbW-System fällt aus, Fahrer wird zuverlässig gewarnt“ zur Interpretation des Parameters.

Tabelle 4-7: Klassifizierung der psychischen Einflussfaktoren

Leistungsfähigkeit		
Faktoren	Parameter	Spezifizierung
Mentale Anlagen	Persönliche Voraussetzung: Fähigkeit der Informationswahrnehmung und -verarbeitung Naturel des Fahrers	Ist der Fahrer z.B. ein ängstlicher/ vorsichtiger/mutiger Fahrer? Kann er neue Informationen schnell verarbeiten?
Bildungsniveau	Wissen	Welche Bildung / Ausbildung hat der Fahrer, kann er die Warnung richtig interpretieren? Hat der Fahrer Systemkenntnisse?
Übung und Training	Erfahrung	Hat der Fahrer Erfahrung mit Warneinrichtungen oder mit Systemausfällen? Ist er z.B. ein erfahrener Fahrer oder ein Profi (Taxifahrer)?
Leistungsbereitschaft		
Faktoren	Parameter	Spezifizierung
Innere Motivation	Persönliche Einstellung: Interesse Persönliche Voraussetzung: Neigung momentane Stimmungslage Persönliche Erwartung bzgl. Des Systems	Hat der Fahrer Interesse am konkreten SbW-System? Ist der Fahrer generell technisch interessiert und kann daher leichter den Zusammenhang zwischen Warnung und Systemzustand herstellen? Wie verhält er sich gewöhnlich bei Warnmeldungen? Beeinflusst die Stimmungslage des Fahrers sein Verhalten und seine Entscheidung? Hat der Fahrer Vertrauen in das System? Was erwartet der Fahrer vom System, z.B. dass das System nicht ausfallen kann oder dass er ohnehin keinen Einfluss auf den weiteren Verlauf der Situation nehmen kann?
Äußere Motivation; organisatorische Vorbedingungen (external psf)	Persönliche Erwartung bzgl. Der Aufgabe/ des Ziels	Steht der Fahrer unter Zeitdruck, muss der Fahrer z.B. dringend zu einem für ihn wichtigen Termin oder hat er einen Fahrauftrag?

Die Analyse der Einflussfaktoren und ihrer Wechselwirkungen stellt die Grundlage zur Bewertung des Fahrerverhaltens dar. Die Wechselwirkungen zwischen diesen Faktoren sind die übergeordnete Ursache menschlicher Fehler (Sträter, 1999), die es nachfolgend zu analysieren gilt.

In der Automobilindustrie erfolgten bislang nur wenige Untersuchungen zur menschlichen Zuverlässigkeit und damit zu Reaktionen des Menschen im Systemfehlerfall. Im Kernkraftwerkbereich wurden diesbezüglich umfassende Analysen durchgeführt. In Anlehnung an diese Studien wurde die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle des SbW-System hinsichtlich der menschlichen Zuverlässigkeitsaspekte analysiert.

Der Fahrer nimmt im Fehlerfall des SbW die Rolle ein, den Systemzustand durch sein Handeln aktiv zu verändern, d.h., das System in den sicheren Zustand zu überführen. Durch das Erscheinen der Warnung wird beim Fahrer eine verstärkte Beanspruchung hervorgerufen, d.h. erhöhte Anforderungen an die Kognition und die Informationsverarbeitung des Fahrers gestellt. Es werden Denkprozesse initialisiert, in denen der Fahrer die Situation beurteilen und Entscheidungen treffen muss (vgl. Kapitel 3.1).

Der Prozess der Informationsverarbeitung und der daraus resultierenden Handlung kann gemäß des Modells von Rasmussen (1981) zielgesteuert oder wahrnehmungsgesteuert sein.

Bei der zielgesteuerten Vorgehensweise, die von der wissensbasierten Ebene ausgeht, stehen die Ziele und Erwartungen des Fahrers im Vordergrund. Der Fahrer leitet aus seiner Erfahrung und seinem Wissen Hypothesen über Problemursachen ab und kontrolliert deren Zutreffen.

Die wahrnehmungsgesteuerte Handlung geht von der Informationsaufnahme auf der fertigkeitbasierten Ebene aus. Der Fahrer versucht auf Erfahrungsmuster zurück zu greifen und die dem Problem entsprechenden Ursachen in seinem internen Modell wieder zu erkennen. Die Erfahrungsmuster werden dann mit dem jeweiligen Systemzustand abgeglichen. Sind die Erfahrungsmuster dem vorliegenden Systemzustand nicht adäquat, führt dies zu einem Fehler. Die Erfahrungsmuster entsprechen im Wesentlichen den in Bild 4-2 dargestellten menschlichen Leistungsvoraussetzungen. Darüber hinaus stellt die adäquate Rückmeldung des technischen Systems ebenfalls einen Parameter dar, der den kognitiven Verarbeitungsprozess des Menschen beeinflusst und zu fehlerhaften Handlungen führen kann.

Die Zuordnung der von Rasmussen dargestellten Ebenen zu bestimmten Aufgaben ist nur bedingt möglich, da eine starke Abhängigkeit des Informationsverarbeitungsprozesses von der Erfahrung und Vertrautheit des Fahrers mit der Aufgabe und der Situation besteht (Reichart, 2000). Im Fall des eher selten auftretenden SbW-Fehlerfalls und der damit verbundenen Warnung verläuft der Verarbeitungsprozess wissensbasiert.

Fehlhandlungen, die durch Denkprozesse ausgelöst werden, werden als kognitive Fehler bezeichnet (Engel, 1999). Kognitive Fehler treten nicht in gewohnten Situationen auf, sondern wenn der Mensch mit neuen, ihm unbekanntem Situationen mit unbekanntem Auswirkungen konfrontiert wird – bei der Transition vom sicheren in den gefährlichen Systemzustand.

4.6 Klassifizierung der Fehlerarten

Aus den vorangegangenen Klassifizierungen der Leistungsvoraussetzungen und unter Verwendung des systemergonomischen Ansatzes lassen sich nun die Fehlerarten für den vorliegenden Fall des SbW analog der Vorgehensweise im Kernkraftwerkbereich klassifizieren.

Bei Ausfall des SbW-Systems können folgende Arten kognitiver Fehler auftreten:

- Zeitbezogenes Fehlverhalten
- Wahrnehmung der Warneinrichtung
- Interpretationsfehler
- Bedienfehler

Die Klassifizierung der Fehlerarten wurde in Anlehnung an die Arbeiten von Hollnagel (1998) und Reason (1994) durchgeführt und für die *Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle* des Steer-by-Wire Systems generiert.

In Tabelle 4-8 werden die möglichen Fehlerarten spezifiziert und anhand der Beschreibung der fehlerhaften Aktivität des Fahrers erläutert.

Tabelle 4-8: Klassifizierung der Fehlerarten beim SbW-System

Zeitbezogenes Fehlverhalten		
Parameter	Fehlerart	Aktivität des Fahrers
Timing	zu früh	Fahrer reagiert unmittelbar auf die Warnung: - hält sofort an, ohne auf den nachfolgenden Verkehr zu achten - hält sofort an, bevor er einen sicheren Ort erreicht hat
	zu spät	Fahrer zeigt zunächst keine Reaktion auf die Warnung, reagiert dann aber doch noch wie in der Warnung vorgegeben
	keine Reaktion	Fahrer reagiert nicht auf die Warnung
Wahrnehmung der Warneinrichtung		
Parameter	Fehlerart	Aktivität des Fahrers
Wahrnehmung	keine Wahrnehmung	Fahrer nimmt die Warnung nicht wahr
	verspätete Wahrnehmung	Fahrer nimmt die Warnung spät wahr
Interpretationsfehler		
Parameter	Fehlerart	Aktivität des Fahrers
falsche Interpretation	unkorrekte Diagnose	Fahrer deutet die Warnung falsch
	Verspätete Interpretation	Fahrer benötigt zur Diagnosefindung viel Zeit, daher Verzögerung der Überführung des Fahrzeugs in den sicheren Zustand
	Entscheidungsfehler	Fahrer diagnostiziert richtig, entscheidet jedoch falsch
Bedienfehler		
Parameter	Fehlerart	Aktivität des Fahrers
Kraft	zu gering	Fahrer lenkt ungenau
	zu hoch	Fahrer überreißt das Lenkrad
Geschwindigkeit	zu schnell	Fahrer lenkt unkontrolliert
	zu langsam	Fahrer benötigt zu viel Zeit, um das Lenkmanöver zu beenden
Art der Handlung	falsche Lenkbewegungsrichtung	Fahrer lenkt in die falsche Richtung
	falsche Handlung	Fahrer verwechselt Bremsen und Lenken

4.7 Klassifizierung der kognitiven Verhaltenstendenzen

Zur Analyse kognitiver Fehler werteten Sträter (1997) und Mosneron (1998) Ereignisse in Kernkraftwerken aus. Diese Studie kombiniert Taxonomien der auszuführenden

Aufgabe, der Fehler und der PSF unter der Berücksichtigung des Verhaltens der Operateure im Fehlerfall. Es wurden dabei kognitive Fehler analysiert und Rückschlüsse auf deren Entstehung und Ursache gezogen und Taxonomien für kognitive Verhaltenstendenzen abgeleitet. Kognitive Verhaltenstendenzen bilden die Strategie und den Mechanismus der kognitiven Verarbeitungsprozesse und Verhaltensmechanismen bei der Problemlösung ab und führen in Abhängigkeit der PSF zu kognitiven Fehlern (Mosneron, 1998).

Die kognitiven Verhaltenstendenzen diskutiert Mosneron (1998) anhand von Fallstudien aus dem Kernkraftwerkbereich.

Die dort ermittelten kognitiven Verhaltenstendenzen wurden für die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle im Fehlerfall des SbW generiert:

- *KT 1: Fixation* – Fixierung des Fahrers auf eine persönliche Zielstellung oder eine örtliche Zielerreichung bzw. eine Fahraufgabe
- *KT 2: Reluctance to undertake unusual actions or actions with negative consequences* – Widerwille des Fahrers, ungewohnten Handlungsaufforderungen oder Handlungsaufforderungen mit negativen Konsequenzen zu folgen; gleichzeitig geht er damit das erhöhte Risiko eines Systemausfalls ein
- *KT 3: Eagerness to act* – Der Fahrer hält übereilt sofort nach Erscheinen der Warnung an, ohne auf den Verkehr zu achten
- *KT 4: Subjective Probabilistic Reasoning* – Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen

Im Automobilbereich wird eine hinsichtlich ihrer Fähigkeiten und Fahrerfahrung sehr unterschiedliche Fahrerpopulation mit der Warnung konfrontiert, bei der -vergleichsweise zu dem im Kernkraftwerkbereich ausgebildeten und auf Störereignisse geschulten Personal- von einem erhöhten Informationsbedarf ausgegangen werden kann.

Um bei den kognitiven Verhaltenstendenzen den Faktor „Informationsbedarf“ zielgerichtet abzubilden, wurden die vier kognitiven Verhaltenstendenzen um eine fünfte Tendenz erweitert:

- *KT 5: Increased but unjust confidence with more information* – Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen, mehr Informationen helfen dem Fahrer, besser bzw. schneller die Entscheidung zu treffen

Diese kognitiven Verhaltenstendenzen kann *eine* Person in den verschiedensten Kombinationen aufzeigen. Sie werden in Abhängigkeit der situativen Faktoren ausgelöst und können in Folge dessen in einer sehr effizienten Aktion oder im Gegensatz dazu in einem menschlichen Fehlverhalten resultieren.

Kognitive Verhaltenstendenzen können dabei interferieren, d.h. es ist nicht immer eine scharfe Abgrenzung der kognitiven Verhaltenstendenzen möglich.

Unterschiedliche Einflussfaktoren können mit den gleichen kognitiven Verhaltenstendenzen verbunden sein.

Verschiedene kognitive Verhaltenstendenzen können Fehler der gleichen Art und Ausprägung auslösen.

Die Korrelation zwischen den Situationsfaktoren und der kognitiven Verhaltenstendenzen wird anhand Tabelle 4-9 durchgeführt und die Effekte werden aufgezeigt. Dabei werden nur die negativen Manifestationen der kognitiven Verhaltenstendenzen betrachtet, da sie zu einer Beeinträchtigung der Systemsicherheit und -zuverlässigkeit führen können, die es im Rahmen dieser Arbeit zu betrachten gilt.

Vorausgesetzt wird dabei, dass der Fahrer im Fehlerfall des SbW auf Grund der Situationsfaktoren und der Vielzahl der Informationen falsch auf die Warnung reagiert. Die auslösenden Faktoren für das Fehlverhalten des Fahrers werden systematisch ergründet.

Die erste Spalte beinhaltet die fünf Klassifizierungen der kognitiven Verhaltenstendenzen (KT) in Anlehnung an die Arbeit von Mosneron (1998).

In der zweiten Spalte sind die menschlichen Leistungsvoraussetzungen (siehe Bild 4-2) systematisch aufgeführt und der jeweiligen kognitiven Verhaltenstendenz zugeordnet, gleichzeitig werden die fünf „Hauptkategorien“ (KT1 bis KT5) der kognitiven Verhaltenstendenzen feinspezifiziert (KT1.1 bis KT5.6), siehe dazu Anhang I.

In der dritten Spalte wird der Bezug zwischen dem kognitiven Verarbeitungsprozess und den situativen Faktoren hergestellt und eine Hypothese aufgestellt, die die mögliche Handlungsweise des Fahrers erläutert.

Tabelle 4-9: Auszug aus Anhang I, Klassifizierung der kognitiven Verhaltenstendenzen

Kognitive Tendenz	Einflussfaktoren	Beschreibung, Beispiele
KT 1 Fixation	Psychische Leistungsfähigkeit	
	Mentale Anlagen: Persönliche Voraussetzung: Fähigkeit der Informationswahrnehmung und -verarbeitung; Naturel des Fahrers KT 1.1	Unsicherer Fahrertyp: Auf Grund der Beanspruchung des Fahrers durch die Fahraufgabe oder die Umgebungsfaktoren ist seine Wahrnehmungs- und Aufnahmefähigkeit von neuen Informationen stark eingeschränkt
	Bildungsniveau; Wissen KT 1.2	Der Fahrer ist aufgrund seiner intellektuellen Voraussetzungen nicht fähig, die Komplexität des Problems zu erfassen
Übung und Training: Erfahrung KT 1.3	Der Fahrer hat hinreichende Erfahrung mit Systemausfällen und Warneinrichtungen (andere Systeme, auch SbW) und ist daher bzgl. neuer Informationen und Warnsignale unaufmerksamer. Der Fahrer hat keine Erfahrung mit Systemausfällen oder Warneinrichtungen (andere Systeme, auch SbW), die Warnung erweckt daher keine Erinnerung, die seine Aufmerksamkeit auf die Warneinrichtung und die neuen Informationen lenkt. Der Fahrer hat negative Erfahrungen mit Warneinrichtungen (z.B. Fehlalarme), neue Informationen und Warnsignale sind für ihn störend, bergen Unannehmlichkeiten, er ist daher bzgl. neuer Warnungen blockiert.	

4.8 Ermittlung kritischer Kombinationen von Situationsfaktoren und kognitiven Verhaltenstendenzen

Im Hinblick auf die Verifizierung der dargestellten methodischen Vorgehensweise durch ein Fahrsimulatorexperiment (siehe Kapitel 5) erfolgte eine Schwerpunktermittlung kritischer Kombinationen von Situationsfaktoren und kognitiven Verhaltenstendenzen. Die Zielsetzung der Schwerpunktermittlung war, aus den hinsichtlich des kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses ermittelten kritischen Kombinationen ein Szenario für die Fahrsimulatorstudie abzuleiten. Die Grundlage der Schwerpunktermittlung stellt Anhang II dar, deren Prinzipdarstellung Tabelle 4-10 wiedergibt. Die Ordinate beinhaltet die Klassifizierungen der sachlichen Leistungsvoraussetzungen gemäß systemergonomischem Ansatz, hergeleitet nach den kognitiven Beanspruchung in den dargestellten Situationen. Auf der Abszisse sind die kognitiven Verhaltenstendenzen aufgeführt. Um die Übersichtlichkeit zu bewahren, sind nur

die fünf Hauptgruppen der kognitiven Verhaltenstendenzen und es wurde auf die Differenzierung zwischen stark und wenig beanspruchend verzichtet.

Tabelle 4-10: Prinzipdarstellung der Schwerpunktermittlung kritischer Kombinationen von Situationsfaktoren und kognitiven Verhaltenstendenzen

Kognitive Tendenz Klassifizierung der sachlichen Leistungsvoraussetzungen	KT 1 Fixation	KT 2 Übereiltes Handeln	KT 3 Widerwille des Fahrers	KT 4 Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	KT 5 Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen
Straßen- und Verkehrssituationen <i>Hohe / Geringe Belastung</i>	✓		✓	✓	
Situations- und Umgebungsfaktoren <i>Hohe / Geringe Belastung</i>				✓	
Fahrmanöver/-aufgabe bzw. Fahrttyp <i>Hohe / Geringe Belastung</i>	✓	✓		✓	✓

Die Schwerpunkte wurden durch ein Expertenvoting ermittelt, bei dem sechs Experten ihr Urteil darüber abgaben, welche der Kombinationen aus ihrer Sicht als sicherheitsrelevant zu bezeichnen sind. Das Ergebnis stellte die Grundlage zur Definition der Szenarien der Fahrsimulatorstudie dar.

Das Expertenvoting (vgl. Einträge in Tabelle 4-10 bzw. Detailspezifikation in Anhang II) zeigt, dass die kognitive Verhaltenstendenz „Fixation“, d.h. die Fixierung des Fahrers auf eine persönliche Zielstellung oder eine örtliche Zielerreichung in Kombination mit den sachlichen Leistungsvoraussetzungen durchweg als kritisch beurteilt wurde. Übereiltes Handeln (Eagerness to act) wird in Verbindung mit Fahrttyp und Situations- und Umgebungsbedingungen als kritische Kombination erachtet. Im Gegensatz zur Analyse mit CAHR (s.u.) konnte auf Grund des Analyseverfahrens nicht zwischen „stark beanspruchend“ und „wenig beanspruchend“ unterschieden werden.

Einer der Schwerpunkte, die Kombination von Fahrttyp und Fixation wurde für das Fahrsimulatorexperiment ausgewählt, siehe dazu Kapitel 5.2.

4.9 Anwendung von CAHR

Die Validierung der in Kapitel 4.8 ermittelten kritischen Kombinationen situativer Faktoren und kognitiver Verhaltenstendenzen erfolgte durch die Anwendung eines methodischen Werkzeugs zur Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit der zweiten Generation (vgl. Kapitel 3.1.1), genannt CAHR (Connectionism Assessment of Human Reliability). Die Zielsetzung und Inhalte sowie die methodische Vorgehensweise dieses Verfahrens hat Sträter (1997) in seiner Arbeit ausführlich beschrieben.

Die Methode CAHR ist ein wissensbasiertes Werkzeug, mit dem Betriebsstörungen beurteilt werden können, die durch Personalhandlungen oder organisatorische Faktoren zustande kommen. Bislang wurden mit diesem Auswerte-Programm 232 Ereignisse in deutschen Kernkraftwerken zur Erstellung der Wissensbasis analysiert, die durch die Eingabe weiterer Ereignisse ständig erweitert wird. Diese beinhaltet Angaben zur Beschreibung des Systemzustands, der Fehlermöglichkeiten sowie der sachlichen und menschlichen Einflussfaktoren.

Der dem Verfahren zu Grunde liegende konnektionistische Ansatz ermöglicht es, qualitative und quantitative Datenanalysen in einem einheitlichen Modell durchzuführen. Es können sowohl Informationen für die Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit und der kognitiven Aspekte als auch für die Optimierung des technischen Systems in einer einheitlichen Datenbasis zur Verfügung gestellt werden und Erkenntnisse bzgl. kognitiver Fehler und organisatorische Einflussfaktoren gewonnen werden (Sträter, 1997). Aus diesem Grunde eignet sich dieses Verfahren ebenfalls für die vorliegende Aufgabe der Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle eines SbW-Systems.

Die Grundlage der Bewertung der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle mit Hilfe von CAHR bildet die in Kapitel 4.4 vorgestellte systemergonomische Klassifizierung der sachlichen Leistungsvoraussetzungen, d.h. der Straßen- und Verkehrssituationen, der Umgebungsfaktoren und der Fahrmanöver (siehe Tabelle 4-5). Die systemergonomischen Deskriptoren und die zugeordneten Ausprägungen wurden in das Softwarebasierte Tool CAHR eingegeben, wodurch die Auswertung der darin enthaltenen Datenbank erfolgte.

Die Ereignisse aus der Betriebserfahrung, die die Deskriptoren der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle aufwiesen, wurden ermittelt und hinsichtlich kognitiver Faktoren analysiert sowie die relativen Häufigkeiten für die Kombinationen bestimmt. Um darüber hinaus die relativen Häufigkeiten zu kalibrieren und anschließend menschliche Zuverlässigkeitskenngrößen gemäß Swain (1983), zu ermitteln, sind im Grunde probabilistische Verfahren wie das von Sträter (1997) beschriebene Rasch-Modell anzuwenden. Zur Schwerpunktermittlung kritischer Kombinationen ist jedoch die Bestimmung relativer Häufigkeiten ausreichend. Das Resultat der Analyse ist der jeweilige Anteil der Fehler, die auf die Ausprägung kognitiver Verhaltenstendenzen zurückzuführen sind, an der Gesamtheit der in der Datenbank enthaltenen Fehler. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 4-11 aufgeführt.

Im Gegensatz zum Expertenvoting ist hier eine Differenzierung hinsichtlich des Beanspruchungsgrades für die jeweiligen Leistungsvoraussetzungen möglich. Weiterhin sind die Schwerpunkte der kritischen Kombinationen quantitativ durch die Häufigkeiten der aufgetretenen Fehlverhalten kognitiver Ursache darstellbar. Dabei beziehen sich diese Häufigkeiten ausschließlich auf die Menge der kognitiv beanspruchenden Situationen.

Die beiden Ergebnisse sind in ihren Kernaussagen weitgehend deckungsgleich. Damit ist das Expertenvoting durch das Verfahren des systemergonomischen Ansatzes in Verbindung mit einer Auswertung mit CAHR qualitativ bestätigt und quantitativ ergänzt worden.

Die signifikantesten Ergebnisse einer Fahrsimulatorstudie lassen die Kombinationen „Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen“/„Straßen- und Verkehrssituationen, geringe Belastung“ und „Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen“/„Situations- und Umgebungsfaktoren, geringe Belastung“ erwarten. Diese sind aber auf Grund technischer Voraussetzungen des zur Verfügung stehenden Fahrsimulators nicht realisierbar gewesen, sodass auf die Kombination „Fixation“/„Fahrtyp“ zurückgegriffen wurde. Hier beträgt die zu erwartende Häufigkeit der kognitiven Fehler für beide Beanspruchungsgrade zusammen immerhin noch 47% (vgl. Tabelle 4-11). Die Umsetzung dieser Versuchsbedingung ist in Kapitel 5 beschrieben.

Anhand der in der Tabelle 4-11 aufgeführten Ergebnisse wird deutlich, dass der systemergonomische Ansatz eine geeignete Methode darstellt, verschiedene technische Bereiche hinsichtlich der kognitiven menschlichen Belastung miteinander zu vergleichen. Die Gleichartigkeit der Situationen hinsichtlich des kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses der Menschen im Kernkraftwerk und im Auto zeigt, dass diese Situationen zu den gleichen kognitiven Beanspruchungen des Menschen führen und damit das menschliche Verhalten maßgeblich beeinflussen.

So wird durch die systemergonomischen Deskriptoren beschriebene Klassifizierung „stark beanspruchendes Fahrmanöver“ nachgewiesen, dass in diesen Situationen 25 Prozent der menschlichen Fehlhandlungen auf kognitive Verhaltenstendenzen zurück zu führen sind. Diese Situation wurde ebenfalls im Expertenvoting als kritische Kombination identifiziert.

Die Anwendung von CAHR hat die durch das Expertenvoting durchgeführte Schwerpunktermittlung und damit auch die Ableitung eines Szenarios als Grundlage zur Verifizierung der methodischen Vorgehensweise bei der Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle abgesichert.

Tabelle 4-11: Prozentualer Anteil kognitiven Fehlverhaltens in Abhängigkeit der sachlichen Leistungsvoraussetzungen als Ergebnisse der CAHR Analyse der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle des Steer-by-Wire Systems

Kognitive Tendenz Klassifizierung der sachlichen Leistungsvoraussetzungen	KT 1 Fixation	KT 2 Übereiltes Handeln	KT 3 Widerwille des Fahrers	KT 4 Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	KT 5 Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen
Straßen- und Verkehrssituationen <i>Hohe Belastung</i>			12,5		
Straßen- und Verkehrssituationen <i>Geringe Belastung</i>				67	
Situations- und Umgebungsfaktoren <i>Hohe Belastung</i>	10				
Situations- und Umgebungsfaktoren <i>Geringe Belastung</i>				100	
Fahrmanöver/-aufgabe bzw. Fahrttyp <i>Hohe Belastung</i>	25				
Fahrmanöver/-aufgabe bzw. Fahrttyp <i>Geringe Belastung</i>	22			22	22

5 Fahrsimulatorstudie

Zur Validierung des vorgestellten methodischen Ansatzes wurde als empirische Untersuchung die Durchführung einer Simulatorstudie ausgewählt. Neben den herkömmlichen Anwendungsgebieten von Simulatoren, der Schulung und dem Training von Fachpersonal technischer Arbeitsbereiche wie der Nukleartechnik oder der chemischen Prozessindustrie werden Simulatorstudien auch zur psychologischen Analyse von Fehlermechanismen angewandt. Mehl (1999) stellt eine Simulatorstudie zur Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit einer Schiffsscrew bei der Bedienung eines nautischen Navigations- und Radarsystems dar. Der Schwerpunkt dieser Untersuchung liegt in der Betrachtung des Fehlermechanismus „Fixation“, dem in der Ursachenanalyse sicherheitsrelevanter Ereignisse, die auf menschliches Fehlverhalten zurückgeführt wurden, eine große Bedeutung beigemessen wird (Mehl, 1999), (Woods, 1988). In dieser Studie wird der Fehlermechanismus „Fixation“ experimentell nachgewiesen und es wird damit gleichzeitig aufgezeigt, dass Simulatorexperimente zielführend als Instrument zur Ursachenanalyse menschlicher Fehler eingesetzt werden können.

Auch in der Automobilindustrie gewinnen Simulatorexperimente zunehmend an Bedeutung, sie werden bislang im Wesentlichen zur frühzeitigen Analyse und Bewertung der Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle neuartiger Fahrzeugsysteme angewandt. Bereits in der Entwicklungsphase können durch Fahrsimulatorexperimente Schwachstellen an Systemkonzepten sowie an Gestaltung von Bedienabläufen und Bedienelementen aufgedeckt werden (Sanders, 1991), (Yow, 1997). Gegenüber Feldversuchen bieten Fahrsimulatorexperimente den Vorteil, dass Versuchspersonen mit sicherheitskritischen Situationen konfrontiert werden können, die in der realen Welt aus ethischen Gründen nicht realisierbar wären (Stanton, 1997). Zu solchen sicherheitskritischen Situationen zählt insbesondere ein Lenkungsausfall, dessen Simulation unter realen Umgebungsbedingungen zu die Verkehrssicherheit beeinträchtigenden Fahrmanövern führen kann. Außerdem ist es möglich, im Fahrsimulator Störvariablen auszuschalten, sodass standardisierte, konstante und damit reproduzierbare Bedingungen geschaffen werden können, unter denen das tatsächliche Fahrerverhalten zu analysieren ist. Werden in einem Simulatorexperiment Variablen verändert, ist davon auszugehen, dass das unterschiedliche Fahrerverhalten auf die Variation der Variablen zurück zu führen ist und nicht auf veränderte Umgebungsbedingungen.

Durch den Fahrsimulatorversuch kann zwar nicht das Verhalten der Versuchspersonen in der Realität abgebildet werden, es können jedoch Tendenzen des Verhaltens ermittelt werden, die im Straßenverkehr eine andere Ausprägung aufweisen.

Die sorgfältige Konzeptionierung des Fahrsimulatorexperiments ist die Grundlage zur zielgerichteten Validierung des methodischen Ansatzes. Folgende Punkte sind dazu detailliert zu berücksichtigen.

-
- Klare Definition der Zielsetzung der Fahrsimulatorstudie
 - Auswahl der kritischen Situation gemäß Kapitel 4
 - Auslegung des Warnszenarios unter Berücksichtigung der Realisierbarkeit im Fahrsimulator
 - Auslegung des Versuchsaufbaus
 - Definition der methodischen Vorgehensweise
 - Gestaltung der Aufgaben
 - Ermittlung der Versuchspersonenanzahl und ggf. Durchführung eines Screenings
 - Auswertung der Versuchsergebnisse

5.1 Zielsetzung der Fahrsimulatorstudie

Als Zielsetzung der Fahrsimulatorstudie wurde definiert, durch die Beobachtung des Verhaltens der Versuchspersonen beim Ablauf des Warnszenarios Erkenntnisse über ihre Entscheidungsmechanismen zu gewinnen und Faktoren zu ermitteln, die die Reaktionen der Versuchspersonen auslösen. Die zentrale Fragestellung lautete „Wie werden die Versuchspersonen auf die Warnung reagieren – und warum?“.

Es wurden folgende Hypothesen aufgestellt, die im Rahmen des Fahrsimulatorexperiments untersucht werden sollten.

- Die bei der Schwerpunktermittlung kognitiver Verhaltenstendenzen und sachlicher Leistungsvoraussetzungen ausgewiesene kritische Kombination „Fixation/Fahrttyp“ ist geeignet, um eine kognitiv stark beanspruchende Situation und eine weniger stark beanspruchende Situation darzustellen.
- Durch eine konkrete Induzierung der Versuchspersonen auf eine Situation sowie ein an die indizierte Situation angepasstes Fahrsimulatorszenario werden klar strukturierte und reproduzierbare Versuchsbedingungen geschaffen.
- Bei der stark beanspruchenden Situation werden die Versuchspersonen, da sie sich an einem Ziel bzw. einer Zielstellung orientieren, eine andere Reaktion auf die Warnung aufweisen, als bei der wenig beanspruchenden Situation.
- Aus der Reaktion der Versuchspersonen auf die Warnung können Erkenntnisse über die Informationsverarbeitungsprozess abgeleitet werden.
- Der Zeitpunkt der Warnung hat einen Einfluss auf die Reaktion der Versuchspersonen.
- Ein von den Versuchspersonen auszufüllender Fragebogen lässt neben der Ermittlung allgemeiner persönlicher Daten einen Rückschluss auf folgende Aspekte zu:
 - Einstellung der Versuchspersonen zu ihrem üblichen Verhalten im Straßenverkehr

- Einstellung der Versuchspersonen zu anderen Verkehrsteilnehmern
 - Einstellung der Versuchspersonen zum Autofahren
 - Einstellung der Versuchspersonen zum Fahrzeug
- Der Fragebogen ermöglicht in Kombination mit einer Befragung der Versuchspersonen zu ihrem im Fahrsimulatorexperiment gezeigten Verhalten, Erkenntnisse hinsichtlich der kognitiven Verhaltenstendenzen der Versuchspersonen zu gewinnen und gleichzeitig die genannten Hypothesen zu prüfen.
- Die Fahrsimulatorstudie validiert den vorgestellten Ansatz.

5.2 Konfiguration der Fahrsimulatorstudie

Die Fahrsimulatorstudie wurde am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München durchgeführt. Die Konzeption des Warnszenarios erfolgte unter Berücksichtigung der im Fahrsimulator zur Verfügung stehenden Ausstattung und der Rahmenbedingungen sowie durch die Anwendung der in Kapitel 2.5 dargestellten Prinzipien zur ergonomischen Gestaltung einer Fahrerwarnung.

5.2.1 Versuchsaufbau

Bild 5-1 und Bild 5-2 zeigen die Ausstattung und den Versuchsaufbau des Fahrsimulators.

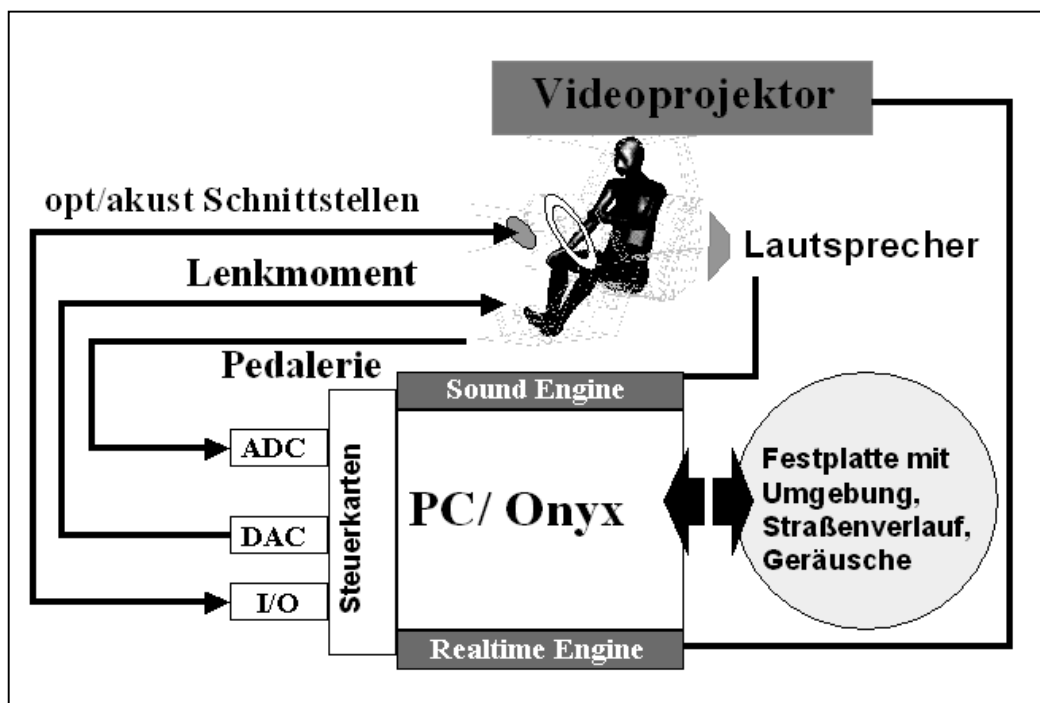


Bild 5-1: Funktionsprinzip der Fahrsimulation am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München (Marstaller, 2000)

Das Fahrzeug des Simulators ist vor einer Leinwand positioniert, auf die die Simulationen, ein Autobahnkurs und ein Landstraßenkurs, projiziert werden (siehe Bild 5-2). Der Simulator ist interaktiv, die Versuchspersonen können wie im Realfahrzeug agieren und haben bei den Steuer- und Regelaufgaben die volle Fahrzeugkontrolle. Durch die die Fahrdynamikdaten verarbeitende Software eines PCs, die

- die Geschwindigkeit,
- die Position des Fahrzeugs auf der Straße,
- den Abstand zu anderen Fahrzeugen und
- die Lenkrad- und Pedalpositionen berechnet,

werden die Aktionen der Versuchspersonen erfasst und das auf der Leinwand sichtbare Bild entsprechend generiert.

Diese Daten sowie die Videoaufzeichnungen der Versuchsfahrten ermöglichen die Dokumentation des Experiments. Über Lautsprecher werden die Geräuschdaten ausgegeben, die Motor- und Fahrgeräusche sowie die akustische Warnung simulieren. In dieser Studie befand sich die Versuchsleitung während der Versuchsfahrten im Fahrsimulatorraum, konnte aber von den Versuchspersonen nicht gesehen werden. Die Versuchsleitung kontrollierte das experimentelle Geschehen.



Bild 5-2: Versuchsaufbau des Fahrsimulators des Lehrstuhls für Ergonomie der Technischen Universität München

5.2.2 Versuchsbedingungen

Die Grundlage für die Definition der Bedingungen, unter denen die Versuchsszenarien des Simulatorexperiments durchgeführt wurden, bildet die in Kapitel 4.3 vorgenommene Klassifikation der sachlichen Leistungsvoraussetzungen. Aus diesen Klassifizierungen wurde zur Validierung des entwickelten Ansatzes die Gruppierung „Fahrtyp“ ausgewählt, da unter den gegebenen Fahrsimulatorbedingungen über die Klassifizierung des Fahrtyps sowohl eine zeitkritische und damit bzgl. kognitiver Aspekte beanspruchende Situation als auch eine nicht zeitkritische und damit weniger kognitiv beanspruchende Situation erzeugt werden konnte.

Diese Szenarien wurden im Fahrsimulator folgendermaßen realisiert. Die kognitiv stark beanspruchende Situation wurde in Form einer zeitkritischen Fahraufgabe umgesetzt. Den Versuchspersonen wurde die Zielstellung induziert, eine Dienstfahrt auf dem Autobahnkurs zu einem wichtigen Termin an einem definierten Ort, den es dringend einzuhalten galt, zu absolvieren.

Eine hinsichtlich des kognitiven Verarbeitungsprozesses wenig beanspruchende Situation wurde durch eine Freizeitfahrt auf einem Landstraßenkurs des Fahrsimulators realisiert. Diese Fahraufgabe war ohne Zeitdruck durchzuführen.

Die Intention der Differenzierung zwischen einer mit Zeitdruck verbundenen Dienstfahrt, d.h. einer *zielorientierten Fahrt* und einer zeitunkritischen Freizeitfahrt, d.h. einer *nicht zielorientierten Fahrt* lag in der Bestätigung der aufgestellten Hypothese, dass Versuchspersonen, von denen eine unbedingte Zielerreichung gefordert wird, auf Grund der damit verbundenen starken kognitiven Beanspruchung eine andere Reaktion aufweisen als Versuchspersonen, die bei einer geforderten Zielerreichung keinem zeitlichem Druck unterliegen. Es wurde die Annahme getroffen, dass die Versuchspersonen bei der Versuchsvariante *zielorientiert* mit einer größeren Wahrscheinlichkeit eine falsche Reaktion zeigen als bei *nicht zielorientiert*.

Die Anzahl der Versuchsparameter wurde um die zeitlichen Faktoren, d.h. um den Zeitpunkt der Warnung erhöht. Es erfolgte eine Einteilung in *frühe Warnung* und *späte Warnung*. Damit sollten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, ob der Startort bzw. -zeitpunkt bei *frühe Warnung*, bei der die Warnung nach vier Minuten Fahrzeit erschien, das Verhalten der Versuchspersonen anders beeinflusst als die Nähe zum Ziel der Fahrt bei *späte Warnung*, bei der die Warnung nach acht Minuten Fahrzeit initialisiert wurde.

Für *frühe Warnung* wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Versuchspersonen auf Grund der kurzen Fahrtzeit bzw. der Kürze der zurückgelegten Strecke möglicherweise zum Startort zurück kehren. Bei *späte Warnung* wurde die Annahme getroffen, dass die Versuchspersonen auf Grund der Nähe zum Ziel die Fahrt trotz Warnung fortsetzen würden.

Die vier Parameter wurden kombiniert und permutiert, woraus der in Tabelle 5-2 dargestellte Versuchsplan (s.u.) resultiert, der untenstehend erläutert wird.

5.2.3 Konfiguration der Warnung

Unter Berücksichtigung der ergonomischen Kriterien zur Konfiguration der Warnung wurden die Versuchspersonen über den visuellen, auditiven und haptischen Sinneskanal in zwei Hierarchieebenen zuverlässig gewarnt. In der ersten Hierarchieebene der Warnung erfolgte die Projektion eines Textes sowie eines Symbols in roter Farbe auf die Leinwand, die die Versuchspersonen visuell über den technischen Zustand der Lenkung informierte und die gleichzeitig eine Handlungsanweisung enthielt „WARNUNG: defekte Lenkung, bitte anhalten“, siehe Bild 5-3.




Bild 5-3: Darstellung der optischen Warnung im Fahrsimulator

Zur Erhöhung der Aufmerksamkeit wurden die Versuchspersonen gleichzeitig über den auditiven Sinneskanal durch einen eindeutig hörbaren Gong gewarnt. Zwei Minuten nach Initialisierung der ersten Hierarchieebene der Warnung, die weiterhin blinkend auf die Leinwand projiziert wurde, wurden die Versuchspersonen zusätzlich haptisch gewarnt. Durch die Software wurden über die Drehmomentmotoren (des Fahrzeugs) der Lenksäule ein eindeutig spürbares erhöhtes Rückstellmoment am Lenkrad erzeugt und es wurden zusätzlich Lenkradvibrationen integriert, damit auch bei geradem Verlauf der Fahrstrecke eine Warnung über den haptischen Sinneskanal erfolgte. Dabei wurde die Amplitude in drei Stufen inkrementiert, während die Frequenz konstant blieb. Dieses Gefühl des „aktiven Lenkrads“ sollte bei den Versuchspersonen den Eindruck eines Defekts der Lenkung erwecken.

Die zwei Hierarchieebenen der Warnung wurden nach dem in Tabelle 5-1 dargestellten Zeitschema realisiert.

Tabelle 5-1: Zeitschemata der Warnungen für die jeweiligen Fahraufgaben

Hierarchieebene Fahraufgabe	Hierarchieebene I Optisch, akustisch	Hierarchieebene II Optisch, akustisch, haptisch
		
Zielorientiert (Szenario „Auto- bahn“)	Typ Früh: nach 4 min Typ Spät: nach 8 min	Typ Früh: nach 6 min Typ Spät: nach 10 min
Nicht zielorientiert (Szenario „Land- straße“)	Typ Früh: nach 4 min Typ Spät: nach 8 min	Typ Früh: nach 6 min Typ Spät: nach 10 min

Zur Reproduzierbarkeit der Versuche wurden die Warnungen an Fixpunkten, die in die Software des Fahrsimulatorurses programmiert wurden, initialisiert. Bei jeder Versuchspersonengruppe erfolgten die Warnungen damit an der identischen Stelle der Fahrstrecke.

5.2.4 Versuchspersonen

Die Versuchspersonen wurden durch einen Aushang an der Universität, der die Teilnahmemöglichkeit an einem Fahrsimulatorversuch offerierte, gesucht. Sie erhielten neben einer Bewirtung eine monetäre Aufwandsentschädigung.

Der Stichprobenumfang wurde in Anlehnung an die Binomialverteilung auf neun Personen pro Variante, d.h. auf eine Gesamtanzahl von 36 Versuchspersonen festgelegt, die in vier Versuchsgruppen aufgeteilt wurden. Die Versuchspersonen wurden den Szenarien zufällig zugeteilt.

5.2.5 Aufgaben der Versuchspersonen

Die Aufgabenstellung wurde in vier Abschnitte gegliedert:

- Fragebogen Teil 1
- Instruktionen der Versuchspersonen und Fahrtraining
- Messfahrten
- Rückmeldung der Versuchsleitung
- Fragebogen Teil 2

Fragebogen Teil 1

Vor Beginn des Fahrsimulatorversuchs wurde den Versuchspersonen ein Fragebogen (siehe Anhang III) vorgelegt, der von ihnen ausgefüllt werden sollte.

Die Zielsetzung dieses Fragebogens, dem der Fragebogen von Assmann (2000) zu Grunde liegt, ist neben der Erfassung der allgemeinen Daten der Versuchspersonen durch einen Abgleich der Selbsteinschätzung mit dem Verhalten im Experiment eine Zuordnung der Versuchspersonen zu der in Kapitel 4.5 dargestellten *Klassifizierung der Fahrergruppe* durchzuführen. Darüber hinaus kann durch diese Vorgehensweise ein Rückschluss auf die kognitiven Tendenzen, die das Verhalten der Versuchspersonen bei Erscheinen der Warnung bestimmen, gezogen werden.

Der Abschnitt des Fragebogens *Fragen zur Person* beinhaltet Fragen zur Versuchsperson, u.a. zum Alter, zum Geschlecht, zur durchschnittlichen Fahrleistung etc.

Im Teil *Allgemeine Fragen* sollten die Versuchspersonen eine Selbsteinschätzung bzgl. verschiedenster Parameter durchführen. Er umfasste die Betrachtung

- der Einstellungen der Versuchspersonen zum Autofahren als Fahraufgabe,
- der Einstellungen der Versuchspersonen zum Fahrzeug sowie
- der Einstellungen der Versuchspersonen zum Straßenverkehr und zu anderen Verkehrsteilnehmern.

Bei der Konfiguration des Fragebogens wurde auf eine verständliche Formulierung geachtet. Jede Zeile beinhaltet einen Kontext, der durch zwei extrem gegensätzliche Beschreibungen an den Außenseiten der Teile präsentiert wird, um eine klare Differenzierung zu verdeutlichen. D.h. der Kontext der Aussagen wurde sowohl „positiv zustimmend“ formuliert als auch „negativ ablehnend“, ihre Positionierung erfolgte teilweise invers, um die Versuchspersonen zum Nachdenken anzuregen, einen Automatismus beim Ankreuzen zu verhindern und die Versuchspersonen damit zu überprüfen. Mit der Frage 16 (Stichwort „Risiko“) soll beispielsweise eine Beurteilung der Versuchsperson hinsichtlich ihrer kognitiven Tendenz *Widerwille des Fahrers, ungewohnten Handlungsaufforderungen oder Handlungsaufforderungen mit negativen Konsequenzen zu folgenreicht* werden. Durch die gegensätzlichen Beschreibungen „Ich vermeide prinzipiell jedes Risiko“ bzw. „Um schneller voranzukommen, nutze ich jede sich bietende Gelegenheit“ wird der Versuchsperson aufgezeigt, zu welchem Fahrertyp sie sich zuordnen kann. Durch Ankreuzen einer in sechs Auswahlmöglichkeiten (in Form von sechs Kästchen) gegliederten Skala kann sie der jeweilig für sie passenden Aussage zustimmen. Je mehr die Aussage auf die Selbsteinschätzung der Versuchsperson zutraf, desto näher an der Aussage musste die Versuchsperson ein Kästchen ankreuzen. Den Versuchspersonen wurde anhand des Beispiels in Bild 5-4 demonstriert, wie sie aus den sechs Möglichkeiten eine für sie treffende Zustimmung der Aussage auszuwählen hatten.

Ich lebe lieber auf dem Land	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich lebe lieber in der Stadt
------------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------------------

Bild 5-4: Beispiel für das Ankreuzen des Fragebogens

Am Ende dieses Fragebogens ist eine Fragestellung zur Selbsteinschätzung des Verhaltens der Versuchsperson unter bestimmten Bedingungen angeführt, die die Versuchsperson mittels multiple choice Verfahren beantworten sollte. Hier erfolgte keine Abstufung der Auswahlmöglichkeiten.

Für die o.g. allgemein gehaltenen Themengebiete erfolgte in Anlehnung an die in Kapitel 4.7 dargestellten kognitiven Verhaltenstendenzen zusätzlich die Feinspezifikation der Aussagen, um durch den Abgleich der Fragebogenauswertung und des im Versuch gezeigten Verhaltens Erkenntnisse über die kognitiven Tendenzen der Versuchspersonen zu gewinnen.

Aussagen wie z.B. Aussage 15 „Ich fahre eher ziemlich langsam und zurückhaltend“, Aussage 16 „Ich vermeide prinzipiell jedes Risiko“ und Aussage 26 „Ich halte mich streng an die Vorschriften“ lassen einen Rückschluss über die Einstellung der Versuchsperson zum Risiko zu. Die Aussagen „Ich finde mich sofort in einem fremden Fahrzeug zurecht“ (Aussage 22), „Ich weiß, was alle Warn- und Kontrollleuchten in dem jeweilige Fahrzeug, das ich fahre bedeuten“ (Aussage 23) oder „Ich richte meine Geschwindigkeit eher nach meiner eigenen Einschätzung“ (Aussage 36) vermitteln, wie die Versuchsperson ihre Kenntnisse und ihre Leistungsfähigkeit einschätzt. Mit der Formulierung von Aussagen 27 „Auf das Erscheinen von Warn- und Kontrollleuchten reagiere ich sofort“ und 37 „Wenn in Ihrem Fahrzeug die Öldrucklampe aufleuchtet, in welcher Umgebung würden Sie eher bis zur nächsten Tankstelle weiterfahren?“ soll erreicht werden, durch die Selbsteinschätzung die im Fahrzeug aufgezeigte Reaktion der Versuchsperson abzusichern.

Um mit Hilfe des Fragebogens bzw. der Selbsteinschätzung der Versuchspersonen Erkenntnisse über die in Kapitel 4.7 aufgeführten kognitiven Verhaltenstendenzen gewinnen zu können, wurden zusätzlich zu den von Assmann (2000) aufgeführten Inhalten für jede der fünf Hauptkategorien der kognitiven Verhaltenstendenzen Fragen formuliert. Auf die Zuordnung der Fragen zu den Verhaltenstendenzen wird nachfolgend noch detailliert eingegangen.

Instruktionen der Versuchspersonen und Fahrtraining

Nach Ausfüllen des Fragebogens wurde den Versuchspersonen durch die Versuchsleitung das Fahrsimulatorfahrzeug, wie z.B. Sitzverstellung etc. erklärt. Die Einfahrzeit, in denen sich die Versuchspersonen mit dem Fahrzeug und den Fahrsimulatorbedingungen vertraut machen sollten, betrug 10 Minuten.

Instruktion der Displays

Um von den Simulatorbedingungen abzulenken und die Konzentration der Versuchspersonen auf die primäre Fahraufgabe, der Absolvierung des Autobahn- bzw.

Landstraßenkurses, zu richten, wurde den Versuchspersonen zusätzlich die Sekundäraufgabe gestellt, zwei optische Darstellungsarten der Systeme *Abstand-Funktionalität* (Active Cruise Control) und *Spurhaltungs-Funktionalität* (Heading Control) zu beurteilen. Die Versuchspersonen erhielten keine Information darüber, dass sie an einer Untersuchung zum Thema „Warnung“ teilnahmen. Damit sollte erreicht werden, dass die Versuchspersonen keine Erwartungshaltung einnehmen konnten, sondern unvorbereitet mit der Warnung konfrontiert wurden. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die Funktionalität der Systeme sowie auf die Auswertung dieser Studie nicht näher eingegangen, sie galt als „Sekundärstudie“. Detaillierte Ausführungen dazu sind der Arbeit von Marstaller (2001) zu entnehmen.

Im Anschluss an die Einfahrzeit wurde den Versuchspersonen durch die Versuchsleitung die Displays, Funktionen und Zielstellungen der Systeme *Abstand-Funktionalität* ACC und *Spurhaltungs-Funktionalität* HC erläutert. Den Versuchspersonen wurde zunächst die Aufgabe gestellt, die Systeme in einer jeweils vierminütigen Trainingszeit auszuprobieren.

Messfahrten

Im Messexperiment führte jede Versuchsperson der vier Versuchspersonengruppen zwei Fahr Simulatorfahrten durch, eine Fahrt wurde auf dem Autobahnkurs und eine auf dem Landstraßenkurs absolviert.

Tabelle 5-2 verdeutlicht den Ablauf der Versuchsfahrten der vier Versuchsgruppen.

Tabelle 5-2: Versuchsplan des Fahr Simulatorversuchs

Versuchsgruppe / VP Nr.	Display 1 (Fahrt 1)	Display 2 (Fahrt 2)
A	zielorientiert (Autobahnkurs) Warnung erfolgt nach 4/6 Minuten Fahrzeit (<i>Typ früh</i>)	nicht zielorientiert (Landstraßenkurs) keine Warnung
B	zielorientiert (Autobahnkurs) Warnung erfolgt nach 8/10 Minuten Fahrzeit (<i>Typ spät</i>)	nicht zielorientiert (Landstraßenkurs) keine Warnung
C	zielorientiert (Autobahnkurs) keine Warnung	nicht zielorientiert (Landstraßenkurs) Warnung erfolgt nach 4/6 Minuten Fahrzeit (<i>Typ früh</i>)
D	zielorientiert (Autobahnkurs) keine Warnung	nicht zielorientiert (Landstraßenkurs) Warnung erfolgt nach 8/10 Minuten Fahrzeit (<i>Typ spät</i>)

Für die Versuchspersonengruppe *Typ früh* (siehe dazu auch Tabelle 5-1) ergab sich damit eine maximale Fahrzeit von ca. 11 Minuten, für die Versuchspersonengruppe *Typ spät* maximale Fahrzeit von ca. 13 Minuten. Die Fahrzeiten differieren auf Grund der durch die Zuordnung der Versuchspersonen zu den Warnungstypen „früh“ und „spät“ bedingten kürzeren bzw. längeren Fahrzeit.

Erläuterung des Versuchsplans

Um Transfereffekte der durch die Versuchspersonen gewonnenen Erkenntnisse von der ersten auf die zweite Fahrt auszuschließen, erhielt jede Versuchsperson bei ihren zwei Fahrten nur einmal die Warnung einer defekten Lenkung mit gleichzeitiger Aufforderung, anzuhalten. Damit die statistischen Gesetzmäßigkeiten der zufälligen Stichprobenverteilung erfüllt wurden, erfolgte der im Versuchsplan nach Tabelle 5-2 permutierende Ablauf der Versuchsfahrten.

Vor den Messfahrten wurden die Versuchspersonen instruiert, die beiden Darstellungsarten die Fahrerassistenzsysteme unter den folgenden Bedingungen zu beurteilen.

Das Szenario *Autobahn* war unter der Bedingung zu absolvieren, dass sich die Versuchspersonen auf einer sehr zeitkritischen Fahrt zu einem wichtigen Vorstellungsgespräch befanden. Mit dieser Bedingung wurde Zielorientiertheit induziert. Im Fahr-simulatorkurs war das Ziel, das es zu erreichen galt, ein Gebäude der BMW Group, während der ganzen Fahrt zu sehen. Die Versuchsperson fuhr auf dem Simulatorkurs in die Richtung dieses Ziels, sodass die Zielorientiertheit auch optisch unterstützt wurde.

Für das Szenario *Landstraße* wurde die Bedingung festgelegt, dass die Versuchspersonen in entspannter Atmosphäre auf einem im Fahrsimulator dargestellten Landstraßenkurs, der dieses Szenario ebenfalls optisch unterstützte, in den Urlaub fahren, wodurch Nicht-Zielorientiertheit induziert wurde.

Damit den Versuchspersonen vermittelt werden konnte, welcher Fahrttyp und welche Fahraufgabe unter welcher Bedingung zu absolvieren war, wurden ihnen folgende Instruktionen vorgelesen. Die Instruktionen wurden bewusst „salopp“ formuliert, damit sich die Versuchspersonen besser in die beschriebene Situation hineinversetzen konnten.

Instruktionen Fahrmanöver

- Instruktion zielorientiert (Szenario „Autobahn“)

„Sie befinden sich mit Ihrem Auto auf der Autobahn kurz nach dem Flughafen München auf dem Weg zur Münchener Innenstadt. Sie haben etwas für Sie sehr Wichtiges vor, ein Vorstellungsgespräch bei Herrn Milberg, dem Vorstandsvorsitzenden der BMW Group. Sie haben allerdings folgendes Problem: Der Flieger hatte eine Stunde Verspätung und Sie müssen in einer Viertelstunde in München bei BMW sein, um sich dort bei Herrn Milberg um die Stelle Ihres Lebens zu bewerben. Herr Milberg hat

einen sehr engen Terminplan, d.h. Sie sollten Ihren Termin dringendst einhalten und pünktlich sein, da Herr Milberg Sie sonst nicht mehr empfangen kann. Sie sollen aber auch berücksichtigen, dass es Straßenverkehrsregeln wie z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen gibt und natürlich ist die Polizei allgegenwärtig. Auch andere Instruktionen sollten Sie befolgen. Sie erhalten Ihr Versuchspersonengeld nur dann, wenn Sie das Ziel, den BMW Vierzylinder, der auch im Film zu sehen sein wird, pünktlich erreichen. Jetzt wollen wir nicht noch mehr Zeit verlieren, fahren Sie bitte nun los. Sie haben es ja sehr, sehr eilig.“

- Instruktion nicht zielorientiert (Szenario „Landstraße“)

„Es ist Freitag, Sie starten in ein langes Wochenende, das Sie am Gardasee verbringen werden. Sie möchten gemütlich und durch eine ansprechende Landschaft in Ihren Kurzurlaub fahren, deshalb benutzen Sie die Landstraße. Ihr Hotel ist bereits gebucht, Sie erwartet nur der Capuccino auf der Piazza, ein entspanntes Wochenende mit Sonne und Wärme, Pasta und Pizza. Um Polizeikonflikten aus dem Weg zu gehen, passen Sie Ihre Fahrweise bitte den Straßenverkehrsregeln an, Sie wissen ja, die Polizei ist allgegenwärtig. Ihr Versuchspersonengeld erhalten Sie nur dann, wenn Sie auf dem Weg zum Gardasee die Regel „Reisen statt Rasen“ befolgen. Nun fahren Sie bitte los in Ihren hoffentlich entspannten Urlaub im sonnigen Süden.“

Um einer frühzeitigen Beendigung der Versuchsfahrt vorzubeugen, wurde der Hinweis gegeben, dass das Versuchspersonengeld nur bei Zielerreichung (im Sinn der Instruktion) gezahlt wird. Die Versuchspersonen sollten sich damit in die Verpflichtung genommen fühlen, die geforderten Versuchsbedingungen zu erfüllen und den Versuch bis zum Schluss durchzuführen.

Rückmeldung der Versuchsleitung

Während der Versuchsfahrten befand sich die Versuchsleitung im hinteren Teil des Simulatorraums, außerhalb des Blickfelds der Versuchspersonen. Nach Erscheinen der Warnung schaltete sie sich ein, um die Versuchsperson zu beeinflussen, ihre Reaktion auf die Warnung nochmals zu überdenken. Die Rückmeldung der Versuchsleitung erfolgte, wenn die Versuchsperson auf die erste Hierarchieebene der Warnung (Texteinblendung, Symbol, akustisches Signal) reagierte (Verhalten A) oder nicht reagierte (Verhalten B). Die Reaktion der Versuchsleitung auf das Verhalten und auf Fragen der Versuchspersonen wurde standardisiert und ist in Anhang IV enthalten. Die Zielsetzung dieser Rückmeldung war, die Reaktionen der Versuchspersonen abzusichern und die Ursachen für ihr Verhalten zu ermitteln.

Die Intention der Rückmeldung durch die Versuchsleitung beruht auf den von Stanley Milgram in seinem Experiment „Eine Untersuchung zum Gehorsamsverhalten“ gewonnenen Erkenntnissen (Milgram, 1963). In dieser Studie wurde nachgewiesen, dass sich Menschen durch Aufforderungen und Fragen gezielt dahingehend beeinflussen lassen, dass sie Aufforderungen einer Person, die sie als legitimierte Autorität

betrachten, Folge leisten, obwohl dies ihrer Veranlagung widerspricht und sie ohne den Einfluss durch die Versuchsleitung anders gehandelt hätten.

Hielten die Versuchspersonen nach der ersten Hierarchieebene der Warnung an, wurden durch die Versuchsleitung Aufforderungen zum Weiterfahren gegeben (Verhalten A). Fuhren die Versuchspersonen dann weiter, erfolgte die Fragestellung, warum die Versuchspersonen sich anders entschieden hatten. Hielten die Versuchspersonen gar nicht an (Verhalten B), erfolgte die entsprechende, in Anhang IV aufgeführte Fragestellung. Die Antworten wurden festgehalten und stellten zusammen mit den Fragebögen die Grundlage für die Versuchsauswertung dar. Gleichzeitig diente die Rückmeldung durch die Versuchsleitung der Absicherung der in den Fragebögen gemachten Aussagen und der Begründungen des Verhaltens der Versuchspersonen.

Fragebogen Teil 2

Im Anschluss an den jeweiligen Versuchstyp wurde den Versuchspersonen ein Fragebogen zu dem jeweiligen Display vorgelegt, siehe Anhang III. Erfolgte die Versuchsfahrt „mit Warnung“, erhielten die Versuchspersonen zusätzlich den Fragebogen zur Beurteilung der Auslegung der Warnung. Zielsetzung dieses Fragebogens war es zu ermitteln, wie die Versuchspersonen die dargebotene Warnung wahrgenommen und inhaltlich verstanden haben und ob sie sich durch die Warnung in der Erfüllung ihrer Fahraufgabe stark beeinträchtigt oder abgelenkt fühlten. Die Versuchspersonen konnten zudem Vorschläge zur Verbesserung des Warnszenarios einsteuern. Die Aufforderung, ihre Reaktion auf die Präsentation der Warnung zu beschreiben und die Beweggründe für die Entscheidung darzustellen, diente der Dokumentation der Selbsteinschätzung des Verhaltens der Versuchspersonen.

5.3 Auswertung der Fahrsimulatorstudie

Die Auswertung der Fahrsimulatorstudie erfolgte durch folgende Vorgehensweise:

- Auswertung des Fragebogens Teil 1 „Fragen zur Person“
- Analyse der Reaktionen der Versuchspersonen auf die Warnung
- Auswertung des Fragebogens Teil 1 „Allgemeine Fragen“
- Abgleich der Reaktionen der Versuchspersonen mit
 - im Fragebogen durchgeführten Selbsteinschätzungen der Versuchspersonen,
 - der Begründung ihres Verhaltens sowie
 - ihren Aussagen bei der Befragung „Rückmeldung der Versuchsleitung“
- Spezifikation der Hauptstruktur der kognitiven Verhaltenstendenzen und Feinspezifikation.

5.3.1 Auswertung des Fragebogens „Fragen zur Person“

Am Fahrsimulatorversuch nahmen 36 Versuchspersonen teil, davon waren 26 männliche und zehn weibliche Versuchspersonen. Das durchschnittliche Alter lag bei 28,6 Jahren, die Versuchspersonen absolvieren eine durchschnittliche Jahresfahrleistung von 17542 km/a.

5.3.2 Analyse der Reaktionen der Versuchspersonen auf die Warnung

Auf die Initialisierung der Warnung wurde bei 21 der 36 Versuchspersonen (58,3%) ein direktes Anhalten beobachtet, d.h. diese Versuchspersonen handelten gemäß den Vorgaben.

15 der 36 Versuchspersonen wiesen hingegen ein Fehlverhalten auf, d.h. 41,7 Prozent der Versuchspersonen verhielten sich nicht gemäß der im Warnszenario enthaltenen Aufforderung anzuhalten, um damit das Fahrzeug in den sicheren Zustand zu überführen.

Im Fahrsimulatorversuch wurden die nachfolgenden Reaktions- bzw. Fehlerarten identifiziert.

- Reaktion 0 Die Versuchsperson reagiert sofort auf die Warnung, kein Fehler
- Fehlerart 1 Die Versuchsperson hält zunächst an, fährt dann weiter, bis das „Aktive Lenkrad“ initialisiert wird
- Fehlerart 2 Die Versuchsperson fährt trotz Initialisierung aller Warnstufen *langsam* bis zum Versuchsende weiter
- Fehlerart 3 Die Versuchsperson hält nicht an, fährt trotz Initialisierung aller Warnstufen mit unverminderter Geschwindigkeit bis zum Versuchsende weiter

Anmerkung: Im Folgenden sind unter dem Begriff „Reaktionsarten“ sowohl das fehlerlose (Reaktion 0) als auch fehlerhafte Verhalten (Fehlerarten 1 bis 3) der Versuchspersonen zu verstehen.

Wie die nachfolgende Zusammenstellung der relativen Häufigkeiten der Reaktionsarten zeigt, hatten zwölf der 15 Versuchspersonen, die nach Initialisierung der Warnung ein Fehlverhalten zeigten, das Szenario „Autobahn“ zu absolvieren, aber nur drei Versuchspersonen den Landstraßenkurs. Bezogen auf die Gesamtheit der fehlerhaft auf die Warnung reagierenden Versuchspersonen, wiesen die Versuchspersonen, denen Zielorientiertheit indiziert wurde, mit 80 Prozent einen bedeutend größeren Anteil auf als die Versuchspersonen ohne indizierte Zielorientiertheit (20 Prozent).

Tabelle 5-3 gibt eine Übersicht über die Reaktionsarten der Versuchspersonen.

Tabelle 5-3: Übersicht der Häufigkeiten der Reaktionsarten

	Autobahn Typ früh	Autobahn Typ spät	Landstraße Typ früh	Landstraße Typ spät	
Anzahl der Versuchspersonen	9	9	9	9	Summe
Reaktionsart					
0	2	5	8	6	21
1	4	2	1	0	7
2	0	0	0	1	1
3	3	2	0	2	7

Die Analyse der relativen Häufigkeiten der Reaktionsarten bzw. Fehlerarten ergab folgendes Ergebnis:

Während das Auftreten der drei Fehlerarten bei der Absolvierung des Szenarios *Landstraße* mit jeweils einer Versuchsperson pro Fehlerart gleichverteilt ist, weist die Verteilung der Fehlerarten der Versuchspersonen, die den Autobahnkurs fahren, nur die Fehlerarten 1 (Die Versuchsperson hält zunächst an, fährt dann weiter, bis das „Aktive Lenkrad“ initialisiert wird) und 3 (Die Versuchsperson hält nicht an, fährt trotz Initialisierung aller Warnstufen mit unverminderter Geschwindigkeit bis zum Versuchsende weiter) auf. Vier Versuchspersonen des Szenarios *Autobahn früh* haben gegenüber zwei Versuchspersonen des Szenarios *Autobahn spät* mit Fehlerart 1 auf die Warnung reagiert. Bei diesen Szenarien haben insgesamt sechs Versuchspersonen auf die Warnung mit Fehlerart 3 reagiert, hier liegt eine Gleichverteilung von jeweils drei Versuchspersonen vor.

Es wird deutlich, dass die Kriterien frühe Warnung/späte Warnung bei indizierter Zielorientiertheit (Szenario Autobahn) keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Fehlerhäufigkeiten aufweisen. Eine mögliche Erklärung für dieses Verhalten ist, dass die Versuchspersonen die Faktoren „Fahrtdauer“ und „Nähe zum Ziel“ bei der Durchführung ihrer Fahraufgabe und unter den Simulatorbedingungen nicht realisierten und dies keinen entscheidenden Einfluss auf ihre Entscheidungsfindung hatte.

Bild 5-5 visualisiert die Häufigkeitsverteilung der Reaktionsarten.

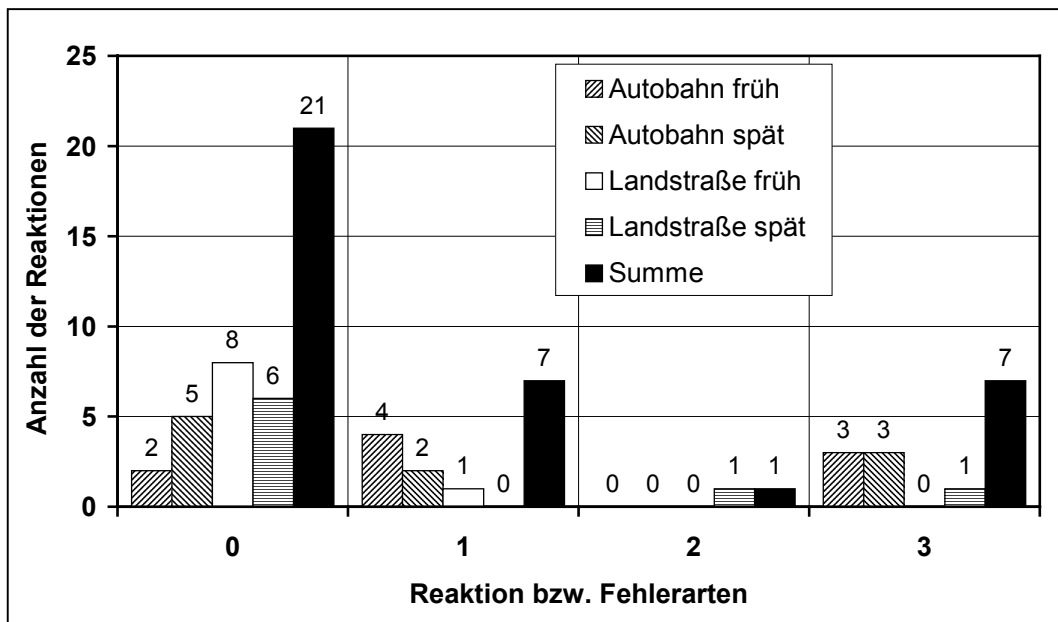


Bild 5-5: Verteilungsfunktion der Häufigkeiten der Reaktionen auf die Warnung:

Reaktion 0: Die Versuchsperson reagiert sofort auf die Warnung, kein Fehler

Fehlerart 1: Die Versuchsperson hält zunächst an, fährt dann weiter, bis das „Aktive Lenkrad“ initialisiert wird

Fehlerart 2: Die Versuchsperson fährt trotz Initialisierung aller Warnstufen langsam bis zum Versuchsende weiter

Fehlerart 3: Die Versuchsperson hält nicht an, fährt trotz Initialisierung aller Warnstufen mit unverminderter Geschwindigkeit bis zum Versuchsende weiter

Das Verhalten der Versuchspersonen, die nach Initialisierung der Warnung unmittelbar anhielten, erfolgte nach dem Prinzip des symptomatischen, wahrnehmungsgesteuerten Vorgehens.

Bei den Versuchspersonen, die mit einem Fehlverhalten auf die Warnung reagierten, dominierte das topographische, zielgesteuerte Vorgehen.

Diese Erkenntnis ist insbesondere für die Auslegung einer Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle von Bedeutung. Für den Bereich Wahrnehmung und Handeln liegen umfangreiche Informationen zur Optimierung der ergonomischen Gestaltung von Warneinrichtungen vor, z.B. Ziffernhöhe, Skaleneinteilung, Schriftfarbe etc. (vgl. Kapitel 2.5). Das zielorientierte Fehlverhalten ist hingegen wesentlich schwieriger zu kompensieren.

5.3.3 Auswertung des Fragebogens „Allgemeine Fragen“

Ermittlung des individuellen Ankreuzverhaltens der Versuchspersonen

Für den gesamten Stichprobenumfang erfolgte die Analyse der 37 Fragen des Fragebogens „Allgemeine Fragen“, indem die Selbsteinschätzungen der Versuchspersonen zu den gestellten Fragen anhand ihres Ankreuzverhaltens ermittelt wurden. Dazu wurden zunächst die Positionen der Kreuze innerhalb der Skala, die von 1 bis 6 gegliedert war, für jede Versuchsperson individuell erfasst. Einen Auszug aus der Analyse stellt Tabelle 5-4 dar.

Mit der Auswertung des individuellen Ankreuzverhaltens wurde

- die Grundlage zur Klassifizierung des Fahrertyps (z.B. ob es sich um einen vorsichtigen oder risikofreudigen Fahrer handelt) und
- die Datenbasis zur Ermittlung der relativen Häufigkeiten sowie zur Ermittlung der Datenbasis für eine Korrelationsanalyse (s.u.)

geschaffen.

Tabelle 5-4: Ermittlung des individuellen Ankreuzverhaltens der Versuchspersonen

	VP	Frage Nummer						
		11	12	13	14	15	16	17
Autobahn frühe Warnung	1	3	2	4	3	2	5	2
	2	4	1	4	2	2	3	2
	3	4	1	2	3	3	2	2
	4	4	1	4	2	1	1	2
	5	5	1	4	4	3	3	3
	6	5	2	3	4	3	4	3
	7	6	2	2	1	5	2	2
	8	2	1	3	6	1	5	1
	28	5	2	3	1	3	2	2

Anschließend wurden die Häufigkeiten des Ankreuzverhaltens des gesamten Stichprobenumfangs, bestimmt, indem ermittelt wurde, wie häufig die Versuchspersonen welche Position der sechsstufigen Skalierung angekreuzt haben, siehe Tabelle 5-5.

Tabelle 5-5: Häufigkeiten des Ankreuzverhaltens des gesamten Stichprobenumfangs der Versuchspersonen

Verteilung der Antworten							
	1	2	3	4	5	6	sum
Frage Nr							
11	3	3	1	7	18	4	36
12	12	13	6	4	1	0	36
13	1	10	15	7	3	0	36
14	12	7	6	3	7	1	36
15	5	9	15	5	2	0	36
16	5	10	11	6	4	0	36
17	5	20	0	0	0	0	25

Die Ermittlung der Häufigkeiten stellt die Datenbasis der nachfolgenden Korrelationsanalyse dar.

Korrelationsanalyse des Ankreuzverhaltens des gesamten Stichprobenumfangs

Für die Datensätze der allgemeinen Aussagen wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt.

Bei der Konfiguration des Fragebogens wurden für jede der Hauptstrukturen der von Mosneron (1998) definierten und in Kapitel 4.7 generierten kognitiven Verhaltenstendenzen spezifische, an die Problemstellung angepasste Fragen entwickelt. Dies bedeutet, dass für jede der Hauptstrukturen (KT 1 bis KT 5, vgl. Kapitel 4.7) mindestens eine Frage entwickelt wurde, die einen Rückschluss auf die Ausprägung dieser kognitiven Verhaltenstendenz ermöglichte (s. u.).

Die Zielsetzung der Korrelationsanalyse lag in der Verifizierung dieser Vorgehensweise und dem Nachweis, dass diese spezifischen Fragegruppen Indikatoren für bestimmte kognitive Verhaltenstendenzen darstellen. Darüber hinaus sollte eine Absicherung der Zusammengehörigkeit derjenigen Fragen erfolgen, die der gleichen kognitiven Verhaltenstendenz zugeordnet wurden.

Die Korrelationsanalyse des Fragebogens ergab, dass einige Datensätze einen sehr hohen Korrelationswert aufweisen, d.h. es konnte ein direkter Zusammenhang zwischen den Datensätzen nachgewiesen werden. Bei näherer Betrachtung der im Fragebogen enthaltenen Fragen wird deutlich, dass solche Fragen, deren Kontext auf die gleiche kognitive Tendenz hinweisen, stark miteinander korrelieren, siehe z.B.

Kombination der Fragebogen-Fragen (vgl. Anhang III) Nr. 13 (Fragestellung zum Thema „Hektik im Berufsverkehr“) und 15 („Sportliche Fahrweise“), Nr. 13 („Hektik im Berufsverkehr“) und Nr. 16 („Risiko“), Nr. 15 („Sportliche Fahrweise“) und Nr. 16 („Risiko“).

Es sei angemerkt, dass wie in Kapitel 4.7 dargestellt, kognitive Verhaltenstendenzen interferieren können und eine scharfe Abgrenzung bei der Zuordnung der Aussagen zu den kognitiven Verhaltenstendenzen nicht immer möglich ist. Erst die Analyse der Kombination von Fragen erlauben die Ableitung eines Zusammenhangs der kognitiven Tendenzen.

Die Korrelationen sind in Anhang VI aufgeführt. Tabelle 5-6 gibt einen Ausschnitt dieser Analyse wieder.

Tabelle 5-6: *Korrelationsanalyse des Ankreuzverhaltens des gesamten Stichprobenumfangs*

Frage	11	12	13	14	15	16	17
11		-0,52	-0,36	-0,02	-0,53	-0,37	-0,51
12	-0,52		-0,30	0,71	0,50	0,61	0,78
13	-0,36	0,30		-0,02	0,93	0,92	0,64
14	-0,02	0,71	-0,02		0,26	0,34	0,31
15	-0,53	0,50	0,93	0,26		0,40	0,68
16	-0,37	0,61	0,92	0,34	0,94		0,78
17	-0,51	0,78	0,64	0,31	0,68	0,78	

Ermittlung von Indikatorfragen aus der Korrelationsanalyse

Aus dem Ankreuzverhalten aller Versuchspersonen wurden - durch die Korrelationsanalyse statistisch abgesichert - die fünf übergeordneten Frageklassen 1 bis 5 gebildet, sie fungieren als Indikatorfragen aus denen kognitive Tendenzen abgeleitet werden können und sind folgendermaßen klassifiziert.

Frageklasse 1 / KT 1 – Fixation des Fahrers auf eine persönliche Zielstellung oder eine örtliche Zielerreichung bzw. eine Fahraufgabe

Aus den Aussagen der Frageklasse 1, zu denen die Fragen 20 (Stichwort „Verkehrssituationen“), 31 („Reaktionsschnelligkeit“) und 32 („Radiobedienung“) zählen, sollten Erkenntnisse über die kognitive Verhaltenstendenz KT 1 „Fixation“ gewonnen werden. Bei diesen Fragen wurden mit 0,49 bis 0,93 sehr hohe Korrelationskoeffizienten ermittelt und damit ein enger Zusammenhang zwischen den Datensätzen nachgewiesen.

Frageklasse 2 / KT 2 – Der Fahrer hält übereilt sofort nach Erscheinen der Warnung an, ohne auf den Verkehr zu achten

Die kognitive Verhaltenstendenz KT 2 „Übereiltes Handeln“ wurde durch die Aussagen der Frageklasse 2 (Fragen 26 (Stichwort „Vorschriftentreue“) und 27 („Reaktion auf Warn- und Kontrollleuchten“)) repräsentiert. Der für diese Frage ermittelte Korrelationskoeffizient beträgt 0,86, womit ein enger Zusammenhang der beiden Aussagen bestätigt wird.

Frageklasse 3 / KT 3 – Widerwille des Fahrers, ungewohnten Handlungsaufforderungen oder Handlungsaufforderungen mit negativen Konsequenzen zu folgen; gleichzeitig geht er damit das erhöhte Risiko eines Systemausfalls ein

Die Aussagen der Frageklasse 3, zu denen die Fragen 15 (Stichwort „Sportliche Fahrweise“), 16 („Risikofreudigkeit“), 19 („Benzinverbrauch“) und 30 („Fahrzeugbeschleunigung“) zugeordnet wurden, lassen einen Rückschluss auf die kognitive Verhaltenstendenz KT 3 „Widerwille des Fahrers, ungewohnten Handlungsaufforderungen oder Handlungsaufforderungen mit negativen Konsequenzen zu folgen“ zu. Ihre zugehörigen Korrelationskoeffizienten weisen Werte von 0,87 bis 0,94 auf, d.h. es liegt ein direkter Zusammenhang zwischen den Aussagen vor.

Frageklasse 4 / KT 4 – Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen, mehr Informationen helfen dem Fahrer, besser bzw. schneller die Entscheidung zu treffen

Für die kognitive Tendenz KT 4 „Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen, mehr Informationen helfen dem Fahrer, besser bzw. schneller die Entscheidung zu treffen“ wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Aussagen der Frageklasse 4 (Fragen 17 (Stichwort „Fahrzeugbeherrschung“), 22 („Orientierung im Fahrzeug“) und 23 („Kenntnis Kontrollleuchten“) stark korrelieren. Mit ermittelten Korrelationskoeffizienten von 0,97 bis 0,99 wurde diese Hypothese bestätigt.

Frageklasse 5 / KT 5 Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen, mehr Informationen helfen dem Fahrer, besser bzw. schneller die Entscheidung zu treffen

Die für die Aussagen der Frageklasse 5 (Fragen 18 (Stichwort „Interesse an Fahrzeugtechnik“), 23 („Kenntnis Kontrollleuchten“) und 28 („Interesse an Technik allgemein“) bestimmten Korrelationskoeffizienten von 0,55 bis 0,98 bestätigen für die kognitive Verhaltenstendenz KT 5 „Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen, mehr Informationen helfen dem Fahrer, besser bzw. schneller die Entscheidung zu treffen“ einen engen Zusammenhang zwischen den Aussagen.

Die auf der Grundlage des Ankreuzverhaltens der Versuchspersonen durchgeführte Korrelationsanalyse verifiziert statistisch die Konfiguration des Fragebogens. Die Frageklassen können damit als Indikатораussagen der kognitiven Verhaltenstendenzen zur weiteren Analyse der Fahrsimulatorstudie herangezogen werden.

5.3.4 Ermittlung der kognitiven Verhaltenstendenzen

Bei der Versuchsauswertung erfolgte ein Abgleich

- der über den Fragebogen insbesondere bei den Frageklassen ermittelten Selbsteinschätzungen der Versuchspersonen und
- der von den Versuchspersonen beim Versuchsteil „Rückmeldung durch die Versuchsleitung“ gemachten Aussagen sowie
- der im Fragebogen von den Versuchspersonen schriftlich ausgeführten Begründung ihres Verhaltens

mit den in Kapitel 4.7 dargestellten kognitiven Verhaltenstendenzen.

Diese Vorgehensweise hatte zum Ziel,

- ein sozialerwünschtes Ankreuzverhalten zu hinterfragen (d.h., hat die Versuchsperson in der Art und Weise angekreuzt, wie sie in der Gesellschaft eine große Akzeptanz erfahren würde),
- die zur Verfügung stehenden Informationen abzusichern und damit den Plausibilitätsnachweis der Studie zu erbringen.

Auf der Grundlage des abgesicherten Zusammenhangs der vorliegenden Informationen wurden die kognitiven Verhaltenstendenzen spezifiziert, die das Fehlverhalten der Versuchspersonen maßgeblich bestimmten.

Die dabei gewonnenen Erkenntnisse über den Wahrnehmungsprozess dienen als Grundlage für die zukünftige Auslegung von Fahrer-Fahrzeug-Schnittstellen.

Erläuterung der methodischen Vorgehensweise zur Ermittlung der kognitiven Verhaltenstendenzen

In Anhang V ist die Tabelle „Zusammenhang Selbsteinschätzung und Verhalten der Versuchspersonen“ enthalten, anhand derer die kognitiven Verhaltenstendenzen der Versuchspersonen ermittelt wurde. Im Folgenden wird die Vorgehensweise der Analyse erläutert. Ein Auszug dieser Tabelle ist am Ende dieses Abschnittes in Tabelle 5-8 dargestellt.

Die Spalte *VP* beinhaltet die Nummer der Versuchspersonen.

In der Spalte *Reaktion* wurde den Versuchspersonen gemäß ihrer Reaktion auf die Warnung die entsprechende Reaktionsart zugeordnet. In diesem Fall wurde den beiden Versuchspersonen gemäß der Definition in Kapitel 5.3.2 die Fehlerart 3 („Die Versuchsperson hält nicht an, fährt trotz Initialisierung aller Warnstufen mit unverminderter Geschwindigkeit bis zum Versuchsende weiter“) zugewiesen.

Die Spalte *Bezug Verhalten/Fragebogen zur Person* beinhaltet den folgenden Analyseschritt. Es wurde zunächst das individuelle Ankreuzverhalten der Versuchspersonen betrachtet. Dazu wurden zur Erhöhung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Auswertung die im Fragebogen aufgeführten sechs Skalenwerte auf die drei

Skalenwerte *A*, *B* und *0* reduziert (siehe Tabelle 5-7): Die ersten beiden Skaleneinträge (erstes oder zweites Kästchen angekreuzt) wurden zu Skalenwert *A* gruppiert, die beiden mittleren Skalenwerte erhielten die Zuordnung *0* (drittes oder viertes Kästchen angekreuzt), die letzten beiden Skalenwerte wurden zu *B* (fünftes oder sechstes Kästchen angekreuzt) zusammengefasst. Für jede Versuchsperson wurde die Positionierung der Kreuze (Skalenwerte) bei den fünf Frageklassen und den zugehörigen Indikatorfragen (s.o.) ermittelt und anschließend ein Profil des individuellen Ankreuzverhaltens erstellt, siehe Tabelle 5-7.

Tabelle 5-7: Beispiel für die Reduktion auf drei Skalenwerte in Anlehnung an Anhang VI, Korrelationsanalyse des Antwortverhaltens der Versuchspersonen. Skalenwerte: *A* = erstes oder zweites, *0* = drittes oder viertes, *B* = fünftes oder sechstes Kästchen angekreuzt.

Hauptstruktur der Kognitiven Verhaltenstendenzen (KT)	KT 1 Fixation	KT 2 Übereiltes Handeln	KT 3 Widerwille/Zögern, auf die Warnung zu reagieren	KT 4 Falsche Schlussfolgerung	KT 5 Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen, mehr Informationen
Indikatorfragen	15, 16, 19, 30	20, 31, 32	26, 27	17, 22, 23	18, 23, 28
VP					
4	AAA0	A00	BB	AAA	AA0
7	BAA0	AA0	BB	AA0	A0A

Zur Beurteilung des Ankreuzverhaltens, wurden folgende Fragestellungen zu Grunde gelegt:

- Hat die Versuchsperson innerhalb einer Frageklasse ein homogenes oder ein widersprüchliches Ankreuzverhalten aufgezeigt, d.h. hat sich die Versuchsperson innerhalb einer Frageklasse durchgängig einer Eigenschaft zugeordnet oder ist keine klare Zuordnung zu erkennen? Als Beispiel sei die Zuordnung zu vorsichtiger Fahrertyp oder risikofreudiger Fahrertyp genannt.
- Hat die Versuchsperson ein signifikant neutrales Ankreuzverhalten gezeigt? Dies wird durch die überwiegende Vergabe des Skalenwerts 0 repräsentiert. Die Versuchsperson zählt zu den sog. „sozialerwünschten Mitteankreuzer“, die ihre Selbsteinschätzung nicht einer extrem positiven oder negativen Ausrichtung zuordnen, um in der Gesellschaft „nicht aufzufallen“. Diese Versuchsperson ist auf Grund der fehlenden klaren Zuordnung zu einer Eigenschaft nur schwer zu beurteilen und einem Fahrertyp zuzuordnen.

Die in der Spalte *Äußerung der VP (Auszug)* aufgeführten Äußerungen fassen die sowohl aus den schriftlichen Begründungen der Reaktionen als auch aus den mündlich bei dem Interview im Anschluss an den Versuch geäußerten Begründungen der Versuchspersonen zusammen.

Für die Versuchspersonen, die unmittelbar auf das Erscheinen der Warnung reagierten (Reaktion 0, kein Fehler), wurde in der Spalte *Zuordnung der kognitiven Verhaltenstendenzen* erfolgte nur der Abgleich der zur Verfügung stehenden Informationen (Fragebogenauswertung, Begründung des Verhaltens) durchgeführt, um diese zu verifizieren und abzusichern.

Diese Versuchspersonen wiesen ein wahrnehmungsgesteuertes Verhalten auf, ihr Verhalten wurde nicht durch Situationsfaktoren wie eine dringende Zielerreichung beeinflusst. Auf die Betrachtung kognitiver Aspekte wurde bei dieser Versuchspersonengruppe daher verzichtet.

Für die Versuchspersonengruppe, die mit einem Fehlverhalten auf das Erscheinen der Warnung reagierte, wurde zur Spezifikation der kognitiven Verhaltenstendenzen, die das Fehlverhalten der Versuchspersonen maßgeblich bestimmen, folgende Vorgehensweise entwickelt:

In diesem Analyseschritt erfolgte der gesamthafte Abgleich und die Überprüfung der Konsistenz

- des bei den Indikatorfragen vorliegenden Ankreuzverhaltens der Versuchspersonen,
- des im Fahrsimulatorexperiment gezeigten tatsächlichen Verhaltens und
- der Äußerungen und Begründungen der Versuchspersonen.

Anhand der dabei gewonnenen Erkenntnisse wurde für jede Versuchsperson die Hauptstruktur der kognitiven Verhaltenstendenz ermittelt. Damit wurde der hinreichende Plausibilitätsnachweis bei der Analyse des Fahrsimulatorversuchs erbracht.

Die Spalte *Indikatorfragen* beinhaltet die Dokumentation der relevanten Frageklasse/Indikatorfragen, die die Grundlage für die Zuordnung der kognitiven Verhaltenstendenz und ihrer Feinspezifizierung bildet.

In der Spalte *KT/Feinspezifikation* wurden die im Rahmen der beschriebenen Analyse ermittelten Hauptstrukturen der kognitiven Verhaltenstendenzen durch ein Expertenrating feinspezifiziert. Die Bewertungsgrundlage dazu stellten erneut die Selbsteinschätzungen der Versuchspersonen, ihr gezeigtes Verhalten und ihre Äußerungen und Begründungen ihres Verhaltens dar. Sie wurden der in Kapitel 4.7 entwickelten Feinstruktur der kognitiven Verhaltenstendenzen zugeordnet.

Mit dem Abgleich des tatsächlichen Verhaltens der Versuchspersonen der im Fragebogen ermittelten Selbsteinschätzungen und den bei der „Rückmeldung der Versuchsleitung“ gemachten Aussagen konnte nachgewiesen werden, dass eine konse-

quente Durchgängigkeit und Konsistenz bei der Selbsteinschätzung und dem tatsächlichen Verhalten vorhanden ist.

Wurde von den Versuchspersonen angekreuzt, dass sie sich eher zu der „engagierten“ und „sich informierenden“ Fahrergruppe zählen (zu erkennen an den Indikatorfragen 17 (Stichwort „Fahrzeugbeherrschung“), 22 („Orientierung im Fahrzeug“), 23 („Kenntnis der Warn- und Kontrollleuchten“), 26 („Vorschriftentreue“), 27 („Reaktion auf Warn- und Kontrollleuchten“), die vorgeben, auch gerne etwas riskanter zu fahren (vgl. Fragen 15 („Sportliche Fahrweise“), 16 („Risikofreudigkeit“), 19 („Benzinverbrauch“), 30 („Fahrzeugbeschleunigung“), so konnte im Versuch nachgewiesen werden, dass diese Versuchspersonen mit der Fehlerart 2 („Die Versuchsperson fährt trotz Initialisierung aller Warnstufen *langsam* bis zum Versuchsende weiter“) oder 3 („Die Versuchsperson hält nicht an, fährt trotz Initialisierung aller Warnstufen mit unverminderter Geschwindigkeit bis zum Versuchsende weiter“) auf die Warnung reagierten. Bei den Versuchspersonen, die sich über die Selbsteinschätzung als „defensive“ Fahrer definierten, haben durchweg die Fahrsicherheit und Verkehrssicherheit, aber auch ihre eigene Sicherheit in den Vordergrund gestellt und durchgängig bei der Reaktion auf die Warnung ein fehlerloses Verhalten (Reaktion 0 – „Die Versuchsperson reagiert sofort auf die Warnung, kein Fehler“) gezeigt oder mit Fehlerart 1 („Die Versuchsperson hält zunächst an, fährt dann weiter, bis das „Aktive Lenkrad“ initialisiert wird“) reagiert.

Tabelle 5-8: Auszug aus Anhang V, Zusammenhang Selbsteinschätzung und Verhalten der Versuchspersonen

VP	Reaktion	Bezug Verhalten/Fragebogen zur Person	Äußerung der VP (Auszug)	Zuordnung der kognitiven Tendenz	Indikatorfragen	KT/ Feinspezifikation
2	3	Fragen 26 („Parkverbot“)/27 (Warn-u. Kontrollleuchten“) zeigen, dass VP vorgibt, vorschriftentreu zu sein, in 37 wird deutlich, dass dies nicht so ist (würde bei leuchtender Öldruckanzeige immer weiterfahren), außerdem Widerspruch zu Begründung (Öldrucklampe); Zielorientiert, priorisiert persönliche Ambitionen vor Sicherheit, interpretiert zudem die zur Verfügung stehenden Infos falsch, glaubt, sich im Fahrzeug gut auszukennen (17, 22, 23)	"Geld ist mir wichtiger als Sicherheit, erst mal ausprobieren, ob die Lenkung wirklich defekt ist" "Bei Aufleuchten der Öldruckleuchte würde ich sofort anhalten, da könnte das Getriebe kaputt gehen"	KT 3: Widerwille, die geforderte Aufgabe durchzuführen, auf die Warnung zu reagieren; KT 4: Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	17, 22, 23, 26, 27	3.4, 4.1

Fazit der Ermittlung der kognitiven Verhaltenstendenzen

Anhand der beschriebenen Kombination bzw. des Abgleichs der Teilanalysen des individuellen Ankreuzverhaltens, der Reaktion der Versuchspersonen auf die Warnung sowie ihrer schriftlichen Begründung des Verhaltens im Fragebogen und ihrer verbalen Äußerung bei dem Versuchsteil „Rückmeldung durch die Versuchsleitung“ erfolgte der Plausibilitätsnachweis der Vorgehensweise bei der Auswertung des Fahrsimulatorversuchs. Es konnte damit eine detaillierte und strukturierte Zuordnung der kognitiven Verhaltenstendenzen zu dem Verhalten der Versuchspersonen durchgeführt werden, wobei die Zuordnung der Hauptstruktur durch die Korrelationsanalyse fixiert wurde und durch ein subjektives Rating eine Feinspezifikation erfolgte.

Durch die Fahrsimulatorstudie wurden die in Kapitel 5.1 aufgestellten Hypothesen bis auf den Aspekt „Zeitpunkt der Warnung, frühe Warnung/späte Warnung“ bestätigt. Der Einfluss des zeitliche Faktors der Warnungsinitialisierung hatte keinen signifikanten Einfluss auf das Verhalten der Versuchspersonen.

Aus den gewonnenen Ergebnissen ist für zukünftige Vorhaben eine Bewertung des Fahrerverhaltens abzuleiten. Auf dieser Grundlage ist eine Optimierung des Warnszenarios im Hinblick auf den Informationsverarbeitungsprozess anzustreben.

5.3.5 Auswertung des Fragebogens Teil 2

Den Fokus der Fahrsimulatorstudie stellte die Analyse des Verhaltens der Versuchspersonen bei Erscheinen einer sicherheitsrelevanten Warnung dar, mit der Zielsetzung, die entwickelte Methode zur Beurteilung und Vorhersage des menschlichen Zuverlässigkeit und der menschlichen Verhaltensmechanismen zu bestätigen. Die Bewertung der Auslegung der in diesem Fahrsimulatorversuch präsentierten Warnung stand nicht im Vordergrund.

Bei der Konfiguration des Warnszenarios wurden, die in Kapitel 2.5 dargestellten Grundsätze der Ergonomie angewandt. Um aus diesem Versuch zusätzlich Erkenntnisse für zukünftige Projekte bzgl. der Gestaltung von Fahrerwarnungen, insbesondere über die Form der Rückmeldung des technischen Systems zu gewinnen, wurden die Versuchspersonen im zweiten Teil des Fragebogens (Anhang III) zur Darbietung der Warnung befragt. Die Bewertungsgrundlage stellten drei Fragen dar, denen die Versuchspersonen wiederum über einen sechsskaligen Wertebereich zustimmen mussten.

Es wird deutlich, dass die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen durch das Warnszenario angemessen geweckt wurde, ohne -wie die Versuchsfahrten zeigten- dass die Verkehrssicherheit dadurch beeinträchtigt worden wäre.

Während die Warnungen über den visuellen und haptischen Sinneskanal eindeutig für unmittelbar wahrnehmbar und interpretierbar befunden wurde, erhielt das akustische Signal in allen drei Fragekategorien eine schlechtere Beurteilung. Die ablenkende Wirkung insbesondere des akustischen Signals und die inhaltliche Zuordnung des Signals wurde sehr negativ beurteilt.

Signifikant ist die Eindeutigkeit, mit der die haptische Rückmeldung durch das „Aktive Lenkrad“ bewertet wurde. Der Ablenkungseffekt wurde als sehr hoch empfunden, die Wahrnehmbarkeit dieses Bestandteils des Warnszenarios wurde sehr gut beurteilt und es erfolgte eine direkte Zuordnung des haptischen Signals zum defekten Bauteil.

Die vorgenommene Bewertung des Warnszenarios durch die Versuchspersonen ist in Bild 5-6 dargestellt.

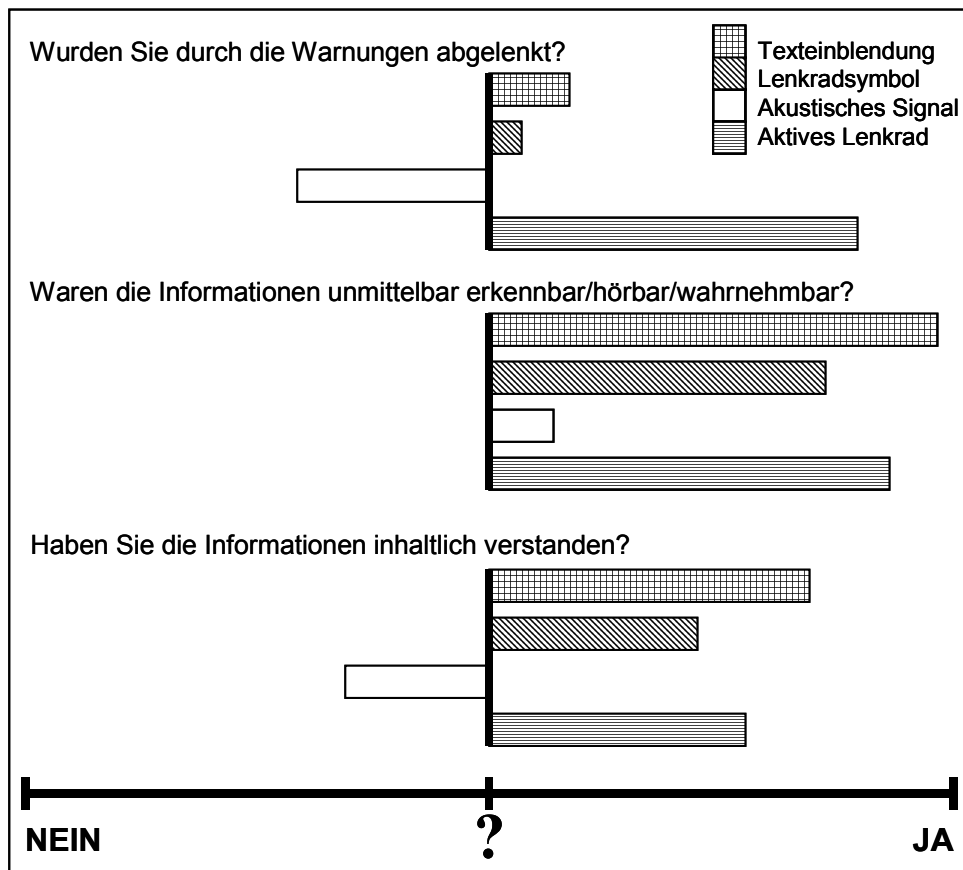


Bild 5-6: Auswertung des Fragebogens Teil 2 „Fragen zur Warnung“

Dies bestätigt die in Kapitel 5.2 dargestellte Aussage, dass gegenüber dem reizüberfluteten optischen Sinneskanal und dem akustischen Sinneskanal, der ebenfalls durch z.B. Radiohören stark beansprucht wird, der haptische Sinneskanal ein großes Potenzial zum Erwecken der Aufmerksamkeit des Fahrers und zur transparenten Vermittlung von Warnungen birgt. Im Rahmen der Entwicklung von by-Wire Systemen stellt die haptische Rückmeldung in Verbindung mit einer optischen und akustischen Warnung eine sehr effiziente und durch Softwareprogrammierung leicht und kostengünstig zu realisierende Möglichkeit dar, den Fahrer bei Auftreten sicherheitsrelevanter Fehler zu warnen.

5.4 Ergebnis

Es wurde gezeigt, dass die Initialisierung selbst einer eindeutig erkennbaren und interpretierbaren Warnung im Systemfehlerfall lediglich bedingt das gewünschte Fahrerverhalten erzielt. Individuelle und situative Faktoren beeinflussen maßgeblich die Akzeptanz der Warnung und damit die Reaktion des Fahrers. Dies ist bei der Konfiguration von Warneinrichtungen und -szenarien zu berücksichtigen.

5.5 Ableitungen von Maßnahmen aus den Versuchsergebnissen

Bezüglich des sequenziellen Informationsverarbeitungsmodells liegen ergonomische Gestaltungsmaßnahmen für Warneinrichtungen vor, die das wahrnehmungsgesteuerte Verhalten des Menschen ansprechen (Swain, 1987). Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse, dass persönliche Zielstellungen und Situationsfaktoren das menschliche Verhalten in ungewohnten Situationen vornehmlich bestimmen, stellen eine fundierte Basis für weiterführende Studien zur Maßnahmenentwicklung dar, mit denen das zielgesteuerte Verhalten beeinflusst wird.

Die Konfiguration der Warneinrichtung und des Warnszenarios muss unter Berücksichtigung der Fragestellungen der Bedeutung der Warnung für den Fahrer, der kognitiven Beanspruchung des Fahrers durch die Warnung und des möglichen menschlichen Fehlverhaltens erfolgen.

Die Entwicklung einer effizienten Informationsstrategie zu sicherheitsrelevanten Systemen bewirkt, dass die Wahrscheinlichkeit der Konfrontation der Fahrer mit unbekanntem Situationen reduziert wird.

Bei der Informationsvermittlung ist zu berücksichtigen, dass eine Information bzgl. des Systemzustands für den Großteil der Fahrerschaft weniger aufschlussreich ist als einen Hinweis auf die Restlebensdauer des Systems bzw. die Angabe der möglichen noch zu fahrenden Kilometer zu erhalten.

Im Fehlerfall kann z.B. ein gestuftes Warnszenario die Häufigkeit übereilter Fehlhandlungen einschränken. Bei der Auslegung einer hierarchisch strukturierten Warnung können die Wirkungsgrade einzelner Stufen im Gesamtkonzept unter Berücksichtigung der aktuellen Situation und Umgebungsfaktoren angepasst werden. Die Systematik dieses Prozesses wird durch die Analyse des Zusammenwirkens von Situationsfaktoren, kognitiven Verhaltenstendenzen und des Effekts der einzelnen Ebenen des gestaffelten Warnsystems bereits in der Konfigurationsphase bestimmt.

In die Strategie des Warnszenarios sollten alle Konzepte der Drive-by-Wire Technologie einfließen, um eine optimale Wirkung zu erzielen. Diese Technologien können sowohl als Informationsquellen (z.B. Straßenbeschaffenheit vom Fahrdynamikregelsystem) als auch als Warnmedium (z.B. Steer-by-Wire zur Fahrkomforteinschränkung) genutzt werden.

Eine Unterstützung des Fahrers zur Entscheidungsfindung im Systemfehlerfall ist mit einem Hinweis auf die nächste Werkstatt über GPS (General Positioning System) zu erreichen. Erste Ansätze dazu enthalten die Arbeiten von Boksch (1999) sowie MOT (2000) und Elektronik Praxis (1999).

Diese Aspekte stellen erste Ansätze dar. Sie dienen als Grundlage für eine Vertiefung und Erweiterung in zukünftige Studien.

6 Zusammenfassung

Bei einem rein elektronischen Steer-by-Wire System kommt dem Fahrer eine sicherheitsrelevante Aufgabe zu. Damit wird er gleichzeitig Bestandteil eines neu zu definierenden Sicherheitskonzeptes, in dessen Entwicklung die menschliche Zuverlässigkeit berücksichtigt werden muss.

In der vorliegenden Arbeit wurde gezeigt, dass durch die Beurteilung der Kombination situativer Faktoren und kognitiver Verhaltenstendenzen in einem gemeinsamen Analyseansatz eine realitätsnahe Beurteilung der menschlichen Handlungszuverlässigkeit zu erzielen ist.

Der systemergonomische Ansatz zur Klassifizierung der Randbedingungen des Steer-by-Wire Systems bildet die Grundlage zur Nutzung der Erfahrungen von Mensch-Maschine-Schnittstellen aus Industriebereichen mit vergleichbaren kognitiven Beanspruchungen. Die Übertragung der bei der Auswertung von Ereignissen in Kernkraftwerken im Hinblick auf qualitative und quantitative Aspekte der menschlichen Zuverlässigkeit gewonnenen Erkenntnisse auf die Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle ermöglichte die Vorhersage der Verhaltensweisen von Fahrern im Systemfehlerfall.

Durch ein Expertenvoting vervollständigt, wurde mit Hilfe dieses Verfahrens eine Prognose des menschlichen Verhaltens bzw. der Zuverlässigkeit für das Steer-by-Wire System erstellt.

In einem Fahrsimulatorexperiment wurde neben der Validierung der methodischen Vorgehensweise und Verifizierung der Prognose die Gültigkeit der Übertragung der in der Nukleartechnik gewonnenen Erkenntnisse überprüft und nachgewiesen.

Damit wurde eine Analogie der Situationen in den unterschiedlichen Bereichen Nukleartechnik und Straßenverkehr nachgewiesen, in denen eine erhöhte Beanspruchung des kognitiven Informationsverarbeitungsprozesses hervorgerufen wird. Die systemergonomische Klassifikation stellt sich als ein geeignetes Verfahren heraus, menschliches Verhalten in definierten Situationen vorherzusagen. Der entwickelten Vorgehensweise zur Analyse des menschlichen Verhaltens kann somit ein Synergieeffekt auf alle technischen Bereiche zugewiesen werden, in denen das Verhalten des Menschen einen entscheidenden Einfluss auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit eines Systems hat.

Weiterhin wurde in dieser Arbeit aufgezeigt, dass im Hinblick auf eine effiziente Analyse der Sicherheit und Zuverlässigkeit sicherheitsrelevanter Systeme, in denen der Mensch einen Bestandteil des Sicherheitskonzepts darstellt, eine Beschränkung bei der Auslegung der Warneinrichtung auf das wahrnehmungsorientierte Verhalten nicht ausreicht.

Gegenüber dem wahrnehmungsgesteuerten Verhalten ist ebenfalls das zielorientierte Verhalten (und Fehlverhalten) zu berücksichtigen. Dieses ist weitaus schwieriger

durch Gestaltungsmaßnahmen von Warneinrichtungen zu erreichen. Daher müssen mögliche Kombinationen von situativen Faktoren und menschlichen Aspekten sowie der Prinzipien der kognitiven Informationsverarbeitung, die einen entscheidenden Einfluss auf die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems haben, bei der Strategie von Warnszenarien berücksichtigt werden.

Die hier aufgezeigte Methode bildet eine solide Analysegrundlage für die Auslegung von komplexen Warnszenarien, die schon in der Entwicklung sicherheitsrelevanter Systeme deren Konfiguration beeinflussen. Sie bietet ein großes Potenzial für weiterführende Entwicklungsaktivitäten zu diesem Thema.

7 Literaturverzeichnis

- EWG, 1999 Richtlinie 1999/7/EG der Kommission vom 26. Januar 1999 zur Anpassung der Richtlinie 70/311/EWG des Rates über die Lenkanlagen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern an den technischen Fortschritt (Text von Bedeutung für den EWR)
- Anderson, 1996 **Anderson, J.R.**, Kognitive Psychologie, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1996
- Assmann, 2000 **Assmann, E.**, Fragebogen zur Verwendung in Fahrsimulatorexperimenten, BMW-interner Fragebogen, München 2000
- ATZ, 1999 Steer-by-Wire – Wo stehen wir?, Automobiltechnische Zeitschrift 101, 11, S. 914-915, 1999
- Baber, 1994 **Baber, C.**, Psychological Aspects of Conventional in-Car-Warning Devices, in: Human Factors in Alarm Design, Stanton, N. (ed.), Taylor & Francis, pp. 194-205, London 1994
- Bedford, 1997 **Bedford, T., Cooke, R.M.**, Reliability Methods as Management Tools in: Dependence Modelling and Partial Mission Success, Reliability Engineering and System Safety 58, pp. 173-180, 1997
- Benda, 1983 **v. Benda, H., Hoyos, Graf, C., Schaible-Rapp, A. (eds)**, Klassifikation und Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen, Bericht zum Forschungsprojekt 7320 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach, 1983
- Bernotat, 1970 **Bernotat, R.**, Anthropotechnik in der Fahrzeugführung, Ergonomics, Vol. 13, No. 3, 1970
- Bielaczek, 1999 **Bielaczek, C.**, Die Auswirkung der aktiven Fahrerbeeinflussung auf die Fahrsicherheit, ATZ 101, 9, S. 714-724, 1999
- BMFV, 1994 Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Anwendung von Risikoanalysen, Anwendungsbeispiel "Hindernis auf der Fahrbahn", Forschungsberichte aus dem Forschungsprogramm des Bundesministeriums für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Heft 689, Bergisch Gladbach, 1994
- Bocksch, 1999 **Bocksch, N.**, Über Grenzen hinweg – Schnelle Maschinenwartung über Grenzen hinweg, Elektronik Praxis, Nr. 6, März 1999
- Boecker, 2000 **Boecker, A.**, Wenn die Alarmglocken nicht klingeln, Süddeutsche Zeitung, 11./12.03.2000
- Bressensdorf, 2000 **Bressensdorf, G. von**, Risikofaktor Mensch – wäre es nicht sinnvoller, die Fahrer besser zu schulen ?, VDI nachrichten Konferenzen „Sicherheit im Automobil“, Bamberg, 2000
- Bubb, 1992 **Bubb, H.**, Menschliche Zuverlässigkeit, ecomed Fachverlag, Landsberg, 1992

-
- Bye, 1998 **Bye, A., Hollnagel E., Breneford, T.S.**, Human-Machine Function Allocation: A Functional Modelling Approach, Reliability Engineering and System Safety 59, pp. 243-252, 1998
- Connor, 1990 **O'Connor, P.D.T.**, Zuverlässigkeitstechnik Grundlagen und Anwendung, VHC Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1990
- DIN 25424, 1981 DIN 25424, Teil 1: Fehlerbaumanalyse, Methoden und Bildzeichen, DIN e.V. (Hrsg.) Beuth, Berlin, 1981
- DIN 25424, 1990 DIN 25424, Teil 2: Fehlerbaumanalyse, Handrechenverfahren zur Auswertung eines Fehlerbaums, DIN e.V. (Hrsg.) Beuth, Berlin, 1990
- DIN V 19250, 1994 DIN V 19250: Leittechnik - Grundlegende Sicherheitsbetrachtungen für MSR-Schutzeinrichtungen, DIN e.V. (Hrsg.) Beuth, Berlin, 1994
- DIN V 19251, 1995 DIN V 19251: Leittechnik - MSR-Schutzeinrichtungen - Anforderungen und Maßnahmen zur gesicherten Funktion, DIN e.V. (Hrsg.) Beuth, Berlin, 1995
- Dingus, 1997 **Dingus, T.A., Hulse, M.C., Mollenhauer, M.A., Fleischman, R.N., McGehee, D.V., Manakkal, N.**, Effects on Age, System Experience, and Navigation Technique on Driving with an Advanced Traveler Information System, Human Factors 39(2), pp. 177-199, 1997
- Dougherty, 1997 **Dougherty, E.M.**, Is Human Failure a Stochastic Process?, Reliability Engineering and System Safety 55, pp. 209-215, 1997
- Dougherty, 1998 **Dougherty, E.**, Human Errors of Commission Revisited: An Evaluation of the Atheana Approach, Reliability Engineering and System Safety 60, pp. 71-82, 1998
- Edworthy, 1996 **Edworthy, J., Adams, A.**, Warning Design, A Research Perspective, Taylor & Francis, London, 1996
- Eisele, 1996 **Eisele, J.S.**, The Impact of Improved Vehicle Design on Highway Safety, Reliability Engineering and System Safety 54, pp. 65-76, 1996
- Elektronik Praxis, 1999 Wo bin ich? Positionsbestimmung, Elektronik Praxis Nr. 22, S. 128-130, 1999
- Embrey, 1984 **Embrey, D.E., Humphreys, E.A., Rosa, E.A., Kirwan, B., Rea, K.**, SLIM-MAUD: An Approach to Assessing Human Error Probabilities Using Structured Expert Judgement, NUREGCR-3518, Washington DC, 1984
- Engel, 1999 **Engel, K., Kociok, B. (eds.)**, Viertes Expertengespräch "Mensch-Maschine-Wechselwirkung in Kernkraftwerken", Fachbereich Kerntechnische Sicherheit, BfS-KT-Bericht 22/99, 1999
- Fastenmeier, 1995 **Fastenmeier, W. (Hrsg.)**, Autofahrer und Verkehrssituation, Mensch-Fahrer-Umwelt, Band 33, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1995

-
- Fastenmeier, 1991 **Fastenmeier, W., Gstalter, H.**, Review on Studies and Research Work About Driving Task Analysis, DRIVE Studie 19915
- Förster, 1992 **Förster, H.J.**, Der Fahrzeugführer, ein homo instrumentalis, VDI Berichte Nr. 948, S 379-443, VDI Verlag, 1992
- Guldner, 1999 **Guldner, J.**, Projektdokumentation zum Projekt Steer-by-Wire Z22, BMW-interne Projektdokumentation, München, 1999
- Hecht, 2000 **Hecht, P.**, Notwendigkeit einer „Tort Reform“?, VDI nachrichten Konferenz Sicherheit im Automobil, Bamberg, 2000
- Hickling, 1994 **Hickling, E.M.**, Ergonomics and Engineering Aspects of Designing an Alarm System for a Modern Nuclear Power Plant, in: Human Factors in Alarm Design, Stanton, N. (ed.), Taylor & Francis, pp.165-178, London, 1994
- Hollnagel, 1996 **Hollnagel, E.**, Reliability Analysis and Operator Modelling, Reliability Engineering and System Safety 52, pp. 327-337, 1996
- Hollnagel, 1998 **Hollnagel, E.**, CREAM - Cognitive Reliability and Error Analysis Method, Elsevier Science, Oxford, 1998
- Huf, 2000 **Huf, C.A., Nill, E.**, Palmström und die Bahnunfälle, Sicherheitsingenieur 5, S.10-19, 2000
- IFAPLAN, 1984 Wetter und Autofahren, IFAPLAN, Gesellschaft für angewandte Sozialforschung und Planung GmbH, Köln im Auftrag der Uniroyal - Englebert Reifen GmbH, Aachen, 1984
- Johnson, 1997 **Johnson, C.W.**, The Epistemics of Accidents, International Journal of Human-Computer-Studies 47, pp. 659-688, 1997
- Kraft, 2000 **Kraft, H.**, Die Risiken der Elektronik für den Straßenverkehr sind kaum abzuschätzen, Frankfurter Allgemeine Zeitung, 22.02.2000
- Krell, 1999 **Krell, C.**, Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit im Cockpit des Airbus A340 mit CREAM, Diplomarbeit, Institut für Arbeitswissenschaften, Technische Universität Berlin, 1999
- Kuchar, 1995 **Kuchar, J., Hansman, J.**, A Unified Methodology for the Evaluation of Hazard Alerting Systems, Department of Aeronautics and Astronautics MIT, Cambridge, 02139-4307, ASL-95-1, 1995
- Lanzilotta, 1995 **Lanzilotta, E.J.**, Dynamic Risk Estimation: Development of the Safety State Model and Experimental Application to High Speed Rail Operation, Dissertation, MIT, 1995
- Leveson, 1995 **Leveson, N.**, Safeware, System Safety and Computers, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1995
- Ludwig, 1990 **Ludwig, R.**, Die Krone der Schöpfung braucht Erbarmen, Publik Forum 7, S. 30 ff, 1990
- Macwan, 1992 **Macwan, A.P.**, Methodology for Analysis of Operator Error Commission During Nuclear Power Plant Accidents with Application to Probabilistic Risk Assessment, Dissertation, The University of Maryland, 1992

-
- Marstaller, 2000 **Marstaller, R., Bubb H.**, 1. Meilensteinbericht zum Arbeitspaket 1.3 und 2.3 Identifikation-Spezifikation, Bericht zum Forschungsprojekt S.A.N.T.O.S., Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, 2000
- Marstaller, 2001 **Marstaller, R., Bubb H.**, 2. Meilensteinbericht zum Arbeitspaket 5.1 und 5.2 Erprobung-Integration, Bericht zum Forschungsprojekt S.A.N.T.O.S., Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München, 2001
- McKnight, 1970 **McKnight, A.J., Adams, B.**, Driver Education Task Analysis, Human Resources Research Organisation, Alexandria, Virginia, 1970
- Mehl, 1999 **Mehl, K., Schuette, M.**, Simulators – A Perspective on what to Train and what to Analyze Regarding Human Reliability, in: Safety and Reliability, Schuëller & Kafka (eds.), Balkema, Rotterdam, 1999
- Meyna, 1994 **Meyna, A.**, Zuverlässigkeitsbewertung zukunftsorientierter Technologien, Vieweg, Braunschweig, 1994
- Milgram, 1963 **Milgram, S.**, Behavioral study of obedience, Journal of Abnormal and Social Psychology, Vol. 67, pp. 371-378, 1963
- MIL-HDBK, 1997 MIL-HDBK-217-F: Reliability Prediction of Electronic Equipment, US-RADS-AFC. ATTN: RBE-2, Griffiss Airforce Base, New York 13441, 1997
- Mosneron, 1998 **Mosneron-Dupin, F., Reer, B., Heslinga, G., Sträter, O., Gerdes, V., Saliou, G., Ullwer, W.**, Human-Centered Modeling in Human Reliability Analysis: Some Trends Based on Case Studies, Reliability Engineering and System Safety 58, pp. 249-267, 1998
- MOT, 2000 Alles aus einer Hand, mot 1, S. 14-17, 2000
- Murphy, 1994 **Murphy, D.M.**, Incorporating Human and Management Factors in Probabilistic Risk Analysis, Dissertation, Stanford University, 1994
- Mutschler, 2001 **Mutschler, H.**, Warning Systems in Vehicles, Technical Report ordered by ISOTC204WG8, Karlsruhe, 2001
- Neisser, 1976 **Neisser, U.**, Cognition and Reality, W.H. Freeman, San Francisco, 1976
- Nelson, 1997 **Nelson, W.R.**, Structures Methods For Identifying and Correcting Potential Human Errors in Aviation Operations, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Computational Cybernetics and Simulation, pp. 3132-3136, 1997
- Nilsson, 1995 **Nilsson, L.**, Safety Effects of Adaptive Cruise Controls In Critical Traffic Situations, Swedish Road and Transport Research Institute (VTI), Linköping, 1995

-
- Nirschl, 1997 **Nirschl, G., Blum, E.-J.**, Strukturierte Analyse und experimentelle Untersuchung von Grenzsituationen, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Nr. 8 804 745 im Auftrag der BMW AG, Fraunhofer Institut für Datenverarbeitung, Karlsruhe, 1997
- NUREG, 1998 NUREG-1624: Technical Basis and Implementation Guidelines for A Technique for Human Event Analysis (ATHEANA), NRC, Washington DC, 1998
- Onken, 1998 **Onken, F.O.**, Studie zur Automatisierung in der Flugführung, MOTIV-Studie, 1998
- Polizei, 1998 Aufgaben der Polizei bei Straßenverkehrsunfällen, Rd. Erl. Innenministeriums vom 11.05.1998, MBL.NW.S.810 SMBL.NW.20510
- Pro Driver, 1995 Prometheus, Pro Driver, Abschlussdokumentation, München, 1995
- ProdHaftG, 1989 ProdHaftG – Produkthaftungsgesetz, Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte vom 15.12.1989 (BGBl. I S. 2198)
- Rasmussen, 1981 **Rasmussen, J., Rouse, W.B.**, Human Detection and Diagnoses of System Failures, Plenum Press, New York, 1981
- Rasmussen, 1986 **Rasmussen, J.**, Information and Human-Machine Interaction - an Approach to Cognitive Engineering, Elsevier Science, Amsterdam, 1986
- Rasmussen, 1987 **Rasmussen, J., Duncan, K., Leplat, J. (eds.)**, New Technology and Human Error, John Wiley & Sons, 1987
- Reason, 1994 **Reason, J.**, Menschliches Versagen, Psychologische Faktoren und moderne Technologien, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, 1994
- Reer, 1997 **Reer, B.**, Conclusions from Occurance by Description of Actions – CODA, in: Studies of Risk and Hazard, Drottz Sjöberg, B.M. (ed), Annual Meeting of the Society for Risk-Analysis Europe, New Risk Frontiers, Center of Risk Centers, Stockholm, 1997
- Reichart, 2000 **Reichart, G.**, Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen -Möglichkeiten der Analyse und Bewertung-, Dissertation, TU München, Lehrstuhl für Ergonomie, 2000
- Sanders, 1991 **Sanders, A.F.**, Simulation as a Tool in the Measurement of Human Performance, Ergonomics, Vol. 34, No. 8, pp. 995-1025, 1991
- Schmidtke, 1993 **Schmidtke, H. (Hrsg.)**, Ergonomie, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1993
- Stanton, 1994 **Stanton, N.**, Human Factors in Alarm Design, Taylor & Francis; pp. 221-233, London, 1994
- Stanton, 1997 **Stanton, N., Marsden, P.**, Drive-by-Wire-Systems: Some reflections on the Trend to Automate the Driver Role, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 211, Part D, pp. 267-276, 1997

-
- Sträter, 1994 **Sträter, O., Preischl, W.**, Bewertung der Zuverlässigkeit menschlicher Handlungen, Weiterentwicklung methodischer Grundlagen und Rechenprogramme für probabilistische Sicherheitsanalysen, GRS-A-2173, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, 1994
- Sträter, 1997 **Sträter, O.**, Investigations on the Influence of Situational Conditions on Human Reliability in Technical Systems, Proceedings of the 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Tampere, 1997
- Sträter, 1997a **Sträter, O.**, Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit auf der Basis von Betriebserfahrung, Dissertation an der Technischen Universität München, GRS-138, GRS Köln, 1997
- Sträter, 1998 **Sträter, O.**, Problems of Cognitive Error Quantification and Approaches for Solution, Proceedings of the 4th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 4, New York, 1998
- Sträter, 1999 **Sträter, O.**, Methodik zur Untersuchung menschlicher Zuverlässigkeit in technischen Systemen, at-Automatisierungstechnik 47, 1999
- Sträter, 1999a **Sträter, O., Reer, B., Dang, V., Hirschberg, S.**, Methods, Case Studies, and prospects for an integrated approach for analyzing errors of commission, in: Safety and Reliability, Schuëller & Kafka (eds), Balkema, Rotterdam, pp. 699-704, 1999
- Sträter, 1999b **Sträter, O., Bubb, H.**, Assessment of Human Reliability Based on Evaluation of Plant Experience: Requirements and Implementation, Reliability Engineering and System Safety 63, pp. 199-219, 1999
- Sträter, 2000 **Sträter, O.**, Operator Modelling and Analysis of Behavioural Data in Human Reliability Analysis, in: Human Error and System Design and Management, Elzer und Kluwe (Hrsg), Springer Verlag, Berlin, 2000
- Sträter, 2000a **Sträter, O., Linsenmaier, B., Theis, I. & Vogel, A.**, Kognitive Aspekte bei der Beherrschung komplexer Arbeitssysteme. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften, GFA 2000, Berlin, 15.-17.3.2000, GFA Press, Dortmund, 2000
- Sträter, 2000b **Sträter, O.**, Modeling and Assessment of Cognitive Aspects of the Task of a Driver. In VDI 1613: The driver in the 21st Century. VDI, Düsseldorf, 2000
- StVZO, 2000 StVZO-EGECE Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) In der Fassung der Bekanntmachung vom 28. September 1988 (BGBl. I S. 1793). Zuletzt geändert durch die fünfundzwanzigste Verordnung zur Änderung der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (25. ÄndVStVZO) vom 3. August 2000 (BGBl. I S. 1273)
- Sudano, 1994 **Sudano, J.J.**, Minimizing Human-Machine Interface Failures in High Risk Systems, IEEE Aerospace and Electronics Systems

- Magazine Vol. 9, Issue 10, pp. 17-20, 1994
- Swain, 1983 **Swain, A.D., Gutman, H.E.**, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, Final Report. NUREGCR-1278, Washington DC, 1983
- Swain, 1987 **Swain, A.D.**, Accident Evaluation Program Human Reliability Analysis Procedure, NUREGCR-4722, Washington DC, 1987
- Theis, 1997 **Theis, I., Rakowsky, U.**, Safety Truth Tables – Ein methodisches Werkzeug der Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanalyse, VDI Bericht 1364, Zuverlässige Technik ist planbar, S.101-112, TTZ ,97, Braunschweig, 1997
- Theis, 2000 **Theis, I.**, By-Wire-Systeme im Kraftfahrzeug — Analyse der menschlichen Handlungszuverlässigkeit, VDI-Tagung „Sicherheit komplexer Verkehrssysteme“, Bonn-Königswinter, 2000
- Theis, 2000a **Theis, I.**, Fahrer-Fahrzeug-Interaktion bei by-Wire-Systemen – Analyse der menschlichen Zuverlässigkeit, VDI nachrichten Konferenzen, Sicherheit im Automobil, Bamberg, 2000
- Theis, 2001 **Theis, I., Sträter, O.**, By-Wire Systems in Automotive Industry – Reliability Analysis of the Driver-Vehicle-Interface, ESREL 2001, European Safety and Reliability Conference, Torino, 2001
- Varde, 1998 **Varde, P.V., Sankar, S., Verma, A.K.**, An Operator Support System for Research Reactor Operations and Fault Diagnosis Through a Connectionist Framework and PSA Based Knowledge Based Systems, Reliability Engineering and System Safety 60, pp. 53-69, 1998
- VDA, 1996 Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie, Band IV, „System-FMEA“, Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), Frankfurt, 1996
- VDI 4006, 1999a VDI 4006 - Blatt 1: Menschliche Zuverlässigkeit - Ergonomische Forderungen und Methoden der Bewertung, VDI Richtlinie - Entwurf, Beuth-Verlag, Berlin, 041999
- VDI 4006, 1999b VDI 4006 - Blatt 2: Menschliche Zuverlässigkeit - Methoden zur quantitativen Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit, VDI Richtlinie - Entwurf, Beuth-Verlag, Berlin, 041999
- VDI VDE, 3542 1988 VDI VDE 3542 Safety terms for automation systems; Qualitative terms and definitions, VDI, Düsseldorf VDE, Frankfurt am Main, 1988
- Wickens, 1992 **Wickens, C.D.**, Engineering Psychology and Human Performance 2nd Edition, Harper Collins Publishers, Inc., New York, 1992
- Woods, 1988 **Woods, D.D.**, Coping with Complexity: The Psychology of Human Behaviour in Complex Systems, in: Tasks Errors and Mental Models, Goodstein, Anderson, Olsen (Eds.), Vol. NA , pp. 128-148, 1988
- Yow, 1997 **Yow, A.B., Engh, T.H.**, Discrete event simulation of operator interaction with an alarm system, IEEE Sixth Annual Human

Factors Meeting, pp. 724-729, 1997

Zeit, 1999

Hilfe, mein Auto fährt von selbst!, Die Zeit, S. 42, 09.09.99

Anhang I Klassifizierung der kognitiven Verhaltens- tendenzen

Kognitive Tendenz	Einflussfaktoren	Beschreibung, Beispiele
KT 1 <i>Fixation</i> – Fixierung des Fahrers auf eine persönliche Zielstellung oder eine örtliche Zielerreichung bzw. eine Fahraufgabe	Psychische Leistungsfähigkeit	
	Mentale Anlagen: Persönliche Voraussetzung: Fähigkeit der Informationswahrnehmung und -verarbeitung; Naturel des Fahrers KT 1.1	Unsicherer Fahrertyp: - Aufgrund der Beanspruchung des Fahrers durch die Fahraufgabe oder die Umgebungsfaktoren ist seine Wahrnehmungs- und Aufnahmefähigkeit von neuen Informationen stark eingeschränkt - Neue Informationen, die den Fahrer von seiner Fahraufgabe oder der Zielerreichung ablenken, werden aus dem Wahrnehmungsprozess herausgefiltert
	Bildungsniveau; Wissen KT 1.2	Der Fahrer ist aufgrund seiner intellektuellen Voraussetzungen nicht fähig, die Komplexität des Problems zu erfassen
	Übung und Training: Erfahrung KT 1.3	Der Fahrer hat hinreichende Erfahrung mit Systemausfällen und Warneinrichtungen (andere Systeme, auch SbW) und ist daher bzgl. neuer Informationen und Warnsignale unaufmerksamer. Der Fahrer hat keine Erfahrung mit Systemausfällen oder Warneinrichtungen (andere Systeme, auch SbW), die Warnung erweckt daher keine Erinnerung, die seine Aufmerksamkeit auf die Warneinrichtung und die neuen Informationen lenkt Der Fahrer hat negative Erfahrungen mit Warneinrichtungen (z.B. Fehlalarme), neue Informationen und Warnsignale sind für ihn störend, bergen Unannehmlichkeiten, er ist daher bzgl. neuer Warnungen blockiert
	Psychische Leistungsbereitschaft	
	Persönliche Voraussetzung: Neigung KT 1.4	Während der Fahrer seiner Fahraufgabe nachgeht, beachtet er generell selten Warneinrichtungen bzw. Displays
	Persönliche Voraussetzung: Momentane Stimmungslage KT 1.5	Die momentane Stimmungslage hat einen großen Einfluss auf den Wahrnehmungsprozess: Der Fahrer ist gedanklich mit anderen Dingen, z.B. mit einem persönlichen Problem beschäftigt, sodass er nur der Fahraufgabe nachgeht und seine Aufmerksamkeit gegenüber neuen Informationen stark eingeschränkt ist Der Fahrer nimmt aufgrund seiner persönlichen Verfassung (auch gesundheitlich) keine neuen Informationen wahr
	Äußere Motivation: Persönliche Erwartung bzgl. der Aufgabe des Ziels KT 1.6	Der Fahrer ist auf die Zielerreichung bzw. eine Aufgabe (z.B. in einem unbekanntem Ort eine Straße zu finden, um dort einen Fahrauftrag zu erledigen) fixiert, neue Informationen beeinträchtigen seine Konzentration und Aufmerksamkeit, er lässt sich daher nicht durch die Warnsignale "ablenken"

Kognitive Tendenz	Einflussfaktoren	Beschreibung, Beispiele
KT 2 <i>Eagerness to act</i> – Der Fahrer hält übereilt sofort nach Erscheinen der Warnung an, ohne auf den Verkehr zu achten.	Psychische Leistungsfähigkeit	
	Mentale Anlage; Persönliche Voraussetzung: Fähigkeit der Informationswahrnehmung und -verarbeitung Naturel des Fahrers KT 2.1	Der Fahrer nimmt die Informationen zwar wahr, ist aufgrund seiner mentalen Voraussetzung nicht fähig, sie richtig zu verarbeiten, d.h. er reagiert ohne nachzudenken auf die Warnung Die durch die Warnung hervorgerufene psychische Anspannung des Fahrers wird durch übereilte Reaktionen abgebaut Ängstlicher, vorsichtiger Fahrertyp, er gerät schnell in Panik und möchte, dass der Zustand möglichst sofort beendet wird
	Bildungsniveau; Wissen KT 2.2	Der Fahrer besitzt wenig oder keine Systemkenntnisse, er kann die Warnung inhaltlich nicht richtig interpretieren: - Er ist bzgl. des Systemzustands verunsichert, vermutet, dass ein Weiterfahren größere negative Konsequenzen birgt als ein Abwarten und damit ein "Befolgen" der in der Warneinrichtung enthaltenen Aufforderungen, er handelt daher übereilt - Der Fahrer hat ein eingeschränktes Vorstellungsvermögen und besitzt keine Kenntnisse bzgl. des in der Warnmeldung vermittelten zeitlichen Ablaufs des Warnszenarios
	Übung und Training; Erfahrung KT 2.3	Der Fahrer hat keine Erfahrungen mit dem Ablauf von Warnszenarien, er nimmt daher keine abwartende Haltung ein, sondern handelt übereilt Er hat schlechte Erfahrungen mit Warneinrichtungen (aufgrund z.B. von Fehlfunktionen anderer Warneinrichtungen in der Vergangenheit) und erinnert die aus der damaligen Situation entstandenen negativen Folgen, er will einer möglichen Wiederholung vorbeugen
	Psychische Leistungsbereitschaft	
	Innere Motivation: Persönliche Voraussetzung: Neigung KT 2.4	Der Fahrer reagiert grundsätzlich sofort auf Warnungen, ungeachtet dessen, ob sie sicherheitsrelevante Systeme oder nur den Komfortbereich betreffen
	Innere Motivation: Persönliche Voraussetzung: Momentane Stimmungslage KT 2.5	Die momentane Stimmungslage des Fahrers hat einen großen Einfluss auf seine Geduld bzw. die geforderte abwartende Haltung: Ist er z.B. nervlich stark angespannt, fühlt er sich vom System zusätzlich unter Druck gesetzt; durch sofortiges Handeln reduziert er die Anspannung
	Innere Motivation: Persönliche Erwartung bzgl. des Systems KT 2.6	Das bisherige Systemvertrauen des Fahrers schlägt in mangelndes Systemvertrauen um: Der Fahrer befürchtet weitere Fehler oder eine weitere Schädigung des Systems, reagiert daher sofort auf die Warnung Der Fahrer misstraut den in der Warnmeldung enthaltenen Informationen und der Aufforderung des Abwartens und reagiert daher übereilt
	Äußere Motivation external psf: Persönliche Erwartung bzgl. der Aufgabe des Ziels KT 2.7	Der Fahrer will die von seinem Fahrzeug ausgehenden möglichen Gefahren für sich und seine Umwelt begrenzen

Kognitive Tendenz	Einflussfaktoren	Beschreibung, Beispiele
KT 3 <i>Reluctance to undertake unusual actions or actions with negative consequences</i> – Widerwille des Fahrers, ungewohnten Handlungsaufforderungen mit negativen Konsequenzen zu folgen; gleichzeitig geht er damit das erhöhte Risiko eines Systemausfalls ein.	Psychische Leistungsfähigkeit	
	Mentale Anlagen: Persönliche Voraussetzung: Fähigkeit der Informationswahrnehmung und -verarbeitung KT 3.1	Der Fahrer hat die Warnungen bewusst wahrgenommen und die Informationen verarbeitet
	Bildungsniveau: Wissen KT 3.2	Der Fahrer besitzt Systemkenntnisse, risikofreudiger Fahrer: - Er weiß um mögliche "Reserven" des Systems und will sie nutzen Der Fahrer besitzt keine Systemkenntnisse: - Der Fahrer kann die Sicherheitsrelevanz des Problems nicht richtig einschätzen
	Übung und Training: Erfahrung KT 3.3	Der Fahrer hat Erfahrungen mit Warneinrichtungen oder Systemausfällen: - Mutiger, leichtsinniger Fahrertyp: Er kennt die Abfolge des Szenarios und riskiert bewusst die Konsequenzen eines weiteren Ausfalls, er "reizt das System aus" - Er erinnert die damalige Situation ("damals konnte ich auch noch weiterfahren, ich habe da genauso gehandelt")
	Psychische Leistungsbereitschaft	
	Innere Motivation; Persönliche Voraussetzung: Neigung KT 3.4	Risikofreudiger Fahrertyp - Der Fahrer priorisiert seine persönlichen Ambitionen und Ziele vor den möglichen negativen Konsequenzen eines Systemausfalls Der Fahrer kann aufgrund seines technischen Interesses den Zusammenhang zwischen Warnung und Systemzustand herstellen und riskiert bewusst die möglichen Konsequenzen eines weiteren Systemfehlers
	Persönliche Voraussetzung: Momentane Stimmungslage KT 3.5	Der Fahrer entwickelt bei schlechter Stimmungslage eine größere Risikobereitschaft (Resignation "mir ist alles egal" - Einstellung) Der Fahrer ist z.B. aufgrund eines positiven Erlebnisses in einer optimistischen Verfassung und hat daher eine mutigere, risikofreudigere Haltung ("das wird schon irgendwie funktionieren, wenn ich weiterfahre")
Innere Motivation; Erwartung bzgl. des Systems KT 3.6	Der Fahrer glaubt, dass sich in der Zwischenzeit, in der er noch nicht auf die Warnung reagiert, eine andere Lösung des Problems findet (z.B. gibt ihm GPS einen für ihn geeigneteren Ort des Anhaltens vor als der, der ihm bereits angeboten wurde oder z.B. er glaubt an eine Behebung des Fehlers) Der Fahrer hinterfragt das System ("ausprobieren, was das System schafft"), sucht die Bestätigung der Warnmeldung	
Äußere Motivation: Persönliche Erwartung bzgl. der Aufgabe, des Ziels KT 3.7	Der Fahrer ist kurz vor der Zielerreichung: - Er will sein Ziel unbedingt ohne Unterbrechung erreichen, da er sonst negative Konsequenzen zu erwarten hat	

Kognitive Tendenz	Einflussfaktoren	Beschreibung, Beispiele
KT 4 <i>subjective probabilistic reasoning</i> – Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	Psychische Leistungsfähigkeit	
	Mentale Anlagen: Persönliche Voraussetzung: Fähigkeit der Informationswahrnehmung und –verarbeitung KT 4.1	Der Fahrer hat die Informationen wahrgenommen, zieht jedoch die falsche Schlussfolgerung
	Bildungsniveau, Wissen KT 4.2	Der Fahrer besitzt keine Systemkenntnisse: - Der Fahrer kann die in der Warnung enthaltenen Informationen nicht richtig interpretieren und bewertet daher die möglichen Konsequenzen des Systemzustands, aber auch die des "Nichtbefolgens" der Warnung falsch, er zieht die falschen Schlussfolgerungen
	Übung und Training: Erfahrung KT 4.3	- Überheblicher Fahrertyp: Er überschätzt seine Fähigkeiten, glaubt als erfahrener Fahrer die Situation unter Kontrolle zu haben bzw. bei Eintreten eines weiteren Ausfalls das defekte System beherrschen zu können Der Fahrer hat in der Vergangenheit negative Erfahrungen mit Warneinrichtungen gemacht: - Beispielsweise wurde er mit häufigen Warnmeldungen anderer nicht sicherheitsrelevanter Systeme oder mit Fehlfunktionen und unbegründeten Initialisierungen von Warneinrichtungen konfrontiert und fühlt sich von der Warnung nun belästigt und ist "genervt"
	Psychische Leistungsbereitschaft	
	Persönliche Einstellung: Interesse KT 4.4	Ignoranter Fahrertyp Der Fahrer hat kein Interesse am Zustand des SbW-Systems: - Er setzt sich mit der Warnung nicht näher auseinander, wägt die möglichen Konsequenzen nicht ab, sondern ignoriert die Warnung - Fehlende Akzeptanz des Systems und der Vorgehensweise: Der Fahrer will sich nicht vom System bevormunden lassen, er will sich nicht vorschreiben lassen, wo er wann anhält - Der Fahrer glaubt, seine Reaktion auf die Warnung ist die einzig Richtige
Innere Motivation; Persönliche Voraussetzung: Neigung KT 4.5	Der Fahrer reagiert gewöhnlich nie auf Warnungen Der Fahrer überträgt sein Verhalten auf das potentielle Verhalten anderer ("jeder in meiner Situation würde so handeln")	
Persönliche Voraussetzung: Momentane Stimmungslage KT 4.6	In Situationen, in denen sich der Fahrer schlecht fühlt, trifft er andere Schlussfolgerungen und andere Entscheidungen als bei guter persönlicher Verfassung: die Wahrscheinlichkeit einer Fehlentscheidung ist im Fall schlechter psychischer oder physischer Verfassung größer	

Kognitive Tendenz	Einflussfaktoren	Beschreibung, Beispiele
	Innere Motivation; Erwartung bzgl. des Systems KT 4.7	Der Fahrer hat großes Systemvertrauen, glaubt, das System kann nicht ausfallen und vermutet eine Fehlfunktion der Warneinrichtung Der Fahrer hat großes Systemvertrauen und erwartet in naher Zukunft keinen weiteren Systemfehler ("das System wird durchhalten") Der Fahrer nimmt eine resignierende Haltung gegenüber den Systemeigenschaften ein ("ich kann ohnehin an der Situation nichts ändern")
	Äußere Motivation: Persönliche Erwartung bzgl. der Aufgabe, des Ziels KT 4.8	Der Fahrer lehnt eine Bevormundung durch das System, d.h. ein Anhalten vor dem angedachten Ort zugunsten der Zielerreichung ab Das vorgegebene Szenario und die Vorgabe des "sicheren Orts" passt nicht in den Zeitplan oder in die Routenwahl seiner Aufgabe (z.B. Fahrauftrag)
KT 5 <i>Increased but unjust confidence, with more information –</i> Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen; mehr Informationen helfen dem Fahrer, besser bzw. schneller die Entscheidung zu treffen.	Psychische Leistungsfähigkeit	
	Mentale Anlagen: Persönliche Voraussetzung: Fähigkeit der Informationswahrnehmung und -verarbeitung; Naturel des Fahrers KT 5.1	Der Fahrer benötigt für die Verarbeitung der zur Verfügung stehenden Informationen viel Zeit, überdenkt die Situation, wägt ab, ob er auf die Warnung reagieren soll
	Bildungsniveau: Wissen KT 5.2	Der Fahrer benötigt zusätzliche Informationen zum Verständnis und zur Entscheidungsfindung, die verfügbaren Informationen für den Fahrer aufgrund seiner intellektuellen Voraussetzungen nicht ausreichend Der Fahrer hat keine oder nur wenig Systemkenntnisse: Er kann daher die Warnung aufgrund der zur Verfügung stehenden Informationen nicht richtig interpretieren bzw. den Zusammenhang zwischen Warnung, Systemzustand und möglichen Konsequenzen nicht herstellen
	Übung und Training: Erfahrung KT 5.3	Der Fahrer hat keine Erfahrung hat Erfahrung mit Warneinrichtungen oder Warnszenarien bzw. Systemausfällen, zusätzliche Informationen sind für den Fahrer zur Entscheidungsfindung hilfreich
	Psychische Leistungsbereitschaft	
	Persönliche Einstellung: Interesse KT 5.4	Mangelnde Akzeptanz, der Fahrer interessiert sich nicht für das System und bemüht sich daher nicht, die zur Verfügung stehenden Informationen zu nutzen Der Fahrer interessiert sich für das System, wünscht jedoch mehr Informationen, er versucht z.B. aus dem Betriebshandbuch weitere, für seine Entscheidungsfindung notwendige Informationen zu entnehmen
	Persönliche Voraussetzung: Neigung KT 5.5	Der Fahrer hat generell kein technisches Interesse und kann daher aus den zur Verfügung stehenden Informationen keinen Zusammenhang herstellen Der Fahrer hinterfragt zunächst jede Warnmeldung und trifft erst nach dem Überdenken der Informationen seine Entscheidung
	Persönliche Erwartung bzgl. des Systems KT 5.6	Der Fahrer erwartet mehr Informationen über den Systemzustand und das weitere Szenario, um seine Entscheidung besser treffen zu können

Anhang II Expertenvoting – Auswertung

Klassifizierung		Vorausgesetzt, dass die kognitive Tendenz 1.5 bis 5.6 (bitte aus Tabelle "Klassifizierung der kognitiven Tendenzen" "einsetzen") vorliegt, werden folgende Klassifizierungen die Ausprägung der jeweiligen kognitiven Tendenz besonders verstärken?																																																														
/ kognitive Tendenz		1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	2	1	2	2	3	2	4	2	5	2	6	2	7	3	1	3	2	3	3	4	3	5	3	6	3	7	4	1	4	2	4	3	4	4	5	4	6	4	7	4	8	5	1	5	2	5	3	5	4	5	5	6
Klassifizierung der Fahrergruppen																																																																
Physische Leistungsfähigkeit																																																																
Einflussfaktoren	Parameter	Spezifizierung																																																														
Alter	Altersgruppe I	18-39 Jahre																																																														
	Altersgruppe II	40-65 Jahre																																																														
Geschlecht	m																																																															
	w																																																															
körperliche Voraussetzungen	Größe																																																															
	Gewicht																																																															
	Kraft																																																															
	Ausdauer (z.B. Belastba motorische Fähigkeiten (P																																																															
Physische Leistungsbereitschaft																																																																
Einflussfaktoren	Parameter																																																															
Gesundheitszustand	gesund																																																															
	krank																																																															
Handicaps	Sehchwäche																																																															
	Hörschwäche																																																															
momentane Verfassung	Müdigkeit																																																															
	besonders gute Stimmungslage																																																															
Klassifizierung der Fahrttypen	Parameter																																																															
	Spezifizierung	Erläuterung																																																														
Dienstfahrt	zu einem Termin																																																															
	zur/von Arbeit																																																															
	Transportfahrt	LKW-Fahrer, Taxifahrer																																																														
	Einsatzfahrt	Polizei, Feuerwehr																																																														
Freizeitfahrt	Wochenend-Auf																																																															
	Eriedigungsfahrt	Einkaufsfahrt																																																														

Klassifizierung der Straßentypen																																		
Parameter	Spezifizierung																																	
Straßengruppe	Autobahn	4	0	1	1	1	1	1	4	2	1	3	2	1	0	3	5	2	2	2	0	3	1	0	2	2	1	1	2	1	1	2	2	
	Bundes-, Landes-, Kreisstraße	3	0	1	0	0	0	4	0	0	2	1	1	1	1	3	3	0	0	1	3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
Anzahl der Fahrspuren	Gemeindestraße	3	0	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0		
	eine Fahrspur	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	3	0	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Straßenverlauf / Beanspruchung d. Fahrers	mehrere Fahrspuren	4	0	1	1	0	0	1	2	1	4	2	1	1	2	2	5	2	1	1	0	1	0	1	1	2	1	2	2	1	0	1	2	
	Gerade, Kurve	2	0	0	0	0	4	0	0	2	0	0	0	1	1	2	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	
Hindernisse neben der Straße	Verschwenkung, Gefälle	5	0	3	2	1	2	0	3	1	2	1	1	0	2	1	0	2	1	0	0	1	1	0	1	2	1	0	1	0	2	1	1	
	erhöht	4	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zustand der Straße	Schneeplanke	5	0	4	2	1	1	0	4	1	3	2	2	1	3	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1
	Schneeplatte, Eisplatte, Aqua Planing, Lau	5	0	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
Sachliche Leistungsvoraussetzungen	Spurrillen, Schlaglöcher	5	0	3	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
Verkehrssituationen	Parameter	Spezifizierung																																
	hohe Verkehrsdichte	5	0	4	2	1	1	0	5	1	3	4	2	0	3	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Verkehrsteilnehmer	geringe Verkehrsdichte	2	0	0	0	0	5	0	0	1	1	1	0	0	2	1	2	2	2	2	4	2	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	
	konstanter Verkehrsfluss	3	0	2	0	0	0	5	0	0	2	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	2	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	
Umgebungsbedingungen	Stau	3	0	1	0	0	0	3	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	2	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Kolonnenverkehr	4	0	1	0	0	0	5	4	0	3	2	0	0	1	2	3	1	1	1	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Lichtverhältnisse	hohe Geschwindigkeit	5	0	2	2	1	0	4	1	3	5	2	0	3	4	5	0	0	0	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
	geringe Geschwindigkeit	2	0	1	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	2	1	3	2	2	3	4	0	2	2	2	1	1	1	2	1	0	0	1	1
Lichtverhältnisse	Kraftfahrzeuge	5	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fahrräder	5	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lichtverhältnisse	Fußgänger	5	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lichtverhältnisse	Parameter	Spezifizierung																																
	Sonnenschein	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	2	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
Lichtverhältnisse	Dunkelheit	5	0	3	1	0	0	2	5	0	0	4	3	0	1	3	3	0	0	0	1	2	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Nebel	5	0	4	2	1	2	0	3	0	3	3	1	0	2	3	3	0	0	1	1	2	2	1	2	0	1	1	2	2	1	1	1	1
Lichtverhältnisse	Morgengrauen	2	0	1	0	0	3	2	0	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Dämmerung	4	0	2	0	0	0	0	4	0	3	3	1	0	1	3	3	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Lichtverhältnisse	Blendlicht, Reflexe	4	0	3	1	0	1	0	4	0	3	3	1	0	2	4	3	0	0	0	2	2	0	1	1	0	1	1	1	2	0	0	0	0

Anhang III Der Fragebogen

Datum:	VP-Nummer:
--------	------------

Fragen zur Person

Alter
Geschlecht
Welche Führerscheinklasse besitzen Sie? Klasse(n)
Seit wann besitzen Sie den Führerschein Klasse 3?
Fahren Sie auch öfter Motorrad?
Fahren Sie auch öfter LKW?
Wie viele Kilometer legen Sie in einem Jahr zurück?
Fahren Sie mindestens einmal pro Woche ein Kraftfahrzeug?
Welchen PKW fahren Sie am häufigsten?
Fabrikat	Typ

Anleitung zum Ausfüllen des Fragebogens

Im folgenden sind an den beiden Rändern der Skala jeweils extreme Aussagen angegeben. Markieren Sie bitte durch ein Kreuz, inwieweit Sie der einen oder der anderen Aussage zustimmen. Je eher die Aussage zutrifft, umso näher sollte Ihr Kreuz bei dieser Aussage liegen.

Beispiel

Ich lebe lieber auf dem Land	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich lebe lieber in der Stadt
------------------------------	--------------------------	-------------------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------------------

Allgemeine Fragen

11.	Ich fahre in der Stadt grundsätzlich mit dem Auto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	In der Stadt benutze ich das Auto überhaupt nicht, sondern fahre U-Bahn, S-Bahn, Fahrrad, Bus, etc.
12.	Ich fahre lieber selbst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich fahre lieber als Beifahrer mit
13.	Ich empfinde das Verkehrsgeschehen auf Autobahnen als viel zu hektisch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich empfinde das Verkehrsgeschehen auf Autobahnen als viel zu gemächlich
14.	Im städtischen Berufsverkehr Auto zu fahren empfinde ich immer als sehr anstrengend	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Im städtischen Berufsverkehr Auto zu fahren empfinde ich überhaupt nicht als anstrengend
15.	Ich fahre in der Regel sehr gern schnell und sportlich	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich fahre eher ziemlich langsam und zurückhaltend
16.	Ich vermeide prinzipiell jedes Risiko	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Um schneller voranzukommen, nutze ich jede sich bietende Gelegenheit
17.	Ich beherrsche mein Fahrzeug vollkommen und in jeder Situation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich habe manchmal große Schwierigkeiten, mit meinem Fahrzeug zurechtzukommen
18.	Ich bin an technischen Dingen um das Auto interessiert, und informiere mich auch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	An technischen Dingen um das Auto habe ich kein Interesse
19.	Ich versuche möglichst benzinsparend zu fahren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich lasse mich durch den Benzinverbrauch in meiner Fahrweise nicht beeinflussen
20.	Komplizierte Verkehrssituationen erfasse ich sofort	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich brauche sehr lange, um komplizierte Verkehrssituationen zu erfassen
21.	Lange Strecken (500 km) lege ich lieber mit dem Auto zurück	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Lange Strecken (500 km) fahre ich lieber mit der Bahn
22.	Ich finde mich sofort in einem fremden Fahrzeug zurecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich benötige sehr lange, um mich in einem fremden Fahrzeug zurecht zu finden
23.	Ich weiß, was alle Warn- und Kontrollleuchten im jeweiligen Fahrzeug, das ich fahre, bedeuten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich weiß überhaupt nicht, was alle Warn- und Kontrollleuchten im jeweiligen Fahrzeug, das ich fahre, bedeuten

24.	Wenn ich einen wichtigen Termin habe, halte ich nicht bei gelb an einer Ampel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Auch wenn ich einen wichtigen Termin habe, halte ich immer bei gelb an einer Ampel
25.	Das Fahren auf kurvigen Bergstrecken macht mir am meisten Spaß	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich fahre am liebsten auf geraden, komfortablen Autobahnen
26.	Ich habe keine großen Bedenken, mein Fahrzeug im Parkverbot abzustellen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich halte mich streng an die Vorschriften
27.	Auf das Erscheinen von Warn- und Kontrollleuchten im Auto reagiere ich nie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Auf das Erscheinen von Warn- und Kontrollleuchten im Auto reagiere ich sofort
28.	Ich interessiere mich sehr für Technik	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich interessiere mich überhaupt nicht für Technik
29.	Autofahren betrachte ich als notwendiges Übel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Autofahren macht mir sehr viel Spaß
30.	Ich beschleunige mein Auto gerne richtig kräftig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich beschleunige mein Auto eher verhalten
31.	Ich reagiere sehr viel schneller als der Durchschnitt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Meine Reaktion ist viel langsamer als der Durchschnitt
32.	Neben der eigentlichen Fahraufgabe kann ich noch sehr gut andere Aufgaben erledigen (Radiobedienung, Telefonieren, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Neben der eigentlichen Fahraufgabe kann ich gar keine anderen Aufgaben (Radiobedienung, Telefonieren, etc.) erledigen
33.	Das Autofahren bei schlechten Sicht- und Witterungsbedingungen (Schnee, Nebel) strengt mich nie an	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Das Autofahren bei schlechten Sicht- und Witterungsbedingungen (Schnee, Nebel) ist für mich sehr anstrengend
34.	Ich hatte noch nie eine Panne oder einen Fahrzeugdefekt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich hatte schon sehr häufig eine Panne oder einen Fahrzeugdefekt
35.	Wenn ich sehr in Eile bin und einen wichtigen Termin einhalten muss, beachte ich die Verkehrsregeln nicht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Auch wenn ich sehr in Eile bin und einen wichtigen Termin einhalten muss, halte ich mich strikt an die Verkehrsregeln
36.	Geschwindigkeitsbeschränkungen halte ich strikt ein	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ich richte meine Geschwindigkeit eher nach meiner eigenen Einschätzung

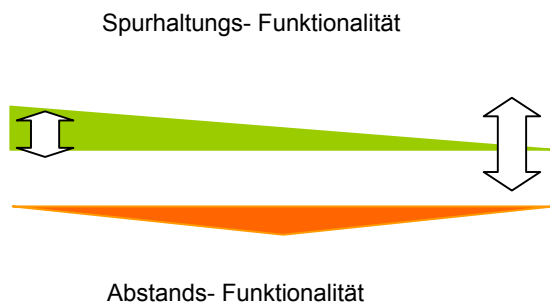
37.	Wenn in Ihrem Fahrzeug die Öldrucklampe aufleuchtet, in welcher Umgebung bei welchen Witterungsbedingungen würden Sie eher bis zur nächsten Tankstelle weiterfahren? <u>Mehrfachnennungen sind möglich!!!</u>	<input type="checkbox"/> Stadt	<input type="checkbox"/> Regen	<input type="checkbox"/> Termindruck
		<input type="checkbox"/> Landstraße	<input type="checkbox"/> Sonnenschein	<input type="checkbox"/> gute persönl. Stimmungslage
		<input type="checkbox"/> Autobahn	<input type="checkbox"/> Schneefall	<input type="checkbox"/> schlechte persönl. Stimmungslage

Fragen zur Warnung: "Warnung: defekte Lenkung, bitte anhalten"

1	Wie beurteilen Sie die Ablenkung von der Fahraufgabe durch die Warnung (Warnung: defekte Lenkung, bitte anhalten)?		
1a	Texteinblendung	geringe Ablenkung <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> hohe Ablenkung	
1b	Lenkradsymbol	geringe Ablenkung <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> hohe Ablenkung	
1c	akustisches Signal	geringe Ablenkung <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> hohe Ablenkung	
1d	"Lenkradruckeln"	geringe Ablenkung <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> hohe Ablenkung	
2	Waren die Informationen unmittelbar erkennbar hörbar wahrnehmbar?		
2a	Texteinblendung	unmittelbar erkennbar wahrnehmbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> nicht unmittelbar erkennbar wahrnehmbar	
2b	Lenkradsymbol	unmittelbar erkennbar wahrnehmbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> nicht unmittelbar erkennbar wahrnehmbar	
2c	akustisches Signal	unmittelbar erkennbar wahrnehmbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> nicht unmittelbar erkennbar wahrnehmbar	
3d	"Lenkradruckeln"	unmittelbar erkennbar wahrnehmbar <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> nicht unmittelbar erkennbar wahrnehmbar	
3	Haben Sie die zur Verfügung stehenden Informationen <i>inhaltlich</i> verstanden?		
3a	Texteinblendung	inhaltlich nicht verstanden <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> inhaltlich sofort verstanden	
3b	Lenkradsymbol	inhaltlich nicht verstanden <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> inhaltlich sofort verstanden	
3c	akustisches Signal	inhaltlich nicht verstanden <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> inhaltlich sofort verstanden	
3d	"Lenkradruckeln"	inhaltlich nicht verstanden <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> inhaltlich sofort verstanden	

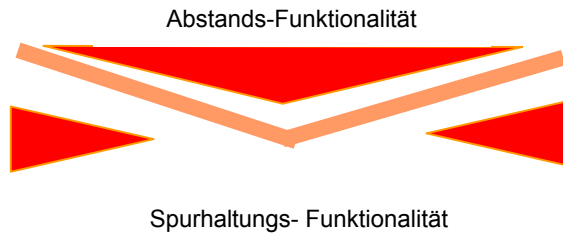
5	Was hat Sie dazu bewogen, auf die Warnung zu reagieren <i>nicht</i> zu reagieren (anzuhalten <i>nicht</i> anzuhalten)?	<i>Text einfügen</i>
6	Was würden Sie an der Warnung verbessern?	<i>Text einfügen</i>

Fragen zu den optischen Warnungen (Erste Darstellungsart)





1.	Wie beurteilen Sie die Ablenkung von der Fahraufgabe durch dieses Darstellungskonzept?	geringe Ablenkung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ablenkung
2.	Waren die eingeblendeten Informationen unmittelbar verständlich?	unverständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unmittelbar verständlich
3.	Macht die optische Einblendung die Reaktionen der Assistenzsysteme besser verständlich?	schlechter verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	besser verständlich
4.	Wie bewerten Sie den Informationsgehalt dieser Darstellungsform?	zu wenig Information	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	zu viel Information
5.	Wie hoch wäre Ihr Vertrauen in eine automatische Abstandshaltung im Echtfahrzeug mit dieser Anzeige?	gering	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr hoch
6.	Wie hoch wäre Ihr Vertrauen in eine Spurhalteunterstützung im Echtfahrzeug mit dieser Anzeige?	gering	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr hoch
7.	Würden Sie im Echtfahrzeug die Assistenzsysteme lieber mit oder lieber ohne diese optische Zusatzinformation benutzen?	lieber ohne Optikinformation	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	lieber mit Optikinformation

Fragen zu den optischen Warnungen in der Windschutzscheibe (Zweite Darstellungsart)



8.	Wie beurteilen Sie die Ablenkung von der Fahraufgabe durch dieses Darstellungskonzept?	geringe Ablenkung	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	hohe Ablenkung
9.	Waren die eingeblendeten Informationen unmittelbar verständlich?	unverständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	unmittelbar verständlich
10.	Macht die optische Einblendung die Reaktionen der Assistenzsysteme besser verständlich?	schlechter verständlich	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	besser verständlich
11.	Wie bewerten Sie den Informationsgehalt dieser Darstellungsform?	zu wenig Information	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	zu viel Information
12.	Wie hoch wäre Ihr Vertrauen in eine automatische Abstandshaltung im Echtfahrzeug mit dieser Anzeige?	gering	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr hoch
13.	Wie hoch wäre Ihr Vertrauen in eine Spurhalteunterstützung im Echtfahrzeug mit dieser Anzeige?	gering	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	sehr hoch
14.	Würden Sie im Echtfahrzeug die Assistenzsysteme lieber mit oder lieber ohne diese optische Zusatzinformation benutzen?	lieber ohne Optikinformati- on	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	lieber mit Optikin- formation

Zusammenfassende Fragen zu den optischen und akustischen Warnungen

15.	Welche optische Information bietet für Sie die höchste Unterstützung bei der Fahraufgabe? Bitte geben Sie in den nebenstehenden Kästchen die Reihenfolge der Konzepte von der höchsten (1) zur geringsten (3) Unterstützung an.	Einblendung	
		Spiegelung	
		keine Anzeige	
16.	Welche optische Information stört Sie bei der Spurhaltung am meisten? Bitte geben Sie in den nebenstehenden Kästchen die Reihenfolge der Konzepte von der höchsten (1) zur geringsten (3) Störung an.	Einblendung	
		Spiegelung	
		keine Anzeige	
17.	Welche optischen Informationen würden Sie im Echtfahrzeug am ehesten akzeptieren? Bitte geben Sie in den nebenstehenden Kästchen die Reihenfolge der Konzepte von der höchsten (1) zur geringsten (3) Akzeptanz an.	Einblendung	
		Spiegelung	
		keine Anzeige	
18.	Bei welchem System stimmt die dargestellte Reaktion mit dem Assistenzsystem am besten überein? Bitte geben Sie in den nebenstehenden Kästchen die Reihenfolge der Konzepte von der höchsten (1) zur geringsten (3) Übereinstimmung an.	Einblendung	
		Spiegelung	
		keine Anzeige	

Anhang IV Rückmeldung der Versuchsleitung

Verhalten A: Die Versuchsperson hält sofort nach der ersten Hierarchieebene der Warnung (a) oder erst nach der zweiten Hierarchieebene der Warnung an (b).

Zielorientiert (Szenario "Autobahn")

a) Die Versuchsperson hält nach der ersten Hierarchiestufe der Warnung an

Versuchsleitung: "Warum fahren Sie nicht weiter?"

Herr Milberg und der 300.000DM-Job warten nicht auf Sie.

Sie sollten besser weiter fahren! Wollen Sie diesen für Sie so wichtigen Job etwa aufs Spiel setzen?

Und das nur, weil ein Defekt in der Lenkung vorliegt?"

b) Die Versuchsperson hält erst nach der zweiten Hierarchiestufe der Warnung an

Versuchsleitung: "Vielleicht können Sie doch noch weiterfahren, das Lenkrad vibriert doch nur ein bisschen.

Wollen Sie es nicht versuchen?"

Nicht zielorientiert (Szenario "Landstraße")

a) Die Versuchsperson hält nach der ersten Hierarchiestufe der Warnung an

Versuchsleitung: "Wieso fahren Sie jetzt nicht weiter?"

Wollen Sie nicht zu Ihrem Urlaubsort?"

b) Die Versuchsperson hält erst nach der zweiten Hierarchiestufe der Warnung an

Versuchsleitung: "Die Lenkung vibriert doch nur ein bisschen, vielleicht können Sie ja noch weiterfahren."

Verhalten B Die Versuchsperson hält nicht an, die zweite Hierarchieebene wurde initialisiert, d.h. die Lenkradvibration und die Drehmomentrückmeldung („aktives Lenkrad“) haben bereits eingesetzt, der Fahrer fährt weiter.

Zielorientiert (Szenario "Autobahn")

Versuchsleitung: "Herr/Frau XY (Versuchsperson), Sie sind trotz der Aufforderung anzuhalten, weitergefahren.

Die Lenkung funktioniert doch nicht mehr richtig, haben Sie das denn gar nicht gemerkt?

Die Lenkervibration hat doch schon eingesetzt.

Sie haben sich damit in Gefahr begeben.

Würden Sie etwa wegen eines Jobs Ihr Leben riskieren?

Ist es das wert, einfach weiterzufahren?

Wieso sind Sie weitergefahren?"

Nicht zielorientiert (Szenario "Landstraße")

Versuchsleitung: "Herr/Frau XY (Versuchsperson), Sie sind trotz der Aufforderung anzuhalten, weitergefahren.

Die Lenkung funktioniert doch nicht mehr richtig, haben Sie das denn gar nicht gemerkt?

Das Lenkrad hat doch schon vibriert!

Sie haben sich doch in Gefahr begeben.

Sie hat doch am Gardasee nichts erwartet.

Wieso sind Sie weitergefahren?"

Anhang V Zusammenhang Selbsteinschätzung und Verhalten der Versuchspersonen

VP	Reaktion	Bezug Verhalten/Fragebogen zur Person	Äußerung der VP (Auszug)	Zuordnung der kognitiven Tendenz	Indikatorfragen	KT Feinspezifikation
1	0	Auswahlaussagen lassen nicht unbedingt eine Fahrertypisierung zu; Begründung des Verhaltens (Frage 5) bestätigt allerdings Reaktion	"Meine eigene Sicherheit hat mich dazu bewogen, sofort anzuhalten, Sicherheit geht vor"		Begründung des Verhaltens (Frage 5)	
2	3	26/27 zeigen, dass VP vorgibt, vorschriftentreu zu sein, in 37 wird deutlich, dass dies nicht so ist (würde bei leuchtender Öldruckanzeige immer weiterfahren), außerdem Widerspruch zu Begründung (Öldrucklampe); Zielorientiert, priorisiert persönliche Ambitionen vor Sicherheit, interpretiert zudem die zur Verfügung stehenden Infos falsch, glaubt, sich im Fahrzeug gut auszukennen (17, 22, 23)	"Geld ist mir wichtiger als Sicherheit, erst mal ausprobieren, ob die Lenkung wirklich defekt ist" "Bei Aufleuchten der Öldruckleuchte würde ich sofort anhalten, da könnte das Getriebe kaputt gehen"	KT 3: Widerwille, die geforderte Aufgabe durchzuführen, auf die Warnung zu reagieren; KT 4: Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	17, 22, 23, 26, 27	3.4, 4.1
3	3	26, 27 Druck, das Ziel zu erreichen ist größer als Bestreben nach Sicherheit, Begründung, dass auch mit defektem Reifen weitergefahren werden konnte und 17,22,23 zeigen, dass VP vermutet, das System unter Kontrolle zu haben	"Das Lenkradruckeln schreckte etwas ab, es hat mich aber nicht dazu bewogen, anzuhalten, das Geld steht im Vordergrund"	KT 4: Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	17, 22, 23, 26, 27	4.3
4	1	15, 16, 19, 30 zeigen, dass VP ein eher vorsichtiger Fahrertyp ist, der sich auch informiert (18, 23), Begründung zeigt, dass VP die Info hinterfragt und für sich eine Absicherung der Warnung sucht KT 5: Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen	"Ich wollte erst mal sehen, ob der Defekt am Lenkrad wirklich so groß ist" "Da nutzt mit das Geld nichts, wenn ich im Graben lande, Sicherheit geht vor Job"		15, 16, 19, 30, 18, 23 Begründung des Verhaltens (Frage 5)	5.6
5	3	26, 27 zeigen, dass es sich um vorsichtigen Fahrertyp handelt, 22, 23 zeigen, dass er glaubt, Kenntnisse zu besitzen, Aussage 5 bestätigt dies, 18, 23, 28 bräuchte mehr Informationen, um die Situation richtig abschätzen zu können KT 2: Verarbeitungsprozess/Psychischer Druck aufgrund Zeitproblem KT 5: Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen	"Ich bin weiter gefahren, weil ich unter Termindruck stand" "Im Echtfahrzeug würde ich nicht ganz so schnell fahren" "Nachdem erkennbar war, dass eine Weiterfahrt trotz Ruckeln möglich ist, habe ich die Fahrt fortgesetzt"		26, 27, 22, 23, 18, 23, 28 Begründung	2.7, 5.2
6	0	Selbsteinschätzung stimmt mit dem Verhalten überein; bestätigt Reaktion	"Sicherheit geht vor, im Echtfahrzeug würde ich auch sofort anhalten, mit defekter Lenkung kann man nicht weiter fahren, die Gefahr ist zu groß, da ist der Job nicht wichtig genug"		27, 37 Begründung Frage 5	
7	1	15, 16, 19,30 vorsichtiger Fahrertyp; interessiert sich sehr für Technik; 26,27 reagiert immer auf Warnungen, benötigt hier mehr Infos --> 18,23,28 hinterfragt die Info, um sich von Systemzustand zu überzeugen KT 5: Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen	"Ich würde immer erst nachschauen, was los ist, von der Warnung allein gibt mir das keinen Rückschluss auf den Defekt" "Ich brauche mehr Infos" Nach Einsetzen von Ruckeln: "Jetzt weiß ich, was los ist, Sicherheit ist wichtiger"		15,16, 26, 27	5.4
8	1	Aussagen 18, 23, 28 und insbesondere die Begründung zeigen, dass die VP die zur Verfügung stehende Info hinterfragt, seine	"Ich merkte nicht, dass was defekt ist" "Bei anderen Warnleuchten, die aufleuchten, kommt		18, 23, 28	5.4

VP	Reaktion	Bezug Verhalten/Fragebogen zur Person	Äußerung der VP (Auszug)	Zuordnung der kognitiven Tendenz	Indikatorfragen	KT Feinspezifikation
		Vermutung, dass etwas defekt ist wird durch das Aktive Lenkrad bestätigt. Er vertraut der ersten Warnungsstufe nicht, gleicht Info mit seinem vermuteten Wissen ab, wie Aussagen 16, 17 und 20, 22 zeigen --> er ein selbstsicherer Fahrertyp ist KT 5: Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen	es darauf an, welche aufleuchtet, ob ich anhalte" Nach Einsetzen von Ruckeln: "Das spürbare Gefühl (Lenkradruckeln) hat mich dazu bewogen dann doch anzuhalten, Milberg hat dafür Verständnis"			
9	0	16, 26 zeigen eigentlich, dass es eine vorsichtige VP ist, 24 und 35 hingegen zeigen, dass die VP allerdings auch mal "am Limit" fährt; Auffassung, was verkehrswidrig ist	"Wenn Lenkung defekt, dann muss ich anhalten, bevor ich alle umfahre oder mich selbst umfahre" "Mit einer defekten Lenkung komme ich nicht an, da ist mir auch Milberg egal" "Fahrzeugkontrolle hat oberstes Gebot"		16, 26	
10	0	16, 17, 19, 30 belegen nicht unbedingt, dass die VP ein sehr vorsichtiger Fahrertyp ist, die Lenkung (s. eigene Aussage) stellt für ihn eine sehr wichtige, sicherheitsrelevante Funktion dar, geht daher kein Risiko ein, Aussage 36 bestätigt Reaktion, ebenfalls Begründung Frage 5	"Die Lenkung ist mir die wichtigste Funktion beim Autofahren" "Das Unfallrisiko ist mir zu groß" "Wenn die Lenkung defekt ist, ist mir das zu gefährlich, der Job ist mir nicht wichtiger"		16, 17, 19, 30,36; Begründung (Frage 5)	
11	0	26,27,35: vorsichtiger Fahrertyp Sicherheitsbestreben	"Mit defekter Lenkung würde ich nicht weiterfahren, im Echtfahrzeug würde ich auch sofort anhalten" "Meldung eines sicherheitsrelevanten Defekts, keine ungefährliche Weiterfahrt möglich"		Begründung (Frage 5)	
12	3	VP ist typische Mitteleankreuzerin, macht keine konkrete Aussagen, jedoch setzt sich Zielorientiertheit/Verfolgung der Aufgabe über alles andere hinweg, siehe Begründung Aussage 5; KT 1: Fixation/Wahrnehmungsprozess KT 3: Widerwille, die geforderte Aufgabe durchzuführen, auf die Warnung zu reagieren	"Warnung hat nicht den Eindruck erweckt, dass Lenkung defekt ist, deshalb bin ich weiter gefahren" "Ich war schon so nah am Ziel"		Begründung (Frage 5)	1.6, 3.7
13	0	Aussage 2737 bestätigt sein sofortiges Anhalten, Sicherheitsbestreben	"Eigene Sicherheit geht vor, auch die der anderen Verkehrsteilnehmer" "Job ist nicht so wichtig, Milberg hätte Verständnis dafür, wir würden ein neues Gespräch verabreden"		27, 37	
14	1	18,23,28 zeigen, dass sich Fahrer informiert, zieht aus der Warnung zunächst die falsche Konsequenz (dass sie nicht defekt ist) hält dann aber an, weil das Hinterfragen der Info durch das Aktive Lenkrad bestätigt wurde KT 4: Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen KT 5: Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen	"Im Echtfahrzeug würde ich nachschauen, was wirklich defekt ist" Nach Einsetzen des Ruckelns: "Jetzt weiß ich, dass etwas defekt ist"		18, 23, 28, Begründung	4.7, 5.2
15	3	VP ist typischer Mitteleankreuzer, 18, 23, 28 zeigen, dass VP sich war informiert und glaubt, sich auskennen, jedoch wird Zielerreichung das Geld der Termin mit Priorität betrachtet (Begründung 5 und Zeile 70);	"Die Termineinhaltung, der Job und die 300000 waren mir wichtiger" "Im Echtfahrzeug würde ich auch weiterfahren"		23,28, Begründungen	3.4

VP	Reaktion	Bezug Verhalten/Fragebogen zur Person	Äußerung der VP (Auszug)	Zuordnung der kognitiven Tendenz	Indikatorfragen	KT Feinspezifikation
		KT 3: Widerwille, auf die Warnung zu reagieren				
16	0	Aussagen 24, 26, 27 zeigen, dass die VP ein eher vorsichtiger Fahrertyp ist, bestätigt damit seine Reaktion	"Bei einer defekten Lenkung kann ich nicht weiterfahren, trotz Milberg und dem Job"; "Im Echtfahrzeug würde ich auch weiterfahren"		24, 26, 27 Begründung, Frage 5	
17	0	Aussagen 24, 27, 35 zeigen, dass die VP vorsichtig ist, wenig risikofreudig, bestätigt das tatsächliche Verhalten; hat bereits Erfahrung mit Defekten	"Eigene Probleme mit dem Auto (Lagerschaden an der Gelenkwelle vorne) und die Gefahr, einer Vergrößerung des Schadens bei Weiterfahrt und für Sicherheit haben mich dazu bewogen, anzuhalten"		24, 26, 27; 34; Begründung, Frage 5	
18	0	Aussagen 26, 27, 30, 35, 37 zeigen, dass die VP eher ein vorsichtiger Fahrertyp ist, die VP verhält sich wie bei Selbsteinschätzung, damit ist Reaktion bestätigt	"Warnung hat wahrscheinlich einen Grund, das Risiko mit einer defekten Lenkung weiterzufahren, war mir zu groß, fehlerhafte Meldung war zu unwahrscheinlich" "Im Echtfahrzeug hätte ich auch angehalten"		26, 27, 30, 35, 37	
19	0	Aussagen 26, 27, Begründung Frage 5 bestätigen das Verhalten	"Sicherheit ist wichtiger als Urlaub, kein Termindruck" "Im Echtfahrzeug hätte ich den ADAC angerufen"		2627; Begründung Frage 5	
20	0	Aussage 27 bestätigt, dass die VPn nicht sofort auf alle Warnungen reagiert, Aussage 37 zeigt zudem, dass die VPn unter bestimmten Bedingungen Kontrollleuchten auch ignoriert	"Vertrauen in das Kontrollsystem hat mich bewogen, anzuhalten, ich nehme Warnungen ernst, Sicherheit ist wichtig"		27,37	
21	0	bis auf Aussage 27 und Begründung Frage 5 bestätigt Selbsteinschätzung nicht unbedingt die Reaktion	"Im Echtfahrzeug würde ich in die nächsten BMW Werkstatt fahren" "Sicherheit geht vor, egal, was man für Termine hat"		27, Begründung Frage 5	
22	1	17, 22 VP glaubt, die Situation unter Kontrolle zu haben, glaubt nicht an einen Defekt, obwohl das Aktive Lenkrad schon initialisiert war, Begründung KT 5: Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Infos	"Zu Beginn habe ich nicht reagiert, da sich das Auto genauso hat lenken lassen wie vorher; als das Ruckeln zu groß wurde, habe ich angehalten, da offensichtlich etwas nicht in Ordnung war"		17, 22 Begründung Frage 5	2.3
23	0	keine eindeutige Fahrertypzuordnung möglich "Mitteankreuzer"	"Mit defekter Lenkung würde ich nicht weiterfahren" "Lenkungssystem ist zu wichtig, um Warnung zu ignorieren, auch bei Fehlalarm"			
24	0	Aussage 26, 27 zeigen, dass die VPn eine vorsichtige VP ist, bestätigt Reaktion	"Die Warnung hat mich instinktiv bewogen, das System könnte ja Recht haben"		26,27	
25	0	Aussage 18, 27, 23:bestätigt Reaktion	"Ich habe Zeit, Sicherheit geht vor"		18, 27, 23	
26	1	26, 27 zeigt, dass VP Vorgaben "befolgt", die Begründung zeigt, dass die VP Erfahrung mit defekten Warneinrichtungen hat; 18,23,28 zeigen, dass die VP zur endgültigen Entscheidungsfindung weitere Infos benötigt KT 5: Hinterfragen der zur Verfügung stehenden Informationen	"Ich habe es auch schon erlebt, dass die Anzeige spinnt, deshalb habe ich erst mal ausprobiert, ob die Lenkung defekt ist"		26,27; 18, 23, 28; Begründung	5.3, 5.6
27	2	Aussagen 15, 16, 19, 30 zeigen, dass VP ein vorsichtiger Fahrertyp ist. 2627 zeigen, dass VP "vor-	"Die dringende Aufforderung des Textes hat mich zunächst zum Anhalten		15, 16, 19, 30, 2627 Begründung Frage 5, 22, 23	4.2

VP	Reaktion	Bezug Verhalten/Fragebogen zur Person	Äußerung der VP (Auszug)	Zuordnung der kognitiven Tendenz	Indikatorfragen	KT Feinspezifikation
		schriftentreu" ist, Begründung Frage 5 bestätigt dies, glaubt laut 2223 , macht Warnblinkanlage an; die Situation abschätzen zu können -> Fehlinterpretation; KT 4: Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	bewogen mit der anschließenden Entscheidung mit geringer Geschwindigkeit bis zum nächsten Ort weiter zu fahren"			
28	1	Aussagen 17, 22, 23 zeigen, dass VP glaubt, Kenntnisse bzgl. Des Fahrzeugzustands zu haben hinterfragt auch Infos, wie 18, 23, 28 zeigen, interpretiert jedoch falsch (Begründung 5 und Begründung Zeile 72) 4. Falsche Schlussfolgerungen aus den zur Verfügung stehenden Informationen	"Eine Lenkung kann nicht von einer auf die andere Sekunde ausfallen, deshalb habe ich zunächst nicht auf die Warnung reagiert" "Erst das Ruckeln hat mich dazu bewogen, anzuhalten, die Warnung habe ich unterschätzt, das Ruckeln hat verdeutlicht, dass eine Gefahr besteht"		17, 22, 23, 18, 28, Begründung 5	4.2
29	0	Aussagen 15,17,27 widersprechen der Reaktion; evtl. auf nicht zielorientiert zurückzuführen Frage 5	"Bei Termindruck wäre ich noch lange weiter gefahren, ohne Termindruck geht Sicherheit vor"		Begründung Frage 5	
30	0	Aussagen 26, 27 bestätigen Reaktion	"Es ist zu gefährlich weiter zu fahren"		26,27	
31	0	Aussagen 24,26,27,35 bestätigen Verhalten	"Die Warnung bedeutet für mich, dass das Fahrzeug nicht mehr sicher ist und das ist für mich ein Grund, sofort anzuhalten"		24,26,27,35	
32	3	VP glaubt laut Begründung 5, die Situation richtig eingeschätzt zu haben, Aussagen 17, 22, 23 zeigen, dass VP ein selbstsicherer Fahrertyp ist, fährt mit gleicher Geschwindigkeit weiter, glaubt, dass dies "vorsichtig" ist, verschätzt sich aber (Aussage 16) KT 4: Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	"Vorsichtig weiter fahren, evtl. kommt nachher eine Stadt mit Werkstatt"		Begründung in Aussage 5, 17, 22, 23, 16,	4.2
33	0	Aussagen 17, 30 bestätigen Reaktion; vorsichtiger Fahrertyp	"Sicherheit"		17, 30	
34	3	15, 30 zeigen, dass VP etwas risikofreudig ist, ist von sich überzeugt, alles wahrzunehmen und zu wissen (20, 31, 32, 17, 22, 18, 23), dennoch falsche Schlussfolgerung aus den Infos 17, 22, 23 Begründung 5; KT 4: Falsche Schlussfolgerung aus den zur Verfügung stehenden Informationen	"Dringlichkeit des Termins hat mich dazu bewogen, weiterzufahren" "Geradeausfahrt und kleine Lenkradbewegungen haben noch funktioniert, Bremsen ebenfalls"			4.2
35	0	Aussagen 16, 25, 26, 27: vorsichtiger Fahrertyp, bestätigt Reaktion	"Sicherheit geht mir vor"		16, 25,26,27	
36	0	Aussagen 17, 22, 23; 18, 23, 28	"Defekte Lenkung ist Sicherheitsrisiko"			

