

Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 95

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page, partially overlapping a vertical white line that runs down the right edge of the cover.

Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung

von

Astrid Oehme
Harald Kolrep
Felix Person
Carsten Byl

HFC Human-Factors-Consult GmbH,
Berlin

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 95

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv **ELBA** zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0504/2010:

Entwicklung einer Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung für die Ermittlung von Unterstützungsbedarf durch Fahrerassistenzsysteme (FAS)

Fachbetreuung

Eike Andreas Schmidt
Christhard Gelau

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0 · Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53 · Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307

ISBN 978-3-95606-093-9

Bergisch Gladbach, Juli 2014

Kurzfassung – Abstract

Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung

Unfälle im Straßenverkehr sind in aller Regel Konsequenzen normalen Fahrverhaltens, das an eine bestimmte Situation nicht angepasst war und daher zum Unfall beigetragen hat. Zur Klassifikation dieses mutmaßlich fehlerbehafteten Verhaltens wurde im hier berichteten Projekt eine Taxonomie entwickelt. Sie dient der Klassifizierung von Fahrerfehlverhalten und integriert Aspekte des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses sowie die drei Fehlertypen von RASMUSSEN (1983). Als Bestimmungsstücke beinhaltet die Taxonomie Fehlertypen (regel-/wissens-/fertigkeitbasiert) und Entscheidungsknoten mit Fragen, deren Beantwortung den Analysten zum jeweiligen Fehler führt. Zusammengefasst bietet die erarbeitete Taxonomie eine breite Anwendbarkeit für die Klassifikation von Fahrfehlern und fehlerfreiem Verhalten bei Manövern, kritischen Situationen bis hin zu Beinaheunfällen oder Unfällen, z. B. zur Harmonisierung der (Video-)Auswertung von FOT- und NDS-Datensätzen oder für In-Depth-Unfallerhebungen.

Die Taxonomie wird komplementiert durch eine Übersicht über Fehlervorläuferbedingungen, die im Sinne von Genotypen (HOLLNAGEL 1998) in ihrer jeweiligen Ausprägung auslösende und begünstigende Bedingungen für Fehler, Beinaheunfälle und Unfälle darstellen. Die Übersicht ist als erweiterbares strukturierendes Dokument zu sehen, welches je nach wissenschaftlichen Erkenntnissen verändert werden kann. Gemeinsam mit der Taxonomie bildet sie die Basis für die Ableitung von Fahrerassistenzbedarf und andere Maßnahmen, zur Generierung von Hypothesen und zur strukturierten Sammlung von Studienergebnissen.

Der vorliegende Bericht adressiert die FOT- und NDS-Community sowie allgemein verkehrspsychologisch-wissenschaftlich Interessierte. In acht Kapiteln widmet er sich den Arbeitsschritten und Ergebnissen der Taxonomieentwicklung. Die Anhänge des Berichtes stehen auf der Homepage der Bundesanstalt für Straßenwesen zum Download zur Verfügung (<http://bast.opus.hbz-nrw.de>).

Taxonomy of driver errors

Traffic accidents are most likely consequences of normal driving behavior, which has not been adapted to a respective situational setting and thus facilitated an accident. Within the project reported here, a taxonomy for categorizing drivers' allegedly erroneous behaviour in such circumstances has been developed. It integrates aspects of human information processing as well as the three error types postulated by RASMUSSEN (1983). Decision nodes with linked questions support classification decisions with reference to seven error types. In summary, the taxonomy is widely applicable for classifying driver errors and error free behavior in manoeuvres, critical incidents, near accidents, and accidents; as such it forms a base for a structured (video) analysis, e.g. for harmonizing the analysis of FOT- and NDS-data or for in-depth accident analyses.

The taxonomy is complemented by a scheme integrating error antecedent conditions, which in line with HOLLNAGEL's (1998) genotypes build – in their respective manifestation – triggering or facilitating conditions for errors, near accidents or accidents. The scheme is an expandable, structured document, which is open for amendments in accordance with (new) research results. Together with the taxonomy the scheme builds a base for deriving driver assistance demand and other supportive measures, for generating research questions, and for collecting research results in a structured way.

The present report addresses the FOT- and NDS-community as well as in general all readers interested in transportation psychology and research. The working steps and results of the taxonomy development are reported in eight chapters. The annex of the report is available for download on the BAST-homepage (<http://bast.opus.hbz-nrw.de>).

Inhalt

1	Ausgangslage und Aufgabenstellung	7	5.3	Fehlertaxonomie	39
			5.3.1	Taxonomiebeschreibung	40
2	Fehler, Irrtümer und Unfälle	7	5.3.2	Fehlervorläuferbedingungen und Entscheidungsknoten	42
2.1	Typologie von Fehlermodellen	8	5.3.3	Entwicklungsprozess	42
2.2	Fehlerursachen und Fehlerklassifikationen	8	5.4	Diskussion	45
2.2.1	Taxonomien ohne Modellbezug	9	6	Validierung von Vorläufer- bedingungen im Simulator	47
2.2.2	Taxonomien mit Modellbezug	10	6.1	Versuchsdesign und Vorgehen	49
2.3	Zuverlässigkeit und Aufgabenanalyse	12	6.2	Stichprobe	50
2.4	Resilienz und aystemische Sicherheitsansätze	14	6.3	Simulator und eingesetztes Material	50
3	Modelle der Fahraufgabe	17	6.4	Ergebnisse	50
4	Fahrzeugführung	19	6.5	Diskussion	55
4.1	Personenbezogene Faktoren	20	7	Prüfung der Anwendbarkeit der Taxonomie	56
4.2	Gender und Altersunterschiede	21	7.1	Ergebnisse	56
4.3	Gefahrenwahrnehmung und Risikoempfinden	22	7.2	Klassifikation	57
4.4	Fehlertaxonomien für die Fahraufgabe	23	7.3	Diskussion	57
4.4.1	Handlungsorientierte Fehlertaxonomien	23	8	Abschlussdiskussion	58
4.4.2	Verarbeitungsbezogene Fehlertaxonomien	24	8.1	Weiterentwicklung und Ausblick	58
4.4.3	Beistuernde Faktoren	26	8.2	Fazit: Nutzung und Nutzen der Fehlertaxonomie	63
4.5	Fehleranalyse in der Fahrzeugführung	27	Literatur		65
4.6	Zusammenfassung der Literaturanalyse	29			
5	Modellentwicklung	30			
5.1	Naturalistic Driving Studies/ Field Operational Tests	30			
5.1.1	100-Car Study	31			
5.1.2	Videoauswertung	34			
5.2	Fehlervorläuferbedingungen	38			

1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Unfälle im Straßenverkehr werden in aller Regel nicht intentional herbeigeführt. Vielmehr handelt es sich um Konsequenzen normalen Fahrverhaltens, das an bestimmte situative Gegebenheiten nicht angepasst war und daher zum Unfall beigetragen hat. Diese Perspektive greift aktuelle Diskussionen zur Resilienz von Systemen auf (HOLLNAGEL 2006), bei der davon ausgegangen wird, dass normalem fehlerfreiem Verhalten ebenso wie Fehlern im Kern die gleichen Gesetzmäßigkeiten menschlichen Verhaltens in komplexen Situationen zu Grunde liegen. Normales Verhalten ist dann erfolgreich, wenn es den Handelnden gelingt, ihr Handeln an die lokalen Bedingungen und Situationserfordernisse anzupassen und mögliche Schwankungen von Anforderungen oder Ressourcen vorherzusehen und abzufangen. Für diese Anpassungsleistung ist ein Abwägen zwischen Genauigkeit oder Vollständigkeit der Situationsanalyse einerseits und Effizienz oder Schnelligkeit der Reaktion andererseits erforderlich. Fehler dagegen entstehen dann, wenn diese Anpassung misslingt.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurde im hier berichteten Projekt eine Taxonomie von menschlichen Fehlhandlungen beim Führen eines Fahrzeuges erarbeitet, die nicht allein von den Unfällen als Konsequenz eines Fehlverhaltens ausgeht. Vielmehr wurden die Gründe für Unfälle für die Ereignisklassifikation genutzt und dabei HOLLNAGEL (1998) folgend besonders die Fehlerursachen im Sinne von Genotypen fokussiert. Es wurden auslösende und begünstigende Bedingungen für Fehlhandlungen berücksichtigt und hierzu eine strukturierte Übersicht erarbeitet.

Der Bericht adressiert damit verkehrspsychologisch-wissenschaftlich interessierte Leser, insbesondere Mitglieder großer Fahrstudienprojekte wie Field Operational Tests (FOT) und Naturalistic Driving Studies (NDS), in welchen Fahrerverhaltensdaten erhoben und analysiert werden. Die berichteten Projektergebnisse dienen der standardisierten Klassifikation von Fahrverhalten und bieten eine Grundlage zur Ableitung von Fahrerassistenzbedarf im engen und weiteren Sinn (z. B. Infrastruktur- und Schulungsmaßnahmen) sowie zur Ableitung von Forschungsfragen und Hypothesen bzgl. fahrfehlerbeeinflussender Variablen.

Der vorliegende Bericht folgt im Wesentlichen den bearbeiteten Projektabschnitten: Literaturrecher-

che, Taxonomieentwicklung, Prüfung von Teilaspekten der Taxonomie im Simulator und Integration der gewonnenen Erkenntnisse. Dabei wird zunächst ein allgemeiner Überblick zur Fehlerdefinition, Fehlerursachen und -klassifizierung gegeben (Kapitel 2: „Fehler, Irrtümer und Unfälle“). Mit Kapitel 2.3 wird eine Brücke zur Fahraufgabe und fahrbezogenen Fehlern sowie weiteren Einflussfaktoren bei der Fahrzeugführung gebildet (Kapitel 3 und 4). In Kapitel 5 wird über den Kern der Taxonomieentwicklung berichtet. Hier werden zunächst Ergebnisse aus gesichteten FOT-Studien und aus Analysen des Fahrverhaltens über Videoauswertung referiert. Auf Basis dieses Materials wurde eine Übersicht von Fehlervorläuferbedingungen erstellt (siehe hierzu Kapitel 5.2). In Kapitel 5.3 wird die Fehlertaxonomie vorgestellt und deren Entwicklung beschrieben. Vorläuferbedingungen und Taxonomie wurden in Auszügen in einer Simulatorstudie validiert. Vorgehen und Ergebnisse der Studie sind jeweils den Kapiteln 6 und 7 zu entnehmen. Abschließend werden in Kapitel 8 Nutzung und Nutzen der Taxonomie diskutiert und die im Projekt erarbeiteten finalen Versionen der Taxonomie sowie der Fehlervorläuferübersicht vorgestellt.

2 Fehler, Irrtümer und Unfälle

Fehler rückten seit Beginn der Industrialisierung im Zusammenhang mit der Bedienung von Maschinen in den Forschungsfokus. In der Luftfahrt wurde der Pilotenfehler infolge von häufigen Flugzeugabstürzen und Technikausfällen ein fester Bestandteil der Human-Factors-Forschung (vgl. HOFINGER, 2008 für einen Überblick). Nach verheerenden Unfällen im Bereich von Großanlagen (u. a. Three Mile Island, 1978; Tschernobyl, 1986) wurde in den nachfolgenden Analysen deutlich, dass kritische Ereignisse durch eine Vielzahl von Faktoren und Fehlern entstehen können, die zum Teil lange Zeit verborgen sind und erst in ihrer Kombination zu Katastrophen führen können (Käse-Modell von REASON 1995). "Humans are prone to errors due to: limited attentional resources; biases; and modification of rules and models of system operation with time, based on experiential knowledge" (CHEN-WING & DAVEY 1998, S. 91).

Das Konzept menschlicher Fehler war ein wesentlicher treibender Faktor für die Entwicklung des Fachgebiets Human Factors (HELANDER, 1997). Bis heute gibt es jedoch keinen Konsens über eine Definition von menschlichen Fehlern (HOFINGER

2008). Die meisten gängigen Definitionen sehen Fehler

- entweder als Abweichungen von einem als richtig angesehenen Verhalten, das der Handelnde hätte ausführen müssen oder
- als Verfehlen eines gewünschten Handlungsziels, das der Handelnde hätte erreichen sollen.

Fehler setzen demnach immer intentionales Handeln voraus, zumindest aber die Absicht, eine Arbeitsaufgabe korrekt zu bearbeiten. Diese intentionale Fehlerdefinition wird auch der Entwicklung der Fehlertaxonomie in diesem Projekt zugrunde gelegt. Nach Meinung der meisten psychologischen Fehlerforscher setzen Fehler Wissen und Können voraus und werden so gegenüber dem Irrtum abgegrenzt (z. B. WEHNER, MEHL & DIECKMANN 2010). Schon RIGBY (1970) setzte die normale Variabilität menschlichen Handelns in Bezug zur Aufgabe und definiert dementsprechend Fehler als Handlungen, die tolerierte Grenzen überschreiten, sodass die Aufgabe nicht mehr korrekt erfüllt werden kann. Für die Fehlerforschung ist es wichtig, die Bandbreite des normalen Verhaltens zu verstehen und ausgehend vom Wissen über menschliches Denken und Handeln Hypothesen zur Fehlerentstehung zu formulieren. WEHNER u. a. (2010) drücken dies in vier Kernthesen zur Fehlerforschung aus:

- „Handlungsfehler sind der aussagekräftigste Fall für Handlungsbedürfnisse, Handlungsgewohnheiten, soziale Konventionen und emotionale sowie situative Gegebenheiten.
- Handlungsfehler treten weder zufällig noch regellos auf. Die Abweichung vom intendierten Ziel ist kein Nonsens-Gebilde, sie weist vielmehr eine Tendenz zum Richtigen auf und ist ein voll gültiger psychischer Akt.
- Die potenzielle Vitalität des fehlerhaften Handelns liegt in der Veränderung von Handlungsgewohnheiten, in der Optimierung von technischen Artefakten und in der Bereitstellung von Handlungsalternativen.
- Fehler sind Ausdruck von Fertigkeiten, die Bezeichnung der Ereignisse als fehlerhaft, unzulänglich oder defizitär etc. ist ein soziales und kein strukturanalytisches oder systemimmanentes Urteil“ (S. 812).

2.1 Typologie von Fehlermodellen

Bei der Suche nach Unfallursachen liegen implizit oder explizit immer Modelle der Unfall- oder Fehlerentstehung zu Grunde. HOLLNAGEL (2004) und DEKKER (2006) unterscheiden grob drei Typen von Fehlermodellen:

Sequenzielle Fehlermodelle

Unfälle werden als eine kausale Ereigniskette verstanden. Ein Ereignis verursacht das nächste. Zu diesen Modellen gehört zum Beispiel das Domino-Modell (HEINRICH 1931). Unfallanalyse besteht hier in der Suche nach einem „root cause“, dem ersten Dominostein, der die folgenden zu Fall bringt.

Epidemiologische Fehlermodelle

Bei dieser Modellgruppe wird das Konzept latenter Fehler eingeführt, die, wie etwa bei REASONS (1990) Käsemodell, auf verschiedenen Ebenen von Managemententscheidungen bis zu Prozeduren oder Eigenschaften der technischen Ausstattung liegen können. Diese „Pathogene“ sind nicht selbst Unfallursachen, können aber durch andere Faktoren, z. B. unsichere Handlungen, aktiviert werden.

Systemische Fehlermodelle

Hier werden Unfälle als emergente Folgen des Zusammenwirkens von Systemkomponenten und Prozessen verstanden. Unfälle entstehen bei normaler Funktionsweise von Systemen; sie sind ein systemisches Nebenprodukt von Menschen und Organisationen, die mit unvollständigem Wissen unter Druck und bei begrenzten Ressourcen nach Erfolg streben.

Die Theorie der Resilienz (HOLLNAGEL 2006) greift die systemische Sichtweise von Fehlern auf. Eine systemische Fehlertaxonomie müsste also, ähnlich wie von WEHNER, MEHL und DIECKMANN (2010) gefordert, die auch beim normalen Handeln zu Grunde liegenden Handlungsbedürfnisse, Handlungsgewohnheiten, sozialen Konventionen sowie emotionalen und situativen Gegebenheiten einbeziehen.

2.2 Fehlerursachen und Fehlerklassifikationen

In der Fehlerforschung ist die Unterscheidung von Fehlerformen (Phänotypen) und Fehlerursachen (auch Fehlerarten oder Genotypen) eingebürgert

(z. B. HOLLNAGEL 1998). Eine Fehlerart, z. B. ein Aufmerksamkeitsdefizit, kann unterschiedliche Formen annehmen, z. B. eine Verwechslung von Handlungsschritten oder eine falsche Situationsdiagnose (HOFINGER 2008). Während Fehlerformen beobachtbar sind, beruhen Fehlerarten und ihre Entstehung auf theoretischen Annahmen der Handlungsregulation (z. B. Motivation) und Informationsverarbeitung.

Die meisten Fehlertaxonomien sind generisch formuliert. REASON (1990) bezeichnet sein Klassifikationsschema selbst als generisches Fehlermodellierungssystem. Die Klassifikation von Fehlerarten erfolgt dabei nach unterschiedlichen zu Grunde liegenden Logiken: der Frage danach, welche Fehler auftreten, und der Frage danach, warum Fehler auftreten. Bei dem häufigkeitsbezogenen Ansatz (welche Fehler?) wird der Fehler phänotypisch beschrieben und sein Vorkommen quantifiziert (vgl. HOLLNAGEL 1998). Der Ursachenansatz warum?) versucht, die den Fehlern zugrunde liegenden Mechanismen menschlicher Informationsverarbeitung (z. B. Kapazitätsüberforderung für Gedächtnis oder Aufmerksamkeit) aufzudecken und diese Fehler nach Prozessen zu ordnen (vgl. Tabelle 1). ROUSE und ROUSE (1983) fassen dabei zusammen, dass der häufigkeitsbezogene Ansatz empirisch-pragmatisch, beschreibend und zur Erfassung von systemseitiger und menschlicher Zuverlässigkeit geeignet ist. Der Ursachenansatz basiert auf theoretischen Überlegungen, versucht, Verhalten und die Entstehung von Fehlern zu erklären, und fokussiert die Verbesserung des Systemdesigns (vgl. ROUSE & ROUSE 1983).

Fehlerart	Fehlerauslösende Bedingung
Handlungsfehler	Gewohnheiten, Stereotypen, Vertauschungen durch parallele Ziele unbeabsichtigtes Auslösen von Handlungen durch mehrdeutige Signale
Verwechslungs- und Beschreibungsfehler	Einstellung („Das haben wir schon immer so gemacht“) Übervereinfachungen („Ich bin sicher, ich habe recht“) Verfügbarkeit („Aus den Augen, aus dem Sinn“)
Irrtümer und begrenzte Rationalität	falsches/unvollständiges Wissen Selektivität in Daten und Fakten unvollständige Entscheidungsregeln

Tab. 1: Ursachenorientierte Fehlerklassifikation aus GIESA & TIMPE (2002, S. 70, vereinfacht, nach ZIMOLONG 1990)

Es ist jedoch schwierig zu bewerten, ab welcher Granularität tatsächlich eine Ursachenklärung erfolgt ist. „'The cause' is simply 'that factor' where we stop looking any further – for whatever reason (perhaps because the error classification method did not provide any further labels)“, bemerkt DEKKER (2003, S. 103) hierzu kritisch und rät, der Konstruktion von Ursachen weniger Bedeutung beizumessen, da diese keine wirkliche Erkenntnis zur Verbesserung des Gesamtzustandes bringt. Stattdessen seien Untersuchungen zur Identifikation von Versagensmustern oder genotypischen Mechanismen normalen menschlichen Verhaltens zielführender. In unserer Übersicht von Klassifikationslogiken wählen wir das Unterscheidungsmerkmal Modellbezug und unterscheiden zunächst zwischen Systematiken ohne Modellbezug, d. h. nicht theoriegeleitete Fehlertaxonomien, und modellbezogenen Fehlertaxonomien.

2.2.1 Taxonomien ohne Modellbezug

Diese Taxonomien kommen ohne theoretische Modelle der Fehlerentstehung aus und unterscheiden Fehlerformen nach reinen Oberflächenmerkmalen. Hierunter fallen Taxonomien, die Merkmale der Vorkommensverteilung von Fehlern als Klassifikationsgrundlage nutzen, und Taxonomien, die Fehler auf Basis des Ausführens oder Unterlassens von (Teil-)Handlungen differenzieren.

Statistische Klassifikation

Eine statistische Klassifikation von Fehlerformen geht auf CHAPANIS (1951) zurück und beruht auf der Analyse der Verteilung von Fehlern. Er unterscheidet systematische Fehler, die immer in der gleichen Weise im Handlungsprozess auftreten, zufällige Fehler, die nicht verhinderbar sind, und sporadische Fehler, die selten und ohne erkennbares Muster auftreten. Häufigkeitsbezogene Ansätze können genutzt werden, um generelle und nicht-personenbezogene Fehlerschwerpunkte zu identifizieren und entsprechende Sicherheitsbemühungen zu initiieren (vgl. HOFINGER 2008).

Aufgabenbezogene Klassifikation

Eine lange Tradition hat die einfache Klassifikation von Fehlerformen in Omission-Fehler (eine Handlung auslassen) und Commission-Fehler (eine falsche Handlung oder eine Handlung falsch ausführen, z. B. die Eingabe falscher Zahlen bei einer

Überweisung) (SANDERS & McCORMICK 1993). HOLLNAGEL (1998) beschreibt vier entstehungsbezogene Varianten von Omission-Fehlern: Sie können durch das Ausbleiben einer Handlung, das verspätete oder verfrühte Eintreten einer Handlung sowie den Ersatz durch eine andere Handlungen identifiziert werden. Im letzteren Fall, dem Ersatz der ursprünglich intendierten Handlung, findet praktisch eine Commission, also eine falsche Handlung, statt. HOLLNAGEL (1998) differenziert die Commissionfehler je nach Entstehungsmodus weiterhin in Sequenz- (z. B. umgekehrter Ablauf, Wiederholung), Timing- (z. B. verspätet, zu früh) und Substitutionsfehler (andere Handlung) sowie ungeplante Handlungen.

MEISTER (1971) fragt in seiner Fehlerklassifikation, in welchem Teilsystem der Fehlerursprung liegt und unterscheidet zwischen operating errors, bei welchen die Systembedienung nicht wie beabsichtigt erfolgt, design errors, bei welchen die Passung Technik-Mensch von Designern und Konstrukteuren unzureichend bedacht wurden manufacturing errors, bei welchen das System nicht wie geplant gebaut wurde, und installation and maintenance errors, welche durch fehlerhafte Systeminstallation oder unzureichende Wartung entstehen.

2.2.2 Taxonomien mit Modellbezug

Verschiedene Forscher haben – teilweise historisch aufeinander aufbauend – Ebenen von Fehlerquellen, die innerhalb der handelnden Person liegen, differenziert. Hierbei beziehen sie sich entweder auf Modelle der Ebenen einer Handlung oder der kognitiven Informationsverarbeitung.

Handlungsorientierte Taxonomien

Die auf Handlungen bezogene Activation-Trigger-Theorie von NORMAN (1981) unterscheidet zwischen Fehlern bei der Handlungsplanung, also Gedankenfehlern (mistakes), und Fehlern bei der Handlungsdurchführung, die durch falsche Schemaaktivierung eintreten (slips). Ein Schema ist dabei eine organisierte Wissensstruktur mit variierendem Aktivierungsgrad, die eine (sensomotorische) Handlungssequenz kontrolliert. Es wird bei hinreichend hoher Aktivierung ausgelöst, wenn die zu ihm gehörenden Auslösebedingungen gegeben sind. NORMAN (1981) differenziert sechs Klassen von auf Schemaaktivierung bezogenen Fehlern, die durch fehlerhafte Schemaaktivierung (z. B. durch

externe Auslösereize), das Verlorengehen eines passenden Schemas (Aktivierungsverlust, z. B. durch Vergessen) oder das fehlerhafte Auslösen korrekt aktivierter Schemata (z. B. die Ablage von Gegenständen am falschen Platz) entstehen.

Die Fehlertaxonomie von RASMUSSEN (1983) basiert auf den von ihm angenommenen drei Ebenen der Handlungsregulation – dem fertigkeitbasierten, regelbasierten und wissensbasierten Verhalten (skill, rule und knowledge level). Fertigkeitbasiertes Verhalten ist Handeln auf sensomotorischer Basis, welches ohne bewusste Kontrolle flüssig und automatisiert abläuft. Regelbasiertes Verhalten spiegelt den auf Regeln und Prozeduren basierenden Ablauf von automatisierten Subroutinen (kleine Einheiten fertigkeitbasierten Verhaltens) wider, z. B. Kochen nach Rezept. Das Vorgehen hierbei ist zielorientiert und wird durch eine gespeicherte Regel strukturiert. Gibt es in ungewohnten, neuartigen Situationen keine Möglichkeit, Regeln oder Prozeduren anzuwenden, folgt das Verhalten gänzlich bewusst formulierten Zielen, wobei auf Basis vorhandenen Wissens mentale Modelle der Situation geformt werden. Handlungen auf dieser Ebene definiert RASMUSSEN (1983) als wissensbasiertes Verhalten. Auf jeder der drei Regulationsebenen treten spezifische Fehler auf. Fertigkeitbasierte Fehler entsprechen NORMANs slips und sind Fehler in der Ausführung eigentlich beherrschter korrekter Handlungen in Subroutinen. Hierbei kommt es zu Ausführungsfehlern, wenn die Routine nicht wieintendiert vollzogen wird. Prozedurfehler entstehen, wenn die Handlung nicht konsistent zur gewählten Strategie ist (RASMUSSEN 1982; vgl. HOFINGER 2008). Bei regelbasierten Fehlern kommt es auf Grund fehlender Information zu einem falschen Verständnis der Situation und dadurch unpassender Anwendung von Verhaltensregeln. Hierbei kommt es durch die Wahl einer nicht zielführenden Strategie zu Strategiefehlern und die Wahl eines nicht sinnvollen Ziels zu Zielfehlern (RASMUSSEN 1982; vgl. HOFINGER 2008). Wissensbasierte Fehler entstehen durch fehlendes oder falsches Wissen oder eine mangelhafte Anwendung von Wissen in unbekanntem Situationen. Werden dabei Hinweise auf einen geänderten Systemzustand und damit auf eine unbekannt Situation nicht entdeckt, liegt ein Informationsfehler vor. Wenn die Diagnose des neuen Zustands inakkurat ist, entstehen Diagnosefehler (RASMUSSEN 1982; vgl. HOFINGER 2008).

Die bekannteste Klassifikation, die Fehlerarten und Fehlerformen kombiniert, geht auf REASON (1990)

zurück. Er integriert in seiner Fehlertaxonomie die Vorstellungen von NORMAN und RASMUSSEN und klassifiziert Fehler in zwei Stufen – unbeabsichtigte und beabsichtigte Fehler. In seinem Generic Error Modelling System (GEMS) unterscheidet er drei grundlegende Fehlertypen: Zu den unbeabsichtigten fehlerhaften Handlungen gehören die fähigkeitsbasierten Patzer (Aufmerksamkeitsfehler) und Schnitzer (Gedächtnisfehler), die bei der Ausführung eintreten. Fehlerhafte beabsichtigte Handlungen entstehen dagegen bei der Planung und gliedern sich in regelbasierte Fehler und wissensbasierte Fehler. Regeln können hierbei falsch angewendet werden (gute Regel, aber unangemessen für das Ziel), falsch sein oder, obwohl indiziert, nicht angewendet werden. In ungewohnten Situationen muss ein Ziel oder Plan aus vorhandenem Wissen erzeugt werden (vgl. RASMUSSEN 1983), wobei Fehler entstehen können, wenn das Wissen falsch ist oder im falschen Kontext angewendet wird (vgl. HOFINGER 2008). Beabsichtigte Verstöße werden bei REASON (1990) nicht zu den Basis-Fehlertypen gezählt. In der Luftfahrt wird häufig im Zusammenhang mit Automatisierungsfolgen auf eine Kombination aus Patzern und Schnitzern verwiesen: mode errors, die auftreten, wenn eine angemessene Handlung in einem unangemessenen Modus passiert, weil der Operateur den Kontext falsch zuordnet (vgl. WICKENS & HOLLAND 2000). Mode errors können verhindert werden, wenn das zu bedienende System transparent seinen jeweiligen Systemzustand vermittelt.

Verarbeitungsbezogene Taxonomien

HACKERS (1998) verhütungsorientierte Klassifikation von Fehlhandlungen basiert auf einer Einteilung von Handlungen in drei Phasen der Informationsverarbeitung: Orientierungsphase, Phase zum Entwerfen von Aktionsprogrammen und Ausführungsphase. Fehlhandlungen entstehen dabei entweder im objektiven Fehlen regulativ nutzbarer Information oder in der fehlenden bzw. falschen Nutzung oder Verarbeitung vorhandener Informationen beim Orientieren, Zielstellen, Entwerfen und Kontrollieren des Ausführens intendierter Handlungen. Vor allem für Fehler bei der Informationsaufnahme ist seine Klassifizierung sehr detailliert. Sie umfasst Übersehen, Vergessen/Versäumen, Übergehen, Informationsreduktion bei Redundanzausnutzung und zeit- bzw. kapazitätsbedingte Verarbeitungsdefizite. Ursachen für die falsche Nutzung vorhandener Information sind nach HACKER in falscher

Orientierung, falschem Entwerfen von Aktionsprogrammen, falschem Entscheiden oder unzutreffender Bedingungseinordnung von Aktionsprogrammen begründet.

In einer hohen Granularität klassifiziert KIRWAN (1994) Fehler im Human Error Identification in Systems Tool (HEIST) anhand von acht sequenziellen Stufen der menschlichen Informationsverarbeitung:

1. Aktivierung/Entdeckung,
2. Beobachtung/Datenerfassung,
3. Identifikation des Systemzustands,
4. Interpretation,
5. Evaluation,
6. Zielauswahl und Aufgabendefinition,
7. Vorgehensauswahl,
8. Ausführung.

In HEIST wird die beobachtete Tätigkeit der entsprechenden Phase der Informationsverarbeitung zugeordnet. Über ein umfassendes Tabellensystem wird nach erfolgter Aufgabenanalyse über geeignete Stichworte (error identifier prompts) eine Fehleridentifikation unterstützt.

Ähnlich, jedoch in nur sechs Stufen klassifizieren ROUSE und ROUSE (1983) in

1. Feststellen des Systemzustandes,
2. Wahl einer Hypothese,
3. Test der Hypothese,
4. Wahl des Ziels,
5. Wahl des Ablaufes und dessen
6. Ausführung.

Innerhalb dieser sechs Kategorien werden des Weiteren 31 Fehlersubkategorien definiert, sowie vier Kategorien von Ursachen und beitragenden Faktoren: inhärente menschliche und systemseitige Beschränkungen, beitragende Faktoren und Ereignisse. Ursachen und Faktoren sind u. a. Konfusion, Ablenkung sowie mangelnde oder irreführende Kommunikation.

Bild 1 gibt einen Überblick über die Fehlerklassifikationslogiken mit und ohne Modellorientierung sowie Beispieltaxonomien für den jeweiligen Fokus der Klassifikationsansätze: häufigkeitsbezogen,

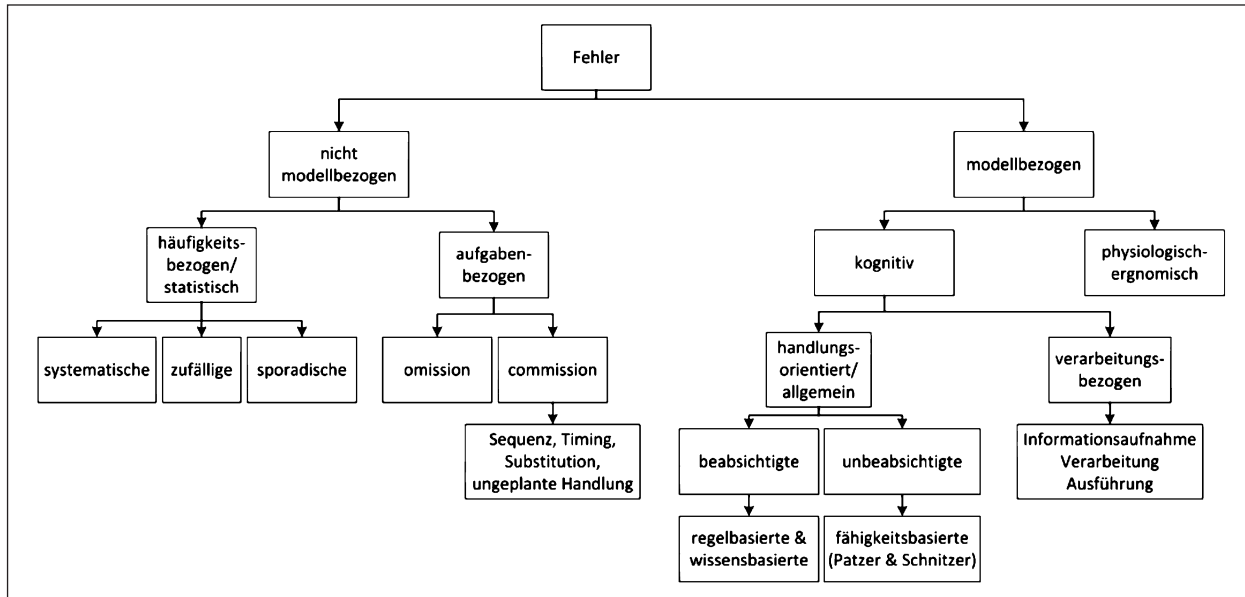


Bild 1: Systematik von Fehlertaxonomien

aufgabenbezogen sowie kognitionsbezogen, die in den vorangegangenen Kapiteln detailliert beschrieben wurden. Im Bereich modellbezogener Taxonomien wurde die Systematik um den Fokus auf physiologisch-ergonomische Merkmale erweitert, da diese nicht auf kognitiven Ansätzen basieren können und damit eine eigene Kategorie bilden müssen. So können Fehler aufgrund von oder in Verbindung mit körperbezogenen Einschränkungen entstehen, z. B. verzögerte motorische Reaktionen oder Übersehen durch erhöhte Blendempfindlichkeit. Altersbedingte Einschränkungen bei der Fahrzeugführung (z. B. KAISER & OSWALD 2000) sowie ein erhöhtes Unfallrisiko im Beruf (z. B. ZWERLING, WHITTEN, DAVIS & SPRINCE 1998) sind ebenso physiologisch bestimmt wie psychologisch.

Die vorgestellten Ansätze zu taxonomischen Unterscheidung von Fehlern sind vor dem Hintergrund der Ziele der im Projekt zu entwickelnden Fehlertaxonomie auf ihren Nutzen hin zu bewerten. Obwohl relativ einfache sequenzielle Fehlermodelle in der Systematik der Theoriebildung zu Fehlern eher historische Bedeutung haben, ist die Analyse von Fehlergeschehen im Hinblick auf „root causes“ nach wie vor nützlich im Rahmen von Überlegungen zur Risikobewertung bzw. zum Risikomanagement. Dabei muss allerdings die in jüngster Zeit vermehrt geäußerte Kritik beachtet werden, dass die Identifikation eines „root cause“ letztlich immer mit der arbiträren Entscheidung verbunden ist, diesen nicht weiter zu hinterfragen (z. B. DEKKER 2011, HOLLNAGEL 2004). Für taxonomische

Zwecke, insbesondere wenn damit angestrebt wird, auch Maßnahmen zur Vermeidung von Fehlern abzuleiten, sind jedoch epidemiologische und systemische Fehlermodelle eher nützlich, da hier differenzierter unterschiedliche beitragende Faktoren berücksichtigt werden können. In den Kapiteln 2.3 und 2.4 werden wir erläutern, wie der Theorie zur Resilienz folgend (HOLLNAGEL 2008) eine Taxonomie mit Modellbezug in einen Rahmenansatz zum Fehler- und Sicherheitsmanagement eingebettet werden kann.

2.3 Zuverlässigkeit und Aufgabenanalyse

Zuverlässigkeit im Handeln wird durch zwei verschiedene Perspektiven und damit einhergehende Begrifflichkeiten bestimmt: „Zuverlässigkeit als individuelle Eigenschaft und Zuverlässigkeit als Bewertungsdimension des Handelns unter bestimmten situativen Bedingungen“ (GIESA & TIMPE 2002, S. 68). Die Autoren führen weiter aus, dass sich Zuverlässigkeit als individuelle Eigenschaft damit verhaltensbezogen mit einem persönlichkeits-theoretischen und mit Methoden der differenziellen Psychologie zu operationalisierendem Konstrukt „Zuverlässigkeit“ beschreiben und erklären lässt. Eine lebenslange Disposition zur Unfallneigung, wie sie zeitgleich von MARBE (1926) mit seiner „Unfallerpersönlichkeit“ und von FARMER und CHAMBERS (1926) unter der Bezeichnung accident proneness postuliert wurde, konnte empirisch nicht bestätigt werden und liefert zudem wenig Ansatzpunkte zur

Verbesserung der Zuverlässigkeit eines sozio-technischen Systems (HACKER 1998). Zuverlässigkeit des persönlichkeitsunabhängigen Handelns wird von GIESA und TIMPE (2002, S. 69) als Bewertungsdimension für eine zu erreichende Handlungsgüte aufgefasst und als „Handlungszuverlässigkeit“ präzisiert, die an einem weitgehend fehlerfreien Handeln festgemacht und über Fehler operationalisiert wird. Hierfür ist die Definition von Toleranzgrenzen für festgelegte Zeiträume und Bedingungen für die betrachtete Handlung unabdingbar. Eine Abweichung von innerhalb dieser definierten Grenzen geforderten Verhaltensweisen ist als Fehler definiert (vgl. DIN 40041).

Als hochgradig elaboriertes generisches Konzept für die Verbindung von Zwischenfallanalyse mit der Vorhersage von Zuverlässigkeit kann CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) von HOLLNAGEL (1998) angesehen werden. HOLLNAGEL stellt mit CREAM eine Systematik vor, die sowohl retrospektiv bei der Unfallanalyse als auch prospektiv bei der Vorhersage der Zuverlässigkeit verwendet wird und für beide Schlussrichtungen ein einheitliches Modell menschlicher Leistungen zu Grunde legt.

Das Modell geht von der fundamentalen Unterscheidung zwischen Kompetenz und Kontrolle aus. Kompetenz bezeichnet dabei persönliche Fertigkeiten (skills) und Wissen der Akteure. Auf der anderen Seite wird Kontrolle auf einem Kontinuum zwischen keiner und vollständiger Kontrolle beschrieben und ist durch Kontextmerkmale determiniert, die bei HOLLNAGEL (1998) Common Performance Conditions genannt werden.

Bei der Analyse von Fehlern und der Vorhersage von Zuverlässigkeit unterscheidet und betrachtet HOLLNAGEL jeweils drei Komponenten:

- Phänotypen von Fehlern beschreiben deren Manifestation. HOLLNAGEL unterscheidet vier Gruppen von Phänotypen, die er als Fehlermodi bezeichnet:
 - Handlungen zum falschen Zeitpunkt,
 - falsche Handlungen,
 - Handlungen am falschen Objekt,
 - Handlungen am falschen Ort.
- Genotypen der Fehler sind deren zu Grunde liegende Ursachen oder Auslöser. Sie werden in drei Gruppen differenziert:

- Personen-bezogene betreffen Eigenschaften oder Zustände der Person und haben einen direkten oder indirekten Bezug zu ihrem Verhalten.
- Technologie-bezogene betreffen die Interaktion von bzw. die Schnittstelle zwischen Menschen und Technik.
- Organisations-bezogene betreffen die Rahmenbedingungen des Verhaltens wie zum Beispiel Prozeduren und lokale Umgebungsbedingungen.

- Common Performance Conditions (CPC) beschreiben Kontextfaktoren, die die Fehleranfälligkeit beeinflussen. HOLLNAGEL unterscheidet in der Originalpublikation (1998) neun CPC und ergänzt später (HOLLNAGEL 2006b) eine zehnte CPC:

1. Adäquate Organisation,
2. Arbeitsbedingungen,
3. adäquate MMI,
4. Verfügbarkeit von Prozeduren und Plänen,
5. Anzahl gleichzeitig gültiger Ziele,
6. verfügbare Zeit,
7. Tageszeit,
8. adäquates Training und Erfahrung,
9. Qualität der Zusammenarbeit im Team,
10. Qualität der Kommunikation.

Die Bestimmung der CPC muss je spezifisch pro Aufgabenkontext erfolgen.

Phänotypen und Genotypen werden in allgemeine Folgen (general consequents) klassifiziert. Für jede allgemeine Folge gibt es mehrere allgemeine und spezifische Vorläufer (antecedents). Zum Beispiel für den Genotyp „Kommunikation“ ist eine allgemeine Folge „Kommunikationsfehler“. Allgemeine Vorläufer davon sind „Ablenkung“, „Funktionsbeeinträchtigung“ und „Unaufmerksamkeit“. Die spezifischen Vorläufer sind „Lärm“, „Übermittlungsfehler“ und „temporäre Unfähigkeit“.

CREAM ist von HOLLNAGEL ursprünglich am Anwendungsfall der Nuklearindustrie entwickelt worden. Anwendungsbeispiele sind entsprechend in der Nuklearindustrie (EVERDIJ & BLOM 2008),

aber auch in der Bahntechnik (MARSEGUERRA et al. 2007) publiziert. Es existiert ebenfalls eine spezielle Version für die Analyse von Verkehrsunfällen, die im schwedischen Projekt FICA (Factors Influencing the Causation of Accidents and Incidents) entwickelt wurde – DREAM (Driver Reliability and Error Analysis Method).

Für die Anwendung ist an der University of Illinois at Urbana ein Tutorial als CREAM-Navigator entwickelt worden und steht unter <http://www.ews.uiuc.edu/~serwy/cream/v0.6beta/> zur Verfügung.

Ein wichtiger Nutzen von Fehlertaxonomien liegt in ihrem prädiktiven Wert (SHARIT 2006). Dafür wird allerdings eine spezifische Aufgabenanalyse für den konkreten Anwendungsfall als notwendig angesehen (SHARIT 2006, S. 723). GSTALTER und FASTENMEIER (2010) wenden die Logik der Aufgabenanalyse und Fehlerklassifikation auf die Fahraufgabe an und formulieren als Voraussetzung für die Vorhersage von menschlicher Zuverlässigkeit im Straßenverkehr die folgenden Anforderungen:

- eine Taxonomie von Fahraufgaben,
- eine Bestimmung des jeweils korrekten Verhaltens,
- eine Liste von Fehlern als Abweichungen vom korrekten Verhalten und
- eine Beobachtungsmethode, um die relative Häufigkeit solcher Ereignisse zu erfassen.

2.4 Resilienz und systemische Sicherheitsansätze

Obwohl die retrospektive Analyse von Unfällen und Zwischenfällen nicht nur im Straßenverkehr, sondern auch in anderen sicherheitskritischen Branchen (z. B. Luftverkehr, Prozesstechnik, Nukleartechnik) als unverzichtbarer Bestandteil von Fehler- und Sicherheitsmanagement angesehen wird, ist ein rückblickender Ansatz zur Vermeidung von Unfällen und zur Verbesserung der Sicherheit aus methodischen und konzeptuellen Gründen nicht vollständig befriedigend (HOLLNAGEL 2008).

Methodisch besteht das Problem, dass bestimmte im Vorfeld des Unfalls oder Zwischenfalls handlungsleitende perzeptive oder kognitive Prozesse aufgrund der Eigenschaften menschlicher kognitiver Prozesse nur unvollständig oder gar nicht be-

richtet werden können. Zudem unterliegt die Suche nach Ursachen während der Unfallanalyse selbst systematischen Schlussfehlern wie dem Rückschau-Fehler (hindsight bias) in Verbindung mit kontra-faktischen Schlüssen (counter factuals, vgl. DEKKER 2006) sowie einem fundamentalen Attributionsfehler, der dazu führt, dass der freie Willen der handelnden Personen in der Erklärung von Unfällen stark betont wird (HOFINGER 2008).

Darüber hinaus legt z. B. LEVESON (2011) dar, dass die Gleichsetzung von Sicherheit und Zuverlässigkeit zwar weit verbreitet ist, aber bei einer systemischen Sicht auf die Sicherheitsforschung als Missverständnis gesehen werden muss. So lässt sich zum Beispiel leicht zeigen, dass Unfälle oder Totalverluste auch dann entstehen können, wenn alle Komponenten zuverlässig, also entsprechend ihrer Spezifikation, funktionierten.

LEVESON (2010) benennt zum Beispiel sogenannte component interaction accidents. Als Beispiel dafür beschreibt sie den Verlust des Mars Polar Lander. Der Verlust wird zurückgeführt auf Stör-signale, die beim Ausfahren der Landebeine während des Anflugs entstanden. Diese Störungen waren normal und erwartet worden, die Bordelektronik interpretierte diese Signale jedoch als Hinweis darauf, dass die Landung bereits erfolgt ist, und schaltete das Triebwerk vorzeitig ab, was zum Absturz und zur Zerstörung der Sonde führte. Sowohl die Landebeine als auch die Bordelektronik funktionierten wie erwartet und gemäß ihren Spezifikationen also zuverlässig, doch das Zusammenspiel der Komponenten führte zum Totalverlust des Systems (NASA 2000, zitiert nach LEVESON 2011).

Auch der umgekehrte Fall wäre nach LEVESON (2011) denkbar, nämlich sichere Systeme mit unzuverlässigen Komponenten. Dies ist zum Beispiel immer dann der Fall, wenn menschliche Operateure sich nicht an Vorschriften oder Prozeduren halten und gerade dadurch einen Unfall vermeiden. Auch auf Systemebene besteht ein Unterschied zwischen

- einerseits der Zuverlässigkeit eines Systems, im Sinne seiner Fähigkeit, die Ziele zu erreichen bzw. die Anforderungen zu erfüllen, und
- andererseits der Sicherheit, dass zum Beispiel die Umgebung oder die Mitarbeiter nicht geschädigt werden.

Es wird verwiesen auf den Unterschied zwischen requirements und constraints. Die Systemingenieure

re und die Operateure müssen hier zwischen widersprüchlichen Zielen einen Ausgleich finden, z. B. zwischen Durchsatz und Sicherheit in der Flugsicherung. Die Herausforderung liegt darin, solche Konflikte zu erkennen und einen Ausgleich zu finden.

Mit dem Fokus auf der Robustheit komplexer sozio-technischer Systeme nimmt HOLLNAGEL (2006) die Perspektive ein, dass Fehler in aller Regel nicht intentional herbeigeführt werden, sondern dass es sich um Konsequenzen normalen Verhaltens handelt, das an bestimmte situativen Gegebenheiten nicht angepasst war und daher zum Unfall beigetragen hat. Er geht davon aus, dass normalem fehlerfreiem Verhalten ebenso wie Fehlern im Kern die gleichen Gesetzmäßigkeiten menschlichen Verhaltens in komplexen Situationen zu Grunde liegen. Normales Handeln ist gerade deshalb erfolgreich und effizient, weil Menschen sich an lokale Bedingungen und an technische Unzulänglichkeiten anpassen. Normales Handeln ist damit nicht gleichzusetzen mit normativem Verhalten. Es ist dann erfolgreich, wenn die Anpassung an die lokalen Bedingungen und Situationserfordernisse gelingt und mögliche Schwankungen von Anforderungen oder Ressourcen vorhergesehen und/oder abgefangen werden.

Ganz ähnlich wie LEVESON (2010) argumentiert HOLLNAGEL (2006), dass für diese Anpassungsleistung ein Abwägen zwischen unterschiedlichen Zielen erfolgen muss. Auf der Ebene der individuellen Handlungskontrolle muss zum Beispiel abgewogen werden zwischen Genauigkeit oder Vollständigkeit der Situationsanalyse einerseits und Effizienz oder Schnelligkeit der Reaktion andererseits. Fehler oder genau genommen Verluste dagegen entstehen dann, wenn diese Anpassung misslingt.

Der Resilienzansatz sieht sich vor der Herausforderung, das Potenzial für die Änderung eines stabilen Zustandes eines komplexen Systems in einen instabilen Zustand prospektiv einzuschätzen. HOLLNAGEL (2006) argumentiert, dass diese Zustandsänderung aufgrund der multiplen Faktoren und Interdependenzen zwischen den Systemkomponenten nicht mittels linearer und starrer Strukturen wie Bäumen, Hierarchien oder Netzwerken abgebildet werden kann, sondern dass dieser dynamischen Struktur Rechnung getragen werden sollte, wie bspw. im Functional Resonance Accident Model von HOLLNAGEL (2004).

LEVESON (2011) versteht Unfälle als unerwünschte und ungeplante Verluste, die damit verbunden sein können, dass es Tote oder Verletzte gab bzw. dass Schäden in Bezug auf die Mission, die Ausrüstung oder finanzieller Natur entstanden sind. Sicherheit wird folglich nicht als ein Zustand gesehen, sondern als ein kontrolltheoretisches Problem, verbunden also mit einem dynamischen Prozess. Die eingeschränkte Sicht auf die Vermeidung von Fehlern oder Komponentenversagen wird ersetzt durch das Konzept der Durchsetzung von Auflagen (constraints), die dazu dienen, unsichere Ereignisse oder Zustände zu vermeiden. Verluste im obigen Sinne resultieren aus Komponentenversagen, externen Störungen des Systems, (unvorhergesehenen) Interaktionen von Systemkomponenten oder gefährlichen Zustände, die sich aus dem Verhalten von Komponenten ergeben. Kontrolle über das Verhalten der Komponenten bzw. deren Interaktion kann im Sinne von Auflagen (constraints) ausgeübt werden durch die Gestaltung der Komponenten, die Prozesse (Prozeduren und Verfahrensweisen) sowie durch soziale Kontrolle, was organisationale Vorgaben und Aufsichtsstrukturen ebenso einschließt wie kulturelle Aspekte und individuelle Interessen. Die Suche nach Fehlern oder Versagen wird in diesem Rahmen ersetzt durch den Versuch aufzudecken, warum Kontrollmechanismen nicht wirkungsvoll waren bzw. warum ein Kontrollverlust eingetreten ist.

Folgt man dieser kontrolltheoretischen Sichtweise auf das Sicherheitsmanagement, besteht übereinstimmend laut HOLLNAGEL (2008), DEKKER (2006) und LEVESON (2011) das konzeptuelle Problem, dass eine allein retrospektive Analyse auf der Basis von Unfällen nur unzureichend beschreiben kann, wie erfolgreiches, also fehlerfreies Verhalten erreicht werden kann. Will man aber Unterstützungsbedarf identifizieren und so die Fehleranfälligkeit reduzieren, ist eine prospektive Herangehensweise an die Gestaltung neuer Systeme erforderlich. Um ein System also in einen gewünschten robusten Zustand zu setzen, plädiert HOLLNAGEL (2008) für eine Abwendung von Feedback-Kontrolle, bei welcher der Abstand vom aktuellen zum gewünschten Zustand minimiert werden soll, hin zur Feedforward-Kontrolle, bei welcher das System in einen gewünschten zukünftigen Zustand gebracht werden soll. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Eingabe bzw. Entwicklung aufgrund von Erwartungen und Modellannahmen, wobei Korrekturen auch ohne vorheriges Feedback eingebracht

werden können. Die Güte des zugrunde liegenden Modells bestimmt damit auch das Restrisiko unbeachteter Bedingungen und damit von Erklärungslücken.

Dieses prospektive Vorgehen sollte die folgenden fünf Bestimmungsstücke einbeziehen (zitiert nach HOLLNAGEL 2008):

- Ziel (target) – das erwartete Niveau an Sicherheit oder Fehlerfreiheit

Die Erhöhung der Sicherheit ist naturgemäß das Ziel jeder Art von Sicherheitsmanagement. Doch muss dieses allgemeine Ziel übersetzt werden in operationell prüfbare Kriterien, die eine Einschätzung erlauben, wann das Ziel erreicht ist. Ein Problem ist dabei das Paradoxon, dass herkömmliche Indikatoren – wie zum Beispiel die Zahl der Unfälle – mit wachsendem Erfolg des Sicherheitsmanagement, abnehmen. Kontrolltheoretisch gesprochen, erhält man also immer weniger Information über den Prozess, je erfolgreicher das Sicherheitsmanagement ist. Der Informationsverlust kann leider auch in einen Kontrollverlust münden. Es wäre also geboten, hier Indikatoren zu entwickeln, die mit wachsender Sicherheit oder Resilienz auch mehr Informationen liefern. Allerdings gibt HOLLNAGEL wenig Hinweis, welchen Indikator er hier konkret für geeignet hält.

- Einflussmöglichkeiten (control options) – Möglichkeiten der Einflussnahme auf das Sicherheitsniveau

Sieht man Unfälle als allein durch Fehlfunktionen von Komponenten ausgelöst, muss hier nach Möglichkeiten gesucht werden, fehlerhafte Komponenten zu reparieren oder zu ersetzen (z. B. anfällige Bauteile durch robuste ersetzen oder „Unfällerpersönlichkeiten“ zu entlarven und zu entfernen). Wie oben bereits gezeigt, kann diese Sicht systemische Effekte nicht darstellen. Die modernere Sicht zielt eher darauf, die sicherheitsrelevanten Prozesse, Funktionen und Interaktionen zu identifizieren und im Sinne verbesserter Sicherheit zu beeinflussen. Doch schon die vereinfachende Unterteilung in technische, menschliche und organisationale Faktoren zeigt, dass diese wechselseitig einander beeinflussen. Um Einflussmöglichkeiten bestimmen zu können, wird also ein Prozessmodell (s. u.) benötigt.

- Prozessmodell – ein Modell davon, wie fehlerfreies und fehlerhaftes Verhalten entsteht

Ein solches Prozessmodell sollte dabei nicht rein deskriptiv sein, sondern auch geeignet, um prüfbare Vorhersagen abzuleiten. Bezogen auf die Fahraufgabe, müssten klassische Fahrmodelle (vgl. Kapitel 3) mindestens ergänzt werden um die Aspekte, die die Koordination von primären, sekundären und tertiären Aufgaben beim Fahren umfassen und dabei beschreiben, wie die Abwägung zwischen Aufgabenzielen und Sicherheitszielen erfolgt.

- Gefährdungen (nature of threats) – Bedingungen, die Fehler begünstigen

Dies umfasst sowohl häufig auftretende Gefährdungen, für die eine Standardreaktion entwickelt werden kann, als auch seltene ungewöhnliche Gefährdungen wie zum Beispiel das zufällige Zusammentreffen ungünstiger Umstände. Während für Erstere zum Beispiel Berichtssysteme und Unfallanalysen geeignete Quellen sind, verlangt die zweite Gruppe von Gefährdungen die Betrachtung auch von unwahrscheinlichen und/oder unerwarteten Kombinationen von normalen Leistungsvariationen oder systemexternen Störungen. Bezogen auf die im Projekt interessierende Fahraufgabe, gilt es hier, Umstände zu identifizieren, die die Sicherheit der Fahrt beeinträchtigen können, indem sie entweder direkt das Verhalten der Fahrer beeinflussen oder seine Möglichkeit, die Kontrolle über die Fahrt zu erhalten, beeinträchtigen.

- Messung (measurement) – die Indikatoren für Sicherheit oder Risiken

Bei der Bestimmung von Indikatoren besteht offensichtlich ein Zusammenhang zu den Sicherheitszielen und dem Prozessmodell (s. o.). Dabei werden häufig nachträgliche Zeichen (Lag-Indikatoren) von vorauslaufenden Anzeichen (Lead-Indikatoren) differenziert.

Das von HOLLNAGEL vorgeschlagene Vorgehen ist im Kern mit der Prüfung von Hypothesen verbunden: Vom Modell über das fehlerfrei funktionierende System werden Hypothesen zu möglichen Zustandsabweichungen oder Zielabweichungen abgeleitet, deren Prüfung über geeignete Indikatoren erfolgt. Für die Antizipation des sicherheitsbezogenen Systemzustandes sind vor allem Lead-Indikatoren von Bedeutung, da Lag-Indikatoren

möglicherweise erst sehr spät nach einer Zustandsänderung diagnostiziert werden, im Projekt-sinne, wenn ein Unfall bereits passiert ist. Lead-Indikatoren sollten als valide Prädiktoren für den zukünftigen Systemzustand geeignet sein. Für die Anwendung in der Fehlertaxonomie bilden sie die Grundlage für die Identifikation von Gefährdungen, die das Fahrverhalten bzw. genauer den erfolgreichen Verlauf von Fahrten beeinträchtigen können.

3 Modelle der Fahraufgabe

Modelle der Fahraufgabe bieten eine Zerlegung des Fahrens in verschiedene Handlungseinheiten mit dem Ziel, diejenigen Prozesse der Fahrtätigkeit zu beschreiben und zu klassifizieren, die für eine sichere und effektive Erledigung der Fahraufgabe notwendig sind (vgl. FASTENMEIER & GSTALTER 2003). Zur Beschreibung der Fahrtätigkeit wird häufig ein hierarchisches Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung (BERNOTAT 1970, DONGES 1978, MICHON 1985) verwendet, welches, bei größter Abstraktion, zwischen strategischer, taktischer und Kontrollebene unterscheidet. Diesen drei Anforderungsebenen der Fahraufgabe (vgl. DONGES 1978, HOYOS & KASTNER 1986) werden bewältigungsseitig die Organisation (Operationen des Fahrers zur Zielortbestimmung), Koordination (Festlegung des Sollkurses, Geschwindigkeitswahl, Fahrmanöverbestimmung) und Regelung (Einhaltung von Kurs und Geschwindigkeit) gegenübergestellt (vgl. KRAMER 1986), die in der Litera-

tur meist als Navigations-, Führungs- und Stabilisierungsebene tradiert sind:

- Auf der Navigationsebene werden fahrtübergeordnete Entscheidungen getroffen, wie beispielsweise die Wahl der Fahrtroute und deren Anpassung an situative Anforderungen.
- Die Bahnführungsebene beinhaltet Aufgaben wie die intendierte, manöverbasierte Längs- und Querverführung, die Beachtung der Verkehrsvorschriften und die Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern.
- Die Stabilisierungsebene umfasst die stark automatisierten Handlungen wie korrigierendes Lenken, Gasgeben und Bremsen.

Diese Differenzierung wird häufig als verwandt mit den Regulations-Ebenen bei RASMUSSEN (1983) angesehen (vgl. Bild 2), lässt sich jedoch nicht direkt zur Deckung bringen. RASMUSSEN (1983) unterscheidet zwischen fertigkeitsbasiertem, regelbasiertem und wissensbasiertem Verhalten, wobei Ersteres stark automatisiert ist und ohne bewusste Kontrolle stattfindet.

Diese Verhaltensebene mit ihrem hoch automatisierten sensomotorischen Regelkreis (Bild 2, rechts unten) lässt sich noch gut mit der Stabilisierungsebene der Fahraufgabe in Einklang bringen. Regelbasierte Koordination basiert hingegen auf explizitem Wissen (deklarativ und erfahrungsbasiert), wobei nach RASMUSSEN (1983) die erlernten Regeln großteils auch verbalisiert werden können. Diese Ebene kann damit nur in Grenzen mit

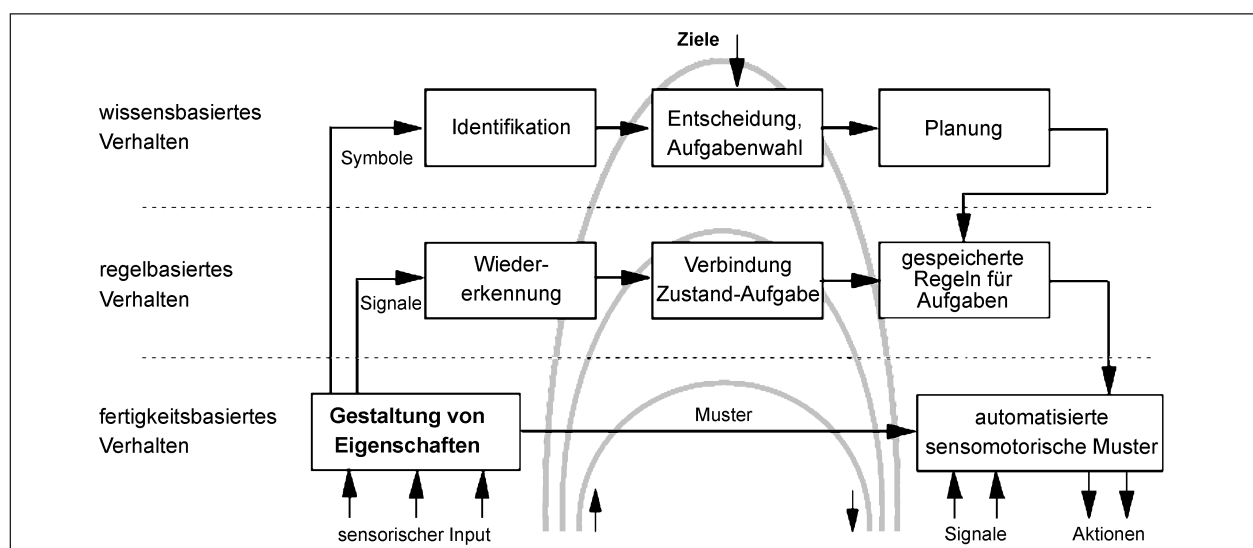


Bild 2: RASMUSSEN-Modell (1983, S. 258, übersetzt und adaptiert) der Verhaltensebenen erfahrener menschlicher Operateure

der Bahnführung in Einklang gebracht werden, welcher auch komplexe Manöver zugeordnet werden können, deren Vorbereitung und Ausführung nicht immer bewusstseinsfähig sind. Je höher die Expertise der Fahrer, desto stärker gehen die genutzten Handlungsabläufe beider Ebenen vermutlich ineinander über, da überlernte Handlungsabläufe zu einem großen Repertoire an automatisierten Mustern führen und deren Integration im Sinne von Chunks (CHASE & SIMON 1973a 1973b, COWAN, CHEN & ROUDER 2004, SIMON & CHASE 1973) oder Vorlagen (GOBET & SIMON 1998, HERBIG & GLÖCKNER 2009) erfolgen kann.

Die Eigenschaften der Wissensebene und die Navigationsebene haben lediglich die Bindung an ein Ziel gemeinsam. Der größte Unterschied der Modelle besteht jedoch in ihrer Erklärungsperspektive: Während das Drei-Ebenen-Modell auf einer hierarchischen Zerlegung der Fahraufgabe beruht, die prinzipiell jede ihrer drei Ebenen beinhaltet, beschreibt RASMUSSEN das Verhalten aus der Perspektive unterschiedlicher Verarbeitungsmodi. Bei komplexen Aufgaben sind auch bei ihm alle Verarbeitungslevel parallel aktiv, doch kann auch ein Verhaltenslevel abhängig von situativen Bedingungen die Verhaltenssteuerung dominieren. Seine Ausführungen sind hierbei angelehnt an FITTS' und POSNERS (1962) Lernphasen und bauen darauf auf. In Anlehnung an HACKERS hierarchische Ebenen der Ausführungsregulation (1998) stellen PANNASCH und DORNHÖFER (1999) den drei Ebenen der Primäraufgabe Fahren unterschiedliche Bewusstseinsstufen gegenüber (Bild 3). Jede der drei Fahraufgabenebenen besitzt verschiedene Zeithorizonte im Sinne der Frequenz der ausgeführten (Teil-)Handlungen. Bild 4 veranschaulicht die Integration der drei Aktionsebenen im Zeitverlauf

einer Fahrt. Auf der Stabilisierungsebene werden nahezu „kontinuierliche“ sensomotorische Aktionen vollzogen, die Ergebnisse eines allgemeinen Informationsverarbeitungsprozesses (Perzeption – Verarbeitung – Handlung) darstellen (vgl. Bild 4, unten). Auf Bahnführungsebene werden größere Handlungsabschnitte vollzogen, wobei sich jeder Handlungsabschnitt aus einer Reihe sensomotorischer Aktionen zusammensetzt (Bild 4, mittlere Ebene). Diese Handlungsabschnitte sind durch Phasen der relativen Homöostase und Manöver geprägt. In Phasen der Homöostase müssen aufgrund einer flüssigen Bahnführung keine starken Korrekturhandlungen vollzogen werden; der Fahrer befindet sich „im Fluss“ und stabilisiert lediglich.

Manöver definieren wir hingegen als zeitnahe Reaktion auf eine Situationsänderung (möglicherweise auch Zieländerung) aufgrund extrinsischer oder intrinsischer Reize in Form eines motorischen Handlungsablaufes, der eigene Planung beinhaltet kann.

Manöver sind damit Handlungen, die durch die Änderung der Umwelt (z. B. plötzliches Ausscheren des voranfahrenden Fahrzeuges, Erreichen einer Kreuzung) oder personeninhärente Zustände (z. B. Müdigkeit) ausgelöst werden. Sie können geplant, z. B. beim Überholen oder Abbiegen, aber auch durch Abruf eines verfügbaren Handlungsprogramms, z. B. zur Reaktion auf ein unvorhergesehenes Ereignis, umgesetzt werden. Die Navigationsebene ist vor allem der Zielverfolgung gewidmet und bildet zeitlich den Abschnitt der gesamten Fahrt bzw. großer Fahrtabschnitte ab (z. B. bis zum Zwischenhalt an einer Raststätte). Das Ziel einer Fahrt kann im Übrigen auch darin bestehen, keinen bewussten „Navigationsplan“ zu verfolgen, z. B. beim Cruising. Dieses im Projekt entwickelte Fahraufgabenmodell

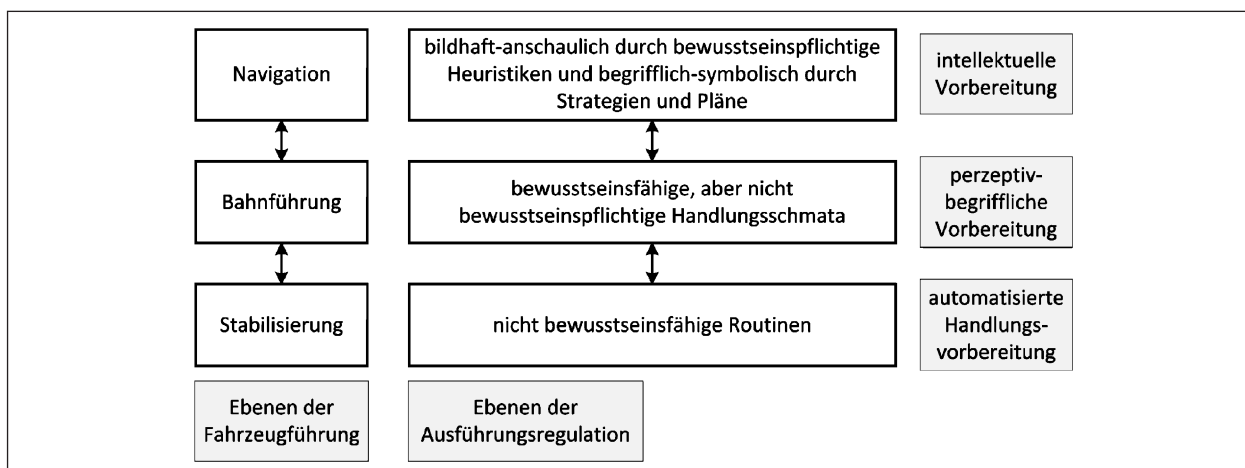


Bild 3: Ebenen der Fahraufgabe und Bewusstsein nach DORNHÖFER & PANNASCH (1999, S. 11)

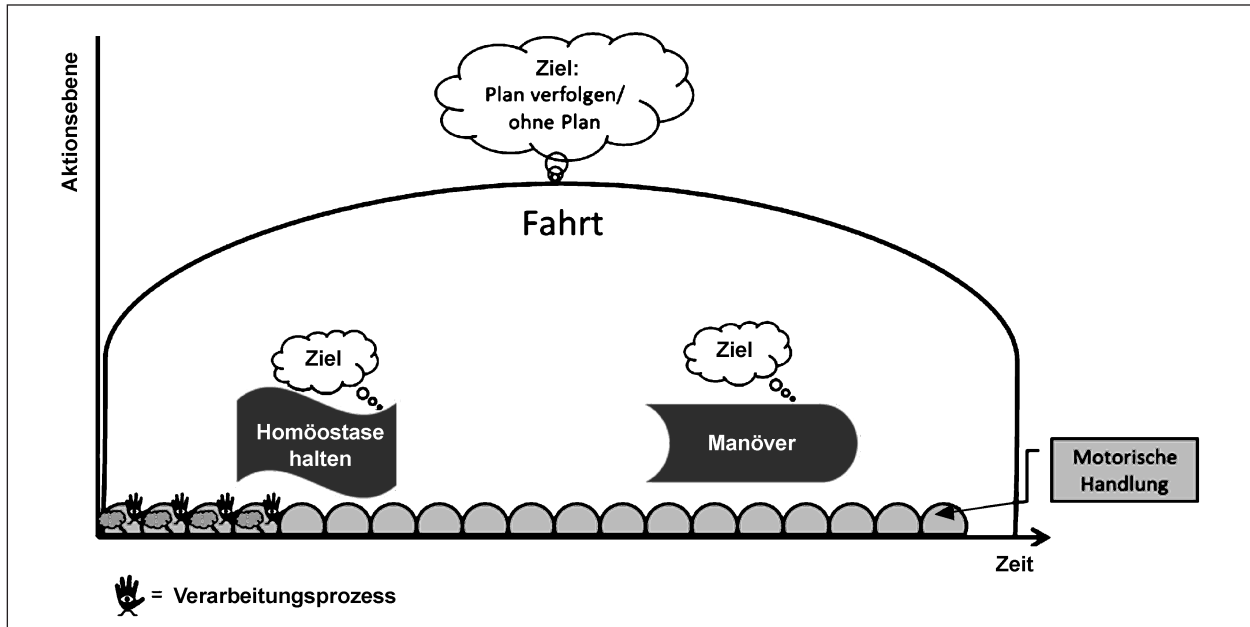


Bild 4: Aktionsebenen der Fahraufgabe im Zeitverlauf

dient als Relationsbasis für die fahraufgabenbezogene Fehlertaxonomie. Neben der primären Fahraufgabe mit den Gliederungsebenen Navigation, Führung und Stabilisierung ergänzten BUBB (2003) und nachfolgend ABLASSMEIER, POITSCHKE, WALLHOFF, BENGLER und RIGOLL (2007) das Modell um Sekundär- und Tertiäraufgaben. Erstere umfassen Operationen, die mit der Fahraufgabe verbunden, jedoch nicht essenziell dafür sind, um „auf der Spur zu bleiben“, wie beispielsweise Blinken und Hupen. Tertiäraufgaben beziehen sich auf die Bedienung von zusätzlichen Komfort-, Kommunikations- und Entertainmenteinrichtungen. Diese wurden in einer früheren Ergänzung durch WETZENSTEIN, KÜTING, ENIGK und HEINBOKEL (1997, in Anlehnung an RUMAR 1993; vgl. auch TIMPE 2001) als Sekundäraufgaben bezeichnet. Sie unterstützen häufig die Erfüllung der Primäraufgaben (vgl. TIMPE 2001), können jedoch auch ungünstig auf die Ressourcenallokation des Fahrers wirken (vgl. z. B. MCCARTT, HELLINGA & BRAITMAN 2006 für einen Überblick zur Mobiltelefonnutzung, TATTERSALL 2000 zu Beanspruchung und Aufgabenallokation, TIJERINA 2001 zur Fahrerablenkung durch Informations- und Kommunikationssysteme).

4 Fahrzeugführung

Die Güte der Fahrzeugführung insgesamt resultiert letztendlich aus der Güte des Informationsverarbeitungsprozesses des Fahrers sowie den techni-

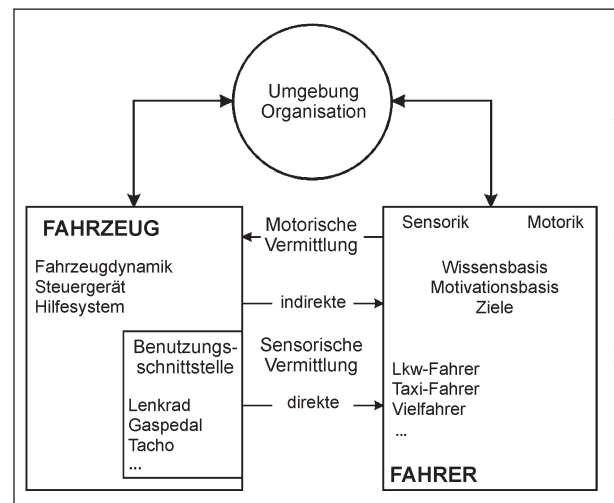


Bild 5: Das Mensch-Maschine-System „Fahrer-Fahrzeug“ aus TIMPE (2001, S. 15)

schen Parametern des Fahrzeuges. TIMPE (2001, Bild 5) beschreibt diesen Gesamtkomplex als Mensch-Maschine-System, welches mit Umwelt (z. B. andere Fahrzeugführer) und Organisation (z. B. Infrastruktur, Verkehrsregeln) in Interaktion steht.

Für die Taxonomiebildung im Projekt wird eine ganzheitliche Betrachtung der Fahraufgabe (vgl. vorhergehendes Kapitel) mit den damit verbundenen Verarbeitungsprozessen angestrebt. Im Rahmen der Theoriebildung zur Resilienz kann es, wie in Kapitel 2.4 gezeigt, durch diese Herangehensweise gelingen, mittels einer modellgeleiteten Fehlertaxonomie die Analyse von Fehlern mit einem

vorausschauenden Fehler- und Sicherheitsmanagement zu verbinden. Im günstigsten Fall wird es dadurch möglich, gezielt Maßnahmen zur Fehlervermeidung abzuleiten.

Fahrermodelle werden nach CHUCHOLOWSKI (2010) vorwiegend bei der Gesamtfahrzeugsimulation und im Rahmen von Fahrzeug- oder Steuergereäteentwicklung eingesetzt. Der Einsatz von Fahrermodellen als Komponente von Fahrerassistenzsystemen nimmt jedoch zu und erfordert menschähnliche Modellierung, also die Abbildung von normalem menschlichem Verhalten, unter Umständen sogar von menschlichen Fehlern. Die Modellierung von Fehlern in typischen Fahrermodellen ist allerdings bislang zumeist auf die Abbildung von Ungenauigkeiten im Regelverhalten beschränkt.

4.1 Personenbezogene Faktoren

Um das Verhalten des Fahrers zu verstehen, ist es unumgänglich, Autofahrer innerhalb ihres sozialen Kontexts zu betrachten (EVENS 1991; PARKER et al. 1995; SHAPELL & WIEGMANN 1997). Eine sinnvolle Sicherheitsforschung für den Straßenverkehr sollte zudem auch die Einstellungen und Überzeugungen der Fahrer berücksichtigen (EVENS 1991). PARKER und Kollegen (1995) fordern Fahrersicherheitstrainings, die die Einstellung des Fahrers fokussieren und nicht ausschließlich eine Verbesserung der Fahrleistung anstreben. Hierbei ist es wichtig, zwischen der Fähigkeit und dem tatsächlichen Verhalten des Fahrers zu unterscheiden: „What is crucial is not how the driver can drive (driver performance), but how the driver does drive“ (EVENS 1991, S. 158). Im Gegensatz zur intuitiven Annahme, erfahrenere Autofahrer seien in weniger Unfälle verwickelt, konnte in mehreren Studien ein gegenteiliges Muster beobachtet werden (PARKER et al. 1995).

Laut EVENS (1991) bilden professionelle Rennfahrer, junge und männlicher Fahrer – also jene Verkehrsteilnehmer, denen die besten motorischen Fähigkeiten und das größte Interesse am Autofahren zugeschrieben wird – die Gruppe der am häufigsten in Verkehrsunfällen verwickelten Personen. Die höheren Unfallraten erfahrener Fahrer können im Übrigen nicht lediglich auf ein höheres Kilometeraufkommen dieser Gruppe zurückgeführt werden (WILIAMS & O'NEILL 1974). Evans zieht für diese Gruppe einen Zusammenhang zwischen hoher Verkehrsunfallrate und einer allgemein höheren In-

volviertheit in Regelverletzungen in Betracht: „[...] people drive as they live“ (EVANS 1991, S. 158). Aktuelle empirische Befunde hierfür ermittelte HOLTE (2012) in einem Vergleich von Lebensstilgruppen in zwei Alterskohorten (17- bis 24-Jährige und 25- bis 37-Jährige): Für den autozentrierten Typ war im Vergleich zu anderen Lebensstiltypen (kicksuchender, kulturinteressierter, häuslicher Typ, Actiontyp, Beauty-Fashion-Typ) der höchste Anteil von Unfallbeteiligten zu verzeichnen, sowie der höchste Anteil von Personen, die im Erhebungszeitraum mindestens einen Punkt im Verkehrszentralregister hatten. Diese Gruppe wies im Vergleich hohe bzw. höchste Ausprägungen verkehrssicherheitsrelevanter Personenmerkmale auf, wie z. B. eine positive Einstellung zur Geschwindigkeit und zu aggressivem Fahrverhalten (ebd.).

Außerhalb dieser Extremgruppen werden jedoch fahrleistungsbezogen beim Getötetenrisiko (siehe HOLTE 2007) wie auch beim Verunglücktenrisiko (siehe HOLTE 2012) die höchsten Werte für die 18- bis 20-Jährigen beobachtet.

Verhaltensbezogen geben verschiedene Institutionen über ihre Websites Tipps für unfallfreies und entspanntes Fahren, Fahreretikette bzw. zu vermeidende Verhaltensweisen während der Fahrzeugführung. Aus einer Vielzahl von Quellen¹ qualitativ zusammengefasst, stellt sich das Bild eines idealen Fahrers wie in Bild 6 dar.

Dabei wird deutlich, dass neben einer ganz allgemeinen geforderten „guten Übersicht“ im Sinne der Aufmerksamkeit vor allem die emotionale Einstellung des Fahrers adressiert ist. Diese Komponente findet jedoch als Mediator im positiven wie im negativen Sinn (Fehlerquelle) in Fehlermodellen kaum Beachtung.

Die Eigenschaften des idealen Fahrers können als allgemeine beitragende Faktoren im Sinne von Fehlervorläufern (Gefährdungen, Lead-Indikatoren) die zu entwickelnde Fehlertaxonomie auf Personenseite anreichern.

¹ <http://www.auto.com>, <http://www.canoe.ca/>; <http://www.lakeforest.edu/>; <http://alohadrivingschool.com/>; <http://phoenix.webfirst.com>; <http://www.aipsnews.com>; <http://www.magicnet.net>; <http://www.drivers.com/article/167/>; <http://www.dot.state.ia.us/roadrage.htm>; <http://www.ohsp.msp.state.mi.us>; <http://www.trafficsafety.org>, <http://kctv5.com>; <http://www.cigna.com>; <http://www.nrma.com.au>; <http://www.caa.ca>; <http://www.unf.edu>; <http://www.gm.com>; <http://www.statefarm.com>

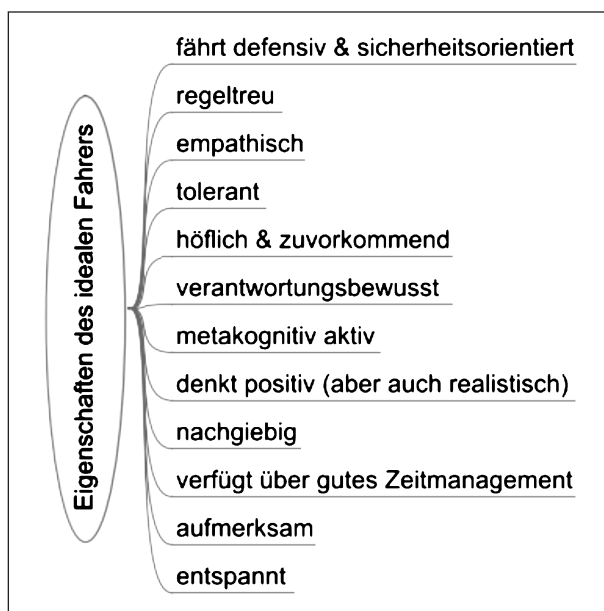


Bild 6: Eigenschaften des „idealen Fahrers“

Da der Mensch beim Autofahren von unterschiedlichsten Faktoren beeinflusst wird, ist es nicht ohne weiteres möglich, kausale Zusammenhänge zwischen allgemeinen Personeneigenschaften und einem erhöhten Unfallrisiko aufzuzeigen. Um das Zustandekommen von Autounfällen zu erklären, wurde eine Vielzahl spezifischer personenbezogener Faktoren untersucht. Im Folgenden werden exemplarisch Forschungsergebnisse zum Zusammenhang von Fahrverhalten, Alter, Geschlecht und Risikowahrnehmung dargestellt.

4.2 Gender und Altersunterschiede

Für die Analyse von geschlechts- oder altersspezifischen Unterschieden von in Autounfälle involvierten Personen ist die Quantifizierung valider Maße entscheidend. Für aussagekräftige Befunde müssen besonders Faktoren wie Fahrpraxis und Fahraufkommen kontrolliert werden. Als ein akzeptables Maß hat sich die Anzahl an Unfällen pro gefahrenem Kilometer (bzw. Meile) herausgestellt.

Die Altersgruppen der jungen (~ 16 bis 29 Jahre) Autofahrer weisen allgemein die höchsten Unfallraten auf, wobei das Unfallrisiko über alle Altersgruppen hinweg häufig einen U-förmigen Verlauf nimmt und ab einem Alter von ~ 65 Jahren wieder steigt (siehe DUKE, GUEST & BOGGESS 2010 für einen aktuellen Literaturüberblick; Eberhard 2008; FERGUSON, TEOH & McCARTT 2007; MASSIE, CAMPBELL & WILLIAMS 1995; WILLIAMS & CARSTEN 1989, LEVY 1988). In Deutschland sind

ältere Menschen im Vergleich bisher noch seltener als andere Altersgruppen an Unfällen beteiligt (Statistisches Bundesamt 2012). Durch diese Unfälle erleiden sie jedoch schwerere Unfallfolgen und sind als Pkw-Fahrer häufig auch die Verursacher. Das weitaus größere Unfallrisiko geht von der Gruppe der jungen Fahrer aus, die verglichen mit anderen Fahrergruppen am häufigsten in Unfälle mit Todesfolge verwickelt sind. Laut Statistischem Bundesamt sind Autounfälle die häufigste Todesursache in der Gruppe der 18- bis 24-Jährigen (Statistisches Bundesamt 2009). Erfreulicherweise ist das bevölkerungsbezogene Risiko, bei einem Verkehrsunfall ums Leben zu kommen, insgesamt in den vergangenen 20 Jahren um zwei Drittel gesunken (Statistisches Bundesamt 2012). Dabei hat sich das Sterberisiko gemessen am jeweiligen Bevölkerungsanteil vor allem für Kinder (-81,3 %), Jugendliche (-70,5 %) und 18- bis 24-jährige Fahranfänger (-71,5 %) überdurchschnittlich verringert (ebd., S. 36). In den Altersgruppen zwischen 25 und 64 Jahren hat sich dieses Risiko um 67 % reduziert. Bei den Senioren (ab 65 Jahre) fiel der Rückgang mit 59,7 % deutlich geringer aus. Im Vergleich ist der Anteil junger Verkehrsteilnehmer bis 24 Jahre an allen Verkehrstoten von 31,4 % im Jahr 1992 auf 22,1 % im Jahr 2012 zurückgegangen, während der Anteil der Senioren von 16,6 % auf 27,6 % anstieg (ebd.).

Das Fahrverhalten in den verschiedenen Altersabschnitten ist durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst. Besonders häufig gehen Alkoholkonsum und die Anwesenheit gleichaltriger Beifahrer (peer group pressure) mit Unfällen von Teenagern einher (WILLIAMS 2003). Mit zunehmendem Alter werden andere Faktoren bedeutsam, so steigt mit dem Alter die Anzahl an Unaufmerksamkeitsfehlern (ÅBERG & RIMMO 1998). Im Einklang hiermit ermittelte TAYLOR (1964) eine negative Korrelation von physiologischer Aktivierung und Fahrerfahrung.

Männer sind im Vergleich zu Frauen häufiger in Unfälle mit tödlichen Folgen pro gefahrener Strecke verwickelt (Statistisches Bundesamt 2010). Das Risiko, in tödliche Unfälle involviert zu sein, ist für Männer 55 % höher als für Frauen (PARKER et al. 1995; MASSIE, CAMPBELL & WILLIAMS 1995). Frauen weisen jedoch eine höhere Beteiligung an der Gesamtzahl an Unfällen auf: Sie haben ein um 26 % höheres Beteiligungsrisiko für Unfälle mit Verletzungen und ein um 16 % höheres Risiko für Unfälle aller Art. Frauen verunglücken häufiger als Beifahrer im Pkw als Männer (Statistisches Bundesamt

2010). Sie tragen als Fahrerinnen seltener die Hauptschuld an einem Unfall als Pkw-Fahrer: Im Vergleich zu 54 % der unfallbeteiligten Frauen waren 57 % der unfallbeteiligten Männer Hauptverursacher eines Unfalls mit Personenschaden (ebd., S. 9). Diese Geschlechterunterschiede zeigen sich am deutlichsten bei jüngeren Fahrern und kehren sich ab einem Alter von 65 Jahren um. PARKER und Kollegen (1995) berichten, dass Männer signifikant häufiger als Frauen angeben, Regelverletzungen zu begehen, wie z. B. das Missachten der Geschwindigkeitsbegrenzung. So war für nicht-angepasste Geschwindigkeit im Erhebungsjahr 2009 auch der größte Unterschied zwischen Männern und Frauen bezogen auf die Unfallursache zu verzeichnen (Statistisches Bundesamt 2010).

4.3 Gefahrenwahrnehmung und Risikoempfinden

Das Thema Risiko wurde vor der Etablierung der Psychologie als Wissenschaft in erster Linie von Mathematikern und Ökonomen untersucht (siehe DORNHÖFER & PANNASCH 2000 für einen Überblick). Hierbei spielten vor allem objektive Aspekte des Risikoverhaltens eine Rolle, wobei hauptsächlich die optimale Entscheidung – nach dem Grundsatz des maximalen Nutzens – in einer Situation mit ungewissem Ausgang im Fokus stand (BERNOULLI 1738). Im Verlauf der Risikoforschung wurde nachfolgend auch auf den subjektiven Aspekten des Verhaltens in Risikosituationen fokussiert, z. B. im Modell der maximalen subjektiven Nutzenerwartung von SAVAGE (1954). So bezeichnet HOYOS (1980) Risiko als subjektive Unfallwahrscheinlichkeit. DORSCH (2004) definiert Risiko als „Kennzeichen einer Situation, die durch mangelhafte Voraussehbarkeit des Kommenden mögliche Schäden, Verluste und dergleichen in Aussicht stellt“. Allgemein verbreitet ist ebenfalls die Definition, dass Risiko die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein besonders nachteiliges Ereignis während einer bestimmten Zeitspanne auftritt, d. h. die Eintrittswahrscheinlichkeit mit dem Schadensausmaß gemeinsam betrachtet wird (z. B. BREAKWELL 2007). Psychologische Modelle zum Risikoverhalten in Straßenverkehrssituationen beschäftigen sich, jeweils mit unterschiedlichem Blickwinkel, mit der Beziehung zwischen objektivem und subjektivem Risiko (z. B. HOYOS 1980, MICHON 1985).

In Untersuchungen zu dieser Beziehung zwischen objektivem und subjektivem Risiko erfasste

TAYLOR (1964) die physiologische Aktivierung (arousal) von Autofahrern über die elektrodermale Aktivität (EDA). Die EDA reflektiert die elektrische Leitfähigkeit der Haut in Abhängigkeit von der Schweißproduktion. Da diese vom sympathischen Nervensystem kontrolliert wird, kann das psychophysiologische Maß als Indikator für physiologische und psychologische Aktivierung verstanden werden. Für bestimmte Straßenabschnitte fand TAYLOR eine Korrelation der EDA mit der für diesen Streckenabschnitt ermittelten Unfallwahrscheinlichkeit und eine inverse Beziehung zur gefahrenen Geschwindigkeit. Daraus leitete er ab, dass Autofahrer eine kontinuierliche Bewertung des subjektiven Risikos und der Straßenverhältnisse vornehmen, dabei ein konstantes Angstlevel anstreben und entsprechend ihre Geschwindigkeit anpassen. Die EDA würde hierfür vom Autofahrer indirekt als eine Art Feedback genutzt, welches über persönliche Schwellenwerte das Fahrverhalten reguliert. Auch wenn die Studie von TAYLOR bezüglich des methodischen Ansatzes, besonders aufgrund seiner Gleichsetzung von Aktivierung und wahrgenommenem Risiko, vielfach kritisiert wurde, griffen andere Forscher den Gedanken des Regulationsansatzes, wenn auch differenzierter, auf.

Eine der populärsten Theorien zur Rolle des menschlichen Verhaltens beim Autofahren von WILDE (1982) weist Parallelen zur Herangehensweise von TAYLOR auf. Seine Überlegungen zur Risikohomöostase folgen dem Ansatz, dass Autofahrer während der Fahraufgabe kontinuierlich durch einen kontrollierten Selbstregulationsprozess Homöostase anstreben. Der Abgleich des wahrgenommenen Risikos und des gewünschten Risikolevels bestimmt demnach das jeweilige Fahrverhalten.

SUMMALA (1996) gibt zu bedenken, dass Fahrersicherheit nicht primär mit der Fähigkeit und Erfahrung des Fahrers erklärt werden kann, da Autofahrer mitunter andere motivationale Ziele verfolgen als das alleinige Ziel der Sicherheit. Im Modell von NÄÄTÄNEN und SUMMALA (1974) wird Autofahren als dynamischer Prozess mit einem bestimmten Wertebereich der wahrgenommenen Sicherheit beschrieben. Das tatsächliche oder empfundene individuelle Risiko beeinflusst das Fahrverhalten dann, wenn ein subjektiver Risikoschwellwert überschritten wird. Ein wichtiger Aspekt dieses Modells ist, dass die Schwellen einen adaptiven Charakter besitzen. Fahrer sammeln mit der Zeit Erfahrungen und passen ihr Sicherheitsempfin-

den und den jeweiligen kritischen Risikoschwellwert an. Auch von SUMMALA (1996) wird betont, dass ein adäquater Risikoabgleich weit wichtiger für einen unfallfreien Ausgang kritischer Verkehrssituationen ist als das jeweilige Fertigungslevel des Fahrers.

Nach FULLER (2005) kann der Term Risiko dreigeteilt interpretiert werden: objektives, subjektives und gefühltes Risiko. Objektives Risiko (oder statistisches Risiko) bildet die Wahrscheinlichkeit ab, in einen Unfall verwickelt zu werden. Das statistische Risiko hängt u. a. von der Nutzungshäufigkeit und -dauer ab, sowie von der vorhandenen Infrastruktur (z. B. VORNDRAN 2010). Zur Risikoeinschätzung kann beispielsweise ein Chancenverhältnis (Odds Ratio) berechnet werden, bei dem in Abhängigkeit eines bestimmten Merkmals die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses gegen die Wahrscheinlichkeit des Nicht-Eintretens dieses Ereignisses ins Verhältnis gesetzt wird (z. B. DINGUS et al. 2006). Ein Verhältnis von 1 bedeutet dann, dass die Chancen gleich hoch sind, unabhängig davon, ob ein bestimmtes Merkmal vorliegt oder nicht. Ein Verhältnis von > 1 hingegen bedeutet, dass die Chancen des Eintretens bei Vorliegen eines bestimmten Merkmals höher sind, als wenn dieses Merkmal nicht vorliegt. Das subjektive Risiko beschreibt nach FULLER (2005) die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Fahrers, in einen Unfall verwickelt zu sein. Das gefühlte Risiko bezieht sich auf die emotionale Bewertung der Bedrohlichkeit einer Situation durch den Fahrer. FULLER geht von ähnlichen Homöostasemechanismen aus, nennt als den entscheidenden Faktor der Entscheidungsfindung jedoch die eingeschätzte Schwierigkeit, nicht das wahrgenommene Risiko, der Fahraufgabe. Sein Modell beschreibt die Entscheidungen, die während des Fahrens getroffen werden, als Abgleich der Ziele der Fortbewegung und der Vermeidung von Unfällen. Auf intrapersoneller Ebene handelt es sich hierbei um eine dynamische Interaktion der Fähigkeiten des Fahrers und der Anforderungen der Fahraufgabe. Aus diesem Zusammenspiel beider Faktoren ergeben sich unterschiedliche Aufgabenschwierigkeiten. Der Fahrer versucht, kontinuierlich die Aufgabenschwierigkeit in den von ihm gewählten Grenzen zu halten.

4.4 Fehlertaxonomien für die Fahraufgabe

Fehlertaxonomien für die Fahraufgabe sind häufig modellgestützt und werden basierend auf bereits

etablierten Fehlerklassifikationen wie beispielsweise REASONS (1990) handlungsorientiertem Taxonomieansatz auf die Fahraufgabe übertragen. Auch hier lassen sich damit handlungsorientierte von verarbeitungsbezogenen Taxonomien unterscheiden. Neue Fehlertaxonomien, wie beispielsweise von STANTON und SALMON (2009), detaillieren zudem Fehler in der Handlungsausführung mittels aufgabenbezogener Fehlerklassifikationen (omission und commission → versäumtes oder zeitlich unpassendes Handeln). Des Weiteren werden zum Unfallgeschehen beisteuernde Faktoren (Bedingungen, CPCs) referiert, die in die Sammlung von Lead-Indikatoren für die zu entwickelnde Fehlertaxonomie aufgenommen werden können.

4.4.1 Handlungsorientierte Fehlertaxonomien

REASONS (1990) in Kapitel 2.2 beschriebene Unterscheidung von Fehlern (Patzer, Schnitzer und wissensbasierte Fehler) und Regelverletzungen wurde von PARKER, REASON, MANSTEAD und STRADLING (1995) auf Fahrfehler übertragen. Die Autoren werteten Selbstauskunftsfragebögen zum Fahrverhalten (DBQ – Driver Behavior Questionnaire) von 520 Autofahrern aus. Die Studie konnte REASONS dreifaktorielle Struktur bestätigen. Die fähigkeitsbasierten Patzer und Schnitzer treten beim Autofahren z. B. als falsch gewählte Abfahrten oder Schaltfehler auf und stellen in der Regel kein Risiko für andere Straßenteilnehmer dar. Regelbasierte Fehler sowie wissensbasierte Fehler zeigen sich in Form von fehlerhaften Beobachtungen und Fehleinschätzungen, wie z. B. falsch eingeschätzte Abstände oder übersehene Straßenschilder, und bergen ein größeres potenzielles Risiko in sich. Von der Kategorie der Verletzungen interessieren primär Regelverstöße, bei denen bewusst gegen Verkehrsvorschriften verstoßen wird, jedoch kein negativer Ausgang der Handlung intendiert wird. Hierzu gehören z. B. zu schnelles Fahren oder das Missachten der Straßenverkehrsordnung. Beispielsitems und die von den Autoren assoziierten Fehlertypen (in deutscher Übersetzung) können Tabelle 2 entnommen werden. Laut Selbstauskunft bekannten sich Autofahrer am häufigsten dazu, Geschwindigkeitsbegrenzungen zu überschreiten – ein Vergehen, das zu den Regelverletzungen ohne böswilliges Motiv gezählt wird. Nicht angepasste Geschwindigkeit war über viele Jahre Hauptursache für Unfälle in Deutschland und wurde erst 2012 mit einem Anteil von 14 % von Fehlverhalten beim Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahren, Ein- und Anfah-

Item	Typ
Versuchtes Anfahren an der Ampel im dritten Gang	Patzer
Vergessen, wo das Auto geparkt wurde	Patzer
Übersehen von Fußgänger beim Abbiegen in eine Seitenstraße	Fehler
Unterschätzung der Geschwindigkeit von herankommenden Fahrzeugen beim Überholen	Fehler
Missachten der Geschwindigkeitsbegrenzung am frühen Morgen oder späten Abend	Verletzung
Teilnahme an inoffiziellen Rennen mit anderen Autofahrern	Verletzung

Tab. 2: Beispielimens des DBQ (nach PARKER et al. 1995)

ren mit einem Anteil von 15,8 % und der Missachtung der Vorfahrt beziehungsweise des Vorranges anderer Fahrzeuge (14,8 %) abgelöst (Statistisches Bundesamt 2013, S. 15).

ÅBERG und RIMMO (1998) erweiterten den von REASON et al. (1980) entwickelten Driver Behavior Questionnaire (DBQ) und präsentierten als Resultat ihrer Analyse von 1.400 Befragungen eine vierfaktorielle Struktur von Fahrfehlern. Wie bei REASON et al. (1980) bestätigten sich die Klassen der Regelverletzungen und regel- bzw. wissensbasierter Fehler, wobei die Klasse der Verletzungen den größten Varianzanteil aufklärte. Die Klasse der Patzer und Schnitzer zeigte sich in ihren Daten jedoch zweigeteilt in Fehler aus Unaufmerksamkeit und Fehler aus Unerfahrenheit. Besonders dem Faktor Unaufmerksamkeit schreiben die Autoren große Bedeutung zu, da sich hierfür eine steigende Tendenz mit fortschreitendem Alter zeigte.

SHAPELL und WIEGMANN (1997) postulieren eine Taxonomie der unsicheren Handlungen mit dem Ziel, den theoretischen Rahmen für eine sinnvolle Erhebung statistischer Unfalldaten zu liefern. Sie adressieren damit das Problem, dass die übliche statistische Berichterstattung von Autounfällen meist technisch bzw. materialistisch ausgelegt ist und wenig Aufschluss über menschliche Unfallursachen liefert. Auch dieses Forscherduo betont, dass Unfälle meist nicht allein auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen sind. Übertragen auf das SHEL-Modell (Software Hardware Environmental Conditions Liveware) von EDWARDS (1988, zitiert nach SHAPELL & WIEGMANN 1997) entstehen Unfälle, wenn eine der Komponenten Fehler produziert oder die Kommunikation der einzelnen Komponenten fehlerhaft ist. Mit ihrer Taxonomie bezie-

hen sich SHAPELL und WIEGMANN (1997) auf die „Liveware“-Komponente, demnach den „Faktor Mensch“ des Shell Modells und auf die „Domino“-Theorie von BIRD (1974, zitiert nach SHAPELL & WIEGMANN 1997). Letztere besagt, dass Unfälle aus unterschiedlichen Sequenzen bestehen. Sie ereignen sich laut SHAPELLs und WIEGMANNs (1997) Taxonomie als Kette von

- a. unsicherer Supervision (z. B. inadäquates Design, fehlgeplante Handlungen),
- b. unsicheren Bedingungen (z. B. ungünstige mentale Verfassung, Fehleinschätzungen) oder
- c. unsicheren Handlungen (Patzer, Schnitzer, Fehler und Verletzungen).

4.4.2 Verarbeitungsbezogene Fehlertaxonomien

STAUBACH (2009) überträgt das Fehlerklassifikationsmodell der menschlichen Informationsverarbeitung von HACKER (1998) auf den Kontext Autofahren. In diesem Modell werden drei Fahrfehlerkategorien unterschieden: Die erste Kategorie bilden Fehler, die aufgrund eines objektiven Mangels an Informationen entstehen, z. B. in Form von Sichtbehinderungen durch andere Gebäude, Fahrzeuge oder durch die Witterung. Eine weitere Gruppe bilden die Fehler, die durch eine Unfähigkeit, Informationen zu nutzen, hervorgerufen werden. Hierzu zählt unter anderem das Unterlassen von Handlungen, z. B. vergessen zu blinken oder müdigkeitsbedingte Unaufmerksamkeit. Die dritte Klasse resultiert aus dem fehlerhaften Gebrauch von Informationen, hierzu gehören z. B. Orientierungsfehler oder Fehleinschätzungen (z. B. des Abstands oder der Geschwindigkeit).

Laut Abschlussbericht des Arizona Department of Transportation zur Verhinderung von Fahrfehlern (2004) können Fahrfehler in Wahrnehmungsfehler, Entscheidungsfehler und Verhaltensfehler unterteilt werden. Beeinflusst werden diese durch persönliche Faktoren wie z. B. Fahrerfahrung, Müdigkeit, Drogenkonsum, gesundheitliche und körperliche Faktoren. Zusätzlich wird das Fahrverhalten bzw. das Risikoerleben von der wahrgenommenen Sicherheit der Situation durch externe Faktoren wie Straßengegebenheiten und Vertrautheit mit dem Fahrzeug beeinflusst. Wie von REASON (1990) für menschliche Fehler allgemein formuliert, erscheint auch bezogen auf die Fahraufgabe eine Trennung

Zugrunde liegende psychologische Mechanismen	Externaler Fehlermodus	Beispiel
Handlungsfehler		
Handlungsausführung	Versäumtes Handeln	Versäumter Blick in den Rückspiegel
	Falsches Handeln	Verwechseln von Gas & Bremse
	Zeitlich unpassendes Handeln	Zu frühes/spätes Bremsen
	Übertriebenes Handeln	Zu starkes Bremsen
	Zu geringes Handeln	Zu geringes Bremsen
	Unvollständiges Handeln	Ungenügendes Lenken
	Richtig Handeln – falsches Objekt	Verwechseln von Gas & Bremse
Handlungsausführung, -planung & Unaufmerksamkeit	Ungeeignete Handlungen	Zu dichtes Auffahren, riskantes Überholen
Kognitive Fehler & Fehler der Entscheidungsfindung		
Wahrnehmungsfehler	Erkennensfehler	Übersehen von Fußgänger
	Fehlerhafte Annahmen	Fälschliche Annahme ein Fahrzeug biegt nicht in den Weg ein
	Unaufmerksamkeit	Beim Bremsen fast das voranfahrende Fahrzeug anfahren
	Ablenkung	Ablenkung durch eine Nebenaufgabe, z. B. Mobiltelefon
	„Looked but failed to see“	Nach vorne schauen, aber Fußgänger übersehen
Situationsbewertung	Fehleinschätzungen	Fehleinschätzung der Geschwindigkeit
Beobachtungsfehler		
Erinnerungen & Abruf	Fehler bei der Wahrnehmung	Verfehlte Beobachtung des Bereichs vor dem Fahrzeug
Erinnerungen	Unvollständige Wahrnehmung	Verfehlte Beachtung des Innenspiegels beim Fahrbahnwechsel
Situationsbewertung	Richtige Wahrnehmung eines falschen Objekts	Verfehlte Beachtung des angemessenen Bereichs
Fehler beim Informationsabruf		
Situationsbewertung	Fehlgedeutete Informationen	Fehlgedeutete Straßenschilder
Situationsbewertung	Falsch verstandene Informationen	Richtig wahrgenommene aber falsch interpretierte Informationen
Situationsbewertung	Unvollständig aufgenommene Informationen	Nur teilweise Aufnahme bedeutsamer Informationen
Situationsbewertung	Falsch aufgenommene Informationen	Fehlgedeutete Straßenschilder
Verletzungen		
Handlungsausführung, -planung & Unaufmerksamkeit	Vorsätzliche Verletzungen	Bewusstes zu schnell Fahren, rechts Überholen
Handlungsausführung	Unbeabsichtigte Verletzungen	Unbewusstes zuschnellfahren

Tab. 3: Fahrfehlern zugrunde liegende psychologische Mechanismen (übersetzt aus STANTON & SALMON 2009)

von Fehlern und Ursachen nicht zielführend. Vielmehr handelt es sich um latente Bedingungen multifaktorieller Systeme. STANTON und SALMON

(2009) liefern hierfür eine generische Taxonomie mit den zugrunde liegenden psychologischen Mechanismen (Tabelle 3).

4.4.3 Besteuernde Faktoren

Neben dem Fahrverhalten beeinflussen externe Faktoren und Trainingseffekte das Zustandekommen von Fehlern (PEDEN, SCURFIELD, SLEET,

MOHAN & HYDER 2004 für die WHO). Eine allgemeine Auflistung internaler und externaler Unfallfaktoren von WIERWILLE (2002) sowie die Gruppen kausaler Faktoren für Fahrfehler sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Verfassung des Fahrers		
Physiologisch	Mental/Emotional	Erfahrung & Beanspruchung
<ul style="list-style-type: none"> • Drogeneinfluss • eingeschränkte Sehfähigkeit • kritisches fehlerhaftes Handeln 	<ul style="list-style-type: none"> • Emotionale Belastung/Stress • Anstrengung & Belastung • Eile 	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrerfahrung • Vertrautheit mit dem Fahrzeug • Straßenkenntnisse • Monotonie der Fahraufgabe in bekannten Umgebungen
Unmittelbar menschliche Ursachen		
Wahrnehmungsfehler	Fehlentscheidungen	Fehlerhaftes Handeln
<ul style="list-style-type: none"> • Erkennensfehler • Mangelnde Aufmerksamkeit • Ablenkung → intern • Ablenkung → extern • Eingeschränktes Sehfeld • verzögerte Wahrnehmung aufgrund anderer Ursachen 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehleinschätzungen • falsche Annahmen • Manöver/Fahrtechnik • zu defensives Fahren • Geschwindigkeit • Abstandsregulierung • exzessives Bremsen & Beschleunigen • Fußgänger im Straßenverkehr 	<ul style="list-style-type: none"> • Panik und Erstarren • inadäquate Richtungswechsel
Umgebungsfaktoren		
Wahrnehmungsfehler	Umgebungsbedingungen	
Kontrollbehinderungen	Straßenglätte	
inadäquate Beschilderung	spezifische Gefahren	
Sichtbehinderungen	umgebungsbedingte Sichtbehinderungen	
Designprobleme	plötzliche Wetterwechsel	
Instandhaltungsprobleme		
Fahrzeugfaktoren		
Probleme mit Reifen oder Rädern	verdeckte Sicht	
defekte Bremsen	Probleme mit der Beleuchtung	
Motorproblem	totaler Lenkausfall	
Kausale Faktoren für Fahrfehler		
	Gruppe der Kausalfaktoren	
Infrastruktur der Straße	Straßenlayout, Ausstattung der Straße, Straßeninstandhaltung, Verkehrsregeln, Richtlinien und Regulationen	
Fahrzeug	Mensch-Maschine-Schnittstelle, Mechanik, Leistung, ungeeignete Technologie, Nutzung	
Fahrer	physiologische Verfassung, mentale Verfassung, Training und Erfahrung, Wissen, Fertigkeiten, Einstellung, Kontext, fehlende Compliance	
Andere Verkehrsteilnehmer	Verhalten anderer Fahrer, Einfluss Beifahrer, Verhalten von Fußgängern, Ordnungskräfte	
Umweltfaktoren	Witterungsverhältnisse, Lichtbedingungen, Tageszeit, Verhältnisse der Straßenoberfläche	

Tab. 4: Fahrfehler, zum Unfallgeschehen besteuernde Faktoren und Kausalfaktoren (teils nach WIERWILLE, übersetzt aus STANTON & SALMON 2009)

Eine spezifische Klasse von Wahrnehmungsfehlern, die in mehreren Untersuchungen hervorgehoben wurden (z. B. BROWN 1990; KOUSTANAI, BOLOIX, ELSLANDE & BASTIEN 2008), bilden die „Looked but failed to see“-Fehler. Hierbei handelt es sich um Wahrnehmungsfehler, bei welchen Autofahrer berichten, dass sie etwas übersehen haben, obwohl es deutlich in ihrem Sichtbereich lag. Laut Untersuchungen von TREAT et al. (1979, in STANTON & SALMON 2009) tragen solche Erkennensfehler, die sich als Wahrnehmungsfehler und Interpretationsfehler äußern, zu 56 % aller Unfälle bei. 52 % aller Unfälle werden durch Entscheidungsfehler (Fehleinschätzungen, unangemessene Manöver, exzessives Beschleunigen) begründet. Fehler der Fahrleistung (Panik oder Überkompensation) tragen zu 11 % aller Unfälle bei. HERSLUND und JORGENSEN (2002) berichten, dass diese Art von Fehlern besonders häufig von erfahrenen Autofahrern gemacht wird. Die visuellen Suchstrategien verändern sich mit wachsender Fahrerfahrung: Basierend auf ihren Erfahrungswerten wenden erfahrene Fahrer weniger Zeit für die visuelle Suche auf.

GSTALTER und FASTENMEIER (2010) legen für die Bestimmung der Zuverlässigkeit menschlichen Fahrens eine modellbasierte Taxonomie von Fahraufgaben zu Grunde und bestimmen in empirischen Untersuchungen jeweils die Ausfallhäufigkeiten und schließen auf die Gesamtzuverlässigkeit. Die Fehleranalyse ist jedoch überwiegend an Oberflächenmerkmalen der Aufgabenbewältigung orientiert. Folgerungen für Gestaltung von Infrastruktur und Assistenzsystemen werden aus statistischen Fehlerhäufigkeiten abgeleitet.

4.5 Fehleranalyse in der Fahrzeugführung

Es ist davon auszugehen, dass der Großteil aller Fehlhandlungen während des Fahrens korrigiert wird, wobei diese Handlungen dann natürlich nicht in die üblichen Unfallstatistiken aufgenommen werden (vgl. BROWN 1990). Unfallstatistiken registrieren, und auch das nicht vollständig, Verkehrsvorfälle mit Verletzungsfolgen oder Sachschäden. BROWN (1990) fordert daher eine Trennung der Fehlerproduktion während der Fahraufgabe (und beeinflusst von Umweltfaktoren) einerseits und der Fehlerkorrektur andererseits. Für ein besseres Verständnis der Entstehung von Verkehrsunfällen empfiehlt der Autor, in Feldstudien gezielt die Ent-

stehung und Korrektur von Fehlern – unabhängig von den Folgen – systematisch zu untersuchen.

Laut GIDAS-Datenbank (GIDAS = German In-Depth Accident Study), einer von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) seit 1973 geführten Datenbank, in der Verkehrsunfälle vertieft untersucht werden, sind 93,5 % der Unfallursachen auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen. Diese Aussage ist insoweit nicht hilfreich, als dass in der Definition von Fehlern, wie oben bereits erwähnt, Intentionalität vorausgesetzt wird, ein Attribut, das den beteiligten Akteuren, aber schwerlich der Technik oder den Umgebungsbedingungen zugeschrieben werden kann. Um Unfälle zukünftig reduzieren zu können, reicht es also nicht, menschliches Fehlverhalten zu konstatieren. Gegenmaßnahmen können erst dann definiert werden, wenn die Ursachen oder Gründe menschlicher Fehler verstanden sind.

Hierfür wird eine Klassifikation von Fehlern bei der Fahraufgabe benötigt, die auch die zugrunde liegenden Ursachen berücksichtigt. Es erscheint sinnvoll, Fehler die während des Fahrens passieren, abstrahiert von möglichen Unfällen zu definieren. Besonders im Straßenverkehr hängen Fehler und kritische Situationen überwiegend von multifaktoriellen Unfallursachen ab. Da somit Fehler nicht kausal mit negativen Folgen in Verbindung gebracht werden können, sollten sie nicht über den negativen Ausgang einer Situation klassifiziert werden (BROWN 1990). Für die sinnvolle Gestaltung von Unfallpräventionen müssen kritische Situationen per se als potenzielle Fehler- und Unfallursache bedacht werden. Daraus ergibt sich eine zweigeteilte Analyse der Fahrfehleranalyse, die zum einen die Fehler des Fahrers aufzeigt und zum anderen Faktoren ermittelt, die unabhängig vom Fahrer (z. B. Umweltfaktoren, Technik) zu Unfällen beitragen.

Bei der Unfallanalyse werden die Ursachen menschlicher Fehler jedoch meist nicht ergründet. Vielfach findet eine eher juristische Beurteilung statt, welcher Fahrer gegen welchen Paragraphen der Straßenverkehrsordnung (StVO) verstoßen hat (GRÜNDL 2005). Viele Studien zu Verkehrsunfällen erfassen lediglich allgemeine Informationen wie die Tageszeit, Wetterbedingungen, Typ und Alter der beteiligten Fahrzeuge, Angaben über Verletzungen und Beschädigungen (mit dem Verletzungsgrad, Todesangaben und geschätzter Unfallschaden), Alter und offensichtlichen Zustand der

Fahrer. Angaben über Ursachen oder Fehler der Fahrer basieren meist lediglich auf Annahmen – eine differenzierte Fehleranalyse ist nicht vorhanden.

Zahlreiche Untersuchungen analysieren vorliegende Polizeiberichte über Unfälle zum Teil unter Auswertung sehr hoher Fallzahlen. Polizeiberichte sind jedoch aus methodischen und juristischen Gründen nur sehr eingeschränkt dazu geeignet, die Ursachen menschlichen Fehlerverhaltens aufzudecken, da die dafür notwendigen Informationen nur in Ausnahmefällen enthalten sind.

Psychologische Untersuchungen zur Entstehung von Verkehrsunfällen wurden beispielsweise von UNDEUTSCH (1962) und darauf aufbauend BÖHM et al. (1965) durchgeführt. UNDEUTSCH unterscheidet zwischen Hauptursachen und Mitursachen; BÖHM und Kollegen bezeichnen diese zweite Kategorie als Hintergrundbedingungen. BEIERLE (1995) erfragte in Interviews mit unfallbeteiligten Lkw-Fahrern situative Faktoren (Ablenkungen, Nebentätigkeiten) und allgemeine beitragende Faktoren (z. B. Schulabschluss, Ausbildung, grundsätzliche Arbeitsbedingungen, generelle Belastung bei der Arbeit, Besonderheiten der Arbeitsorganisation bei den Beschäftigungsbetrieben, Einstellungen zu bestimmten Aspekten ihrer Arbeit/ihres Betriebs, Betriebsklima). SALUSJÄRVI (1989) verwendete zur psychologischen Analyse von Fehlerursachen

ein Fehlerkategorisierungsschema, das auf einem einfachen Informationsfluss-Modell basiert. Je nachdem, an welcher Stelle im Informationsfluss eine Störung auftrat, unterschied er zwischen mechanischem Filter, Wahrnehmungsfiter und kognitivem Filter.

Den Zusammenhang von Fehlerursachen und Unfallgeschehen versuchte GRÜNDL (2005) zu untersuchen. Er analysierte 312 schwere Unfälle und führte mit den Beteiligten ausführliche Interviews zum Unfallhergang durch. Das so rekonstruierte Verhalten in den letzten Sekunden vor dem Unfall wurde anhand der Fehlermodelle von RASMUSSEN (1983) und REASON (1990) klassifiziert. Nach der Klassifikation nach RASMUSSEN wurden vorwiegend Informationsfehler begangen (77 % aller Unfälle), d. h. der Fahrer hatte eine Information zu spät oder gar nicht wahrgenommen. Diese grobe Kategorie beinhaltete Fehler unterschiedlichster Art, darunter Wahrnehmungsfehler sowie verschiedene Arten von Ablenkungen. Gut ein Drittel der befragten Fahrer beging einen oder mehrere Verstöße (35,4 %). Die häufigsten Verstöße bei den untersuchten Unfällen waren eine zu hohe Geschwindigkeit (46,5 %), ein zu geringer Sicherheitsabstand (15,7 %) und alkoholisiertes Fahren (14,5 %). GRÜNDL (2005) schlägt vor, das Modell der gefährdenden Verhaltensweisen (unsafe acts) von REASON (1990) für die Anwendung im Bereich des Straßenverkehrs um den Aspekt der gefährdenden Routine zu erweitern, um gewohnheitsmäßige Routineverstöße gegen intentional begangene Ausnahmeverstöße abzugrenzen.

VOLLRATH (2010) entwickelte aus einer In-Depth-Unfallanalyse mit einer Basis von 4.257 Unfallprotokollen ein aufgabenorientiertes Fahrermodell (Bild 7), das die Fehler verschiedenen Aufgaben beim sicheren Fahren zuordnet. Die Unfälle wurden nach ähnlichen Fehlhandlungen gruppiert, wobei vier globale Unfallgruppen identifiziert wurden:

- Auffahrunfälle im Längsverkehr, beim Abbiegen und mit ruhendem Verkehr, häufig aufgrund vernachlässigter Abstandshaltung auf der Regelungsebene,
- der Fahrnfall, vor allem aufgrund inadäquater Geschwindigkeitsanpassung,
- Spurhalteunfälle auf der Regelungsebene mit einem zu späten Bemerkens des Abkommens von der Idealspur,

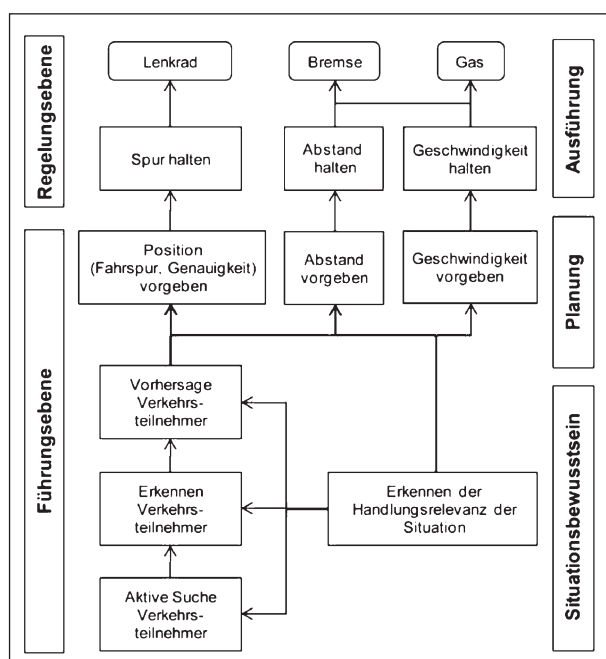


Bild 7: Aufgabenorientiertes Fahrermodell aus VOLLRATH (2010, S. 32)

- Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern in komplexen Situationen bei niedrigeren Geschwindigkeiten, wobei das Erkennen der anderen Verkehrsteilnehmer fehlerhaft war (beim Einbiegen und Kreuzen, Abbiegen, Ausparken, Rangieren beim Parken, Wenden Rückwärtsfahren).

Die Fehlanpassung von Abstand und Geschwindigkeit an die Situation spielte bei 32 % der schweren Unfälle eine wesentliche Rolle. Unaufmerksamkeit war dabei mit 77 % Hauptursache für die Vernachlässigung eines ausreichenden Abstandes.

Eine Erweiterung der Analysebasis um unfallfreies Fahrverhalten und Situationen mit Ereignissen, die gerade noch nicht zu einem Unfall führten (incidents), wird durch Naturalistic Driving Studies (NDS) erwartet, die seit einigen Jahren durch verschiedene Organisationen vorwiegend in Europa und den USA durchgeführt werden. Eine Naturalistic Driving Study² untersucht normales Fahren unter Realbedingungen, um das Fahrverhalten insgesamt sicherer zu machen. Die bisher gesammelten Daten dieser Studien mündeten u. a. in umfangreichen Klassifikationen von Fahrerablenkungsursachen durch diverse Nebenaufgaben (z. B. KLAUER, DINGUS, NEALE, SUDWEEKS & RAMSEY 2006). Dahingegen sind Field Operational Tests³ (FOT) große Untersuchungsprogramme, die sich mit einer umfassenden Bewertung der Effizienz, Qualität, Robustheit und Akzeptanz von Fahrerassistenz- und Informationssystemen beschäftigen (FESTA-Handbook 2008). Beide Arten der Datenerhebung haben im hier berichteten Projekt zur Erstellung und Validierung der Fehler-taxonomie beigetragen.

4.6 Zusammenfassung der Literaturanalyse

Die bisher erstellten Fehlertaxonomien zur Fahrzeugführung wurden theoriegeleitet entweder auf handlungstheoretische Modelle gestützt (z. B. auf REASON (1990) oder entlang des Informationsverarbeitungsprozesses strukturiert (z. B. bezogen auf HACKER (1998). In der Taxonomie von STANTON

und SALMON (2009) findet sich zudem der Ansatz, auch fehlerbeeinflussende Bedingungen zu systematisieren. Mit einem anderen Fokus schafft VOLLRATH (2010) eine Zuordnung von in Unfallberichten erfassten Fehlern zu den Ebenen der Fahraufgabe. Im hier berichteten Projekt wurden diese kognitionspsychologischen Ansätze aufgegriffen und über den Bezug zu CREAM (HOLLNAGEL 1998) zusammengeführt und erweitert. Dieser Ansatz wurde gewählt, um im Sinne eines fehlerfreien Systems (vgl. Kapitel 2.4) auch robustes unfallvermeidendes Fahrverhalten in der Taxonomieentwicklung zu berücksichtigen. In Einklang hierzu spielen Beinaheunfälle, also durch Fahrverhalten verhinderte Unfälle, eine entscheidende Rolle in der Analyse von Naturalistic Driving Studies und Field Operational Tests, auf welche im Kapitel 5 ausführlich eingegangen wird.

CREAM leitete sowohl als Konzept als auch als Vorgehensmodell den weiteren Projekthergang: Zum einen wurde eine Verbindung zwischen normalem und fehlerhaftem Fahrverhalten, den beeinflussenden Bedingungen und einer Vorhersage der Zuverlässigkeit des Mensch-Maschine-Systems Fahrer-Fahrzeug-Umwelt hergestellt. Hier war das Ziel, die Common Performance Conditions bezogen auf die Fahraufgabe so darzustellen, dass geeignete Lead-Indikatoren abgeleitet werden konnten, d. h. Indikatoren, die sich zur Vorhersage der Systemzuverlässigkeit eignen, ohne dass tatsächlich ein Unfall Resultat des fehlerhaften Fahrverhaltens ist. Zum anderen bot CREAM ein Vorgehensmodell für das Projekt über die Bestimmungsstücke Ziel, Einflussmöglichkeiten, Prozessmodell, Gefährdungen und Messung. Hierbei bildet die zu erarbeitende Taxonomie das Prozessmodell, also die Beschreibung der Entstehung fehlerfreien und fehlerhaften Verhaltens. Außerdem wurde Bezug zur Fahraufgabe und der damit verbundenen Informationsverarbeitung genommen. Damit wurde auch den Anforderungen GSTALTERs und FASTENMEIERs (2010) für die Vorhersage menschlicher Zuverlässigkeit im Straßenverkehr Rechnung getragen. Hierfür bildete das im Projekt entwickelte Modell der Fahraufgabe eine Ausgangsbasis. Mit der Identifikation der CPCs wurden die auf die Fahraufgabe bezogenen Gefährdungen, also die fehlerbegünstigenden Bedingungen, aufgeschlüsselt. Die Ableitung der Leadindikatoren für den Fahrkontext ermöglichte die Einschätzung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems, wobei exemplarisch eine Prüfung der Vorhersagevalidität ausge-

² <http://wiki.fot-net.eu/index.php?title=SHRP2>

³ http://wiki.fot-net.eu/index.php?title=What_are_Field_Operational_Tests_%3F

wählter Indikatoren über die Simulatorstudie durchgeführt wurde. Kapitel 5 widmet sich entsprechend der Modellentwicklung. Im Anschluss daran wird über die Simulatorstudie berichtet.

5 Modellentwicklung

Dieses Kapitel berichtet von den zentralen Arbeiten, die geleistet wurden, um Fahrfehler taxonomisch erfassen zu können. In Kapitel 3 wurde bereits ein Prozessmodell der Fahraufgabe vorgestellt. Die Inhalte dieses Kapitels sind:

- Gefährdungen, d. h. Vorstellungen davon, welche Bedingungen Fehler begünstigen. Sie wurden über die Sammlung von Fehlervorläuferbedingungen erarbeitet.
- Deren Messung wurde differenziert, indem Lead-Indikatoren für Sicherheit oder Risiken abgeleitet wurden.

Bild 8 skizziert das Vorgehen für die Taxonomieentwicklung.

In der Literaturrecherche wurde bereits eine Reihe von einschlägigen Prozessmodellen für Fehler und

Fahraufgabe gesichtet. Darauf aufbauend wurde in einem Workshop mit zwei Verkehrspsychologen und vier Fahrermodellierungsexperten ein Dreikomponentenmodell der Fahraufgabe entwickelt, dessen Schwerpunkt auf der Unterscheidung zwischen Fahrphasen in Homöostase und Fahrphasen mit Manövern liegt. Diese beiden Phasen stellen unterschiedliche Anforderungen an den Fahrer, besonders auf der Bahnführungsebene. Das Modell bildete den Ausgangspunkt für einen ersten Fehlerbaum, der anhand retrospektiver Unfallanalysen in zwei sukzessiven Workshops weiter bearbeitet wurde. Für die nachfolgende Verfeinerung der Taxonomie hin zu einem Entscheidungsbaum mit möglichst wenig Redundanzen, der zugleich alle bisher betrachteten Fahrmanöver (retrospektive Unfälle, Beinaheunfälle und Alternativausgänge) abbilden konnte, wurde mit der Videoanalyse zunächst hausintern anhand vorhandener FOT-Daten begonnen. Hierfür wurde im Vorfeld parallel zur Taxonomieentwicklung die Palette fehlerbegünstigender Faktoren (vorwiegend aus WIERWILLE et al. (2002), STANTON & SALMON (2009)), auf ihre Vollständigkeit bzw. Anwendbarkeit im Fahrkontext hin geprüft und erweitert. Diese Liste bildete die Basis für Videoanalysekategorien wie auch für eine Übersicht von Vorläuferbedingungen für Fahrfehler. Die Vorläuferbedingungen wurden den Fehlerkategorien der Taxonomie zugeordnet und daraus Hypothesen für die geplante Simulatorstudie abgeleitet.

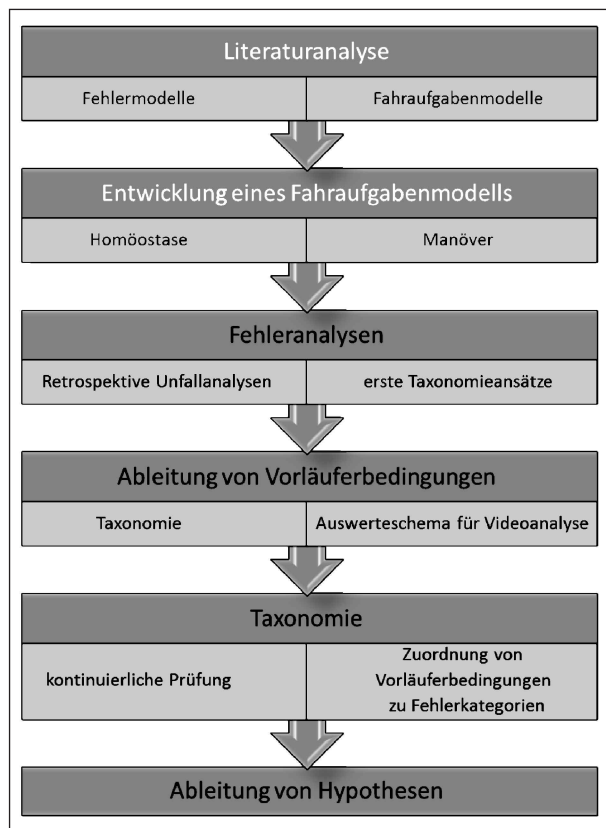


Bild 8: Prozessschritte der Modellentwicklung

5.1 Naturalistic Driving Studies/Field Operational Tests

Vorhandene NDS- und FOT-Daten wurden analysiert, mit dem Ziel zu prüfen, welche Nebenaufgaben und situativen Faktoren die Hauptaufgaben beeinträchtigen oder beeinflussen, auch ohne dass es zu ernsthaften Zwischenfällen und Unfällen kommt. Hierbei sollten erste Hinweise für mögliche Verhaltensmarker bzgl. Indikatoren, die eine Beeinträchtigung der Hauptaufgabe anzeigen, aus der Literaturanalyse überprüft und erweitert werden.

Ein Beispiel für eine umfangreiche NDS ist die 100-Car Study, welche in den USA vom Virginia Department of Transportation und dem Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) durchgeführt wurde. Bei genauerer Betrachtung handelt es sich bei den meisten großen Fahrdatenerhebungen jedoch um FOT-Studien, da immer auch bestimmte Fragestellungen durch die Erhebung verfolgt werden (Europäisches Projekt Prologue, Strategic

Highway Research Program SHRP2 des VTTI, Sweden-Michigan Naturalistic Field Operational Test SeMiFOT u. a.).

Zunächst wurde eine Recherche zu NDS/FOT-Projekten durchgeführt und die Verfügbarkeit der darin gesammelten Daten geprüft. Die Verfügbarkeit war jedoch als gering einzustufen, da entweder die Datenerhebung der Studien noch nicht abgeschlossen war, sich die Recherche nach validen Ansprechpartnern bei abgeschlossenen Projekten schwierig gestaltete oder die notwendigen Prozesse für eine Re-Analyse der Daten durch projekt-fremde Institutionen noch nicht implementiert waren.

Für die 100-Car Study sind erfreulicherweise diverse Daten im Internet frei verfügbar. Aus Datenschutzgründen und aufgrund der enormen Datenmengen ist die Analyse der Fahrtvideos jedoch nur vor Ort im VTTI möglich. Wir entschieden uns daher für eine Sichtung der Studienergebnisse über die Berichte des Projektes und eine Re-Analyse ausgewählter verfügbarer Daten. Eine Zusammenfassung der Erkenntnisse wird Kapitel 5.1.1 dargestellt.

5.1.1 100-Car Study

Die 100-Car Naturalistic Driving Study hatte die Sammlung von Daten nicht nur von Unfällen, sondern auch von der Zeit unmittelbar vor den Unfällen sowie Daten von Beinaheunfällen zum Ziel. Diese Daten sollen helfen zu klären, welche Bedingungen und Verhaltensweisen von Fahrern Unfälle auslösen, und sie sollen die Entwicklung und Verbesserung von Gegenmaßnahmen unterstützen. Beinaheunfälle bieten hierbei durch das erfolgreiche Vermeiden eines Unfalles, z. B. durch Ausweichmanöver, zusätzliche Einblicke in defensive und fehlerausgleichende Fahrtechniken. Außerdem wurde die Studie als Pilot für eine noch umfangreichere Studie mit 5.000 Fahrzeugen durchgeführt (KLAUER et al. 2006). Im Folgenden wird das Vorgehen der Studie erläutert und es werden bisherige aus den Daten gewonnene Erkenntnisse vorgestellt. DINGUS und Kollegen (2006) schlagen dabei vor, Beinaheunfälle zur Bestimmung der Auswirkungen von Fahrverhalten und anderen Risikofaktoren auf die Sicherheit zu nutzen, da diese 10- bis 15-mal häufiger vorkommen als Unfälle. In der Studienanalyse fand sich kein Nachweis dafür, dass die verursachenden Mechanismen für Unfälle und Beinaheunfälle verschieden sind.

Umfang und erfasste Daten

DINGUS und Kollegen (DINGUS et al. 2006; GUO, KLAUER, MCGILL, & DINGUS 2010; HANOWSKI, OLSON, HICKMAN & DINGUS 2006; KLAUER et al. 2006) geben in den jeweiligen Projektberichten umfassende Beschreibungen zur Erhebungsmethodik, Datenanalyse und zu ersten Ergebnissen der 100-Car Study. Die folgenden Kapitel basieren ausschließlich auf diesen Quellen, weshalb auf das mehrfach Zitieren bei allgemeinen Projektfakten im Folgenden verzichtet wird.

In der Studie wurden 109 primäre⁴ und 132 sekundäre⁵ Fahrer für 12-13 Monate beobachtet, welche in insgesamt 100 Fahrzeugen alltägliche Fahrten ausführten. Über fünf im Fahrzeug angebrachte Kameras wurde die Sicht auf die Straße nach vorn, nach hinten und aus dem Beifahrerfenster sowie auf den Fahrer von vorn und über die Schulter des Fahrers aufgenommen. Durch Sensoren wurden kinematische Daten wie Längs- und Querbewegung, Abstände zu vorderen, hinteren und seitlichen Fahrzeugen und die Geschwindigkeit erfasst und aufgezeichnet.

Bei der Probandenakquise wurde darauf geachtet, viele Fahrer unter 25 Jahren und mit hoher Fahrleistung zu rekrutieren, um durch ihr erhöhtes Unfallrisiko (vgl. Kapitel 4.2) möglichst viele Unfall- bzw. Beinaheunfall-Daten zu sammeln. Über Fragebögen und Tests wurden Gesundheit, Seh- und Hörvermögen, demografische Daten, Persönlichkeitsmerkmale, Neigung zum aggressiven Fahren und Fahrhistorie der Teilnehmer erfasst.

Nach Analyse der Daten wurde eine Ereignisdatenbank mit 69 Unfällen, 761 Beinaheunfällen und 8.295 Zwischenfällen erstellt, die unter <http://forums.vtti.vt.edu/index.php?/files/category/3-100-car-data> einzusehen ist. Sie enthält für jedes Ereignis Fahrzeugdaten sowie umfangreiche Informationen wie Alter und Geschlecht der FahrerInnen, Konfliktart, Art des kritischen (auslösenden) Ereignisses, Manöver vor und nach dem kritischen Ereignis, Kontrolle über das Fahrzeug nach der Reaktion, Art der Einschränkung des Fahrers (Ablen-

⁴ Primärfahrer waren die eigentlichen Hauptprobanden, die ihr eigenes Fahrzeug mit Messtechnik ausrüsten ließen oder ein ausgerüstetes Fahrzeug für den Erhebungszeitraum übernahmen.

⁵ Freunde oder Familienmitglieder der Hauptprobanden, die gelegentlich das ausgerüstete Fahrzeug nutzten.

kung, Müdigkeit, Alkohol, Drogen, Emotionen, geistige oder körperliche Einschränkungen), Art der Sekundäraufgabe, Sichtbehinderungen, Zustand der Straßenoberfläche (trocken, nass, Schnee, Eis), Lichtbedingungen, Wetter, Straßenart (geteilt, nicht geteilt, Einbahnstraße ...), Verkehrsdichte, Defekte des Fahrzeuges etc. Ein Unfall ist definiert als jede messbare Dissipation oder jeder Energietransfer aufgrund des Kontaktes des Fahrzeugs mit einem anderen Fahrzeug oder Objekt; dies beinhaltet z. B. auch Kollisionen mit dem Bordstein. Ein Beinaheunfall wird als Konflikt definiert, der ein schnelles ausweichendes Manöver erfordert, um einen Unfall zu vermeiden.

Bisherige Erkenntnisse

- Zusammenfassung aus den Projektberichten 100-Car Study

Die teilnehmenden Fahrer verhielten sich nur in der ersten Stunde sehr vorsichtig, ansonsten blieb das Verhalten über die Zeit gleich. Es gab keine Veränderung der Anzahl der Ereignisse über das Erhebungsjahr. Da auch kleine Unfälle ohne Schaden erfasst wurden, konnte berechnet werden, dass die Gesamtzahl an Unfällen mehr als fünfmal so hoch war wie deren erhobene Anzahl in Polizeiberichten. Nur 15 der 69 Unfälle, die in der Studie passierten, wurden der Polizei gemeldet.

Von allen erhobenen beitragenden Faktoren spielte ein Defekt des Fahrzeuges lediglich bei je einem Unfall und Beinaheunfall eine Rolle. Drogen und Alkohol waren ebenfalls kaum als beitragende Faktoren am Unfallgeschehen beteiligt. Aggressives Fahren war bei 15,9 % der Unfälle und bei 13,4 % der Beinaheunfälle ein beitragender Faktor, Fertigungsfehler bei 27,5 % der Unfälle und bei 42,6 % der Beinaheunfälle.

Unaufmerksamkeit wurde in der Studie folgendermaßen charakterisiert (z. B. DINGUS et al. 2006, S. 157):

- Ablenkung durch Sekundäraufgaben,
- Müdigkeit,
- fahraufgabenbezogenes Nichtbeachten der Straße in Fahrtrichtung (Fahrer sind aufmerksam gegenüber der Fahraufgabe, aber nicht gegenüber kritischen Aspekten der Fahraufgabe in unpassenden Momenten, z. B. Schauen in den Spiegel oder auf Instru-

mente während des kritischen Ereignisses) und

- unspezifische, nicht fahraufgabenbezogenes Nichtbeachten der Straße in Fahrtrichtung.

Hiervon waren vor allem Unfälle (in 79 % der Fälle) und Beinaheunfälle (in 65 % der Fälle) betroffen. Bei kritischen Vorkommnissen waren die Fahrer nur in knapp 30 % der Fälle unaufmerksam. Auch bei 73 % aller unfallfreien Segmente gab es mindestens eine Form von Unaufmerksamkeit. Bezüglich fahraufgabenbezogener Unaufmerksamkeit war das Unfall- bzw. Beinaheunfallrisiko signifikant höher, wenn die Blicke mehr als zwei Sekunden nicht auf die Straße gerichtet waren, bei weniger als zwei Sekunden erhöhte sich dieses Risiko nicht. Das Scannen der Umgebung schien damit die Sicherheit zu erhöhen, solange es systematisch war und die Blicke nach zwei Sekunden wieder auf die Straße gerichtet wurden (KLAUER et al. 2006). Der Anteil an Unfällen mit Unaufmerksamkeit sank stark mit steigendem Alter, der Anteil an Ereignissen mit Unaufmerksamkeit war signifikant höher für Fahrer zwischen 18 und 20 Jahren (DINGUS et al. 2006). Fahrer mit hoher Beteiligung an unaufmerksamkeitsbezogenen Unfällen bzw. Beinaheunfällen waren signifikant jünger und hatten weniger Fahrerfahrung, berichteten signifikant mehr Verletzungen von Verkehrsregeln und eine höhere Unfallbeteiligung vor der Studie und waren zudem häufiger müde (KLAUER et al. 2006). Die Korrelation zwischen der Beteiligung an unaufmerksamkeitsbezogenen Unfällen oder Beinaheunfällen und Unaufmerksamkeit in unfallfreier Fahrt betrug im Projekt $r = .72$. Fahrer, die häufiger unaufmerksam waren, waren auch häufiger in Unfälle und Beinaheunfälle involviert (KLAUER et al. 2006).

KLAUER und Kollegen (2006) zogen zur Auswertung zusätzlich zur Ereignisdatenbank 20.000 zufällig ausgewählte Sechssekunden-segmente aus unfallfreien Fahrtabschnitten hinzu und kategorisierten die Sekundäraufgaben in einfach (z. B. Radio einstellen, mit Beifahrer reden, trinken, rauchen, singen), mäßig (z. B. Telefongespräch, CD wechseln, nach Objekt greifen, essen) und komplex (Telefonnummer wählen, PDA benutzen, lesen, schminken). Komplexe Sekundäraufgaben erhöhten das individuelle Unfall- bzw. Beinaheunfallrisiko um das Dreifache; mäßige Sekundäraufgaben

um das Zweifache (ebd.). Häufigste ablenkende Sekundäraufgabe war die Handybenutzung, vor allem Gespräche führen und wählen (DINGUS et al. 2006). Beim Wählen war das Chancenverhältnis signifikant größer als 1, d. h., die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Beinahe-/Unfalles war höher, wenn gewählt wurde, als wenn nicht gewählt wurde. Beim Gespräch war keine signifikante Erhöhung zu verzeichnen. Trotzdem ergab sich ein ähnlich hohes Risiko, da Telefongespräche mehr Zeit in Anspruch nehmen. Einige Sekundäraufgaben, wie Reden mit dem Beifahrer, Singen und Beschäftigung mit Radio oder Klimaanlage, erhöhten das Unfall- bzw. Beinaheunfallrisiko nicht. Diese Aktivitäten schienen auf einen aufmerksamen Fahrer hinzuweisen, so KLAUER und Kollegen. Sekundäraufgaben nahmen 23,5 % der Fahrzeit ein (KLAUER, GUO, SUDWEEKS & DINGUS 2010). In der Studie war Müdigkeit beitragender Faktor bei 12 % aller Unfälle und 10 % aller Beinaheunfälle und hatte damit einen höheren Einfluss als bisher angenommen (DINGUS et al. 2006). Nach den Erkenntnissen der Studie erhöht Müdigkeit das individuelle Unfall- bzw. Beinaheunfallrisiko um das Vier- bis Sechsfache und variiert abhängig von Tageszeit und Lichtbedingungen. Zudem gibt es einen leichten Anstieg des Risikos bei Abwesenheit hoher Straßen- oder Verkehrsanforderungen.

Alle Unfälle mit vorausfahrenden Fahrzeugen ereigneten sich, wenn diese anhielten, Beinaheunfälle und Zwischenfälle meist bei vorausfahrenden, aber langsamer werdenden Fahrzeugen. Die Fahrer waren hier eher in der Lage, ein Ausweichmanöver einzuleiten. Unaufmerksamkeit war beitragender Faktor bei 93 % aller Unfälle mit vorausfahrenden Fahrzeugen, bei 86 % dieser Konflikte war der zeitliche Abstand größer als zwei Sekunden (DINGUS et al. 2006).

KLAUER, DINGUS, NEALE, SUDWEEKS und RAMSEY (2009) untersuchten die Unterschiede zwischen sichereren und unsicheren Fahrern. Dabei wurden 7 % aller Probanden als sichere Fahrer kategorisiert, da sie nicht in Unfälle, Beinaheunfälle oder Zwischenfälle involviert waren. Weitere 7 % der StudienteilnehmerInnen hatten mindestens drei Unfälle oder kleinere Kollisionen und stellten damit die Gruppe der unsicheren Fahrer. Bezüglich gefährlicher Verhaltensweisen wurden hartes Bremsen, Unaufmerk-

samkeit und zu nahes Auffahren auf andere Fahrzeuge am häufigsten beobachtet, welche auch von unsicheren Fahrern häufiger gezeigt wurden. Beim unfallfreien Fahren wurden bei unsicheren Fahrern signifikant häufiger größere g-Werte beim Abbiegen, Beschleunigen und in Kurven ermittelt. In mehrere riskante Verhaltensweisen involviert zu sein erhöhte das Unfallrisiko (KLAUER et al. 2009). Bei Ereignissen mit Spurwechseln stellte vor allem das Scannen der Umgebung ein Problem dar (FITCH et al. 2009). Beim Abkommen oder Beinaheabkommen von der Straße war Unaufmerksamkeit der häufigste beitragende Faktor (40 %). Auch die Veränderung der Straßenbegrenzung und zu geringer Abstand zum Vordermann spielten dabei eine Rolle. Dunkelheit, Niederschlag und nasse oder glatte Straßen erhöhten die Wahrscheinlichkeit eines Abkommens von der Straße, während die Fahrzeit darauf keinen Einfluss hatte (McLAUGHLIN, HANKEY, KLAUER & DINGUS 2009).

- Zusammenfassung der Ergebnisse aus eigenen Auswertungen der Projektdaten

Zur Klassifikation von fehlerbegünstigenden Verhaltensweisen und anderen fehlerbeitragenden Faktoren wurde die Ereignisdatenbank der 100-Car Study (Version 1.2, enthält 68 Unfälle und 760 Beinahe-Unfälle, Download unter <http://forums.vtti.vt.edu/>) mittels Häufigkeitsanalysen begutachtet. Folgende Erkenntnisse können aus dieser Analyse zusammengefasst werden: Während bei Unfällen vor allem ein Ausbleiben eines Verhaltens und Unaufmerksamkeit auftraten, wurde bei Beinaheunfällen zu der beinahe ebenso häufig vorkommenden Unaufmerksamkeit zusätzlich gebremst oder angehalten. Tatsächlich kamen diese Verhaltensweisen bei Beinaheunfällen häufiger in Kombination vor (z. B. 24 Beinaheunfälle mit einem zu nahen Auffahren und plötzliches oder unpassendes Bremsen und 15 Beinaheunfälle mit einem zu nahen Auffahren, Unaufmerksamkeit oder Ablenkung und plötzliches oder unpassendes Bremsen). Abgelenkte Fahrer wichen seltener aus und bremsten seltener plötzlich als aufmerksame und wache Fahrer. Müde Fahrer bremsten ebenso seltener plötzlich als aufmerksame und wache Fahrer. Müdigkeit und vor allem Ablenkung wirkten sich damit scheinbar negativ auf das Ausführen unfallvermeidender Manöver aus. Bei Fahren auf falscher Spur,

rücksichtslosem Fahren, unangepasster Geschwindigkeit, Missachtung der Vorfahrt und zu nahem Fahren an anderen Fahrzeugen hatten Ablenkung und Müdigkeit scheinbar kaum Einfluss. Beim Fahren mit unangepasster Geschwindigkeit traten häufiger Unfälle auf.

- **Beitragende Faktoren**

Als beitragende Faktoren bzw. Vorläuferbedingungen für Unfälle, Beinaheunfälle und Zwischenfälle konnten durch die Analyseberichte der 100-Car Study und die eigenen Auswertungen vor allem personenbezogene Variablen wie aggressives Fahren und wahrscheinlich damit verbunden hartes Bremsen und geringe Abstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen, Fertigungsfehler, Unaufmerksamkeit, junges Alter, die Ausführung (komplexer) Sekundäraufgaben während der Fahrt sowie Müdigkeit für die weitere Analyse abgeleitet werden. Diese Faktoren haben damit jedoch noch keinen Bezug zu Fehlerkategorien.

5.1.2 Videoauswertung

Schwerpunkt der Videobeobachtung war die Analyse normaler Fahrdaten und potenziell gefährlicher Situationen. Dabei wurde das Fahraufgabenmodell als Trigger für die Auswahl interessanter Sequenzen genutzt: Aus Manöverphasen wurden diejenigen ausgewählt, die eine Abweichung zum ‚Standard‘ aufwiesen, z. B. geringe Abstände zu anderen Fahrzeugen während des Manövers.

Nach Sichtung des hausintern vorhandenen Videomaterials wurde eine Studie ausgewählt, bei der nicht die Nutzung eines Assistenzsystems im Vordergrund stand, sondern das Fahren mit einer erhöhten Ereignisrate an Überholmanövern unter Angabe des eigenen Risikoempfindens. An jeder Fahrt nahm auch eine Versuchsleiterin teil, die auf dem Rücksitz des Fahrzeuges Platz nahm und die jeweiligen Risikoeinschätzungen der FahrerInnen protokollierte. Aus dem Projekt Prologue stellte uns der spanische Partner, die Universität Valencia, Videomaterial zur Verfügung, welches vor Ort in Valencia am Institut INTRAS⁶ (universitäre Forschungsgruppe SINTEC⁷) ausgewertet werden konnte. In dieser FOT-Studie fuhren die Probanden

mit einem mit Sensor- und Videotechnik ausgestatteten Versuchsträger allein eine vorbestimmte Strecke, die anteilig Innenstadtbereiche, Landstraße und Autobahn umfasste. Die Probanden fuhren in einem Within-Subjects-Design entweder via Navigationssystem oder via Karte.

Stichproben

An der hausinternen Studie nahmen insgesamt 58 FahrerInnen teil. Es wurden acht Videos von sieben FahrerInnen analysiert (durchschnittliche Videodauer 2,5 h), wovon bei fünf Fahrern mehrere interessante Fahrtsequenzen zu beobachten waren (zwei Frauen, Range: 2-5 Sequenzen pro Fahrer). So wurden insgesamt 17 Sequenzen aus dieser Stichprobe analysiert.

An der spanischen Prologue-Studie nahmen fünf FahrerInnen teil (zwei Frauen). Es wurden 15 der 20 Videos dieser fünf Probanden analysiert (durchschnittliche Videodauer 2 h), wobei bei vier Probanden mehrere interessante Fahrtsequenzen zu beobachten waren (Range: 1-9 Sequenzen pro Fahrer). So wurden insgesamt 23 Sequenzen aus dieser Stichprobe analysiert.

Die analysierten Ereignisse dauerten zwischen 5 s und 45 s. Dabei hatte keiner der Teilnehmenden während der beiden Erhebungen einen Unfall.

Auswerteschema

Aus den recherchierten Analyseergebnissen der 100-Car Study sowie als Ergebnis der parallelen Erarbeitung der Vorläuferbedingungen (vgl. Kapitel 5.2) wurde ein Auswerteschema mit fünf mutmaßlich relevanten Kategorien und entsprechenden Unterkategorien zur Beschreibung der Fahrsituation erarbeitet, welches Bild 9 wiedergibt. Die Videosequenzen wurden hinsichtlich dieses Schemas analysiert. Wenn möglich, wurden die Kategorien quantifiziert, z. B. die Anzahl der Fahrspuren, um die Infrastruktur zu beschreiben oder das Müdigkeitslevel, welches die Fahrerin in der betrachteten Situation hatte. Die Müdigkeit wurde auf Basis der HFC-Müdigkeitsskala 2.0 klassifiziert (vgl. MOHS, PLATHO, KOLREP-ROMETSCH & JÜRGENSOHN 2011) und auf drei Kategorien heruntergebrochen; der Videoanalyst ist ein geschulter Müdigkeitsbeurteiler. Für die Kategorie aggressive Fahrweise wurden nur zwei Ausprägungen gewählt (ja/nein). Das Blickverhalten hatte die Stufen gut, mäßig, schlecht, was sich sowohl auf die Blickakti-

⁶ Instituto de Investigación en Tráfico y Seguridad Vial

⁷ Simulation and New TEChnologies

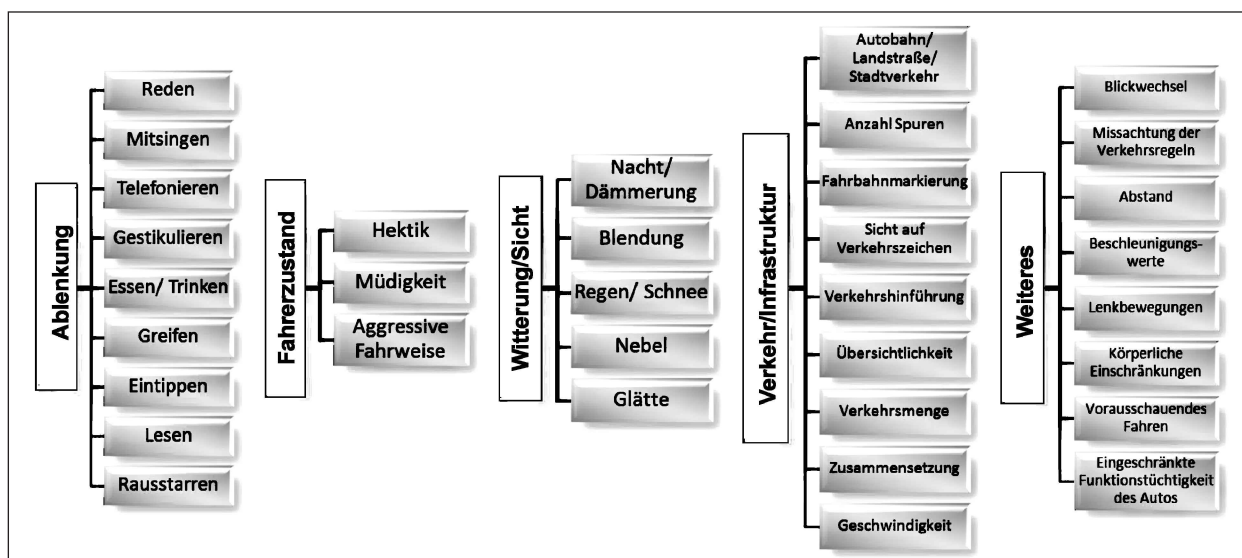


Bild 9: Auswertekategorien der Videoanalyse

vität (Blick auf die Straße vs. bei Nebenaufgaben, verteilte Blicke vs. starrer Blick nach vorn) als auch die Qualität (Blick auf fahrtrelevanten Blickzielen) bezog. Die Fahrbahnmarkierung erhielt ebenfalls drei Kategorien: teilweise vorhanden bedeutete in unserem Fall, dass nur ein Mittelstreifen vorhanden war oder nur in bestimmten Abschnitten der Situation eine Fahrbahnmarkierung sichtbar war. Die Einschätzung des vorausschauenden Fahrens ist eine unscharfe Kategorie und daher mit Vorsicht zu interpretieren. Hierbei wurde der Gesamteindruck aus Blickverhalten, geschätzten Fahrzeugabständen und Reaktionslatenz und -angemessenheit beim Manövrieren einbezogen. Einige der Kategorien konnten nicht sinnvoll ausgewertet werden, da die Qualität der gesichteten Videos und die gewählten Kameraeinstellungen dies nicht ermöglichten: Missachtung der Verkehrsregeln, Sicht auf Verkehrszeichen, Abstand, Beschleunigungswerte, Lenkbewegungen.

Zudem entfielen die Kategorien körperliche Einschränkungen und eingeschränkte Funktionstüchtigkeit des Autos, da es sich um FOT-Studien mit gesunden Probanden und fahrtüchtigen Fahrzeugen handelte. Durch die Versuchsbedingungen der Studien wurde vorwiegend bei Tag gefahren; Regen/Schnee, Nebel und Glätte wurden nicht beobachtet. Blendung konnte häufiger vorkommen, war jedoch aufgrund der Materialqualität nicht zuverlässig einschätzbar. Bei beiden Studien wurden hauptsächlich städtische Fahrstrecken analysiert.

Ergebnisse

Die Häufigkeiten der Ereignisse für die ausgewerteten Sequenzen sind Tabelle 6 zu entnehmen. Die Sequenzen wurden in drei Gefährdungsstufen eingeteilt, wobei unter der Stufe ungefährlich Fahrmanöver mit ausreichend Abstand bzw. geringer Geschwindigkeit oder fehlendem weiteren Verkehr subsummiert wurden, sodass von keiner Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer auszugehen war. Mit der Stufe tendenziell gefährlich wurden Manöver wie das unabsichtliche Abkommen von der Spur (z. B. aufgrund von Ablenkung durch Zweitaufgaben) in normal dichtem Verkehr gekennzeichnet, das Aufrollen auf Zebrastreifen und wieder Zurücksetzen, leichte Regelverstöße etc. Als sehr gefährlich wurden Sequenzen eingestuft, wenn durch das Manöver eine unmittelbare Gefährdung von anderen Verkehrsteilnehmern bestand, v. a. für Fußgänger und Kradfahrer, oder unabsichtlich grobe Regelverstöße begangen wurden (wie das Überfahren roter Ampeln, grobe Vorfahrtsverletzungen, Schneiden des Mitverkehrs). In fünf Sequenzen wurde beobachtet, dass der Fahrer jeweils die Fahrfehler anderer Verkehrsteilnehmer ausglich (eine Sequenz aus den hausinternen Videos, vier aus den Prologue-Videos). Erhöhte Müdigkeitswerte traten häufiger bei den TeilnehmerInnen der spanischen Prologue-Studie auf, da die Probanden dort bereits morgens 8:00 Uhr starteten und durch den ersten Teil der Strecke mit Autobahn und Landstraße zu Fahrtbeginn auch nicht angeregt wurden. Bezogen auf die Gefahrenkategorien war das Blickverhalten bei den gefährlicheren Aktionen wesentlich schlechter (vgl. Tabelle 6 unten). Nur bei tendenziell

gefährlicheren Aktionen wurde neben der Fahraufgabe telefoniert ($n = 1$, Inhousestudie) oder gelesen ($n = 3$). Aggressives Fahren wurde hauptsächlich bei ungefährlichen Sequenzen beobachtet (ungefährlich: $6/13 = 46\%$, tendenziell: $5/15 = 33\%$, sehr gefährlich $1/6 = 17\%$). Schlechtes vorausschauendes Fahren war bei den eigenen Studien auch in als ungefährlich eingestuften Sequenzen zu beobachten ($n = 5$), während in den Prologue-Videos vor allem in den tendenziell gefährlichen Sequenzen nicht vorausschauend gefahren wurde ($n = 7$). Hinsichtlich der Übersichtlichkeit der Infrastruktur, der Verkehrsmenge und der Anzahl der Fahrspuren lassen sich augenscheinlich keine Zusammenhänge zwischen Gefahrenkategorie und den jeweiligen Ausprägungsstufen erkennen.

Zuordnung des beobachteten Verhaltens zu Fehlern

Das Verhalten, welches in den aufgeführten Sequenzen beobachtet wurde, wurde mit Hilfe der erarbeiteten Fehlertaxonomie klassifiziert. Beispielfolgend sind im Folgenden Klassifizierungsergebnisse der ersten sieben Sequenzen der Prologue-Videoanalyse dargestellt (Tabelle 5). Die Klassifizierung erfolgte hierbei mit der finalen Version der Fehlertaxonomie bzw. des zugehörigen Fehlerbaums (Version 7). Neben den Fehlern, die in jeder Sequenz identifiziert wurden, werden die Trigger angegeben, die zur Analyse der jeweiligen Sequenz führten, also das auffällige, abweichende Fahrverhalten (Spalten 1-3 der Tabelle). In den beiden letzten Spalten werden die Fehlerarten sowie die hier-

für insgesamt beobachtete Häufigkeit nach der Klassifikation aufgeführt (vgl. Kapitel 5.3).

Es wurden vorwiegend Verhaltensfehler aufgrund mangelhaften vorausschauenden Fahrens identifiziert. Diese umfassten Situationen wie das Abkommen von der Fahrbahn, das Aufrollen auf Fußgängerübergänge an Ampeln und späte Spurwechsel. Wir sehen die Ursache dieser Häufung in der Aufgabe der valenzianischen Probanden: Sie navigierten entlang einer vorgeschriebenen Route via Navigationsgerät oder Karte und waren dadurch häufig von der eigentlichen Fahraufgabe abgelenkt. Damit waren mutmaßlich weniger Ressourcen für die Primäraufgabe vorhanden und es entwickelte sich fehlerhaftes Verhalten. Dabei wurden häufig wichtige Informationen, wie unmittelbar in der Nähe befindliche Fahrzeuge (z. B. im toten Winkel), Fußgänger an Überwegen oder rote Ampeln, nicht oder fehlerhaft bzw. zu spät wahrgenommen. Wenn in entstehenden Gefahrensituationen schnell und reflexartig reagiert werden musste, wurden diese Reflexe jedoch auch adäquat ausgeführt.

Fazit

Die Videoanalyse wurde zunächst zur Ideengenerierung eingesetzt, um zu explorieren, welches Fahrverhalten, welche Vorläuferbedingungen und Fehler mit diesem Material tatsächlich beobachtbar sind. Sie diente im Anschluss als ein erster Schritt zur Prüfung der sinnvollen Anwendbarkeit der Fehlertaxonomie als Klassifikationsgrundlage für Fahrverhalten. Dabei konnten alle gesichteten Videosequenzen mittels Fehlerbaums klassifiziert wer-

ID	Fehler, die in einer Sequenz klassifiziert wurden	Triggerart	Fehlerart	Häufigkeit
1	Verhaltensfehler, Planungsfehler, Motorikfehler	Spurverhalten	Verhaltensfehler	13
2	Verhaltensfehler, Informationsaufnahmefehler, Planungsfehler	Regelverstoß (Linie überfahren) + danach zurücksetzen	Informationsaufnahmefehler	10
3	Verhaltensfehler, Informationsaufnahmefehler	Regelverstoß (Missachtung der Vorfahrt)	Informationsverarbeitungsfehler	1
4	Verhaltensfehler, Informationsaufnahmefehler, Planungsfehler oder Motorikfehler	unnötiges Warten/Zurückrollen	Reflexfehler	0
5	Verhaltensfehler, Informationsaufnahmefehler	Regelverstoß (Missachtung der Vorfahrt)	Heuristikfehler	1
6	Verhaltensfehler, Informationsaufnahmefehler, Motorikfehler	Spurverhalten	Planungsfehler	5 (6)
7	Verhaltensfehler, Informationsaufnahmefehler	Regelverstoß (Missachtung der Vorfahrt)	Motorikfehler	3 (4)

Tab. 5: Auswahl der Fehlerkategorisierung für die Videoanalyse der Prologue-Daten

Gefährdungsstufe	n	Ablenkung					Müdigkeit			aggressive Fahrweise		Anzahl der Spuren					Fahrbahnmarkierung			
		Reden	Telefonieren	Gestikulierer	Lesen (Navi, Handy...)	nach draußen starren	nicht müde	leichte Müdigkeit	merklich müde	ja	nein	1	2	3	4	5	komplett	teilweise	keine	
Gefährdungsstufe	n	Verkehrshinführung					Übersichtlichkeit der Infrastruktur			Verkehrsmenge			Blickwechsel (Anzahl und Qualität)					vorausschauendes Fahren		
		gut	normal	schlecht	übersichtlich	eher übersichtlich	normal	eher unübersichtlich	voll	relativ voll	normal	relativ leer	leer	gut	mäßig	schlecht	gut	mäßig	schlecht	
HFC intern	ungefährlich	10	3	1	1		9	1		5	5	2	8			3	7			
	tendenziell gefährlich	4	2	1	1		3	1		2	2	1	1	1		1	2	1		
	sehr gefährlich	2					2						2				2			
Valencia	ungefährlich	3		1		1	1	1		1	2	1	1	1		2	1			
	tendenziell gefährlich	11			3	4	4	3		3	8	1	2	5		7	1	3		
	sehr gefährlich	5		1		1	1	4		1	4	1	2		4	1				
HFC intern	ungefährlich	1	1	2		4				1	1	3	6	4		3	2			
	tendenziell gefährlich	1		1		1	1	1		2		1		4		1				
	sehr gefährlich							1								1	1			
Valencia	ungefährlich		1	1		1	1	1		2		1	1	1	2	1	1	1		
	tendenziell gefährlich	5	2	4	5	1	1	1		2	3	2	5	2	4	2	2	7		
	sehr gefährlich		1	2	1					1	1	2	1	1	3	3				

Tab. 6: Ergebnisse der Videoauswertung

den. Auch wenn die Repräsentativität des analysierten Materials durch die eingeschränkte Verfügbarkeit von NDS-Videos diskutabel ist, scheinen die Ergebnisse vor dem Hintergrund der Erhebungsart der analysierten Stichprobe plausibel. Meist wurde mehr als ein Fehler pro Sequenz ermittelt. Die Videodaten eigneten sich dabei gut, um tatsächlich beobachtbares Verhalten zu klassifizieren. Die Bestimmung von fahrerbezogenen Ressourceneinschränkungen sowie von Verarbeitungs- und Planungsprozessen war dementsprechend kaum möglich. Wie bei der 100-Car Study konnten Ablenkung, hier beobachtet über Blickverhalten und Nebenaufgaben, aggressives Fahren und vorausschauendes Fahren als Konglomerat ‚ressourcenschonender‘ Verhaltensweisen als Vorläuferbedingungen bestätigt werden. Bezüglich der Gewichtung von Fehler- vorläuferbedingungen können jedoch aufgrund der geringen Zahl an beobachteten Ereignissen durch die Videoanalyse keine Aussagen getroffen werden. In Folgestudien kann die Taxonomie einer empirischen Prüfung unterzogen werden, um eventuell bestehende Anwendungs- und Klassifikationslücken aufzudecken und zu schließen und somit eine generalisierte Anwendbarkeit sicherzustellen.

5.2 Fehlervorläuferbedingungen

Wesentliche Bestimmungsstücke einer prospektiven Herangehensweise an die Systemgestaltung sind Lead- und Lag-Indikatoren als Indikatorformen für Sicherheit oder Risiken eines sozio-technischen Systems. Während sich Letztere in Form von Vor-/Zwischenfällen, Beinaheunfällen und Unfällen manifestieren und damit nur im Nachhinein und meist recht unvollständig auf Fehler und deren begünstigende Bedingungen analysiert werden können, unterstützt die Bestimmung von Vorläuferbedingungen die Ableitung von Lead-Indikatoren als prospektiven Index für die Sicherheit, bspw. eines Fahrtabschnittes. Eine Form von Lead-Indikatoren sind damit die Operationalisierungen von fehlerbegünstigenden Vorläuferbedingungen. Als Basis zur Ableitung von Lead-Indikatoren wurde daher in sukzessiven Workshops mit Verkehrspsychologen und Fahrermodellierungsexperten eine Übersicht von Vorläuferbedingungen erarbeitet. Die Übersicht ist dem digitalen Anhang zu entnehmen und steht unter www.bast.de zum Download bereit (vgl. auch Bild 19 in überarbeiteter Form). Sie beinhaltet die Basis-kategorien des betrachteten Mensch-Maschine-Systems: Fahrzeug, Fahrer und Umwelt. Für jede der Kategorien sind Arten von Vorläuferbedingun-

gen und hierfür wiederum verschiedene Typen differenziert. Auf Fahrzeugseite betrifft dies die Funktionsstüchtigkeit und Vertrautheit. Letztere interagiert mit der Fahrerseite: Das Ausmaß an Vertrautheit von Einstellungen, Getriebeart und Ausrichtung der Fahrerkabine hängt vom jeweiligen Fahrer und dessen Fahrpraxis mit dem betreffenden Fahrzeug ab. Fahrerseitig wurden die Vorläuferarten körperliche Ressourcen, Fähigkeiten/Verfassung und Personenvariablen identifiziert. Ressourcen und Verfassung werden auf Ebenen der Fahraufgabe (Wahrnehmung, Planung, Motorik) bezogen, während die Personenvariablen nochmals unterteilt werden in Vorläufertypen, die sowohl als Trait- als auch als Statevariable eine Rolle bei der Fahrzeugführung spielen können, und Vorläufertypen, die als reine Traitvariablen klassifiziert sind. Die Umweltseite gliedert sich in die Vorläuferarten Infrastruktur, Witterung und Verkehr und interagiert seitens der Infrastruktur wiederum mit der Persönlichkeit: Beispielsweise ist die Streckenkenntnis immer bezogen auf eine Infrastruktur und darüber hinaus noch detaillierter auf die Interaktion zwischen Infrastruktur, Witterung und Verkehr. Verkehr auf einer bestimmten Strecke kann tageszeitbedingt schwanken, was einem Fahrer, je nach Streckenkenntnis, mehr oder weniger bekannt sein kann. Ebenso verhält es sich mit der Witterung, bspw. überfrierende Nässe, die eine Straße an bestimmten Punkten schwer befahrbar macht, worauf wiederum ein Streckenexperte anders reagieren kann als ein Streckenovice.

Für jeden Vorläufertyp wurden potenzielle Ausprägungen beschrieben, die bezogen auf den Fahrer entweder endogen, d. h. vom Fahrer selbst, exogen, d. h. von fahrerfremden Bedingungen oder sowohl als auch ausgelöst werden. So kann beispielsweise die Einhaltung der Verkehrsregeln eine Ausprägung der aktuellen Motivation eines Fahrers sein, aber auch seiner Aufmerksamkeit, seines Zeitmanagements oder seiner temporären oder üblichen Regelkonformität. Die Ausprägungen der Vorläuferbedingungen sind neutral formuliert und bilden die Basis von Lead-Indikatoren, die z. B. potenziell gefährdende Ausprägungen quantifizieren.

Beispiele für fehlerbegünstigende Lead-Indikatoren sind als Mindmap geordnet nach den jeweiligen Vorläuferarten in Bild 10 dargestellt. Diese Indikatoren können auf ein potenziell erhöhtes oder auch, wenn positiv ausgerichtet, ein minimiertes Unfallrisiko hinweisen.

Die Indikatoren lassen sich natürlich noch weiter differenzieren. So kann die fehlende Verkehrstüch-

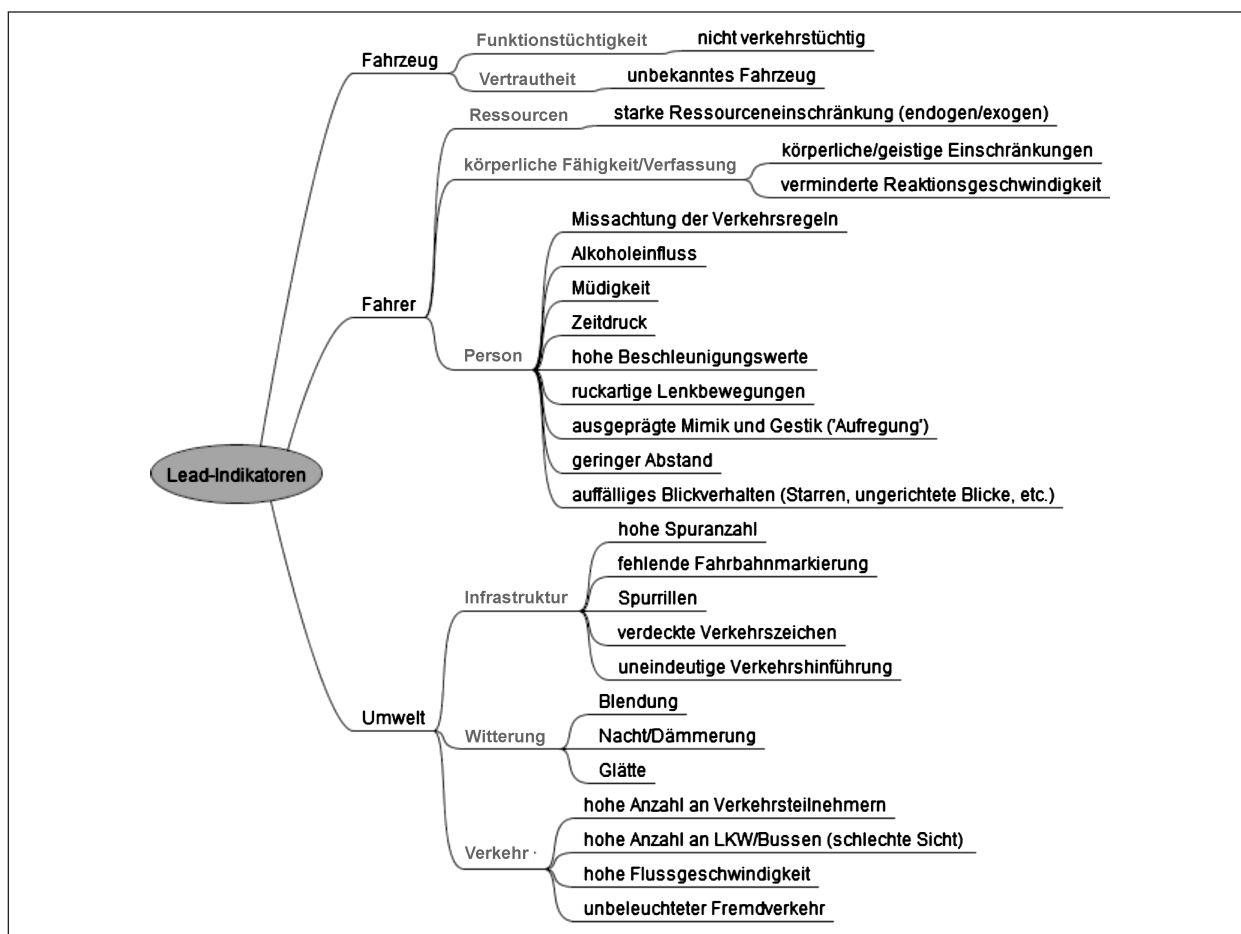


Bild 10: Beispiele für fehlerbegünstigende Lead-Indikatoren für die Vorläuferarten

tigkeit eines Fahrzeuges mehrere Ursachen haben, die dem Indikator wiederum eine mehr oder weniger hohe Ausprägung geben können (z. B. ausgefallene Bremsbeleuchtung bei einer Nachtfahrt vs. fehlendes Wischwasser bei Regen).

5.3 Fehlertaxonomie

Die Fehlertaxonomie wurde parallel zur Sammlung und Kategorisierung der Fehlervorläuferbedingungen in mehreren Iterationen entwickelt. Sie dient der Klassifizierung eines bestimmten (fehlerhaften) Verhaltens eines Fahrers in einer zeitlich begrenzten Fahrsituation. Soll eine komplexe Fahrsituation mit mehreren Beteiligten klassifiziert werden, muss die Handlung jedes Fahrers somit individuell betrachtet werden.

Die Taxonomie nimmt hinsichtlich der Fehlerklassifikation Bezug auf die drei Fehlertypen von RASMUSSEN (1983) sowie auf den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess (Aufnahme – Verarbeitung – Ausführung). Als Bestimmungsstücke

beinhaltet sie die Fehlertypen (regel-/wissens-/fertigkeitstypen) und Entscheidungsknoten mit Fragen, deren Beantwortung den Analytischen zum jeweiligen Fehler führt. Sie dient der Einordnung und Bestimmung von Fehlern, ist jedoch weder ein Prozessmodell einer Fehlerentstehung oder -entwicklung noch des Wahrnehmungsprozesses des Fahrers.

Grenzen der Taxonomie

Die Auswertung mittels Taxonomie bzw. des dazugehörigen Fehlerbaumes kann erst im Nachhinein erfolgen, da eine Zuordnung der Handlungen nicht immer einfach ist, vor allem bei internal ablaufenden Prozessen, die vom Analytischen nicht beobachtbar sind, wird eine Einschätzung des Fahrers benötigt, um annähernd einordnen zu können, welche(r) Fehler vorgelegen hat.⁸ Diese kann mittels

⁸ Auch hier gibt es selbstverständlich Einschränkungen der Wissensbasis, um Fehler eindeutig klassifizieren zu können, wenn der Fahrer über interne, nicht verbalisierbare Prozesse keine Auskunft geben kann.

diverser Befragungstechniken geschehen, z. B. Videokonfrontation, aber auch nahezu online erfolgen in Form des lauten Denkens.

Im Folgenden wird zunächst die aktuelle Taxonomie detailliert vorgestellt und im Anschluss die Zuordnung von Fehlervorläufern zu Entscheidungsfragen und damit zu Fehlertypen. Das Kapitel schließt mit einem kurzen Überblick über den Entwicklungsprozess der Taxonomie.

5.3.1 Taxonomiebeschreibung

Der Fehlerbaum

Der Fehlerbaum der Taxonomie ist in drei große Bereiche unterteilt (Bild 11): der durch die beiden gepunkteten Linien abgetrennte Bereich der regelbasierten Fehler, der durch die gestrichelten Linien abgetrennte Bereich der wissensbasierten Fehler und der durch die grauen Linien abgetrennte Bereich der fertigkeitsbasierten Fehler. Die regelbasierten Fehler sind Wahrnehmungsfehler, die sich in die beiden schwarzen Teilbereiche der Fehler bei der Informationsaufnahme und Fehler bei der Informationsverarbeitung unterteilen. Die wissensbasierten Fehler beschreiben die Planungsfehler und schließen das Nutzen des erlernten Wissens für ähnliche Situationen ein. Die fertigkeitsbasierten Fehler beziehen sich auf die Umsetzung der Pläne oder Kurzschlussreaktionen.

Klassifikationstour

Am Ausgangspunkt des Fehlerbaums befindet sich der Fahrer in Homöostase (Ruhephase ohne besondere Vorkommnisse, vgl. Bild 11 oben). Von der Homöostase ausgehend wird überprüft, ob der betrachtete Fahrer vorausschauend fuhr (erste Entscheidungsfrage). Vorausschauendes Fahren bezieht sich auf den eingehaltenen Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern, auf den Verkehr fokussierte Informationsaufnahme und damit auch darauf, ob der Fahrer für eine ausreichende Ressourcenverfügbarkeit sorgt⁹. Bei schlechtem voraus-

schauendem Fahren begeht der Fahrer einen Verhaltensfehler. Gleichzeitig gibt es eine Rückführung in die weiteren Taxonomieabschnitte: Nach der Abfrage des vorausschauenden Fahrens wird geprüft, ob eine (objektive) Gefahrensituation oder ein Manöverwunsch vorliegt. Bei einem Manöverwunsch wird davon ausgegangen, dass der Fahrer die Möglichkeit hatte, dafür zu sorgen, dass die benötigten Ressourcen für dieses Manöver vorhanden sind. Eine Gefahrensituation wird dadurch definiert, dass der Fahrer nichts an der aktuellen Fahrbewegung ändern, also in Homöostase bleiben möchte, jedoch durch einen anderen Verkehrsteilnehmer dazu genötigt ist oder selbst diesen Wunsch nicht (mehr) adäquat umsetzen kann. Sollte keiner der beiden Fälle vorliegen, wird der Analyst wieder zurück zur Homöostase geführt und der Kreislauf beginnt von neuem, bis es zu einer Gefahrensituation oder einem Manöverwunsch kommt. So kann für jede Situation einer Fahrt das vorausschauende Fahren geprüft werden. Dies ist insbesondere relevant, da mangelhaftes vorausschauendes Fahren häufig nicht zu gefährlichen Aktionen führt, diese aber begünstigen kann.

Sobald ein Manöverwunsch oder eine Gefahrensituation entsteht, wird als Erstes die Ebene der Wahrnehmung (regelbasiertes Verhalten) überprüft, die sich in die Informationsaufnahme und -verarbeitung unterteilt. Die Informationsaufnahme beschreibt diejenigen sinnlichen Eindrücke, welche aus Sicht des Fahrers gerade bewusst erlebt werden. Hier kommt dem visuellen Sinn und der Aufnahme der für die Fahrt wichtigen sichtbaren Reize besondere Bedeutung zu. Dabei wird die vorhandene Zeit für die Aufnahme an Informationen als Erstes erfragt. Sollte diese zu gering sein, was nur bei einer Gefahrensituation vorkommen sollte, wird der Fahrer einen unbewusst ablaufenden oder aber bedingten (im Sinne automatisierter sensorischer Muster, RASMUSSEN (1983)) Reflex als Reaktion auf die bisher aufgenommenen – unvollständigen – Informationen ausführen (SCHMIDT 1988). Ist ausreichend Zeit für die Informationsaufnahme vorhanden, wird die Entscheidungsfrage gestellt, ob die aufgenommenen Informationen richtig und vollständig sind. Bei Verneinung wird das Verhalten als Fehler bei der Datenauswahl klassifiziert.

Darauf wird die Informationsverarbeitung überprüft. Dieser Taxonomieabschnitt bezieht sich auf die

⁹ Dies ist insbesondere bei der Gefahrensituation wichtig, da z. B. fehlende Hände am Lenkrad genauso einen Unfall begünstigen können wie ein zu geringer Abstand. Doch auch für einen Manöverwunsch ist das vorausschauende Fahren relevant, da der Fahrer durch die Möglichkeit, das Manöver zu planen, zwar ausreichend Zeit hat, für die Ressourcenverfügbarkeit zu sorgen, aber nicht gesagt ist, dass er dies auch tut.

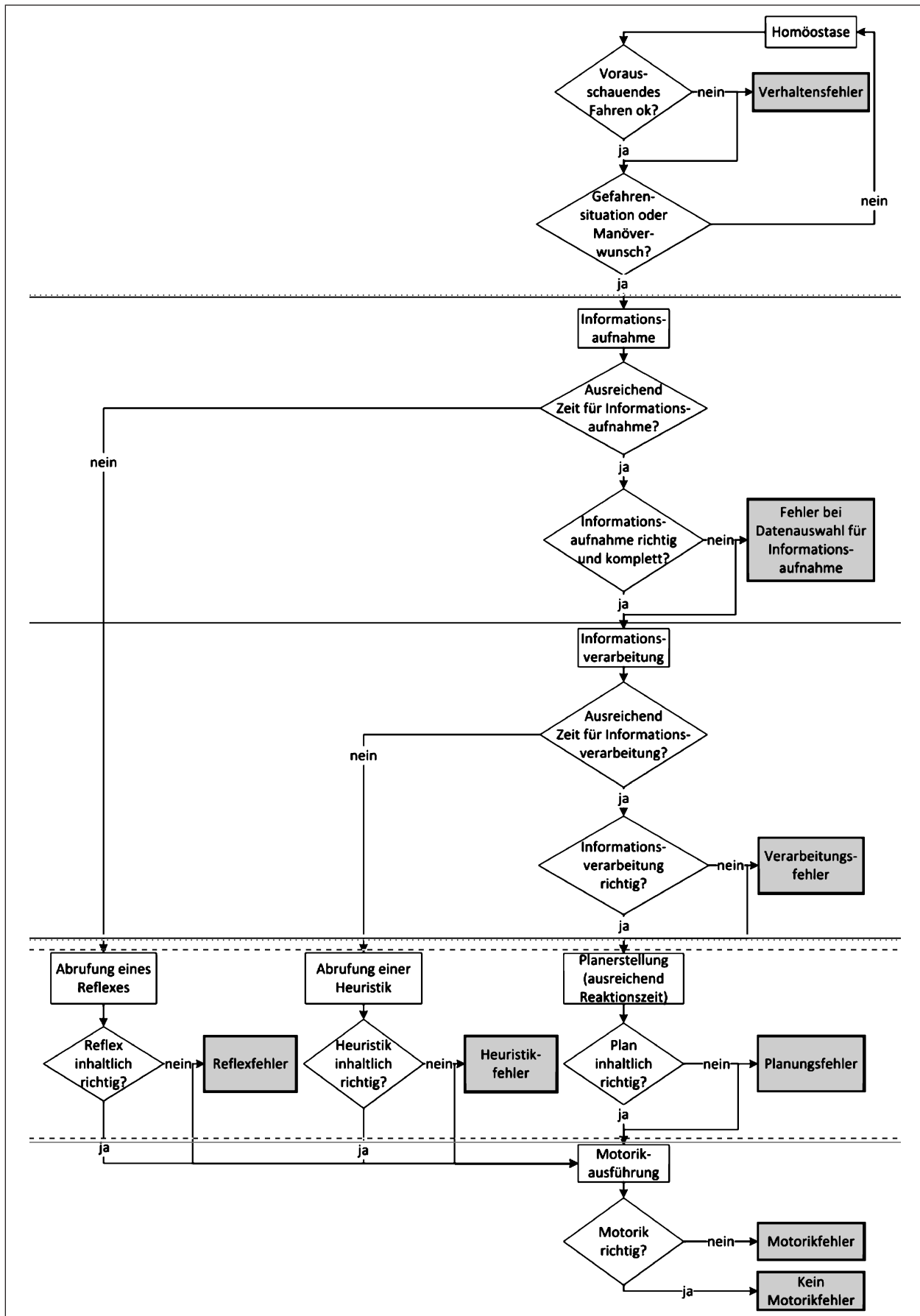


Bild 11: Finale Version der Fehlertaxonomie (Version 7)

Interpretation der aufgenommenen Informationen und die Antizipation des Verhaltens der anderen Verkehrsteilnehmer. Hier wird wieder eine Abfrage der vorhandenen Zeit für die Informationsverarbeitung durchgeführt. Ist die Zeit zu gering, was wiederum nur bei einer Gefahrensituation möglich ist, behilft sich der Fahrer mit der Auswahl und Ausführung einer Heuristik (vgl. auch regelbasierte geübte Bewegungsprogramme bei RASMUSSEN (1983)). Bei ausreichender Zeit wird die Qualität der Informationsverarbeitung erfragt. Ist diese unzureichend, wird dies als Verarbeitungsfehler klassifiziert.

Anschließend wird die Planungsebene überprüft (wissensbasiertes Verhalten). Diese unterteilt sich in die Abrufung eines Reflexes/einer Heuristik und die Planerstellung, welche die Projektion der aktuellen Situation in die Zukunft ebenso beinhaltet wie das Nachdenken darüber, wie die Gefahrensituation gelöst werden könnte. Falls die zutreffende Handlungsauswahl inhaltlich nicht richtig ist, wird dies als Reflexfehler, Heuristikfehler oder Planungsfehler klassifiziert.

Abschließend wird die Ebene der Motorik (fertigkeitbasiertes Verhalten) überprüft. Falls Reflex, Heuristik oder Plan falsch ausgeführt wurden, wird ein Motorikfehler identifiziert. Andernfalls liegt kein Motorikfehler vor.

Im Fehlerbaum kann, wie beschrieben, auch fehlerfreies Fahren analysiert werden. Außerdem ist die Zuordnung mehrerer Fehler eines Fahrers in EINER Fahrsituation durch die Rückführungen in die Taxonomie jederzeit möglich. Werden also mehrere Fehler gezeigt, wird dies durch die entsprechende Beantwortung der Entscheidungsfragen deutlich.

5.3.2 Fehlervorläuferbedingungen und Entscheidungsknoten

Die Fehlervorläuferbedingungen wurden in einem Workshop durch zwei Arbeitsgruppen schrittweise den Entscheidungsknoten im Fehlerbaum zugeordnet, systematisiert und damit auf die jeweiligen Fehlerklassen der Taxonomie bezogen. Neben den bereits erarbeiteten wurden auch zusätzliche Vorläuferbedingungen den Entscheidungsfragen der Taxonomie und damit den Hinführungen zu Fehlerarten zugewiesen. Das Ergebnis der Zuordnung ist den Tabellen 7-9 zu entnehmen. Daraus wird deutlich, dass insbesondere die Informationsaufnahme, welche ja auch am Beginn des Wahrnehmungsprozesses steht, durch eine Vielzahl von Bedingungen beeinflusst werden kann. Hier entsteht ein hohes Potenzial für Einflussmöglichkeiten zur Unterstützung einer rechtzeitigen und vollständigen Informationsaufnahme.

5.3.3 Entwicklungsprozess

Im Laufe der Taxonomieentwicklung wurden sieben Klassifikationsmodelle erstellt. Zur Nachvollziehbarkeit der Entwicklung wird im Folgenden auf jedes Modell bzw. die dabei eingepflegten Änderungen kurz eingegangen. Alle Modelle sind dem Anhang zu entnehmen, der auf bast.de zum Download zur Verfügung steht.

Fehlerbaum 1

Basis für die Taxonomieentwicklung bildete das im Projekt erarbeitete Fahraufgabenmodell (vgl. Kapitel 3). Ausgangspunkt der Taxonomie ist daher, dass sich der Fahrer während der Fahraufgabe in einem Homöostasezustand befindet, bis er entweder ein Manöver durchführen möchte oder es zu

Fehlererebene	Fehlertyp	Entscheidungsfrage im Fehlerbaum	Fehlervorläuferbedingungen
fertigkeitsbasiert	Motorikfehler	Motorik richtig?	<ul style="list-style-type: none"> • Alkohol • Vertrautheit allgemein (Einstellungen, Anzeigen, etc.) • Sportlichkeit/Risikobereitschaft • körperliche Einschränkungen (Motorik) • Reaktionsgeschwindigkeit • Ressourcenverfügbarkeit (z. B. Sitzstellungen) • Lenkbewegungen

Tab. 7: Entscheidungsknoten der Taxonomie und Fehlervorläuferbedingungen (fertigkeitbasiert)

einer Gefahrensituation kommt. Diese beiden Ereignisse unterscheiden sich grundlegend: Der Fahrer kann sich auf einen Manöverwunsch vorbereiten, da er selbstbestimmt agiert und somit für die Verfügbarkeit der für das Manöver notwendigen

Ressourcen sorgen kann. Von einer Gefahrensituation hingegen kann der Fahrer überrascht werden, weshalb jeweils eine Abfrage der Ressourcenverfügbarkeit auf den verschiedenen Ebenen getätigt wird. Sollte es zu einer Gefahrensitua-

Fehlerebene	Fehlertyp	Entscheidungsfrage im Fehlerbaum	Fehlervorläuferbedingungen
	Verarbeitungsfehler, Fehler bei Informationsverarbeitung	Vorausschauendes Fahren OK?	<ul style="list-style-type: none"> • Aufmerksamkeit • Blickwechsel (Anzahl und Vollständigkeit) • Motivation/Emotion des Fahrers • Verkehrshinführung • Fahrzeugdefekt mit Fahrerwissen • Streckenkenntnis • Zusammensetzung des Fremdverkehrs
		Gefahrensituation oder Manöverwunsch?	<ul style="list-style-type: none"> • Komplexität des Fremdverkehrs • Sportlichkeit/Risikobereitschaft
regelbasiert	Verarbeitungsfehler, Fehler bei Informationsaufnahme	Ausreichend Zeit für Informationsaufnahme?	<ul style="list-style-type: none"> • Aufmerksamkeit • Sichtbarkeit von Verkehrszeichen • Motivation/Emotion des Fahrers • Ressourcenverfügbarkeit (mentale Ablenkung) • Streckenkenntnis • Zusammensetzung Fremdverkehr • körperliche Einschränkungen (Wahrnehmung) • angemessenes Zeitmanagement • Alkohol • Fahrbahnmarkierung • Sicht (Tag/Nacht) • Abstand zum Vorderfahrzeug • Geschwindigkeit Fremdverkehr • Anzahl anderer Verkehrsteilnehmer • Komplexität des Fremdverkehrs • Blendung (z. B. Sonne)
		Informationsaufnahme richtig und komplett?	<ul style="list-style-type: none"> • Aufmerksamkeit • Verkehrshinführung • Motivation/Emotion des Fahrers • Ressourcenverfügbarkeit (mentale Ablenkung) • Zusammensetzung Fremdverkehr • Sichtbarkeit von Verkehrszeichen • Fahrbahnmarkierung • Alkohol • Sicht (Tag/Nacht) • körperliche Einschränkungen (Wahrnehmung) • Geschwindigkeit Fremdverkehr • Anzahl anderer Verkehrsteilnehmer • Komplexität des Fremdverkehrs • Vertrautheit Fahrerkabine • angemessenes Zeitmanagement (Zeitdruck?) • Ressourcen verfügbar (z. B. Spiegeleinstellung) • Vertrautheit allgemein (Einstellungen, Anzeigen, etc.) • Blickwechsel (Anzahl und Vollständigkeit) • Blendung (z. B. Sonne)

Tab. 8: Entscheidungsknoten der Taxonomie und Fehlervorläuferbedingungen (regelbasiert)

Fehlerebene	Fehlertyp	Entscheidungsfrage im Fehlerbaum	Fehlervorläuferbedingungen
regelbasiert	Verarbeitungsfehler, Fehler bei Informationsverarbeitung	Ausreichend Zeit für Informationsverarbeitung?	<ul style="list-style-type: none"> • Mentale Ressourcen • Aufmerksamkeit • Streckenkenntnis • angemessenes Zeitmanagement (Zeitdruck?) • Alkohol • Komplexität des Fremdverkehrs • Abstand zum Vorderfahrzeug • Fahrbahnmarkierung • Sichtbarkeit von Verkehrszeichen • Anzahl anderer Verkehrsteilnehmer • Geschwindigkeit Fremdverkehr
		Informationsverarbeitung richtig und komplett?	<ul style="list-style-type: none"> • Mentale Ressourcen • Aufmerksamkeit • Vertrautheit allgemein (Einstellungen, Anzeigen, etc.) • Anzahl anderer Verkehrsteilnehmer • Geschwindigkeit Fremdverkehr • Alkohol • Komplexität des Fremdverkehrs • Motivation/Emotion des Fahrers • angemessenes Zeitmanagement (Zeitdruck?) • Streckenkenntnis • Schreckhaftigkeit
wissensbasiert	Reflexfehler	Reflex inhaltlich richtig?	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeugdefekt mit Fahrerwissen • Vertrautheit Getriebeart • Vertrautheit Fahrerkabine • Sportlichkeit/Risikobereitschaft
	Heuristikfehler	Heuristik inhaltlich richtig?	<ul style="list-style-type: none"> • Vertrautheit allgemein (Einstellungen, Anzeigen, etc.) • Motivation/Emotion des Fahrers • Streckenkenntnis • Zusammensetzung Fremdverkehr • Fahrzeugdefekt mit Fahrerwissen • Vertrautheit Getriebeart • Vertrautheit Fahrerkabine • Sportlichkeit/Risikobereitschaft • körperliche Einschränkungen (Motorik) • Glätte
	Planungsfehler	Plan inhaltlich richtig?	<ul style="list-style-type: none"> • Vertrautheit allgemein (Einstellungen, Anzeigen, etc.) • Motivation/Emotion des Fahrers • Streckenkenntnis • Zusammensetzung Fremdverkehr • Fahrzeugdefekt mit Fahrerwissen • Vertrautheit Getriebeart • Vertrautheit Fahrerkabine • Sportlichkeit/Risikobereitschaft • körperliche Einschränkungen (Motorik) • Glätte

Tab. 9: Entscheidungsknoten der Taxonomie und Fehlervorläuferbedingungen (regelbasiert, wissensbasiert)

tion oder zu einem Manöverwunsch kommen, werden die regelbasierte, die wissensbasierte und die fertigkeitbasierte Ebene nach Fehlern über-

prüft. Sollte der Fahrer keinen Fehler gemacht haben, ist dies auch ein mögliches Ende des Fehlerbaums.

Fehlerbaum 2

In einem der Fallbeispiele, die zur Prüfung der Taxonomie sukzessive klassifiziert wurden, war die Informationsaufnahme korrekt, aber in der Informationsverarbeitung war ein Fehler unterlaufen. Daher wurde die Ebene der Wahrnehmung (regelbasiert) in Informationsaufnahme- und Informationsverarbeitungsfehler unterteilt.

Fehlerbaum 3

Da es beim Fahren in Gefahrensituationen zu kurzen Reaktionszeiten kommen kann, die eine ausreichende Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung sowie die Planerstellung nicht zulassen, wurde der Fehlerbaum um Reflexe und Heuristiken erweitert. Sollten diese auftreten, wird das vorausschauende Fahren überprüft, um zu entscheiden, ob die kurze Reaktionszeit durch Eigen- oder Fremdverschulden zustande kam. Bei Fremdverschulden wird die Planerstellung übersprungen und der Analyst fährt direkt in der fertigkeitstypischen Ebene fort.

Fehlerbaum 4

Hier gab es lediglich eine Änderung einer Bezeichnung von „keine Schuld“ am Baumende zu „kein Fehler“.

Fehlerbaum 5

Im fünften Fehlerbaum wurde die Überprüfung des vorausschauenden Fahrens in der Klassifikation weiter nach vorn gesetzt, da ein solches Fehlverhalten auch mit ausreichend Reaktionszeit unfallbegünstigend sein kann. Weiterhin wurden Reflex und Heuristik in die Planungsebene verschoben und es wurden Rückführungen in den Baum eingeführt. Dadurch ist es in der Klassifizierung möglich, mehrere Fehler, die in der Situation begangen wurden, einzuordnen. Das Ende des Baums ist entweder ein Motorikfehler (dabei Überprüfung, ob dieser ressourcenbedingt ist) oder kein Motorikfehler.

Fehlerbaum 6

Die Überprüfung des vorausschauenden Fahrens findet nun auch im Falle eines Manöverwunschs statt. Diese Überprüfung beinhaltet auch, ob der Fahrer dafür gesorgt hat, genügend Ressourcen verfügbar zu haben. Im weiteren Verlauf des Baums werden Ressourcen dann als Vorläuferbe-

dingungen angesehen und sind nicht mehr Bestandteil der Taxonomie.

Fehlerbaum 7

Das vorausschauende Fahren wird nun zuerst geprüft, denn auch ohne eine Gefahrensituation oder einen Manöverwunsch kann das vorausschauende Fahren fehlerhaft sein. Zudem wurden auftretende Gefahrensituationen und Manöverwünsche im Baum zusammengefasst. Sollte die zu überprüfende Situation ein Manöverwunsch sein, sind die Fragen zur ausreichenden Zeit bei der Informationsaufnahme und -verarbeitung mit „Ja“ zu beantworten.

5.4 Diskussion

Für die im Projekt erarbeitete Fehlertaxonomie wurde als Hintergrund ein kontrolltheoretischer Ansatz gewählt und damit ein u. a. von HOLLNAGEL (2008) thematisiertes Problem der retrospektiven Unfall- und Fehleranalysen aufgegriffen. Auch HOLLNAGEL betont, dass die retrospektive Analyse von Unfällen und Zwischenfällen nicht nur im Straßenverkehr, sondern auch in anderen sicherheitskritischen Branchen (z. B. Luftverkehr, Prozesstechnik, Nukleartechnik) als unverzichtbarer Bestandteil eines systematischen Fehler- und Sicherheitsmanagements angesehen werden muss. Doch ist ein rückblickender Ansatz für die Vermeidung von Unfällen und die Verbesserung der Sicherheit aus methodischen und konzeptuellen Gründen nicht vollständig befriedigend (HOLLNAGEL 2008).

Methodisch besteht das Problem, dass bestimmte im Vorfeld des Unfalls oder Zwischenfalls handlungsleitende perzeptive oder kognitive Prozesse aufgrund der Eigenschaften menschlicher kognitiver Prozesse nur unvollständig oder gar nicht berichtet werden können. Zudem unterliegt die Suche nach Ursachen während der Unfallanalyse selbst systematischen Schlussfehlern wie dem Rückschau-Fehler (hindsight bias) in Verbindung mit kontra-faktischen Schlüssen (counterfactuals, vgl. DEKKER 2006) sowie einem fundamentalen Attributionsfehler, der dazu führt, dass der freie Willen der handelnden Personen in der Erklärung von Unfällen stark betont wird (HOFINGER 2008).

Betrachtet man Sicherheitsmanagement kontrolltheoretisch, besteht laut HOLLNAGEL (2008) das

konzeptuelle Problem, dass eine allein retrospektive Analyse auf der Basis von Unfällen nur unzureichend beschreiben kann, wie erfolgreiches, also fehlerfreies Verhalten erreicht werden kann. Will man aber Unterstützungsbedarf identifizieren und so die Fehleranfälligkeit reduzieren, ist eine prospektive Herangehensweise an die Gestaltung neuer Systeme erforderlich, die fünf Bestimmungsstücke einbeziehen sollte:

- Ziel (target) – das erwartete Niveau an Sicherheit oder Fehlerfreiheit.
- Einflussmöglichkeiten (control options) – die Möglichkeiten der Einflussnahme auf das Sicherheitsniveau, z. B. durch Gestaltung der Straßeninfrastruktur, von Fahrerassistenzsystemen oder Ausbildung und Training der Fahrer.
- Prozessmodell – ein Modell davon, wie fehlerfreies und fehlerhaftes Verhalten entsteht.
- Gefährdungen (nature of threats) – eine Vorstellung davon, welche Bedingungen die Fehler begünstigen. Dies umfasst sowohl häufig auftretende Gefährdungen, für die eine Standardreaktion entwickelt werden kann, als auch seltene ungewöhnliche Gefährdungen wie zum Beispiel das zufällige Zusammentreffen ungünstiger Umstände.
- Messung (measurement) – die Indikatoren für Sicherheit oder Risiken. Dabei werden häufig nachträgliche Zeichen (Lag-Indikatoren) von vorauslaufenden Anzeichen (Lead-Indikatoren) differenziert.

Vier dieser fünf Bestimmungsstücke sind nun mindestens als Entwurf erstellt worden. Der Fehlerbaum, also der Kern der erstellten Fehlertaxonomie, bildet dabei das Bindeglied, das die Bestimmungsstücke miteinander verknüpft und argumentativ aufeinander bezieht:

- Als Ziel fungieren die Merkmale, die eine Situation als unerwünscht und insofern fehlerhaft identifizieren. In der Regel werden im Straßenverkehr Unfälle und akzessorisch die Nicht-Einhaltung von Verkehrsregeln sowie kritische Situationen (Beinaheunfälle) als fehleridentifizierende Merkmale verwendet. Sicherheitsziel ist es also, diese Situationen zu vermeiden.
- Für den Verlauf einer Fahrt bzw. ihrer Bestimmungsstücke wurde ein Prozessmodell der Fahraufgabe erarbeitet, das die Grundlage bil-

dete, um taxonomische Unterscheidungen von Fehlern zu erlauben.

- Gefährdungen wurden im Rahmen des Projektes als fehlerbegünstigende Vorläuferbedingungen angesehen. Durch die Re-Analyse von Daten aus NDS und FOT sowie zahlreiche Diskussionen im Rahmen von Workshops wurden Vorläuferbedingungen identifiziert. Diese Vorläuferbedingungen wurden im zweiten Schritt den Entscheidungsknoten im Fehlerbaum zugeordnet und so systematisiert und auf Fehlerklassen bezogen.
- Die Messung soll nun über Lead- und Lag-Indikatoren erfolgen. Während die Lag-Indikatoren bereits hinreichend gut, zum Beispiel über Unfallstatistiken, identifizierbar sind, sollen Lead-Indikatoren dadurch gewonnen werden, dass Vorläuferbedingungen operationalisiert werden. Für einen Teil der im Projekt identifizierten Vorläufer erfolgte dies in der im nächsten Kapitel berichteten Simulatorstudie.

Das fünfte Bestimmungsstück, die Einflussmöglichkeiten (control options), werden im Projekt primär auf die Vorläuferbedingungen rekurrieren. Wie können diese positiv beeinflusst werden, um die Fehler und Unfallwahrscheinlichkeit zu reduzieren? Hierauf wird in Kapitel 8 näher eingegangen.

Zur Prüfung ausgewählter Taxonomieinhalte wurden Hypothesen erarbeitet, die die mutmaßlichen Zusammenhänge zwischen Fehlervorläuferbedingungen und Fehlern verbalisieren. Nach der Zuordnung von Vorläuferbedingungen zu Entscheidungsknoten (vgl. Kapitel 5.3.2) erfolgte eine Auswahl von für die Taxonomie besonders relevanten Vorläuferbedingungen, die Tabelle 10 zu entnehmen sind. In der Tabelle sind häufig und vereinzelt auftretende Vorläufer gelistet. Die Auswahl erfolgte auf Basis der in mehreren Quellen genannten beitragenden Faktoren (siehe Kapitel 4.4.3, 100-Car Study, Prologue) und der Ergebnisse der durchgeführten Videoanalysen. Für eine Untermenge dieser Vorläuferbedingungen wurde eine experimentelle Validierungsstudie durchgeführt, die in Kapitel 6 beschrieben ist.

	Häufig	Vereinzelt
Fahrerzustand	<ul style="list-style-type: none"> • Müdigkeit • Alkohol • Aufmerksamkeit • Emotionaler Zustand • Motivationaler Zustand • Zeitmanagement • Sportlichkeit/Risikobereitschaft 	<ul style="list-style-type: none"> • temporäre mentale Einschränkungen (Wahrnehmung, Planung)
Überdauernde Fahrermerkmale	<ul style="list-style-type: none"> • Expertise • Streckenkenntnis • Vertrautheit allgemein • Geistige Einschränkungen • Sportlichkeit/Risikobereitschaft 	<ul style="list-style-type: none"> • körperliche Einschränkungen (Wahrnehmung, Motorik) • Vertrautheit Fahrzeug
Situative Merkmale	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammensetzung Fremdverkehr • Komplexität Fremdverkehr • Geschwindigkeit Fremdverkehr • Anzahl Fremdverkehr • Abstand zum Vorderfahrzeug 	<ul style="list-style-type: none"> • Blendung • Fahrzeugdefekt
Infrastrukturmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrbahnmarkierungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtbarkeit Verkehrszeichen • Verkehrshinführung

Tab. 10: Relevante Vorläuferbedingungen

6 Validierung von Vorläuferbedingungen im Simulator

Die experimentelle Validierung hatte zum Ziel, mindestens punktuell den Einfluss von im Modell angenommenen Gefährdungen auf das (Fahr-)Verhalten sowie die angenommenen Verhaltensindikatoren nachzuweisen. Das Potenzial von Gefährdungen oder Kombinationen von Gefährdungen sollten dabei einen Leistungsabfall bis hin zum Unfall auslösen. Aus ethischen Gründen kann eine solche Untersuchung nur im Simulator durchgeführt werden.

Als Vorläuferbedingungen wurden als fahrerinhärente Komponente der emotionale Zustand und als fahrerunabhängige Komponente die Dichte (und Komplexität) des Fremdverkehrs variiert. Während für die „klassischen“ Fehlervorläufer wie Ablenkung und Müdigkeit bereits eine Fülle von Befunden, auch aus Realfahrten wie der 100-Car Study, vorliegen und eine Minderung ihres Einflusses gesetzlich (Handyverbot am Steuer) oder durch Fahrerassistenzsysteme wie Müdigkeitwarner (siehe PLATHO, PIETREK & KOLREP 2013) angestrebt wird, scheint die Kombination aus affektivem Zustand und Infrastrukturbedingungen bisher wenig beachtet. In der 100-Car Study war zumindest aggressives Fahren ein beitragender Faktor für Unfälle und Beinaheunfälle (vgl. Kapitel 5.1.1), wobei un-

klar bleibt, ob als Folge von Persönlichkeits- oder Situationsvariablen. Dies erschwert die Ableitung von Ansatzpunkten zur Prävention bzw. Minderung eines mutmaßlich negativen Einflusses negativer affektiver Zustände auf das Fahrverhalten.

Aktuelle Studien bieten hierzu neuen, jedoch aufgrund unterschiedlicher Fokusse und Operationalisierungen recht heterogenen Erkenntnisgewinn: In Realfahrten beobachteten MESKEN, HAGEN-ZIEKER, ROTHENGATTER und de WAARD (2007) signifikant mehr Geschwindigkeitsübertretungen bei Wut auf Routenabschnitten mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h. Wut führte im Simulator zur vermehrten Missachtung von Gelb und erhöhter Geschwindigkeit (n. s.), veränderte jedoch nicht die Leistung in Risikosituationen, d. h. es wurde rechtzeitig abgebremst (ABDU, SHINAR & MEIRAN 2012). TRICK, BRANDIGAMPOLA und ENNS (2012) präsentierten während des Fahrens im Simulator Bilder unterschiedlicher Valenz auf einem Display und erfassten die Bremsreaktion auf vorausfahrende Fahrzeuge entweder 250 ms oder 500 ms nach Knopfdruck der Probanden, die damit die Valenz des jeweiligen Bildes einschätzten. In der 250-ms-Bedingung war die Bremsreaktion schneller nach Bildern, die eine hohe Aktivierung erzeugten; am schnellsten bei positiven Bildern. In der 500-ms-Bedingung war die Bremsreaktion langsamer nach Bildern, die eine hohe Aktivierung

erzeugten; am langsamsten bei negativen Bildern. Unabhängig von der Valenz wurden die Ergebnisse dahingehend interpretiert, dass eine hohe Aktivierung einen unmittelbaren, aber sehr kurzlebigen Einfluss auf die Reaktionsbereitschaft hat. Valenz hatte einen Effekt auf die Spurhaltung, jedoch hauptsächlich bei geringer Aktivierung: Negative Bilder führten zu einer variableren Spurhaltung. Die Autoren plädieren für eine getrennte Manipulation und Betrachtung beider Emotionsdimensionen. Die Aufgabe selbst beeinflusste die Fahrperformanz, indem zum Zeitpunkt der Bildanzeige und des darauf folgenden Knopfdrucks durch die Probanden das Lenkvermögen beeinträchtigt wurde. Für musikinduzierte Emotionen beobachteten PÉCHER, LEMERCIER und CELLIER (2009) in einer Simulatorstudie, dass fröhliche Musik am meisten ablenkte (mittlere Geschwindigkeit sank und Spurhaltung verschlechterte sich), traurige Musik hingegen zwar zur Verringerung der Geschwindigkeit führte, aber die Spurhaltung nicht negativ beeinflusste.

Verkehrsdichte wurde in aktuellen Studien eher als Zusatzvariable in komplexen Versuchsdesigns mit Fahrerassistenzsystemnutzung aufgenommen. JAHN, OEHME, KREMS und GELAU (2005) beobachteten einen Einbruch der Leistung im Peripheral Detection Task (PDT) auf komplexen Stadtrouten (viele Abbiegevorgänge) im Vergleich zur PDT-Leistung beim Fahren auf einfachen Stadtrouten bei gleichzeitiger Nutzung von Navigationssystemen. HORBERRY, ANDERSON, REGAN, TRIGGS und BROWN (2006) beobachteten in einer Simulationsstudie, dass komplexe Fahrumgebungen zu verminderter Geschwindigkeit führten, besonders bei Fahrern ab 60 Jahren. Etwas ergiebiger ermittelten COOPER, VLADISAVLJEVIC, MEDEIROS-WARD, MARTIN und STRAYER (2009) im Simulator, dass Verkehrsdichte (wie auch Fahrerablenkung) die Häufigkeit des Spurwechsels, die durchschnittliche Geschwindigkeit und das Verbleiben hinter einem langsamen Fahrzeug beeinflussten.

Für die Simulatorstudie wurden nach diesen Befunden entsprechend folgende Hypothesen formuliert:

- Emotionaler Zustand
 - a. Fahrer, die einer frustrierenden Erfahrung ausgesetzt waren, führen Handlungen schneller und hektischer aus und unterliegen dadurch einem höheren Fehlerrisiko als Fahrer,

die sich in einem positiven emotionalen Zustand befinden. Frustrierte Fahrer fahren höhere Geschwindigkeiten und zeigen, z. B. gemessen an der Lenkwinkelbeschleunigung, unruhigeres Lenkverhalten.

- b. Fahrer, die einer frustrierenden Erfahrung ausgesetzt waren, haben ein weniger situationsangemessenes Situationsbewusstsein.
 - c. Fahrer, die einer frustrierenden Erfahrung ausgesetzt waren, begehen mehr Regelverstöße.
 - d. Fahrer, die einer frustrierenden Erfahrung ausgesetzt waren, fahren riskanter und wählen z. B. bei einer Gap-Acceptance-Aufgabe geringere Abstände.
- Fremdverkehr
 - a. Mit zunehmender Anzahl und Komplexität des Fremdverkehrs akzeptieren Fahrer einen geringeren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug.
 - b. Mit zunehmender Dichte und Komplexität des Fremdverkehrs steigt die Geschwindigkeitskonformität zum Fremdverkehr auch dann, wenn dies ein Regelverstoß ist.
 - Interaktion zwischen emotionalem Zustand und Fremdverkehr
 - a. Eine zunehmende Dichte und Komplexität des Fremdverkehrs verstärken die Frustration von Fahrern, die bereits einer frustrierenden Erfahrung ausgesetzt waren. Sie führen Handlungen schneller und hektischer aus und unterliegen dadurch einem höheren Fehlerrisiko bei dichtem und komplexem Fremdverkehr als bei geringem, wenig komplexem Fremdverkehr. Frustrierte Fahrer fahren höhere Geschwindigkeiten und zeigen, gemessen z. B. an der Lenkwinkelbeschleunigung, unruhigeres Fahrverhalten bei dichtem, komplexem Fremdverkehr als bei geringem, wenig komplexem Fremdverkehr.
 - b. Eine zunehmende Dichte und Komplexität des Fremdverkehrs verstärken die Frustration von Fahrern, die sich in einem positiven emotionalen Zustand befinden, nicht. Sie führen Handlungen ebenso aus wie bei geringem, wenig komplexem Fremdverkehr. Es werden für positiv gestimmte Fahrer keine

bedeutsamen Unterschiede in Fehlerrisiko und Fahrverhalten, wie z. B. Geschwindigkeiten und Lenkverhalten in Abhängigkeit von der Komplexität des Fremdverkehrs erwartet.

6.1 Versuchsdesign und Vorgehen

Die empirischen Fragestellungen wurden in einem Design 2 (emotionaler Zustand) x 2 (Fremdverkehr) umgesetzt: Der emotionale Zustand mit den Ausprägungen zufrieden/positiv und unzufrieden/negativ wurde über leichte (Kategorien B-C) und schwere (Kategorien D-E) Aufgaben des Raven-Matrizen-tests in der SPM-Plus-Variante zwischen Probanden manipuliert (RAVEN, RAVEN & COURT 2003). Die Probanden erhielten zudem nach Ausfüllen der leichten Variante eine positive Rückmeldung über ihre Leistung und nach Ausfüllen der schweren Variante eine negative Rückmeldung. Misserfolgsinduktion durch vermeintlich schlechtes Abschneiden in Intelligenztests führte in vorangehenden Untersuchungen z. B. zu einer erhöhten Zahl an Feindseligkeitsantworten in einem Fragebogen (ROSENSTIEL 1973) und wurde wiederholt zur Induktion von Emotionen (pos./neg., z. B. LARSEN & KETELAAR 1989), Frustration/Aggression (z. B. ERDMANN und BECKER 1978) oder Rumination (z. B. KOOLE, SMEETS, van KNIPPENBERG & DIJKSTERHUIS 1999) eingesetzt.

Der Fremdverkehr wurde in Anzahl und Zusammensetzung (Fahrzeuge, (K)Radfahrer, Fußgänger) in zwei Stufen variiert, die in zwei entsprechenden Szenarien in randomisierter Reihenfolge jeweils von allen Probanden absolviert wurden (Tabelle 11).

Als abhängige Variablen wurden fahrverhaltensbezogen die Gesamtfahrzeit pro Szenario, die Geschwindigkeit, die Gas- und Bremspedalbetätigung, der Betrag der Lenkwinkelbeschleunigung, der Abstand zu voranfahrenden Fahrzeugen und Fußgängern, die Wahl einer Verkehrslücke (gap

acceptance) sowie die Anzahl an Fahrverstößen nach StVO (Bußgeldkatalog-Verordnung – BkatV 2013) erhoben. Als Maß des Situationsbewusstseins wurde während der Fahrt eine Frage zur Anzahl von Schaulustigen bei einem simulierten Fahrzeugbrand in der umgebenden Simulation gestellt. Dies war als Telefonanfrage realisiert.

Zur Kontrolle der Manipulation wurde der emotionale Zustand der Probanden mittels SAM-Skalen (BRADLEY & LANG 1994) mit den Dimensionen Aktivierung, Valenz und Dominanz vor dem Intelligenztest und unmittelbar nach dem letzten gefahrenen Szenario bewertet. Eine Einschätzung des eigenen Fahrstils der Probanden wurde erhoben, um mögliche systematische Effekte zwischen Gruppen kontrollieren zu können.

Die Teilnehmer wurden von der Versuchsbetreuung begrüßt und in den Ablauf des Versuches mündlich eingewiesen. Sie erhielten Zeit, sich mit dem Simulator und seinem Fahrhandling vertraut zu machen, und absolvierten eine Übungsfahrt mit zunächst festgelegter Strecke, die dann nach Belieben bis zur empfundenen Sicherheit im Umgang mit dem Simulator fortgesetzt werden konnte. Nach der Trainingsfahrt wechselten die Probanden zu einem Schreibtisch, um eine Einverständniserklärung zur Versuchsteilnahme auszufüllen sowie Fragen zur Person und zum emotionalen Zustand zu beantworten und im Anschluss den Raven-Test zu absolvieren. Zunächst wurden hierfür Aufgaben aus der Kategorie A des Raven zum Üben vorgelegt und dann je nach Gruppe die Aufgaben der Kategorien B-C bzw. E-F vorgelegt. Die Probanden hatten fünf Minuten Zeit für diese Aufgabe. Nach Ablauf der Zeit erhielten sie gruppenspezifisch entweder eine positive Rückmeldung (das Ergebnis sei wesentlich besser als beim Durchschnitt der Teilnehmer) oder eine negative Rückmeldung (das Ergebnis sei wesentlich schlechter als beim Durchschnitt der Teilnehmer). Im Anschluss wurde zum Simulator zurückgewechselt und es wurden je nach vorgesehener Reihenfolge nacheinander die beiden Szenarien absolviert. Während jeder Fahrt klingelte das Telefon. Die Probanden antworteten mit „Ja bitte.“, wenn ihre Fahrsituation dies zuließ, und wurden gefragt, wie viele Personen an einem brennenden Lkw standen, der zuvor passiert wurde. Alle Navigationsanweisungen sowie der Klingelton erfolgten über vorbereitete Sprachdateien, die beim Passieren des Egofahrzeugs an ortsgebundenen Triggerpunkten aktiviert wurden. Nachdem beide Fahrten beendet waren, füllten die Probanden erneut die

	wenig Verkehr	viel Verkehr
Fahrzeuge	48	75
Krafträder	3	6
Radfahrer	3	7
Fußgänger	15	115

Tab. 11: Zusammensetzung der beiden Verkehrsszenarien

drei SAM-Skalen aus und wurden anschließend über die Versuchsinention aufgeklärt. Abschließend erhielten sie eine finanzielle Vergütung von 15 €. Ein Versuch dauerte insgesamt ca. 45 Minuten. Während der Fahrten wurden über zwei Kameras Videos von der Ansicht auf die Versuchsumgebung und den Probanden aufgenommen.

6.2 Stichprobe

In Anlehnung an die Führerscheinbesitzstatistik im ADAC-Bericht Mobilität in Deutschland (2010) wurde der Hauptanteil der Probanden in der Alterskohorte 25-44 Jahre akquiriert. Am Simulatorversuch nahmen insgesamt 28 ProbandInnen teil (13 Frauen) mit einem durchschnittlichen Alter von 38,11 Jahren (Range: 22-68 Jahre), die mittels Münzwurfs zufällig zu gleichen Anteilen den beiden emotionsbezogenen Versuchsbedingungen zugewiesen wurden. Vor allem ältere ProbandInnen waren teils massiv von Simulatorkrankheit betroffen und mussten den Versuch vorzeitig abbrechen, sodass der komplette Datensatz einer Teilnehmerin nicht in die Auswertung einging. Eine weitere Probandin wurde aufgrund vertiefter Kenntnisse des Raven-Matrixtests von der Erhebung ausgeschlossen. Die der Auswertung zugrunde liegende Stichprobenzusammensetzung ist in Tabelle 12 zusammengefasst.

6.3 Simulator und eingesetztes Material

Als Simulationsrechner diente ein Dell Precision T1500 mit einer Grafikkarte AMD Radeon HD 7800 Eyefinity 6 zum Anschluss von bis zu 6 Monitoren, welcher mit dem Betriebssystem Windows 7 Professional 64 arbeitete. Die Abtastrate für die Logfiles betrug 4-5 Hz. Für die Hauptansicht wurden drei nebeneinander angeordnete 24"-LED-Bildschirme mit einer Gesamtauflösung von 4.800 x 1.200 verwendet.

Die Sitzkiste des HFC-Fahrsimulators besteht aus einem in Position und Höhe verstellbaren Autositz von Recaro mit je einem Gas- und Bremspedal (Automatikgetriebe), welche über ein USB-Kabel mit dem Simulationsrechner verbunden sind, sowie einem „SensoWheel-SD-LC-T-Lenkrad“. Das Lenkrad kommuniziert über einen PCAN-USB-Adapter mit dem Simulationsrechner. Zur Anzeige der Geschwindigkeit ist ein 10"-TFT-Monitor zentral hinter

	☺ (n = 13)	☹ (n = 13)
Geschlecht	5 Frauen	6 Frauen
Alter	35,62 (23-65)	41,00 (22-67)
Führerscheinbesitz in Jahren	15,35 (2,5-40)	19,77 (3-40)
Kilometerleistung pro Jahr	12.646 (400-75.000)	9.027 (100-25.000)

Tab. 12: Stichprobenüberblick nach Gruppe getrennt, Mittelwerte (Range)



Bild 12: Versuchsaufbau

dem Lenkrad montiert. Der Versuchsaufbau wird in Bild 12 dargestellt.

6.4 Ergebnisse

Die statistische Analyse der (Fahr-)Verhaltensparameter erfolgte mittels gemischter Varianzanalyse mit Messwiederholungsfaktor Szenario und Zwischensubjektfaktor Gruppe. Als Kovariaten wurden das selbst empfundene Fahrverhalten als Maß des eigenen Fahrstils und das Alter der Probanden mit aufgenommen. Vor der Berechnung wurden jeweils die Homogenität der Varianzen und Kovarianzen sowie die Gleichheit der Fehlervarianzen geprüft (z. B. BÜHNER & ZIEGLER 2009).

Gesamtfahrzeit

Die positiv gestimmte Gruppe absolvierte die beiden Szenarien mit $M = 7.93$ min ($SE = 0.33$) in etwas kürzerer Zeit als die negativ gestimmte Gruppe mit $M = 8.45$ min ($SE = 0.36$). Dieser moderate Effekt von $f = 0.24$ war jedoch nicht signifikant. Auch der Faktor Szenario sowie die Kovariaten Alter und Fahrweise waren statistisch nicht bedeutsam (siehe Tabelle 13).

Geschwindigkeit

Die Gruppenunterschiede für die Geschwindigkeitswahl und -variation wurden bezogen auf die

drei in den Szenarien angelegten Geschwindigkeitszonen (Spielstraße, Tempolimit 30 und 50 km/h) als Abstand vom Tempolimit oder als separater Messwiederholungsfaktor Tempolimit berechnet.

Im Durchschnitt betrug die Abweichung vom Tempolimit in der positiv gestimmten Gruppe 21.95 km/h (SE = 0.86) und in der negativ gestimmten Gruppe 23.09 km/h (SE = 0.93). Diese Werte sind im Sinne einer Unterschreitung des Tempolimits zu verstehen. Es wurden auch Kreuzungsabschnitte mit kurzer Wartezeit in den jeweiligen Tempozonen berücksichtigt. Der Gruppenunterschied war nicht signifikant mit $F(1, 20) = 0.81$, $p = 0.38$, $f = 0.20$. Die Kovariaten waren ebenfalls nicht statistisch bedeutsam, wie auch der Faktor Szenario ($p > 0.55$).

Die gemittelte Maximalgeschwindigkeit betrug für beide Gruppen 57.98 km/h ($SE_{\ominus} = 1.76$, $SE_{\oplus} = 1.93$). Bezüglich der Szenarien unterschied sich die Maximalgeschwindigkeit nicht statistisch bedeutsam ($M_{\text{wenigVerkehr}} = 59.25$, $SE = 1.32$; $M_{\text{vielVerkehr}} = 56.71$, $SE = 1.54$; $p = 0.45$).

Dieses Ergebnis blieb unter Einbezug des Faktors Tempolimit erhalten: Auch hier unterschied sich die Maximalgeschwindigkeit bezüglich der Szenarien nicht signifikant ($M_{\text{wenigVerkehr}} = 42,11$, $SE = 1.19$; $M_{\text{vielVerkehr}} = 40.21$, $SE = 1.30$). Die Interaktion zwischen Gruppe und Szenario war signifikant mit $F(1, 20) = 7.31$, $p < 0.05$, $f = 0.61$. Die positiv gestimmte Gruppe fuhr in beiden Szenarien eine ähnlich hohe Maximalgeschwindigkeit, während die negativ gestimmte Gruppe eine deutlich höhere Maximalgeschwindigkeit im Szenario mit wenig Verkehr erreichte als im Szenario mit viel Verkehr (Bild 13).

Gemäß der drei Tempolimits wurden entsprechend Maximalgeschwindigkeiten von $M_{V-\text{max}} = 24.18$ km/h ($SE = 1.87$), $M_{V-\text{max}} = 41.55$ km/h

	df	F	f	p
Gruppe (G)	1	1.13	0.24	0.30
Alter (A)	1	0.05	0.05	0.82
Fahrweise (FW)	1	0.02	0.03	0.88
Fehler	20 (2.76)			
Szenario (S)	1	0.14	0.08	0.71
G*S	1	0.68	0.18	0.42
Fehler	20 (0.16)			

Tab. 13: Statistische Kenngrößen für die Gesamtfahrzeit in Minuten ($n = 24$)

($SE = 1.48$) und $M_{V-\text{max}} = 57.76$ km/h ($SE = 1.21$) gefahren mit $F(2, 40) = 31.37$, $p < 0.01$, $f = 1.25$ für den Faktor Tempolimit. Die Kovariate Alter war signifikant mit $F(1, 20) = 7.91$, $p < 0.05$, $f = 0.62$. Für die Kovariate Fahrweise wurde eine statistische Tendenz beobachtet mit $F(1, 20) = 3.00$, $p = 0.10$, $f = 0.39$. Effekt und Trend der Kovariaten folgten keinem linearen Zusammenhang für die Betrachtung der durchschnittlichen Maximalgeschwindigkeit ($r = 0.04$, $p = 0.84$ und $r = -0.26$, $p = 0.20$) über alle Bedingungen hinweg.¹⁰ Korrelationen zwischen Alter und Maximalgeschwindigkeit nach Szenario und Tempolimit waren signifikant für wenig Verkehr in Spielstraße und 30er Zone ($r = 0.46$ und $r = 0.42$, $p < 0.05$).

Die Standardabweichung der Geschwindigkeit wurde als Varianzmaß ermittelt. Für dieses Maß war kein signifikanter Effekt für die beiden Faktoren und die Kovariaten zu verzeichnen (siehe Tabelle 14).

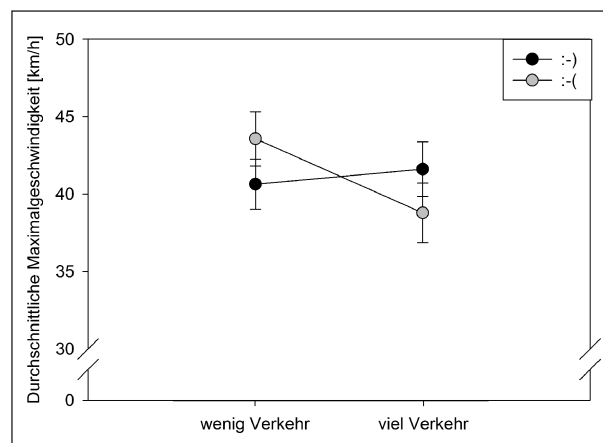


Bild 13: Maximalgeschwindigkeit: Interaktion zwischen Gruppe und Szenario

	df	F	f	p
Gruppe (G)	1	0.24	0.11	0.63
Alter (A)	1	0.38	0.14	0.54
Fahrweise (FW)	1	0.21	0.10	0.65
Fehler	20 (8.69)			
Szenario (S)	1	0.02	0.03	0.89
Fehler	20 (2.71)			

Tab. 14: Statistische Kenngrößen für die Standardabweichung der Geschwindigkeit ($n = 24$)

¹⁰ Es wurde explorativ eine Kurvenanpassung vorgenommen. Für beide Kovariaten erzielte jeweils ein kubisches Modell den besten Fit, der jedoch mit $R^2 = 0.11$ für die Kovariate Alter und mit $R^2 = 0.08$ für die Kovariate Fahrweise geringe Varianzaufklärung aufwies ($p > .46$).

Das Tempolimit hatte einen bedeutsamen Effekt auf die Standardabweichung der Geschwindigkeit mit $F(2, 40) = 41.16$, $p < 0.01$, $f = 1.42$ und $M_{SD} = 5.14$ km/h (SE = 0.30), $M_{SD} = 13.06$ km/h (SE = 0.40) und $M_{SD} = 15.33$ km/h (SE = 0.41) für die jeweiligen Tempozonen Spielstraße, 30 km/h und 50 km/h. Die Interaktion zwischen Gruppe und Szenario war signifikant mit $F(1, 20) = 6.57$, $p < 0.05$, $f = 0.52$ (siehe Bild 14).

In Kongruenz mit der gefahrenen Maximalgeschwindigkeit zeigte die positiv gestimmte Gruppe eine ähnliche Tempovarianz in beiden Szenarien, während die negativ gestimmte Gruppe bei wenig Verkehr ein deutlich weniger konstantes Tempo fuhr als im Szenario mit viel Verkehr.

Betätigung von Gas- und Bremspedal

Beide Aktionen konnten zwischen 0 (nicht betätigt) und 1 (maximaler Druck) variieren. Für die gemittelte Betätigung des Gaspedals war eine signifikante Interaktion zwischen Szenario und der Kovariate Fahrweise zu verzeichnen mit $F(1, 20) = 7.00$, $p < 0.05$, $f = 0.59$, die jedoch keinem linearen Zusammenhang folgte. Es wurde eine statistische Tendenz für den Messwiederholungsfaktor Szenario beobachtet mit $F(1, 20) = 3.06$, $p = 0.10$, $f = 0.39$ und $M_{\text{wenigVerkehr}} = 0.227$ (SE = 0.026) vs. $M_{\text{vielVerkehr}} = 0.225$ (SE = 0.029). Die Kovariate Alter war mit $F(1, 20) = 2.51$, $p = 0.13$, $f = 0.36$ und die Interaktion zwischen Szenario und Alter mit $F(1, 20) = 2.71$, $p = 0.12$, $f = 0.37$ nicht signifikant. Die positiv gestimmte Gruppe übte weniger Druck auf das Gaspedal aus mit $M = 0.19$ (SE = 0.04) als die Gruppe der negativ gestimmten Probanden mit $M = 0.26$ (SE = 0.04), ein moderater Effekt von $f = 0.29$, der jedoch nicht signifikant war mit $F(1, 20) = 1.70$, $p = 0.21$. Auch kein weiterer Befund war statistisch bedeutsam.

Die Standardabweichung der Gaspedalbetätigung war für keinen der beiden Faktoren sowie ihre Interaktion signifikant. Für die Kovariate Alter mit $F(1, 20) = 2.81$, $p = 0.11$, $f = 0.37$ und die Interaktion zwischen Szenario und Alter mit $F(1, 20) = 3.64$, $p = 0.07$, $f = 0.43$ waren jeweils statistische Tendenzen zu beobachten. Zwischen Alter und Gaspedalbetätigung, auch getrennt betrachtet für beide Szenarien, war kein linearer Zusammenhang zu verzeichnen.

In der Gruppe der positiv gestimmten Probanden wurde auch das Bremspedal mit $M = 0.07$ (SE = 0.02) im Durchschnitt weniger stark betätigt

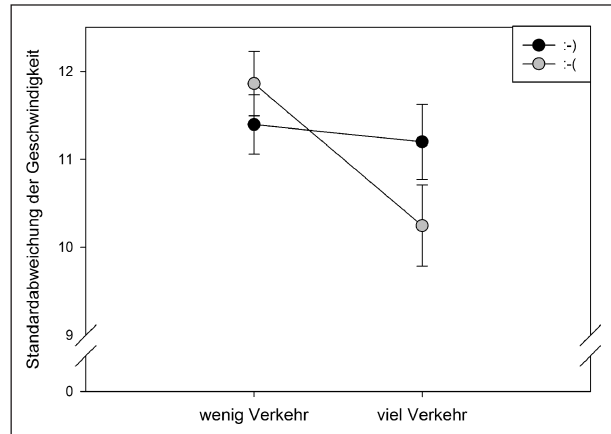


Bild 14: Standardabweichung der Geschwindigkeit: Interaktion zwischen Gruppe und Szenario

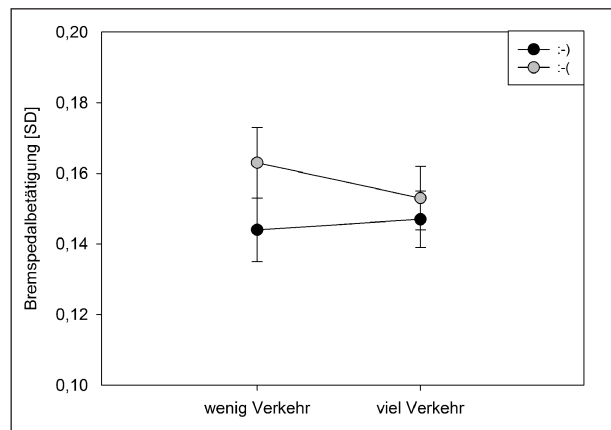


Bild 15: Standardabweichung der Bremspedalbetätigung: Interaktion zwischen Gruppe und Szenario

als bei der negativ gestimmten Gruppe mit $M = 0.11$ (SE = 0.02). Der Gruppenunterschied war jedoch nicht signifikant mit $F(1, 20) = 2.50$, $p < 0.13$, $f = 0.35$.

Auch alle weiteren Effekte, mit Ausnahme der Interaktion zwischen Szenario und Fahrweise mit $F(1, 20) = 4.37$, $p = 0.05$, $f = 0.47$, waren statistisch nicht bedeutsam. Hier war wiederum kein signifikanter linearer Zusammenhang zu verzeichnen. Bezüglich der Standardabweichung der Bremspedalbetätigung war keiner der Haupteffekte oder Kovariaten statistisch bedeutsam. Die Interaktion zwischen Szenario und Gruppe zeigte einen ähnlichen Trend wie bei der Maximalgeschwindigkeit: Die negativ gestimmte Gruppe zeigte eine höhere Verhaltensvarianz als die positiv gestimmte Gruppe (siehe Bild 15; $F(1, 20) = 2.38$, $p < 0.14$, $f = 0.34$).

Lenkaktivität

Der Betrag der Lenkwinkelbeschleunigung wurde als Maß der Lenk(un)ruhe berechnet. Hier variierte

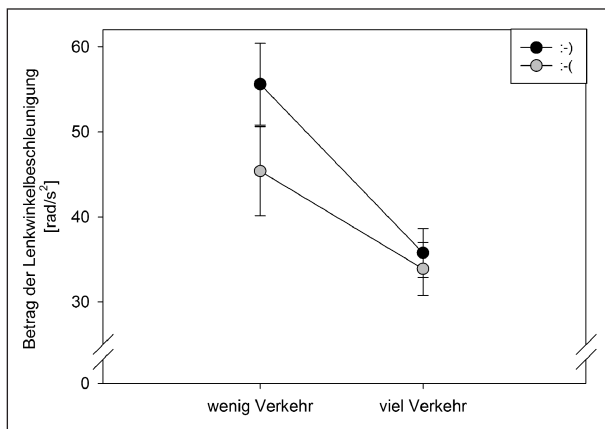


Bild 16: Betrag der Lenkwinkelbeschleunigung: Interaktion zwischen Gruppe und Szenario

	df	F	f	p
Gruppe (G)	1	1.21	0.25	0.28
Fehler	20 (356.92)			
Szenario (S)	1	0.12	0.08	0.73
G*S	1	4.18	0.46	0.05
A*S	1	7.95	0.63	0.01
FW*S	1	2.45	0.35	0.13
Fehler	20 (49.15)			

Tab. 15: Statistische Kenngrößen für den Betrag der Lenkwinkelbeschleunigung (n = 24)

das Verhalten der TeilnehmerInnen je nach Alter $F(1, 20) = 8.82$, $p < 0.01$, $f = 0.66$ und Fahrweise $F(1, 20) = 6.39$, $p < 0.05$, $f = 0.57$. Alter und Lenkwinkelbeschleunigung korrelierten signifikant positiv miteinander ($r = 0.38$, $p < 0.05$). Der Messwiederholungsfaktor Szenario war nicht signifikant. Die Interaktionen zwischen Szenario und Alter war signifikant (wenig Verkehr: $r = 0.43$, viel Verkehr: $r = 0.44$, $p < 0.05$). Für Szenario und Gruppe (siehe Bild 16) sowie Szenario und Fahrweise (wenig Verkehr: $r = -0.24$, $p = 0.24$; viel Verkehr: $r = -0.35$, $p = 0.08$) gab es eine deutliche Tendenz (vgl. Tabelle 15).

Abstand

Die Abstandswerte des Ego-Fahrzeugs wurden zum einen auf sechs im Szenario eingesetzten voranfahrenden Fahrzeuge und zum anderen auf drei in Fahrzeugnähe befindliche Fußgänger bezogen (z. B. an einem Zebrastreifen). Diese beiden Bezugspunkte wurden als zwei Stufen eines Messwiederholungsfaktors Typ mit in die Varianzanalyse aufgenommen. Die statistischen Werte für die Haupteffekte, Kovariaten und signifikante Interaktionen für die Durchschnittswerte sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

	df	F	f	p
Gruppe (G)	1	1.72	0.29	0.21
Alter (A)	1	7.89	0.63	0.01
Fahrweise (FW)	1	0.70	0.19	0.41
Fehler	20 (59.35)			
Szenario (S)	1	0.99	0.22	0.33
G*S	1	0.01	0.03	0.91
A*S	1	2.82	0.38	0.11
FW*S	1	9.24	0.68	0.01
Fehler (S)	20 (24.66)			
Typ	1	16.34	0.90	0.01
Fehler	20 (80.97)			

Tab. 16: Statistische Kenngrößen für den gemittelten Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen und Fußgängern (n = 24)

Der Zwischensubjektfaktor Gruppe, der Messwiederholungsfaktor Szenario sowie die Kovariate Fahrweise hatten keine signifikante Bedeutung für den gehaltenen Abstand. Das Alter hatte einen signifikanten Einfluss auf den Abstand, indem mit zunehmenden Alter ein größerer Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern gehalten wurde ($r = 0.47$, $p < 0.05$).

Die Abstände zu voranfahrenden Fahrzeugen und Fußgängern wurden in beiden Gruppen ähnlich konstant gehalten: Für die Standardabweichung konnte kein signifikanter Gruppeneffekt beobachtet werden ($F(1, 20) = 0.96$, $p = 0.34$, $f = 0.22$). Im Szenario mit wenig Verkehr wurde mit $M = 19.40$ ($SE = 0.62$) insgesamt weniger variabel Abstand gehalten als in dichterem Verkehr mit $M = 26.80$ ($SE = 0.86$) und $F(1, 20) = 4.25$, $p = 0.05$, $f = 0.46$. Die Standardabweichung bezüglich des Abstandes zu voranfahrenden Fahrzeugen war mit $MSD = 28.04$ ($SE = 1.33$) höher als zu Fußgängern mit $MSD = 18.16$ ($SE = 0.74$). Der Effekt war jedoch nicht signifikant mit $F(1, 20) = 3.34$, $p = 0.08$, $f = 0.41$.

Situationsbewusstsein

Das Situationsbewusstsein wurde jeweils einmalig pro Szenario über eine Frage erhoben (Wie viele Menschen standen bei dem brennenden Lkw?). Dem Event brennender Lkw ging ein die Straße schnell querender Passant voran, der zum brennenden Fahrzeug lief. Dort befanden sich im Szenario mit wenig Verkehr zwei weitere Passanten und im Szenario mit viel Verkehr fünf weitere Passanten. Die Frage konnte mit einer richtigen oder falschen Anzahl beantwortet werden bzw. gar nicht,

Anzahl	☺		☹	
	wenig Verkehr	viel Verkehr	wenig Verkehr	viel Verkehr
korrekt	10	6	8	8
falsch	1	6	3	4
nicht gesehen	2	1	2	1

Tab. 17: Anzahl korrekter, falscher und übersehender Menschen am Fahrzeugrand

wenn Menschen und Lkw insgesamt nicht wahrgenommen wurden. Insgesamt wurde das Event in beiden Gruppen selten übersehen (je dreimal, vgl. Tabelle 17). Die Gruppenunterschiede hinsichtlich der Häufigkeiten dieser drei Möglichkeiten wurden via Chi-Quadrat-Test getrennt für die beiden Verkehrsszenarien miteinander verglichen. Kein Gruppenvergleich war statistisch bedeutsam (wenig Verkehr: $\chi^2 = 1.22$, $p = .54$, $df = 2$; viel Verkehr: $\chi^2 = 0.69$, $p = 0.71$, $df = 2$).

Regelverstöße

Die Videos der Versuchsfahrten wurden nach Regelverstößen gegen die Straßenverkehrsordnung analysiert. Hierfür wurden aus der Bußgeldkatalog-Verordnung (BKatV) vom 14.03.2013 die gelisteten fahrlässig begangenen Ordnungswidrigkeiten in acht Kategorien zusammengefasst und deren Häufigkeitsrate pro Proband und Szenario ausgezählt. Wie Tabelle 18 zu entnehmen, wurden für die Gruppe der negativ gestimmten Probanden mit $n = 59$ weniger Verkehrsverstöße begangen als in der Gruppe der positiv gestimmten Probanden mit $n = 73$. Die Tabelle enthält die laufende Nummer des Regelverstößes im Bußgeldkatalog, S. 3 ff. Mehrfachverstöße pro Proband und Szenario waren möglich. Im Vergleich der Gesamtverstöße pro Proband war dieser Gruppenunterschied jedoch nicht signifikant mit $F(1, 25) = 0.28$, $p = 0.60$, $f = 0.11$. Im Szenario mit wenig Verkehr wurden im Durchschnitt mit $M = 2.66$ ($SE = 0.37$) mehr Regelverstöße begangen als im Szenario mit viel Verkehr mit $M = 1.92$ ($SE = 0.39$) und $F(1, 25) = 4.31$, $p < 0.05$, $f = 0.42$. Allgemeine und Abstandverstöße kamen nur vereinzelt vor, Abbiegeverstöße wurden gar nicht beobachtet.

Geschwindigkeitsverstöße variierten tendenziell mit dem gefahrenen Szenario mit $F(1, 25) = 3.73$, $p = 0.07$, $f = 0.39$ und wurden häufiger im Szenario mit wenig Verkehr begangen mit $M = 1.03$ ($SE = 0.25$) als im Szenario mit viel Verkehr mit $M = 0.66$ ($SE = 0.18$).

Regelverstoß	☺		☹	
	wenig	viel	wenig	viel
Verkehr				
allgemeine Straßenbenutzung [2, 3, 4]		1		
Abstand [12, 13]		1	1	1
Abbiegen [35, 39, 41, 42]				
Vorschriftzeichen missachtet [136-140, 142, 146, 149-151]	1	1	2	2
Richtzeichen missachtet [157]	3	6	4	5
Geschwindigkeit [8, 11]	16	13	12	5
Überholen [16-19, 22-25, 28]	3	13	1	6
Vorfahrt [32, 33, 34]	13	2	7	13
gesamt	36	37	27	32

Tab. 18: Häufigkeiten beobachteter Regelverstöße während der Versuchsfahrten

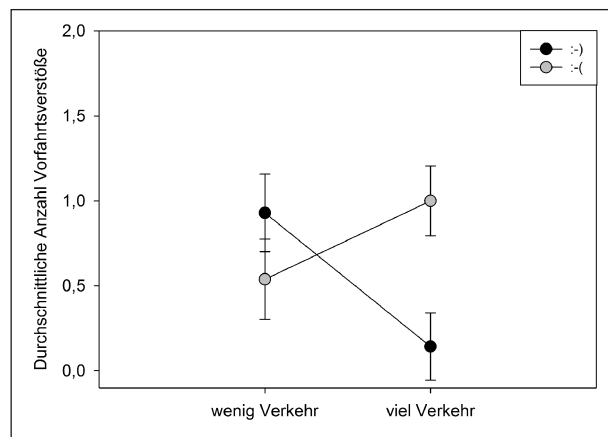


Bild 17: Vorfahrtsverstöße: Interaktion zwischen Gruppe und Szenario

Hier wurde mit vier Verstößen bei wenig Verkehr die höchste Anzahl an Verstößen insgesamt beobachtet (je ein Proband aus jeder Gruppe). Überholverstöße wurden eher bei viel Verkehr begangen ($M = 0.70$ ($SE = 0.07$)) als bei wenig Verkehr ($M = 0.15$ ($SE = 0.22$)) und $F(1, 25) = 6.00$, $p < 0.05$, $f = 0.49$.

Für Vorfahrtsverstöße war eine signifikante Interaktion zwischen Gruppe und Szenario zu beobachten mit $F(1, 25) = 13.38$, $p < 0.01$, $f = 0.73$ (s. Bild 17). Keine weiteren Effekte waren statistisch bedeutsam.

Nutzung von Verkehrslücken

Mittels gap acceptance wurde die Nutzung von Verkehrslücken getestet. In jedem Verkehrsszenario wurden zwei Typen dieser Situation eingesetzt:

Typ 1: Dem wartepflichtigen Probanden boten sich in einer Kolonne von sechs Pkw zwei Verkehrslücken nach dem zweiten (5s) und vierten (6s) Pkw.

Typ 2: In einer Viererkolonne bot sich dem wartepflichtigen Probanden nach dem zweiten Pkw eine Verkehrslücke von 5,5s, gebildet durch ein Krad, dem ein Pkw folgt.

Die Aufgabenparameter (z. B. Größe der dargebotenen Verkehrslücken) wurden einer Studie von PLATHO, KOLREP, RÖSSGER und KÜHN (2011) entnommen. Beide Aufgabentypen wurden je viermal pro Szenario dargeboten. Für die Auswertung wurden die Gruppenunterschiede über beide Verkehrsszenarien aggregiert geprüft. Tabelle 19 fasst die Häufigkeiten für alle Ereignisse zusammen, inklusive der Gesamtanzahl. Abweichungen zur Anzahl gültiger Ereignisse ergeben sich aus Situationen, in welchen die Fahrer die Kolonnen schon vor einer Gap-Acceptance-Situation passierten. Vor allem die erste Lücke der Sechs-Pkw-Kolonne wurde signifikant häufiger in der positiv gestimmten Gruppe genutzt als in der Gruppe mit erlebtem Misserfolg mit $\chi^2 = 19.52$, $p < 0.00$, $df = 2$. Letztere ließ die gesamte Kolonne häufiger passieren als die positiv gestimmte Gruppe. Die Lücke der Vier-Fahrzeuge-Kolonne wurde von beiden Gruppen häufig abgelehnt. Hier wurde ein Trend für die häufigere Wahl der Lücke durch die positiv gestimmte Gruppe beobachtet mit $\chi^2 = 2.69$, $p = 0.10$, $df = 1$.

Pkw	N _{ges}	N _{valid}	5s	6s	abgelehnt
☺	104	104	48	46	10
☹	96	94	23	40	31
nachKrad	N _{ges}	N _{valid}		5,5s	abgelehnt
☺	104	94		41	53
☹	96	88		28	60

Tab. 19: Nutzung von Verkehrslücken durch beide Probandengruppen, Gesamtzahl der Ereignisse (N_{ges}), gültige Ereignisse (N_{valid}) und Anzahl der gewählten und abgelehnten Lücken

Emotionsmanipulation

Die Valenzbeurteilung beider Gruppen war vor allem vom Versuchsverlauf geprägt: Vor dem Versuch (und dem Intelligenztest) waren alle Probanden positiver gestimmt als nach dem Versuch mit $F(1, 24) = 14.11$, $p < 0.01$ und starkem Effekt von $f = 0.77$. Der Faktor Gruppe mit $F(1, 24) = 0.02$, $p = 0.87$, $f = 0.03$ und die Interaktion zwischen Gruppe und dem Messzeitpunkt mit $F(1, 24) = 0.39$, $p = 0.54$, $f = 0.20$ waren nicht signifikant.

Die Gruppe mit Misserfolg im Test war deskriptiv leicht aktiver (M = 6.19, SE = 0.34) als die Gruppe mit positivem Feedback (M = 5.58, SE = 0.34) – ein Unterschied, der statistisch jedoch nicht bedeutsam war mit $F(1, 24) = 1.61$, $p = 0.22$, $f = 0.26$. Die Messwiederholung war mit $F(1, 24) = 0.07$, $p = 0.80$, $f = 0.05$ nicht signifikant und die Interaktion zwischen beiden Faktoren resultierte in einem Nulleffekt.

Hinsichtlich des Dominanzempfindens unterschieden sich beide Gruppen ebenfalls nicht voneinander mit $F(1, 24) = 0.19$, $p = 0.67$, $f = 0.09$. Die Messwiederholung war nicht signifikant mit $F(1, 24) = 1.65$, $p = 0.21$, $f = 0.26$ wie auch die Interaktion mit $F(1, 24) = 2.47$, $p = 0.13$, $f = 0.32$, wobei die Gruppe mit Misserfolg deskriptiv in der zweiten Erhebung geringere Dominanzwerte (M = 5.00, SE = 0.35) vergab als die Gruppe mit positivem Feedback (M = 5.62, SE = 0.35).

6.5 Diskussion

Die Emotionsmanipulation dieser Studie wurde augenscheinlich durch einen starken Effekt der Simulation selbst überlagert, indem alle Probanden, ob positiv oder negativ gestimmt, nach dem Versuch negativere Valenzwerte vergaben. Lediglich hinsichtlich der Skala Dominanz ließ sich ein Trend in Richtung eines erwartungskonformen Manipulationseffektes verzeichnen. Dennoch konnten bemerkenswerte Befunde für den Unterschied im fahrbezogenen Verhalten zwischen beiden Gruppen, besonders in Interaktion mit dem Verkehrsszenario, beobachtet werden:

Während die positiv gestimmte Gruppe ein, stark vereinfacht, ausgeglicheneres und sorgloseres Fahrverhalten zeigte, waren für die negativ gestimmte Gruppe größere Verhaltensunterschiede in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte und -komplexität zu verzeichnen. Dieser starke bis moderate Ef-

fekt wurde deutlich bei der Wahl der Maximalgeschwindigkeit, der Geschwindigkeitsvarianz und der Varianz bei der Bremspedalbetätigung, welche im komplexen Verkehr für die Frustrationsgruppe niedriger lagen als bei geringem Verkehrsaufkommen. Die recht hohen Maximalgeschwindigkeiten in der Spielstraße und 30-km-Zone waren u. a. dem Übersehen der entsprechenden Schilder geschuldet. Für die Überschreitung des Tempolimits wurde die höchste Anzahl an Verkehrsverstößen bei einzelnen Probanden insgesamt beobachtet. Die Höchstgeschwindigkeit 50 km bildete durch das Setting Stadtfahrt die Obergrenze, weshalb hier vermutlich eine weniger hohe Überschreitung beobachtet wurde.

Deskriptiv, mit moderaten Effektstärken, übte die positiv gestimmte Gruppe weniger Druck auf Gas- und Bremspedal aus. Auch im Sinne einer Ausgeglichenheit lenkten die positiv gestimmten Probanden bei wenig Verkehr im Mittel unruhiger als die negativ gestimmten Probanden. Diese Gruppe beging insgesamt mehr Regelverstöße. So wurden bei geringem Verkehrsaufkommen in der positiv gestimmten Gruppe mehr Vorfahrtsverstöße begangen als bei hoher Verkehrsdichte. Dieser Trend war umgekehrt in der Gruppe der negativ gestimmten Probanden. Die positiv gestimmte Gruppe nutzte häufiger die erste sich bietende Lücke bei einer Gap-Acceptance-Aufgabe, während die negativ gestimmte Gruppe die gesamte Kolonne häufiger passieren ließ.

Zusammenfassend wirkte sich der erlebte Misserfolg eher positiv auf das Fahrverhalten im Sinne einer höheren Vorsicht aus („Jetzt bloß nicht noch etwas falsch machen“). So wurden z. B. weniger Vorfahrtsverstöße begangen.

Die Verkehrsvariation wirkte ebenfalls eher nicht wie in den Hypothesen angenommen: Bei wenig Verkehr wurden mehr Regelverstöße begangen als bei viel Verkehr. Es wurden entgegen der Hypothese vor allem mehr Geschwindigkeitsverstöße bei wenig Verkehr beobachtet. Überholverstöße dagegen wurden eher bei viel Verkehr begangen, da hier auch mehr Fremdverkehr zum Überholen vorhanden war. Bei viel Verkehr wurde weniger unruhig gelenkt als bei wenig Verkehr, jedoch ein variablem Abstand gehalten. Diese Effekte sind möglicherweise der kurzen Dauer der Szenarien geschuldet, in welchen sich die Probanden, gerade bei viel Verkehr, noch gut konzentrieren konnten und nicht überfordert waren. Die geringe Verkehrsdichte führte vermutlich zu verringerter Aufmerksamkeit bzgl.

anderer Verkehrsteilnehmer. Als Hinweis darauf werten wir, dass in beiden Gruppen von je zwei ProbandInnen auch bei geringem Verkehrsaufkommen der brennende Lkw nebst Passanten übersehen wurde.

Die Kovariate Alter hatte Einfluss auf Geschwindigkeit und Gaspedalbetätigung. Alter und Lenkwinkelbeschleunigung korrelierten positiv miteinander; mit zunehmenden Alter wurde ein größerer Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern gehalten. Die Kovariate Fahrweise, als Kontrolle mutmaßlicher Trait-effekte auf die in der Studie induzierten affektiven Zustände, war an sich nicht bedeutsam, interagierete jedoch häufig mit dem Faktor Szenario.

Auch wenn die Ergebnisse der Simulatorstudie nicht den postulierten Vorhersagen entsprechen, konnten für die beiden getesteten Fehlervorläuferbedingungen tatsächlich Effekte auf das Fahrverhalten beobachtet werden. Es wurde vor allem deutlich, dass in Fahrsituationen komplexe Interaktionen zwischen verschiedenen Einflussvariablen entstehen, die vor allem in ihrer Gesamtheit Fehlverhalten, z. B. Regelverstöße, begünstigen oder verhindern bzw. abschwächen.

7 Prüfung der Anwendbarkeit der Taxonomie

Zur erneuten Prüfung der Fehlertaxonomie wurde eine exemplarische Analyse von sechs Probandenvideos der Simulatorstudie, je drei aus jeder Emotionsgruppe, im Szenario mit dichtem/komplexem Verkehr durchgeführt. Die Kategorisierung erfolgte mittels der Auswertekategorien der vorangegangenen Videoanalysen der Realfahrten (siehe Kapitel 5.1.2).

7.1 Ergebnisse

In den sechs Versuchsfahrten im Simulator wurden 13 potenziell kritische Ereignisse bzw. Manöverwünsche identifiziert, die als Startpunkte der Fehlerklassifikation gelten konnten. Aus der positiv gestimmten Gruppe gingen sieben Ereignisse ein ($n_{\max/\text{Person}} = 5$), die bei zwei ProbandInnen beobachtet wurden, und aus der negativ gestimmten Gruppe dementsprechend sechs Ereignisse, die jeweils bei einer der drei ProbandInnen beobachtet wurden ($n_{\max/\text{Person}} = 4$).

Darunter fielen:

- Überraschung durch ein vorfahrtnehmendes Fahrzeug, welches im Szenario als kritisches Ereignis gesetzt war (n = 5),
- Übersehen eines Spielstraßenschildes (n = 2),
- schnelles Anfahren an einen Fußgängerüberweg mit starkem Bremsmanöver (n = 2),
- Übersehen eines kreuzenden Fußgängers (n = 1) am Fußgängerüberweg (n = 1),
- Schneiden einer Kurve bei Gegenverkehr mit anschließendem Korrekturmanöver (n = 1),
- Vorfahrtsverstoß am Stoppschild durch Übersehen eines Fahrzeuges (n = 1).

Die entsprechenden Triggerarten waren:

- Regelverstoß (n = 4),
- Mimik (n = 4),
- geringer Abstand (n = 3),
- Gegenlenken (n = 1),
- starkes Bremsen (n = 1).

Die Kategorien Ablenkung und Witterung/Sicht sowie das städtische Setting mit einspuriger Straße, viel Verkehr und vorhandener Fahrbahnmarkierung waren konstant für alle analysierten Szenarien. Die Szene war nur zum Teil übersichtlich (n = 6); in etwa der Hälfte der Fälle verdeckten andere Verkehrsteilnehmer oder Infrastrukturelemente wie Laternen die Sicht (n = 5). Hektik und Müdigkeit waren nicht relevant.

7.2 Klassifikation

In vier der 13 Fälle wurde zu schnell gefahren. Das Blickverhalten wurde in sieben Fällen als gut eingestuft, in einem Fall als mäßig und in fünf Fällen als schlecht. In diesen fünf Fällen wurde das kritische Subjekt/Objekt zunächst überhaupt nicht fokussiert (Fußgänger/Beschilderung).

Die fünf Gefahrensituationen, die im Szenario durch ein vorfahrtnehmendes Fahrzeug bewusst erzeugt wurden, wurden jeweils ohne Fehler bewältigt. In diesen Fällen wurde das vorausschauende Fahren als gut klassifiziert. Es wurden von den FahrerInnen jeweils Abbremsmanöver durchgeführt, die einen Zusammenstoß mit dem vorfahrtnehmenden Fahrzeug verhinderten.

Sieben Gefahrensituationen wurden Verhaltensfehler durch mangelhaftes vorausschauendes Fahren zugewiesen, das jeweils in unangemessener Geschwindigkeit am Fußgängerüberweg bzw. in der Spielstraße mündete sowie in einer mangelhaften Kontrolle, ob die Straße an einem Stoppschild frei war. Zusätzlich, und teils begünstigt durch mangelhaftes vorausschauendes Fahren, wurden sieben Informationsaufnahmefehler klassifiziert, da das Spielstraßenschild, Fußgänger und Fahrzeuge an Kreuzungen übersehen wurden.

Es wurde ein Informationsverarbeitungsfehler zugeordnet. In dieser tendenziell gefährlichen Situation wurde das Fußgängerverhalten in der Nähe eines Zebrastrreifens nicht korrekt antizipiert und entsprechend zu spät abgebremst.

7.3 Diskussion

Aufgrund des kontrollierten Settings und der guten Videoqualität konnten bei der Analyse der Simulationsstudie im Gegensatz zur Analyse der Realfahrten (vgl. Kapitel 5.1.2) auch die Missachtung der Verkehrsregeln und die Sicht auf Verkehrszeichen in die Fehlerklassifikation einbezogen werden. Auch alle weiteren Informationen waren komplett transparent und nutzbar, anders als bei den analysierten Realfahrtvideos. Es konnten sowohl durch das Szenario provozierte als auch durch das Verhalten der FahrerInnen selbst hervorgerufene kritische Ereignisse in die Klassifikation einbezogen werden. Insbesondere konnten in der Simulation kritische Situationen gezielt herbeigeführt werden und das Fahrerverhalten anschließend der Fehleranalyse unterzogen werden. Hierbei stellte sich die Fehlervermeidung eines Zusammenstoßes mit einem vorfahrtnehmenden Verkehrsteilnehmer durch vorausschauendes Fahren als bemerkenswert heraus. Vier der sechs beobachteten ProbandInnen zeigten dieses Verhalten. Diese hatten aufgrund einer angemessenen Geschwindigkeit Zeit, auf das Ereignis zu reagieren, und nahmen es aufgrund ihres aktiven Blickverhaltens auch wahr. Im Fall unangemessenen Fahrverhaltens konnten eindeutig Fehler klassifiziert werden. Hier spielte mangelndes vorausschauendes Fahren im Sinne einer unangemessenen Geschwindigkeit die wesentliche Rolle. Der Befund passt gut zu Analyseergebnissen der 100-Car Study, indem bei den Realfahrten mit unangepasster Geschwindigkeit häufiger Unfälle auftraten. Bei der FOT-Videoanalyse waren jedoch vor allem Nebenaufgaben bzw. Ablenkung Ursache für Gefah-

rensituationen – Vorläuferbedingungen, die in der Simulationsstudie nicht relevant waren. Wie auch bei den Realfahrten war die Informationsaufnahme eine kritische Fehlervorläuferbedingung.

Zusammenfassend lässt sich die Fehlertaxonomie auch auf die Klassifizierung einer Simulatorstudie anwenden. Insgesamt konnten keine weiteren Fehler, die noch nicht in der Taxonomie vorhanden waren, beobachtet werden. Die Taxonomie wird daher als vollständig und praktikabel für die Analyse von kritischen wie auch von unkritischen Fahr-situationen bewertet. Unangepasste Geschwindigkeit nimmt auch in der Unfallstatistik eine prominente Rolle als Ursache aufgrund eines Fehlverhaltens bei der Fahrzeugführung ein (Statistisches Bundesamt 2013).

Ähnlich wurde die Darstellung der Fehlervorläuferbedin-gungen komprimiert, auf mögliche Interaktions-effekte zwischen Vorläuferarten geprüft und ent-sprechend grafisch angepasst (Bild 19). Es wurden Änderungen der Nomenklatur vorgenommen, um Konstrukte wie vormals beispielsweise State- und Traitvariablen (vgl. Anhang) noch trennschärfer den abgeleiteten Ausprägungen zuordnen zu können. Des Weiteren wurden die bisher eher als Ausprä-gungen deklarierten Merkmale Aufmerksamkeit, Müdigkeit sowie Alkohol/Drogen als Vorläufertypen der Kategorie Fahrer aufgenommen. Sie können als Disposition mit mittelbarem Einfluss auf das Fahrverhalten oder als situationsabhängige Zu-standsvariable mit unmittelbarem Einfluss wirken. Ausgehend von den Vorläuferbedingungen wurden auf Basis von vorangegangenen Recherchen und den Erkenntnissen aus eigenen Studien (z. B. PLATHO, PIETREK & KOLREP 2013) exem-plarisch Möglichkeiten der (positiven) Beeinflussung des Fahrverhaltens zusammengestellt (control options, vgl. Kapitel 5.4). Es wurden die unterschiedlichen Akteure (Fahrer, Infrastrukturver-antwortliche, Regelwerkverantwortliche, Aufsichts-

8 Abschlussdiskussion

8.1 Weiterentwicklung und Ausblick

Die Taxonomie wurde nach der Simulatorstudie zur Verbesserung der Übersichtlichkeit einer grafi-

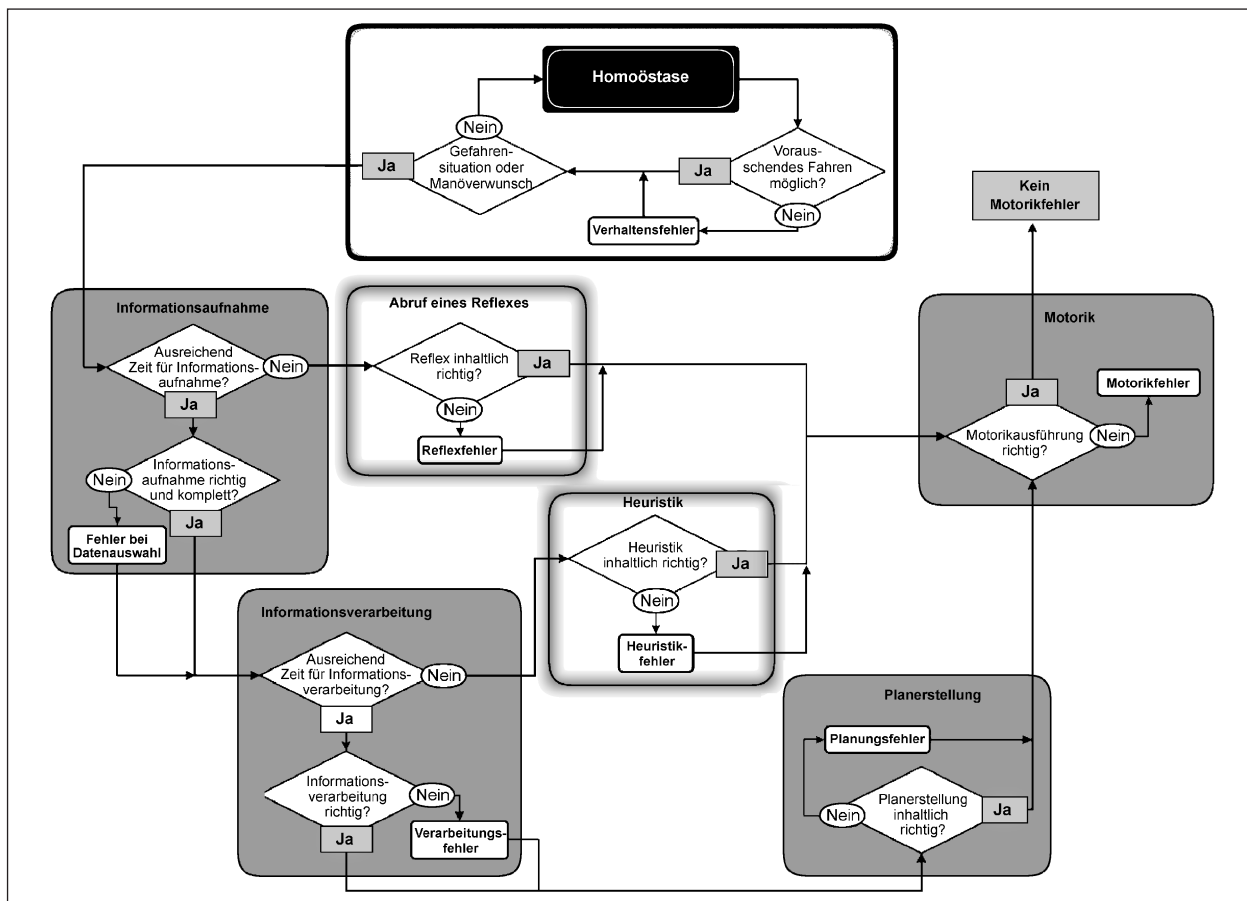


Bild 18: Taxonomie nach Überarbeitung

	Vorläuferart	Vorläufertyp	Akteure	Maßnahmen (Beispiele)
Fahrzeug	Funktions-tüchtigkeit	relevant für Fahraufgabe	Fahrzeughersteller Fahrschulen, Fahrer	Qualitätsmanagement, Überprüfung durch Diagnosesysteme (Öl, Reifendruck, etc.), Check-Intervalle Ausbildung (prüfen vor Fahrtbeginn), TÜV
	Vertrautheit	Allgemein Fahrerkabine	Fahrzeughersteller Fahrschulen, Fahrer	Designkontinuität, intuitive Bedienung, automatische Prüfung der Sitzeinstellung Ausbildung (vertraut machen vor Fahrtbeginn)
		Getriebeart	Fahrschulen, Fahrer	Ausbildung (Training auf mehreren Getriebearten; vertraut machen vor Fahrtbeginn)
Fahrer	Ressourcen	Motorik Planung Infoaufnahme- und Verarbeitung	Fahrer, Fahrschulen Regelwerkverantwortliche, Aufsichtsbehörden	Ausbildung (Automatisierung von Handlungsabläufen, Vorbereitung auf Fahrt) Einschränkung von Nebenaufgaben, z. B. Handyverbot; Kampagnen (Und wer fährt?)
	(körperliche) Fähigkeiten/Verfassung	Motorik Planung Infoaufnahme- und Verarbeitung	Fahrer, Fahrschulen Regelwerkverantwortliche, Aufsichtsbehörden	Ausbildung (Vorbereitung auf Fahrt) Einschränkung fahrbeeinträchtigender physischer Ausstattung, z. B. High Heels (bei Unfällen)
	erworbene Fertigkeiten	Expertise Streckenkenntnis	Fahrer	Übung Fahrtvorbereitung, lernende Navigationsassistentz
	Zustandsvariablen	Motivation/Emotion	Fahrer Fahrzeughersteller	mood detection, adaptives Sounddesign, ambient lighting
		Aufmerksamkeit	Fahrer Fahrzeughersteller Regelwerkverantwortliche, Aufsichtsbehörden	Aufmerksamkeitsstrategien üben intuitive, unaufdringliche Assistenzsysteme, Unterscheidung zwischen Warnungen und Informationen, unterbrechbare Informationssysteme Einschränkung von Nebenaufgaben
		Zeitmanagement	Fahrer	
		Müdigkeit	Fahrer Fahrzeughersteller Regelwerkverantwortliche, Aufsichtsbehörden	Müdigkeitwarner, Ruhezeitenwarner Fahrt- und Ruhezeitenregelungen, Kampagnen
		Regelkonformität	Fahrer Regelwerkverantwortliche, Aufsichtsbehörden	Regelkenntnis verbindliche Auffrischungsschulungen, Einstellungskampagnen, Regularien und Kontrolle, Konsequenzen bei Regelverstößen (Bußgeld etc.)
		Fahrverhalten	Fahrer Fahrschule	Ausbildung, Kampagnen
		Alkohol/Drogen	Fahrer Regelwerkverantwortliche, Aufsichtsbehörden	Aufklärungskampagnen, Regularien und Kontrolle
Umwelt	Infrastruktur	Übersichtlichkeit	Infrastrukturverantwortliche (Fahrzeug)Hersteller	Planung, Simulation verschiedener Maßnahmen und Ableitung der Konsequenzen Spurempfehlungen durch Navigationssystem
	Witterung	Sicht	Fahrer (Fahrzeug)Hersteller	angemessene Geschwindigkeit, ggf. Licht aktivieren aktive und passive Sicherheit, adaptives Licht, Nebel-sichtgerät/fog vision
		Fahrbahn	Kommunen, Bund	Markierung, Beräumung, ‚Wartung‘ Glatteiswarner (z. B. über Peer-to-peer-Netze)
	Verkehr	andere Verkehrsteilnehmer	Infrastrukturverantwortliche	Bedarfsanalysen und entsprechender Ausbau (z. B. Fahrradwege, Fußgängerüberwege)

Tab. 20: Vorläuferarten, involvierte Akteure und Beispielmaßnahmen

behörden, Fahrzeughersteller etc.) aufgeschlüsselt, die Einfluss auf die jeweilige Vorläuferbedingung oder ihre Folgen bei negativer Ausprägung nehmen können. Bei der Recherche bezüglich dieser Akteure wurde geprüft, für welche Vorläuferbedingungen noch Maßnahmenlücken bestehen, z. B. beim Vorläufertyp Motivation/Emotionen. Eine Maßnahmenübersicht für das System Fahrzeug – Fahrer – Umwelt ist Tabelle 20 zu entnehmen. Es wird davon ausgegangen, dass bei Personenvariablen, die eine Disposition darstellen, neben einer Verhaltensänderung der Person selbst wenige Einflussmöglichkeiten bestehen. Natürlich ist der Fahrer in erster Linie für sein Verhalten selbst verantwortlich. Jedoch kann schon in der Fahrausbildung, aber auch in Fahrsicherheitstrainings Einfluss auf die Eigenschaften eines guten Fahrers (vgl. Kapitel 4.1) genommen werden. Externale Faktoren wie eine adäquate Infrastrukturplanung oder sinnvolle Unterstützung durch gutes Fahrzeugdesign im Sinne passiver und aktiver Sicherheit, geringer Ablenkung oder geeigneter Warnung in kritischen Situationen können zusätzlich zu einer Fehlerreduktion beim Fahren beitragen. Im Folgenden werden die Inhalte der Tabelle näher erläutert.

Bezugsrahmen von Maßnahmen

Für die (positive) Beeinflussung der Vorläuferbedingungen kommen grundsätzlich seitens der (Fahrzeug-)Hersteller spezifische Fahrerassistenzsysteme, seitens der Ausbildung fahraufgabenbezogene, aber auch fahrerzustandsbezogene Inhalte und seitens der Behörden bzw. Regelverantwortlichen gesetzliche und infrastrukturelle Maßnahmen infrage.

Fahrerassistenzsysteme sind immer dann geeignet, wenn sich der Fahrer in einem kritischen Zustand befindet (z. B. müde ist) oder vor den (messbaren) Auswirkungen bzw. Konsequenzen eines solchen Zustandes (z. B. Verlassen der Spur) gewarnt werden kann. Sie sind als Feedbacksystem nur dann sinnvoll, wenn der jeweilige Zustand nicht bewusst durch den Fahrer herbeigeführt wurde (z. B. durch Alkoholkonsum). Der erfasste Zustand sollte durch ein Assistenzsystem nicht noch weiter beeinträchtigt werden (z. B. weitere Ablenkung durch FAS) und das Feedback durch das System sollte auch nicht, z. B. infolge einer hohen Anzahl an Fehlalarmen, durch den Fahrer als Störung empfunden werden. Fahrerassistenzsysteme setzen teils eine Fahrerzustandserkennung voraus, um potenzielle Gefahren schneller erkennen zu können. Einen aktuellen Überblick über bestehen-

de Systeme bieten z. B. BÖNNINGER, WEIßE und SCHÜPPEL (2010).

Ausbildung soll wissens- und fertigkeitsbasiert adäquates Fahrverhalten vermitteln. Über Theorieausbildung werden die kognitiven Anteile der Fahraufgabe erlernt. Hierbei scheint es sinnvoll, auch über mögliche Fahrerezustände und Fahrfehler aufzuklären sowie konkrete Verhaltensweisen als Alternativen zu bewusst negativem Verhalten (z. B. Drogengebrauch) anzubieten. Über Fahrstunden werden motorische Fertigkeiten trainiert. Im Lernverlauf werden so nützliche Heuristiken und Automatismen herausgebildet. Fahrsicherheitstrainings bieten darüber hinaus auch für erfahrene Fahrer einen geschützten Rahmen zum Erlernen eines sinnvollen Verhaltens in kritischen Situationen, zur Erarbeitung einer hohen Vertrautheit mit dem eigenen Fahrzeug sowie für eine realistische Einschätzung der eigenen Kompetenzen und Grenzen.

Behörden und Regelverantwortliche haben die Aufgabe, (bewusst) negatives Fahrverhalten durch einen gesetzlichen Rahmen zu regulieren. Zudem können sie landes- oder bundesweit präventiv oder als Reaktion auf Unfallanalysen Kampagnen durchführen, um allgemein zum verantwortungsvollen Fahrverhalten zu ermuntern oder auf verschiedene Gefahrenquellen aufmerksam zu machen. Darüber hinaus obliegt es dieser Gruppe von Akteuren, für eine fahrerunterstützende und unfallminimierende Infrastruktur zu sorgen.

Maßnahmen gegen Fehlervorläuferbedingungen und/oder deren Auswirkungen

Für die Fahrt muss das Fahrzeug funktionstüchtig sein. Dies wird in der Regel bei Neuwagen von den Herstellern garantiert. Im Verlauf der Nutzung werden Check-Intervalle vom Hersteller vorgegeben. Zudem muss sich der Fahrzeughalter, wie in der Fahrschule erlernt, an Intervalle zur Hauptuntersuchung (TÜV) halten und die allgemeine Funktionstüchtigkeit des Fahrzeuges selbst sicherstellen. Durch Diagnostiksysteme und entsprechende Statusanzeigen bzw. -warnungen werden Fahrer auf den Fahrzeugzustand wie Benzin- oder Ölstand hingewiesen. Die Vertrautheit mit dem Fahrzeug entsteht mit der Nutzung. Aber auch bei unbekanntem Fahrzeugen (z. B. Dienst- oder Leihwagen) muss sich der Fahrer vor Fahrtbeginn mit dem Fahrzeug vertraut machen, um es richtig bedienen zu können. Über Modelle eines Fahrzeugherstellers hinweg kann dies auch durch eine stimmige

Designphilosophie und gute Usability der Ein- und Ausgabegeräte unterstützt werden.

Fahrerseitig wirken sowohl überdauernde, ressourcenbezogene, fähigkeits- und fertigkeitbasierte Vorläuferbedingungen als auch verschiedene Fahrerzustände. Die Verfügbarkeit von Ressourcen (Aufmerksamkeit, allgemein vorausschauendes Fahren) hängt zum einen vom Ausbildungsstand und damit von der Verfügbarkeit geeigneter Heuristiken und Handlungsautomatismen ab, sowie von den Regelkenntnissen des Fahrers. Zum anderen wirken auf den Fahrer viele externale und internale Bedingungen, die ihn z. B. dazu verleiten, parallel zur Fahraufgabe weitere kognitive oder motorische Aufgaben auszuführen und damit Ressourcen von der Fahraufgabe abzuziehen. Um hier potenzielle Gefahrenquellen von vornherein einzudämmen, wie Handytelefonate, Schreiben von SMS etc., wird regulativ von Behörden mittels Verboten eingeschritten (Ordnungswidrigkeiten nach BMVBS, § 23(1a&b) StVO) oder es werden Kampagnen durchgeführt (Und wer fährt? – Kampagne des Deutschen Verkehrssicherheitsrates 2002). Ähnliches gilt für körperliche Fähigkeiten und Verfassung: Schulung trägt zur Entwicklung von motorischen Handlungsroutinen bei sowie zur Einschätzung, ob mit einer bestimmten (temporären) Einschränkung noch sicher ein Auto bedient werden kann. Die Fahreignung wird definiert über die Fahrerlaubnisverordnung (FeV, z. B. § 11 – Eignung und § 12 – Sehvermögen). Regulatorisch werden beeinträchtigende physische Voraussetzungen zumindest bei Unfallbeteiligung im Sinne einer Verletzung der Sorgfaltspflicht geahndet (§ 23 StVO). Streckenkenntnis, als auf eine bestimmte Fahrstrecke bezogene Expertise, kann in niedriger wie hoher Ausprägung positive und negative Effekte haben: Einerseits wird bei geringer Streckenkenntnis vorsichtiger und aufmerksamer gefahren, andererseits ist der Fahrer stärker abgelenkt, weil er auf viele Informationen achten muss und diese schlechter gewichten kann. Streckenerfahrene Fahrer können die benötigten Informationen besser selektieren, werden jedoch stark gefordert, wenn sich an den Bedingungen der Strecke etwas kurzfristig ändert (z. B. Baustellen, Vorfahrtsänderungen) und damit erworbene Routinen nicht mehr greifen. Im Allgemeinen unterstützen Navigationsgeräte inklusive Warnungen vor Geschwindigkeitsüberschreitungen den Fahrer auf unbekanntem Strecken. Lernende Systeme (im Sinne einer Detektion von ‚Streckenkenntnis‘ sowie des Updates

der Streckenbeschilderung) könnten noch umfassender (auch streckenerfahrenen) Fahrern Hilfe anbieten, indem allgemein die Beschilderung und Ampelphasen (Warnung vor ‚Rot‘, wenn das Fahrzeug bei Annäherung an Ampel nicht abbremst), Beschilderungsänderungen oder andere Änderungshinweise ausgegeben werden.

Als kritische Fahrerzustandsvariablen sind in der Fehlervorläuferübersicht bzw. in der darauf basierenden Tabelle 20 Emotionen/Motivation, Aufmerksamkeit, Müdigkeit, Regelkonformität, Fahrverhalten und Alkohol/Drogen aufgenommen. Der emotional-motivationale Zustand des Fahrers ist wissenschaftlich wie auch assistenztechnisch bisher nicht in den Fokus der positiven Beeinflussung des Fahrerhaltens gerückt. Über die sich in den letzten Jahren entwickelnde mood detection (z. B. <http://www.ist-esense.org/>), d. h. die Erfassung des affektiven Zustandes einer Person über Sensorik und die Bereitstellung des ‚Ergebnisses‘ für intelligente Anwendungen, könnte hierfür der Fahrerzustand erhoben und emotionsbezogen klassifiziert werden (z. B. LICHTENSTEIN, OEHME, KUPSCHICK & JÜRGENSOHN 2008). Die wesentliche Frage ist jedoch, was nach der Klassifizierung passiert. Ambiente Beleuchtung könnte, ähnlich wie im Einzelhandel für das Kaufverhalten eingesetzt (für einen Überblick siehe QUARTIER, CHRISTIAANS & van CLEEMPOEL (2009), hoch aktivierte, jedoch negativ gestimmte Fahrer in einen ausgeglicheneren Modus überführen. Ebenso wäre ein adaptives Sounddesign denkbar. Die Überprüfung der Wirksamkeit derartiger Maßnahmen, die Fragen, wie eine optimale Auslegung realisiert werden müsste und ob Akzeptanz für einen derartigen Eingriff in das Fahrgefühl erreicht werden könnte, bleiben weiterer Forschung vorbehalten.

Die direkte Messung der Aufmerksamkeit ist durch Erfassung der Head-down-Zeit möglich. Indirekt kann Aufmerksamkeit z. B. über die Spurhaltung oder eine wechselnde, von der Richtgeschwindigkeit stark abweichende Geschwindigkeit erfasst werden. Für die Warnung vor Gefahren bei mangelnder Aufmerksamkeit oder zu deren Unterstützung sind bereits diverse Assistenzsysteme auf dem Markt: Spurhalteassistenten, Spurwechsel- oder Toter-Winkel-Warner, die Anzeige von Verkehrsschildern und Warnungen vor Überschreitung der aktuellen Richtgeschwindigkeit sowie die Freisprechanlage, die an sich als Hilfsmittel zumindest die körperliche Ablenkung beim Telefonieren minimiert (biomechanical interference, TIJERINA 2000).

Die Berücksichtigung des Aufmerksamkeitszustandes kann darüber hinaus als Trigger zur Aktivierung aktiver und/oder passiver Sicherheitssysteme genutzt werden.

Müdigkeit ist verschiedenen Studien zufolge Ursache von 10 % bis 20 % der Straßenverkehrsunfälle (DINGUS et al. 2006, TEN THOREN & GUNDEL 2003, EVERS & AUERBACH 2005). Zur Messung von Müdigkeit am Steuer kommen sehr verschiedene Verfahren zum Einsatz: Lenkverhalten, Spurhaltung, gemischte Fahrzeugparameter, kopfbasierte Maße, Körperbewegung, Psychomotorik, Reaktionszeit, Fitness-for-Duty-Maße, Zweitaufgaben, Physiologie, augenbasierte Maße oder jeweils Kombinationen verschiedener Maße. PLATHO und Kollegen (2013) geben einen umfassenden Überblick über die Messmethoden und die aktuell am Markt befindlichen Müdigkeitswarnsysteme. Behörden sind für Berufskraftfahrer Fahrt- und Ruhezeitenregelungen bindend. Zudem ist Müdigkeit ein Thema von Sicherheitskampagnen (Plakat „Mach doch mal Pause“; Auftanken auf der Autobahn – Kampagne der Deutschen Sporthochschule Köln mit der DA Direkt Versicherung 2012).

Die Regelkonformität wie auch das allgemeine Fahrverhalten sind stark personenabhängige Merkmale, welche je nach Situation, z. B. durch Zeitdruck, ebenfalls stark variieren können. Regelkonformität kann schlecht durch ein Assistenzsystem beeinflusst werden. Geschwindigkeitswarnsysteme werden kaum etwas beitragen können, wenn der Fahrer gerade in Eile ist oder die Leistung seines Fahrzeuges auf der Autobahn genießt. Für vorausschauendes und rücksichtsvolles Verhalten wird, wie im Fall Müdigkeit, ebenfalls in Kampagnen geworben (Rücksicht – besser als Vorsicht – Kampagne des BMVBS 2013; Runter vom Gas – Kampagne des BMVBS und des DVR seit 2008). Weitere Möglichkeiten bieten Incentive-Systeme für positives Fahrverhalten z. B. in Form von fahrzeugbezogenen Gutscheinen oder in sozialen Netzwerken: Innerhalb von Firmen funktioniert gerade für wenig geschätzte Aufgaben ein Anreizsystem aus der Spielewelt – gamification oder Spieleifizierung welches u. a. über spezifische Aufgaben (quests), Ranglisten und Punkte zu einer Zunahme von gewünschtem Verhalten führt. Hierfür wären ein Assistenzsystem, welches Feedback über das eigene Verhalten gibt, sowie eine Vergleichsmöglichkeit mit anderen Teilnehmern notwendig. Das Anreizsystem müsste über verschiedene Träger (BMVBS, Versicherer etc.) gemein-

sam mit Herstellern und natürlich auch Fahrern entwickelt werden.

Alkohol am Steuer wird ab einer Promillegrenze von 0,5 auch ohne Anzeichen von Fahrunsicherheit mit einem Bußgeld geahndet. Neben diesen regulatorischen Maßnahmen werden von Behörden oder Verbänden Kampagnen durchgeführt, die auch zielgruppenspezifisch erfolgen (Don't drink and drive – Kampagne der Spitzenverbände aus den Branchen Bier, Wein, Sekt und Spirituosen seit 1993, Event der Kampagne: Wer fährt, bleibt nüchtern). Ähnliche Verbote und Kampagnen gibt es gegen Drogenkonsum (Don't Drug and Drive – Kampagne der Deutschen Versicherer und der Polizei seit 2004). Ein Fahrerassistenzsystem scheint für diese Vorläuferbedingung nicht sinnvoll.

Umweltseitig tragen vor allem Planer und Behörden des Bundes und der Länder dazu bei, die Einflüsse von Infrastruktur, Witterung und Fremdverkehr positiv zu gestalten. Über geeignete bauliche Maßnahmen (Leitsysteme, Radwege, Fahrbahnbelag etc.), regelmäßige Wartung, Verkehrssimulationen und den Ausbau von Verkehrsnetzen werden die Grundlagen eines sicheren Verkehrs geschaffen. Fahrerassistenzsysteme kommen unterstützend zum Einsatz: Navigationssysteme mit eindeutigen Spurempfehlungen helfen bei der Orientierung; adaptives Licht, Nebelsichtgeräte/fog vision in Anlehnung an night vision sowie z. B. über kooperative Systeme gespeiste Glatteiswarner unterstützen bei ungünstiger Witterung. Allgemeine Hinweise und Warnungen zum Straßen- und Wetterzustand werden zudem seit 1974 über den Verkehrsfunk ausgegeben (Deutschlandfunk 2005).

8.2 Fazit: Nutzung und Nutzen der Fehlertaxonomie

Im hier berichteten Projekt wurde der theoretische Ansatz von HOLLNAGEL (1998) als Vorgehensmodell genutzt und konsequent zur Entwicklung einer Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung umgesetzt. Es wurden Vorläuferbedingungen für das System Fahrer – Fahrzeug – Umwelt zusammengestellt, die Fehler bei der Fahrzeugführung beeinflussen. Abschließend wurden Kontrolloptionen für die (positive) Beeinflussung dieser Vorläufer referiert. Im Sinne des HOLLNAGELschen Ansatzes sollte in Folgeforschung eine Systematisierung von Lead-Indikatoren für die Vorläuferbedingungen erfolgen. Des Weiteren steht, neben der

fortgesetzten Prüfung der Generalisierbarkeit der Taxonomie, eine empirische Prüfung der Zusammenhänge zwischen Vorläufern und Fehlern aus. Im Idealfall kann mit Hilfe der Indikatoren und ihrer eindeutigen Zuordnung zu Vorläufern, und letztendlich zu Fehlern, ein verhaltensbezogenes Gefährdungsmaß abgeleitet werden.

Die Taxonomie, wie auch die Sammlung von Fehlervorläuferbedingungen, wendet sich an die FOT- und NDS-Community sowie an Unfallforscher und andere verkehrspsychologisch-wissenschaftlich Interessierte. Während die erarbeitete Taxonomie eine breite Anwendbarkeit für die Klassifikation von Fahrfehlern und fehlerfreiem Verhalten bietet, ist die Übersicht an Fehlervorläuferbedingungen als lebendes Dokument zu sehen, welches je nach neuem Erkenntnisgewinn umstrukturiert und ergänzt werden kann. Letztere dient, wie die Taxonomie, als Basis für die Ableitung von Fahrerassistenzbedarf und anderen Maßnahmen, zur Generierung von Hypothesen und zur strukturierten Sammlung von Studienergebnissen. Für die Taxonomie sowie die Sammlung an Fehlervorläuferbedingungen kommen prinzipiell zwei Einsatzgebiete infrage: die Anwendung ihrer Inhalte als Gegenstand von Schulungen sowie die taxonomiebasierte Erhebung¹¹ und Analyse von FOT- und NDS-Daten und Unfällen.

Fahrertraining

Die Fahrausbildung bildet die Grundlage für ein sicheres und vorausschauendes Fahrverhalten. Im Rahmenplan für den Grundstoff für alle Führerscheinklassen der Fahrschüler-Ausbildungsordnung von 2012 werden bereits viele Vorläuferbedingungen thematisiert. Diese können um noch fehlende Bedingungen aus unserer Übersicht angereichert werden, wie bspw. Ressourcen und erworbene Fertigkeiten. Zudem kann der Inhalt der Taxonomie, d. h. die Systematisierung von Fehlern beim Fahrverhalten, das Curriculum um die Fahraufgabe und den Faktor Mensch bereichern.

Analysen und Klassifikation

Bei der Recherche von FOT- und NDS-Studien hat sich gezeigt, dass die Vielzahl von Fragestellungen,

Operationalisierungen und abgeleiteten Maßnahmen zu einer recht unüberschaubaren Fülle an Daten (nicht unbedingt Ergebnissen) führt, deren Auswertung und letztendliche Interpretation eine große Hürde bilden. Einerseits wird besonders die Ableitung allgemeiner Aussagen durch das heterogene Vorgehen erschwert. Andererseits zeigt sich, dass die Komplexität der Vielzahl von Variablen und erfassten Fahrdaten nicht zu einfachen deterministischen Formeln führt, die letztendlich im Umkehrschluss (wenn Spurhaltung XY, dann Ablenkung und erhöhtes Unfallrisiko) für die Assistenzsystementwicklung genutzt werden können. Es bleibt eine Herausforderung, durch pure Fahrdaten fehlervermeidendes Verhalten von unfallrisikobegünstigendem zu unterscheiden. Hier kommt der Videoanalyse durch geschulte Beobachter besondere Bedeutung zu, bringt sie doch eine Klassifikationshilfe unter Einbezug vieler Variablen ein, die nicht ohne weiteres aus Fahrdaten gewonnen werden können. Dieses Vorgehen hat sich bereits für die Verhaltensklassifikation aus Fahrdaten beim Konstrukt Müdigkeit bewährt (KOLREP, RIMINI-DÖHRING, OEHME, JÜRGENSOHN & ALTMÜLLER 2005; MOHS, PLATHO, KOLREP & JÜRGENSOHN 2011). Die hier erarbeitete Taxonomie findet dabei ein breites Anwendungsgebiet für die Klassifikation von Fahrfehlern und fehlerfreiem Verhalten bei Manövern, kritischen Situationen bis hin zu Beinaheunfällen oder Unfällen aus Fahrtvideos. Sie kann zur Harmonisierung von FOT- und NDS-Datenanalysen eingesetzt werden und somit eine erste Vergleichsbasis zwischen den bisher ebenfalls heterogen ausgewerteten Daten bilden. Klassifizierte Ereignisse wiederum, und damit eine konkrete Zuordnung von Fehlertypen zu Fahrerverhalten und -daten sowie den zugehörigen situativen Variablen, ermöglichen die Ableitung von Fahrerassistenzbedarf, Bedarf an infrastrukturellen sowie fahrerfertigungsbezogenen Maßnahmen, z. B. Schulungen.

Eine ähnliche Lage wie bei FOT-Daten bietet sich bei der retrospektiven Analyse von Unfällen sowie der Erhebung von Unfalldaten, z. B. durch die Befragung von Beteiligten und Zeugen: Die Basisinformationen zur späteren Analyse und Unfallforschung sind heterogen und meist auch ungeeignet zur Ableitung von Maßnahmen, da häufig wichtige Details fehlen. Die Taxonomie bietet hierfür zum einen eine Grundlage, übergreifend und standardisierend Unfälle zu klassifizieren. Zum anderen bildet sie eine Basis, um wichtige (die richtigen) Items

¹¹ Sinnvoll wäre es, durch geeignete Datenerhebung in FOT-Studien die Anwendbarkeit der Taxonomie zumindest immer dann sicherzustellen, wenn Fahrfehler analysiert werden sollen.

für die Befragung von Beteiligten und Zeugen abzuleiten. In Folge kann damit ein verbindlicher Interviewleitfaden zur Unfallaufnahme entwickelt werden. Die damit verbundene standardisierte Erhebung von Fahrfehlern ermöglicht wertvolle Erkenntnisse über die Relevanz verschiedener Fehler im Sinne einer Fehlerhierarchie, die wiederum eine Gewichtung von Maßnahmen hinsichtlich der Systemkomponenten Fahrer, Fahrzeug und Umwelt unterstützt.

Literatur

- ABDU, R., SHINAR, D. & MEIRAN, N. (2012): Situational (state) anger and driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15, 575-580
- ÅBERG, L. & RIMMÖ, P.-A. (1998): Dimensions of aberrant driver behaviour. *Ergonomics*, 41, 39-56
- ABLASSMEIER, M., POITSCHKE, T., WALLHOFF, F., BENGLER, K., & RIGOLL, G. (2007): Eye gaze studies comparing head-up and head-down displays in vehicles. *Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Beijing, China, July 2-5, 2007*, 2250-2252. <http://www.mmk.ei.tum.de/publ/pdf/07/07abl3.pdf> (01.09.2013)
- AGBINYA, J. I., BIERMANN, E., HAMAM, Y., ROCARIES, F., LAL, S. K. (2009): *Biomedical and environmental sensing*, River Publishers, Aalborg, Denmark
- Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e. V. (Hrsg.) (2010): *Mobilität in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse*. Verfügbar unter: http://www.adac.de/_mmm/pdf/statistik_mobilitaet_in_deutschland_0111_46603.pdf (06.07.2013)
- BEIERLE, B. (1995): *Psychologische und technische Analyse von Lkw-Verkehrsunfällen*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag
- BERNOTAT, R. (1970): Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13, 353-377
- BÖHM, H., SCHNEIDER, W. et al. (1965): *Verkehrsteilnehmergruppen und Verkehrserziehungsmittel*. Forschungsgemeinschaft „Der Mensch im Verkehr“ e. V. (Hrsg.). Köln
- BÖNNINGER, J., WEIßE, B. & SCHÜPPEL, U. (2010): *Fahrkompetenz und Straßenverkehr im 21. Jahrhundert*. In: W. SCHUBERT & V. DITTMANN (Hrsg.), *Faktor Mensch – Zwischen Eignung, Befähigung und Technik*, Tagungsband des 5. Gemeinsamen Symposiums von DGVP und DGVM am 23.-24. Oktober 2009 in Weimar (S. 42-47), Bonn: Kirschbaum
- BRADLEY, M. M., LANG, P. J. (1994): Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 25, 49-59
- BROWN, I. D. (1990): Drivers' margins of safety considered as a focus for research on error. *Ergonomics*, 33, 1307-1314
- BROWN, I. D. (2005): *Review of the 'Looked but Failed to See' Accident Causation Factor*. Department of Transport, London. Road Safety Research No. 60
- BÜHNER, M. & ZIEGLER, M. (2009): *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson
- Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH (2013): *Bußgeldkatalog-Verordnung vom 14. März 2013 (BGBl. I S. 498)*. Verfügbar unter: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bkatv_2013/gesamt.pdf (06.07.2013)
- CHAPANIS, A. (1951): Theory and method for analysing errors in man-machine systems. *Annals of the New York Academy of Science*, 51, 1179-1203
- CHASE, W. G. & SIMON, H. A. (1973a): The mind's eye in chess. In: W. G. CHASE (Eds.), *Visual information processing* (215-281). New York: Academic Press
- CHASE, W. G. & SIMON, H. A. (1973b): Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81
- CHEN-WING, S. L. N. & DAVEY, E. C. (1998): Designing to Avoid Human Error Consequences. In *Proceedings of Second Workshop on Human Error, Safety, and System Development (HESSD '98), Session 5, Seattle, WA*. http://www.crew-ss.com/portfolio/download/HEW98_Design_for_HE.pdf (01.09.2013)

- COOPER, J. M., VLADISAVLJEVIC, I., MEDEIROS-WARD, N., MARTIN, P. T. & STRAYER, D. L. (2009): An Investigation of Driver Distraction Near the Tipping Point of Traffic Flow Stability. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 51, 261-268
- COWAN, N., CHEN, Z. & ROUDER, J. (2004): Constant capacity in an immediate serial recall task: A logical sequel to MILLER (1956). *Psychological Science*, 15 (9), 634-640. doi:10.1111/j.0956-7976.2004.00732.x
- CHUCHOLOWSKI, C. (2010): Menschlichkeit in Fahrermodellen – Anforderungen und Einsatzmöglichkeiten. In: H. KOLREP & T. JÜRGENSOHN (Hrsg.), *Zwischen kinematischen Menschmodellen und dynamisch-kognitiven Verhaltensmodellen*. 3. Berliner Fachtagung Fahrermodellierung, Berlin, 17./18. Juni 2010. *Fortschritt-Berichte VDI*, Düsseldorf: VDI Verlag, S. 1-7
- DEKKER, S. (2003): Illusions of explanation: A critical essay on error classification. *International Journal of Aviation Psychology*, 13 (2), 95-106. DOI: 10.1207/S15327108IJAP1302_01
- DEKKER, S. (2006): *The Field Guide to Understanding Human Error*. Aldershot: Ashgate
- DEKKER, S. (2011): *Drift into Failure: From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems*. Aldershot: Ashgate
- Deutschlandfunk (2005): Die ARD schaltet das Autofahrer-Informationssystem (ARI) ab. <http://www.dradio.de/dlf/sendungen/marktundmedien/351445/> (07.08.2013)
- DINGUS, T. A., KLAUER, S. G., NEALE, V. L., PETERSEN, A., LEE, S. E., SUDWEEKS, J., PEREZ, M. A., HANKEY, J., RAMSEY, D., GUPTA, S., BUCHER, C., DOERZAPH, Z. R., JERMELAND, J. & KNIPLING, R. R. (2006): The 100-Car Naturalistic Driving Study, Phase II – Results of the 100-Car Field Experiment. Washington D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, USDOT. <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/Driver%20Distraction/100CarMain.pdf> (10.09.2012)
- DONGES, E. (1978): Ein regelungstechnisches Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens im Kraftfahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 24, 98-112
- DORNHÖFER, S. & PANNASCH, S. (2000): Risky Business: Der Gefahr ins Auge geblickt! Technische Universität Dresden. S. 8-10. http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_mathematik_und_naturwissenschaften/fachrichtung_psychologie/i3/applied-cognition/publikationen/pdf/dornhoefer2000 (01.09.2013)
- DUKE, J., GUEST, M. & BOGGESS, M. (2010): Age-related safety in professional heavy vehicle drivers: A literature review. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 364-371. doi:10.1016/j.aap.2009.09.026
- EBERHARD, J. (2008): 'Older drivers' 'high per mile crash involvement' – the implications for licensing authorities. *Traffic Injury Prevention*, 9, 284-290
- ERDMANN, G. & BECKER, J. (1978): Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung von Ephedrin in einer ärgerauslösenden Situation. *Arzneimittel-Forschung* 28, 1313-1315
- EVANS, L. (1991): *Traffic Safety and the Driver*. New York: van NOSTRAND Reinhold
- EVERDIJ, M. H. C. & BLOM, H. A. P. (2008): Safety Methods Database. <http://www.nlr.nl/documents/flyers/SATdb.pdf> (01.09.2013)
- EVERS, C. & AUERBACH, K. (2005): Verhaltensbezogene Ursachen schwerer Lkw-Unfälle. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach
- FARMER, E. & CHAMBERS, E. G. (1926): A Psychological Study of Individual Differences in Accident Rates, Report No. 38, Medical Research Council, Industrial Fatigue Research Board, London: HMSO
- FERGUSON, S. A., TEOH, E. R. & McCARTT, A. T. (2007): Progress in teenage crash risk during the last decade. *Journal of Safety Research*, 38 (2), 137-145
- FESTA Consortium (2008): Handbook version 2. <https://dSPACE.lboro.ac.uk/dSPACE-jspui/bitstream/2134/5700/1/AR2600%20FESTA%20Handbook%20version2.pdf> (01.09.2013)

- FITCH, G. M., LEE, S. E., KLAUER, S. G., HANKEY, J., SUDWEEKS, J. & DINGUS, T. A. (2009): Analysis of Lane-Change Crashes and Near-Crashes. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, USDOT. <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/2009/811147.pdf> (10.09.2012)
- FITTS, P. M. & POSNER, M. I. (1962): Human Performance. Monterey, CA: Brooks/Cole
- FULLER, R. (2005): Towards a general theory of driver behaviour. *Accid. Anal. Prev.*, 37, 461-472
- GIESA, H. G. & TIMPE, K.-P. (2002): Technisches Versagen und menschliche Zuverlässigkeit: Bewertung der Verlässlichkeit in Mensch-Maschine-Systemen. In: K.-P. TIMPE, T. JÜRGENSOHN & H. KOLREP (Hrsg.), *Mensch-Maschine-Systemtechnik* (S. 63-106). Düsseldorf: Symposion
- GOBET, F. & SIMON, H. (1998): Expert chess memory: Revisiting the chunking hypothesis. *Memory*, 6 (3), 225-255. doi:10.1080/741942359
- GRÜNDL, M. (2005): Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen. Dissertation, Universität Regensburg
- GSTALTER, H. & FASTENMEIER, W. (2010): Reliability of Drivers at Urban Intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 225-234
- GUO, F., KLAUER, S. G., MCGILL, M. T., & DINGUS, T. A. (2010): Task 3-Evaluating the Relationship Between Near-Crashes and Crashes: Can Near-Crashes Serve as a Surrogate Safety Metric for Crashes? Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, USDOT. <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/Human%20Factors/Safety%20Problem%20Identification/DOT%20HS%20811%20382.pdf> (10.09.2012)
- HACKER, W. (1998): Fehlhandlungen und Handlungsfehler. In: W. HACKER (Hrsg.), *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten*. Bern: Huber
- HANOWSKI, R. J., OLSON, R. L., HICKMAN, J. S. & DINGUS, T. A. (2006): The 100-Car Naturalistic Driving Study: A Descriptive Analysis of Light Vehicle-Heavy Vehicle Interactions from the Light Vehicle Driver's Perspective, Data Analysis Results. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, USDOT. <http://www.fmcsa.dot.gov/facts-research/research-technology/report/100-car-naturalistic-study/100-car-naturalistic-study.pdf> (10.09.2012)
- HELANDER, M. G. (1997): The Human Factors Profession. In: G. SALVENDY (Eds.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 2nd Edition (3-16). New York: Wiley
- HERBIG, B. & GLÖCKNER, A. (2009): Experts and decision making: First steps towards a unifying theory of decision making in novices, intermediates and experts. Preprints of the Max Planck Institute for Research on Collective Goods, No 2009/2. http://www.coll.mpg.de/pdf_dat/2009_02online.pdf (01.09.2013)
- HERSLUND, M.-B. & JORGENSEN, N. O. (2003): Looked-but-failed-to-see-errors in traffic. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 885-891
- HOFINGER, G. (2008): Fehler und Unfälle. In: P. BADKE-SCHAUB, G. HOFINGER & K. LAUCHE (Hrsg.), *Human-Factors – Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen*. Berlin: Springer, S. 37-55
- HOLLNAGEL, E. (1998): *Cognitive Reliability and Error Analysis Method – Cream*. North Holland: Elsevier
- HOLLNAGEL, E. (2004): *Barriers and Accident Prevention*. Aldershot: Ashgate
- HOLLNAGEL, E. (2006a): Resilience – The Challenge of the Unstable. In: E. HOLLNAGEL, D. D. WOODS & N. LEVENSON (Eds.), *Resilience Engineering – Concepts and Precepts* (9-20), Aldershot: Ashgate
- HOLLNAGEL, E. (2006b): *Cream – Cognitive Reliability and Error Analysis Method*. http://www.ida.liu.se/~eriho/CREAM_M.htm (10.09.2012)
- HOLLNAGEL, E. (2008): Safety Management – Looking Back or Looking Forward. In: E. HOLLNAGEL, C. P. NEMETH & S. DEKKER (Eds.), *Remaining Sensitive to the Possibility of Failure, Resilience Engineering Perspectives, Volume 1* (63-78). Aldershot: Ashgate

- HOLTE, H. (2007): Der automobile Mensch. Schlaglichter auf das Verhalten im Straßenverkehr. Köln: TÜV-Media GmbH
- HOLTE, H. (2012): Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten und das Unfallrisiko junger Fahrerinnen und Fahrer. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 229, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- HORBERRY, T., ANDERSON, J., REGAN, M. A., TRIGGS, T. J. & BROWN, J. (2006): Driver distraction: The effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 185-191
- HOYOS, C. G. & KASTNER, M. (1986): Belastung und Beanspruchung von Kraftfahrern. Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen
- JAHN, G., OEHME, A., KREMS, J. F. & GELAU, C. (2005): Peripheral detection as a workload measure in driving: Effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. *Transportation Research Part F*, 8, 255-275
- KAISER, H. J. & OSWALD, W. D. (2000): Autofahrer im Alter – eine Literaturanalyse. *Zeitschrift für Gerontopsychologie & -psychiatrie*, 13 (3-4), 131-170. DOI:10.1024//1011-6877.13.34.131
- KIRWAN, B. (1994): *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London: Taylor & Francis
- KLAUER, S. G., DINGUS, T. A., NEALE, V. L., SUDWEEKS, J. D. & RAMSEY, D. J. (2006): The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, USDOT. <http://www.nhtsa.dot.gov/staticfiles/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/Driver%20Distraction/810594.pdf> (10.09.2012)
- KLAUER, S. G., DINGUS, T. A., NEALE, V. L., SUDWEEKS, J. D. & RAMSEY, D. J. (2009): Comparing Real-World Behaviors of Drivers With High versus Low Rates of Crashes and Near-Crashes. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, USDOT. <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/2009/811091.pdf> (10.09.2012)
- KLAUER, S. G., GUO, F., SUDWEEKS, J. & DINGUS, T. A. (2010): An Analysis of Driver Inattention Using a Case-Crossover Approach on 100-Car Data: Final Report. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, USDOT. <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/Crash%20Avoidance/Technical%20Publications/2010/811334.pdf> (10.09.2012)
- KOLREP, H., RIMINI-DÖHRING, M., OEHME, A., JÜRGENSOHN, T. & ALTMÜLLER, T. (2005): Wie sieht müde aus? – Entwicklung und Validierung einer Skala zur Müdigkeitsbewertung von Kraftfahrern. In: L. URBAS & C. STEFFENS (Hrsg.), *Zustandserkennung und Systemgestaltung*. 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme (pp. 65-70). Düsseldorf: VDI Verlag
- KOOLE, SANDER, L., SMEETS, KARIANNE, van KNIPPENBERG, Ad, DIJKSTERHUIS, Ap (1999): The Cessation of Rumination Through Self-Affirmation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77 (1), 111-125
- KOUSTANAI, A., BOLOIX, E., ELSLANDE, P. & BASTIEN, C. (2008): Statistical analysis of "looked-but-failed-to-see-accidents": highlighting the involvement of two distinct mechanisms. *Accident Analysis and Prevention*, 40 (2), 461-469
- LARSEN, R. J. & KETELAAR, T. (1989): Extraversion, neuroticism and susceptibility to positive and negative mood induction procedures. *Personality and Individual Differences*, 10, 1221-1228
- LEVESON, N. G. (2011) *Engineering a Safer World – Systems Thinking Applied to Safety*. Cambridge MA: MIT Press
- LEVY, D. T. (1988): The effects of driving age, driver education, and curfew laws on traffic fatalities of 15-17 year olds. *Risk Analysis*, 8, 569-574
- LICHTENSTEIN, A., OEHME, A., KUPSCHICK, S. & JÜRGENSOHN, T. (2008): Comparing two emotion models for deriving affective states from physiological data. C. PETER & R. BEALE (Eds.): *Affect and emotion in HCI* (pp. 35-50). Berlin: Springer

- MARBE, K. (1926): *Praktische Psychologie der Unfälle und Betriebsschäden*. München: Oldenbourg
- MARSEGUERRA, M., ZIO, E. & LIBRIZZI, M. (2007): Human Reliability Analysis by Fuzzy "CREAM". *Risk Analysis*, 27 (1), 137-154
- MASSIE, D. L., CAMPBELL, K. L. & WILLIAMS, A. F. (1995): Traffic accident involvement rates by driver age and gender. *Accident Analysis and Prevention*, 27, 73-78
- McCARTT, A. T., HELLINGA, L. A. & BRAITMAN, K. A. (2006): Cell phones and driving: Review of research. *Traffic Injury Prevention*, 7, 89-106
- McLAUGHLIN, S. B., HANKEY, J. M., KLAUER, S. G. & DINGUS, T. A. (2009): *Contributing Factors to Run-Off-Road Crashes and Near-Crashes*. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration, USDOT. <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/Crash%20Avoidance/2009/811079.pdf> (10.09.2012)
- MESKEN, J., HAGENZIEKER, M. P., ROTHENGATTER, T. & de WAARD, D. (2007): Frequency, determinants, and consequences of different drivers' emotions: An on-the-road study using self-reports, (observed) behaviour, and physiology. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10, 458-475
- MICHON, J. A. (1985): A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In: L. EVANS & R. C. SCHWING (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (485-520). New York: Plenum
- MOHS, C., PLATHO, C., KOLREP-ROMETSCH, H. & JÜRGENSOHN, T. (2011): Integrative Skala für die Selbsteinschätzung und Expertenbewertung von Fahrerzuständen zur Auslegung von Müdigkeits-Warnsystemen. In: *Reflexionen und Visionen der Mensch-Maschine-Interaktion. Aus der Vergangenheit lernen, Zukunft gestalten* (56-57). Düsseldorf: VDI Verlag
- NÄÄTÄNEN, R. & SUMMALA, H. (1974): A model for the role of motivational factors in drivers' decision-making. *Accident Analysis and Prevention*, 6, 243-261
- NASA (2000): *Report on the Loss of the Mars Polar Lander and Deep Space 2 Missions*. JPL special Review Board. NASA Jet Propulsion Laboratory
- NORMAN, D. A. (1981): Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88 (1), 1-15
- PANNASCH, S. & DORNHOEFER, S. M. (1999): *Erhöhung der Verkehrssicherheit durch die Online-Registrierung von Blickparametern*. Marburg: Tectum Verlag
- PARKER, D., REASON, J. T., MANSTEAD, A. & STRADLING, S. G. (1995): Driving errors, driving violations and accident involvement. *Ergonomics*, 38, 1036-1048
- PÊCHER, C., LEMERCIER, C. & CELLIER, J.-M. (2009): Emotions drive attention: Effects on driver's behaviour. *Safety Science*, 47, 1254-1259
- PEDEN, M., SCURFIELD, R., SLEET, D., MOHAN, D. & HYDER, A. A. (2004): *World report on road traffic injury prevention*. Geneva: World Health Organization. <http://whqlibdoc.who.int/publications/2004/9241562609.pdf> (01.09.2013)
- PLATHO, C., KOLREP, H., RÖSSGER, L., & KÜHN, M. (2011): Nutzen und Risiken von Tagfahrlicht für Pkw-Fahrer und schwächere Verkehrsteilnehmer. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 57 (4), S. 171-175
- PLATHO, C., PIETREK, A. & KOLREP, H. (2013): Erfassung der Fahrermüdigkeit. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik*, Heft F 89
- QUARTIER, K., CHRISTIAANS, H. & van CLEEMPOEL, K. (2009): Retail design: lighting as an atmospheric tool, creating experiences which influence consumers' mood and behaviour in commercial spaces. In: *Undisciplined! Design Research Society Conference 2008*, Sheffield Hallam University, Sheffield, UK
- RASMUSSEN, J. (1982): Human errors: A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4, 311-33
- RASMUSSEN, J. (1983): Skills, rules, knowledge – signal, signs and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13 (3), 257-267

- RAVEN, J., RAVEN, J. C. & COURT, J. H. (2003): Raven's Progressive Matrices und Vocabulary Scales. Grundlagenmanual. Frankfurt: Pearson Assessment
- REASON, J. T. (1990): Human Error. Cambridge: University Press
- REASON, J. T. (1995): Understanding adverse events: human factors. *Qual Health Care*, 4(2), 80-9
- RIGBY, L. (1970): The nature of human error. 24th Annual Technical Conference – Transactions of the ASQC. Milwaukee: American Society for Quality Control, 457-466
- ROSENSTIEL, L. v. (1973): Increase of hostility responses in the HIT after frustration. *Journal of Personality Assessment*, 7, 22-24
- ROUSE, W. B. & ROUSE, S. (1983): Analysis and Classification of Human Error. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 13, 539-549
- RUMAR, K. (1993): Road user needs. In: PARKES, A. M. & FRANZEN, S. (Eds.), *Driving future vehicles* (41-48). London: Taylor & Francis
- SALUSJÄRVI, M. (1989): Road accident investigation teams. Developing the on-the-spot, in-depth, case-study methodology. Espoo 1989, Valtionteknillinentutkimuskeskus, Tutkimuksia – Statenstekniskaforskningscentral, Forskningsrapporter – Technical Research Centre of Finland, Research Reports 617. 125p
- SANDERS, M. S. & McCORMICK, E. J. (1993): *Human Factors in Engineering and Design*. 7th Edition. New York: McGraw Hill
- SCHMIDT, R. A. (1988): *Motor Control and Learning*. Champaign, IL: Human Kinetics Books
- SHAPPELL, S. & WIEGMANN, D. (1997): A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7, 269-291
- SHARIT, J. (2006): Human Error. In: G. SALVENDY (Eds.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, 3rd Edition (708-760), New-York: Wiley
- SIMON, H. A. & CHASE, W. G. (1973): Skill in chess. *American Scientist*, 61 (4), 394-403
- STANTON, N. E. & SALMON, P. M. (2009): Human errors taxonomies applied to driving: A generic driver error and its implications for intelligent transport systems. *Safety Science*, 47, 227-237
- Statistisches Bundesamt (2009): *Todesursachen in Deutschland 2008*. Wiesbaden. <http://www.gbe-bund.de> (01.09.2013)
- Statistisches Bundesamt (2010): *Verkehrsunfälle 2009. Unfälle von Frauen und Männern im Straßenverkehr*, Wiesbaden. <http://www.destatis.de/> (01.09.2013)
- Statistisches Bundesamt (2013): *Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2012*. Wiesbaden. <http://www.destatis.de> (01.09.2013)
- STAUBAUCH, M. (2009): Factors correlated with traffic accidents as a basis for evaluating advanced driver assistance systems. *Accident Analysis & Prevention*, 41, 1025-1033
- SUMMALA, H. (1996): Accident risk and driver behaviour. *Safety Science*, 22 (1-3), 103-117
- TATTERSALL, A. J. (2000): Workload and Task Allocation. In: N. CHMIEL (Eds.), *Introduction to Work and Organizational Psychology* (183-205). Oxford/Malden: Blackwell Publishers
- TAYLOR, D. H. (1964): Drivers' galvanic skin response and the risk of accident. *Ergonomics*, 7, 439-451
- TEN THOREN, C. & GUNDEL, A. (2003): Müdigkeit als Unfallursache im Stadtbereich – eine Befragung von Unfallbeteiligten. *Fatigue as Cause of Road Accidents in Urban Areas – A Questionnaire Study*. *Somnologie* 7 (4), 125-133
- TIJERINA, L. (2000): Issues in the evaluation of driver distraction associated with in-vehicle information and telecommunications systems. In: *NHTSA Driver Distraction Internet Forum*. <http://www.skylinewaterways.org> (07.08.2013)
- TIMPE, K.-P. (2001): *Fahrzeugführung: Anmerkungen zum Thema*. In: T. JÜRGENSOHN & K.-P. TIMPE (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung* (S. 9-27). Berlin: Springer
- TRICK, L. M., BRANDIGAMPOLA, S. & ENNS, J. T. (2012): How fleeting emotions affect hazard perception and steering while driving: The impact of image arousal and valence. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 222-229

- UNDEUTSCH, U. (1962): Ergebnisse psychologischer Untersuchungen am Unfallort. In: BRANDT, L. (Hrsg.). Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen. Opladen: Westdeutscher Verlag
- VOLLRATH, M. (2010): Welche Fehler führen zu Unfällen? Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 56 (3), 31-36
- VORNDRAN, I. (2010): Unfallstatistik – Verkehrsmittel im Risikovergleich. Statistisches Bundesamt (Hrsg.), Wirtschaft und Statistik, 12, 1083-1088
- WEHNER, T., MEHL, K. & DIECKMANN, P. (2010): Handlungsfehler und Fehlerprävention. In: U. KLEINBECK & K.-H. SCHMIDT (Hrsg.), Enzyklopädie der Psychologie, Band Arbeitspsychologie. Göttingen: Hogrefe, S. 785-820
- WETZENSTEIN, E., KÜTING, H. J., ENIGK, H. & HEINBOKEL, T. (1997): Beschreibungen von Informations- und Kontrollvorgängen beim Fahren – ein Ansatz zum Informationsmanagement im Fahrzeug-Cockpit. In: U. SCHULZ (Hrsg.), Wahrnehmungs-, Entscheidungs-, und Handlungsprozesse beim Führen eines Kraftfahrzeugs. Münster: LIT
- WIERWILLE, W. W., HANOWSKI, R. J., HANKEY, J. M., KIELISZEWSKI, C. A., LEE, S. E., MEDINA, A., KEISLER, A. S. & DINGUS, T. A. (2002): Identification and evaluation of driver errors: overview and recommendations. U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-02-003
- WILDE, G. J. S. (1982): The theory of risk homeostasis: implications for safety and health. Risk Analysis, 2, 209-225
- WILLIAMS, A. F. (2003): Teenage drivers: patterns of risk. Journal of Safety Research, 34, 5-15
- WILLIAMS, A. F. & CARSTEN, O. (1989): Driver age and crash involvement. Am J Public Health, 79, 326-327
- ZWERLING, C., WHITTEN, P. S., DAVIS, C. S. & SPRINCE, N. L. (1998): Occupational injuries among older workers with visual, auditory, and other impairments. A validation study. Journal of Occupational and Environmental Medicine, 40 (8), 720-723

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2001

F 33: Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen
Gaupp, Wobben, Horn, Seemann € 17,00

F 34: Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem
Emissions-Mess-Fahrzeug
Sander, Bugsel, Sievert, Albus € 11,00

F 35: Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren
Wallentowitz, Ehmanns, Neunzig, Weilkes, Steinauer, Bölling,
Richter, Gaupp € 19,00

F 36: Anforderungen an Rückspiegel von Krafträdern
van de Sand, Wallentowitz, Schrüllkamp € 14,00

F 37: Abgasuntersuchung – Erfolgskontrolle: Ottomotor – G-Kat
Afflerbach, Hassel, Schmidt, Sonnborn, Weber € 11,50

F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgänger-
schutzes
Friesen, Wallentowitz, Philipps € 12,50

2002

F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung
von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung
Gail, Lorig, Gelau, Heuzeroth, Sievert € 19,50

F 40: Entwicklung eines Prüfverfahrens für Spritzschutzsysteme
an Krafthfahrzeugen
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

2003

F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00

F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstieg-
systems bei Reisebussen
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00

F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kin-
derschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall
Nett € 16,50

F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge
Gail, Pastor, Spiering, Sander, Lorig € 12,00

2004

F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im
Rahmen der WMTC-Aktivitäten
Steven € 12,50

F 46: Anforderungen an zukünftige Kraftrad-Bremssysteme zur
Steigerung der Fahrsicherheit
Funke, Winner € 12,00

F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformations-sys-
temen
Jahn, Oehme, Rösler, Krems € 13,50

F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und
bei der Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO
Pullwitt, Redmann € 13,50

F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder
Berg, Rücker, Bürkle, Mattern, Kallieris € 18,00

F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50

F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50

F 52: Intelligente Rückhaltesysteme
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00

F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag
Klanner, Ambos, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00

F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen
durch rechts abbiegende Lkw
Niewöhner, Berg € 16,50

2005

F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium
on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on
3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die
Verwendung asphärischer Außenspiegel
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00

F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00

F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren
Steven, Kleinebrahm € 15,50

F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50

F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme
aus Sicht der Verkehrssicherheit
Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

2007

F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium
on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on
1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belan-
ge der passiven Sicherheit
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50

F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorrad-
sicherheit
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflich-
tig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbel-
euchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

2008

F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und
Nutzfahrzeugen
Jebas, Schellinger, Klinger, Manz, Kooß € 15,50

F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw
Weber € 20,00

F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00

F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland
Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00

F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen
Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggers, Lerner, Ellmers € 13,50

2009

F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild
Bartels, Sander € 13,50

F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th / 6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50

F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern
Seiniger, Winner € 16,50

2010

F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten
Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50

F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen
Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

2011

F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen
Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50

F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und IST-Architekturen im Straßenverkehr
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands
Eichinger € 15,00

F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50

F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011
Lotz, Luks € 17,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

2012

F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe
Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50

F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00

F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock, Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes
Gehring, Zander € 14,00

F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit
Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50

F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit
Nuß, Eckstein, Berger € 17,90

F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik
Kroen € 17,00

F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung
Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren
Buld, Will, Kauschner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.