

# Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 80

**bast**

# **Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands**

von

Armin Eichinger

Lehrstuhl für Ergonomie  
Technische Universität München

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 80

**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 beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.369/2009**  
Entwicklung von Untersuchungskonzepten für die Evaluation der langfristigen Auswirkungen von Systemen zur Fahrerzustandserkennung

**Projektbetreuung**  
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**  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

ISSN 0943-9307  
ISBN 978-3-86918-147-9

Bergisch Gladbach, September 2011

Print  kompensiert  
Id-Nr. 1112679  
[www.bvdm-online.de](http://www.bvdm-online.de)

## Kurzfassung – Abstract

### **Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustandes**

Auf Grundlage von gebräuchlichen und anerkannten Modellen im Kontext der Fahrzeugführung werden zentrale Konzepte identifiziert, die mögliche Ansatzpunkte von langfristigen Wirkungen von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands bilden. Dabei werden nicht nur klassische Mehr-Ebenen-Modelle der Fahraufgabe mit beteiligten Kontrollprozessen berücksichtigt, sondern auch weitere Blickwinkel eingenommen, die in individuellen Persönlichkeitsmerkmalen, Einstellungen oder dem Fahrstil wichtige moderierende Einflussfaktoren identifizieren.

Im Rahmen eines allgemeinen Evaluationsansatzes können grundlegende Taxonomien von Bewertungsverfahren, diverse Charakterisierungen von Bewertungsdimensionen sowie wichtige und zu dokumentierende Attribute und Fragestellungen von Evaluationsuntersuchungen beschrieben werden. In diesem Rahmen werden aus den betrachteten Modellen und Konzepten Kriterien abgeleitet, Aspekte der Operationalisierung erörtert sowie methodische Erhebungsansätze vorgeschlagen und diskutiert. Die Bandbreite der betrachteten Methoden ist vielfältig und reicht von unstrukturierten Befragungen über den Einsatz standardisierter Fragebögen bis hin zur maschinellen Erfassung von fahrrelevanten Kenngrößen über fahrzeugeigene Sensorsysteme. Besondere Bedeutung für die Realisierung einer Evaluationsstudie wird möglichst realitätsnahen Erhebungsumständen beigemessen. Daher wird als Rahmenansatz ein Field Operational Test zur Integration der diversen Erhebungsverfahren vorgeschlagen.

Teil 1 des Originalberichtes enthält als Anhänge eine Darstellung der Entwicklungen für die Zukunft: hochautomatisiertes Fahren, weiterführende Literatur zu Fahrerzustandserkennungssystemen und zu Langzeitversuchen, eine Zusammenfassung kommerzieller Systeme zur Fahrerzustandserkennung sowie Stichpunkte und Anmerkungen. Auf die Wiedergabe dieser Anhänge wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Sie liegen bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und sind dort einsehbar. Verweise auf die Anhänge wurden zur Information des Lesers im Berichtstext beibehalten.

### **Investigative concept for the evaluation of driver-state assessment systems**

Central concepts that might help to evaluate the long-term effects of driver-state assessment systems are identified, based on common and acknowledged models for vehicle guidance. Conventional multi-level models of the driving task with the associated control processes are considered, as are extended views that identify important factors in individual personality characteristics, settings or the driving style.

Basic classifications of assessment systems, various characterisations of evaluation dimensions as well as attributes to be documented and questions of evaluation tests are described as part of a general evaluation approach. The models and concepts considered are used to derive criteria, discuss aspects of operationalisation and suggest and discuss evaluation methods. The scope of the methods considered is varied and extends from unstructured surveys and the use of standardised questionnaires to automated monitoring of driver-related characteristics by vehicle-internal sensor systems. Realistic measuring conditions are of particular importance for the implementation of an evaluation study. An operational field test is suggested as a framework approach for the integration of the various evaluation methods.

Part 1 of the original report contains a presentation on future developments in the appendix: highly automated driving, advanced literature for driver-state assessment systems and long-term tests, a summary of commercial systems for driver-state evaluation as well as key notes and comments. These appendices were not included in the current publication. They are available from the Federal Highway Research Institute and can be viewed there. References to the appendices were retained in the report text to provide additional information to the reader.



## Inhalt

<b>Teil 1: Wirkungen von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustandes</b> . . .	7	<b>Zusammenfassung und Folgerungen</b> . . . . .	23
<b>Einleitung</b> . . . . .	9	<b>Ausblick</b> . . . . .	24
<b>Aufmerksamkeit im Fokus</b> . . . . .	9		
<b>Ermüdung und Aufmerksamkeit als energetische Phänomene</b> . . . . .	10	<b>Teil 2: Methodisches Vorgehen zur Erhebung von langfristigen Wirkungen von Systemen des Fahrerzustandes</b> . . .	25
Phänomene der Aufmerksamkeit . . . . .	10	<b>Einleitung</b> . . . . .	27
Begriffsbestimmungen . . . . .	10	<b>Evaluationsforschung</b> . . . . .	27
<b>Modelle und Taxonomien</b> . . . . .	11	Allgemeine Aspekte . . . . .	27
Informationsverarbeitungsmodell . . . . .	11	Rahmenmodell . . . . .	28
Erweiterung des Informationsverarbeitungsmodells . . . . .	11	Evaluation: Ziele, Kriterien, Methoden . . . . .	29
Informations-Perspektive im Kontext . . . . .	12	<b>Kriterien zur Evaluation auf mehreren Ebenen</b> . . . . .	31
Mehr-Ebenen-Modelle . . . . .	12	Mentale Modelle & Situationsbewusstsein . . .	31
Unterscheidung nach Arten des Verhaltens . . . . .	13	Kriterium: Situationsbewusstsein – Wahrnehmung, Verstehen, Antizipation . . .	32
Unterscheidung nach Arten der Fahraufgabe . . . . .	13	Automation . . . . .	32
Unterscheidung nach Kontrollprozessen . . . . .	14	Kriterium: Kalibrierung der Meta-Kontrolle . . . . .	32
Mehrebenen-Kontroll-Ansätze im Kontext . . . . .	16	Fehler . . . . .	32
<b>Modelle – Kategorisierung, Interpretation und Konsequenzen</b> . . . . .	16	Kriterium: Slips, lapses, mistakes, violations . . . . .	33
Kategorisierung nach Informationsverarbeitungszyklus . . . . .	17	Ebenen der Fahraufgabe nach MICHON . . . . .	33
Willkürliche und unwillkürliche Informationsabgabe durch den Fahrer . . .	17	Kriterium: Operationale Kontrolle auf der Stabilisierungsebene . . . . .	33
Informationsabgabe an das Gesamtsystem Fahrzeug . . . . .	18	Kriterium: Taktische Kontrolle auf der Manövierebene . . . . .	33
Informationsaufnahme durch FZS . . . . .	18	Kriterium: Strategische Kontrolle auf der Navigationsebene . . . . .	34
Anwendungen . . . . .	18	Individuelle Charakteristiken . . . . .	34
Wirkung von FZS aus Perspektive verschiedener Modellansätze . . . . .	19	Faktoren: Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung, Bildungsstand . . . . .	34

Faktor/Kriterium: Sensation Seeking . . . . .	34
Faktor/Kriterium: Fahrstil . . . . .	35
Faktor/Kriterium: Kontrollüberzeugung . . . . .	35
Systemvertrauen und Complacency . . . . .	35
Kriterium: Performanz . . . . .	35
Kriterium: Prozess . . . . .	36
Kriterium: Zweck . . . . .	37
Kriterium: Complacency, übersteigertes Systemvertrauen . . . . .	37
Zufriedenheit und Akzeptanz . . . . .	37
Kriterium: Akzeptanz . . . . .	38
<b>Methodische Aspekte . . . . .</b>	<b>38</b>
Spezielle Untersuchungsansätze für Veränderungen . . . . .	38
Tagebuchstudien . . . . .	39
Befragungen . . . . .	40
Beobachtungen . . . . .	41
Field Operational Test – FOT . . . . .	42
<b>Ausblick: Kohortenanalyse . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>Literatur . . . . .</b>	<b>46</b>

## **Teil 1**

### **Wirkung von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands**



## Einleitung

In einer von der Bundesanstalt für Straßenwesen BASt durchgeführten Datenerhebung zu schweren Unfällen mit Beteiligung mindestens eines Güterkraftfahrzeugs wird Übermüdung mit 19 % Anteil, nach überhöhter Geschwindigkeit, als wichtigste Unfallursache bewertet (vgl. EVERS, 2008). Bei Nachtunfällen steigt dieser Anteil auf 42 %. Von den an den Unfällen beteiligten Güterkraftfahrzeugen mit mindestens einem Verstoß gegen die Sozialvorschriften (Lenk- und Ruhezeiten) lag der Anteil von Übermüdungsunfällen bei ca. 50 %. Nach einer zusammenfassenden Bewertung der Autorin steht etwa ein Drittel der Unfälle mit Müdigkeit oder Unachtsamkeit in Zusammenhang.

Insbesondere im Güter-, aber auch im Personenkraftverkehr stellt Müdigkeit eine klassische, jedoch häufig unterschätzte Unfallursache dar (vgl. EVERS, C. & AUERBACH, 2006). Phänomene der Aufmerksamkeit, besonders deren Ablenkung oder Verminderung, bieten einen eher neuartigen Erklärungsansatz für bestimmte Arten von Unfällen. Warum rücken Aspekte der Aufmerksamkeit immer mehr in den Fokus der Diskussion? Es stellt sich zudem die Frage, welche Art von Unfällen oder allgemeiner welche Art von Beeinträchtigungen der Fahraufgabe auf die Verminderung der Aufmerksamkeit zurückgeführt werden können. Außerdem ist zu klären, welche Gemeinsamkeiten Ermüdung und Aufmerksamkeitsablenkung aufweisen, was dazu führt, dass beide häufig in ähnlicher Weise zur Erklärung von Leistungsdefiziten des Fahrers verwendet werden. So behandelt GAYKO (2009) in seinen Ausführungen zur Lane Departure Warning die Ablenkung von Aufmerksamkeit und Müdigkeit als graduelle Ausprägungen eines Phänomens und somit als vergleichbar in ihren Auswirkungen. Auch im EU-geförderten Projekt HAVEit zum automatisierten Fahren (vgl. RAUCH et al., 2009; Anhang „Entwicklungen für die Zukunft: hochautomatisiertes Fahren“) werden beide Konzepte entlang eines kapazitiven Kontinuums diskutiert.

Im den folgenden beiden Kapiteln wird die steigende Bedeutung von Aufmerksamkeitsprozessen im Fahrzeug begründet und geklärt, in welcher Hinsicht Aufmerksamkeit und Müdigkeit in ihrer Bedeutung für die Fahraufgabe als verwandte Phänomene betrachtet werden können.

Anschließend werden verschiedene Modelle vorgestellt und erarbeitet, die erlauben, unterschiedliche

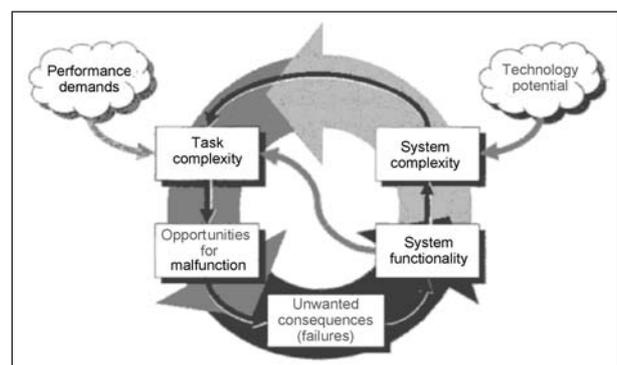
Forschungsansätze in einem einheitlichen Rahmen zu diskutieren, verschiedene Wirkansätze von FZS aufzuzeigen und Kriterien abzuleiten, um diese Wirkung zu erfassen.

## Aufmerksamkeit im Fokus

Quellen der Ablenkung der Aufmerksamkeit im Fahrzeug gibt es schon immer: Gespräche mit dem Beifahrer, Bedienung des Radios, Rauchen, Essen und viele weitere mehr. Andere Gründe für Ablenkung haben eben erst ihren Weg ins Fahrzeug gefunden. Dazu gehören Unterhaltungssysteme, Fahrerinformations- und -assistenzsysteme, mobile Informations- und Kommunikationstechnologie, so genannte Nomadic Devices. Es ist besonders dieser im Umfang stetig wachsende Sektor an potenziellen Ablenkungsquellen, der das Augenmerk auf die Rolle der Aufmerksamkeit für die Fahraufgabe lenkt (vgl. REGAN, LEE & YOUNG, 2009).

Der Bereich der Fahrerassistenzsysteme weist dabei eine eigene Art von fataler Dynamik auf. Um mutmaßlichen Defiziten in der Fahraufgabe zu begegnen oder nur um die Fahraufgabe zu erleichtern, werden Assistenzsysteme eingeführt. Wie die Eingangsbemerkungen ausführen, sind bestimmte Defizite allerdings erst das Resultat der zunehmenden Fülle an Systemen. So steigt die Zahl der für den Fahrer zu integrierenden Informationen aus diversen Informationsquellen ebenso wie die Zahl der aktiv zu bedienenden Systeme.

Die Systemfunktionalität wird erhöht, um Defizite im Umgang mit steigender Aufgabenkomplexität auszugleichen oder auch nur um die Aufgabe zu erleichtern, erhöht dadurch aber die Systemkomplexität, die wiederum die Aufgabenkomplexität stei-



**Bild 1:** Selbstverstärkender Komplexitätszyklus nach HOLLNAGEL (2005)

gen lässt. Damit entspricht die Entwicklung von Assistenzsystemen zur Unterstützung des Fahrzeugsführers dem, was HOLLNAGEL & WOODS (2005) einen selbstverstärkenden Komplexitätszyklus (engl. self-reinforcing complexity cycle) nennen (vgl. Bild 1). Diese Entwicklungen verdeutlichen und erklären, dass Prozesse der Ablenkung von Aufmerksamkeit mehr und mehr Relevanz in der Diskussion von Fahrsicherheit gewinnen und weiter gewinnen werden.

## Ermüdung und Aufmerksamkeit als energetische Phänomene

Woher kommt die Ähnlichkeit der Begriffe Aufmerksamkeit und Müdigkeit in Bezug auf das Fahrverhalten? Nach einer Einordnung dieser Phänomene als energetische Prozesse wird im Folgenden der Begriff des Fahrerzustands für die nachfolgenden Ausführungen definiert.

### Phänomene der Aufmerksamkeit

Neben Ermüdung, Müdigkeit, Schläfrigkeit, Ablenkung werden auch Beanspruchung, Workload, Alkoholisierung oder Medikamenteneinfluss sowie extreme emotionale Zustände nach ihrem Einfluss auf die Fahraufgabe ähnlich behandelt (vgl. REGAN, LEE & YOUNG, 2009). Gemeinsam haben diese Konzepte im Zusammenhang mit dem Lenken eines Fahrzeugs offenbar nur, dass sie sich auf verschiedene Aspekte der Verfassung des Fahrers beziehen. Die entscheidende Gemeinsamkeit liegt im Einfluss auf die Ressourcen, die der Fahrer für die Erfüllung der Fahraufgaben zur Verfügung stellen muss. Müdigkeit, Ablenkung oder Beanspruchung führen dazu, dass der Fahraufgabe Ressourcen entzogen werden. Die Mechanismen, die zu unterschiedlichen Aufmerksamkeitskapazitäten führen, sind für diese Epi-Phänomene unterschiedlich. Die Zuweisung von Aufmerksamkeitsressourcen, vermittelt über Arousal oder Anstrengung (vgl. die Modelle von KAHNEMANN, 1973 und SANDERS, 1983) kann aber als zentrale energetische Komponente angenommen werden (vgl. auch Bild 2).

Ein deutlicher Unterschied in den Aufmerksamkeitsmechanismen hinsichtlich Ablenkung und Ermüdung liegt in potenziellen Möglichkeiten, negative Einflüsse durch entsprechende Maßnahmen zu

verringern. Über erste Ansätze, durch Trainingsmaßnahmen Strategien zur Aufmerksamkeitssteuerung aufzubauen, die Ablenkung vermeiden, berichten REGAN et al. (2009) und WICKENS & MCCARLEY (2008).

Diese befinden sich zum Großteil noch im konzeptionell-theoretischen Stadium oder erfordern eine homogene Benutzergruppe, für die entsprechende Maßnahmen verbindlich vorgeschrieben werden können, wie beispielsweise für das Flugumfeld die Gruppe der Piloten. Was für die Steuerung von Aufmerksamkeit als Ansatzpunkt gelten kann, ist für die Steuerung von Müdigkeit nur schwer vorstellbar, da hier Ressourcen, die zum Umgang mit der eigenen Müdigkeit nötig wären, durch eben diese verringert werden.

### Begriffsbestimmungen

Ein anderer Ansatz, negativen Einflüssen auf den Fahrerzustand durch Ablenkung, Müdigkeit und Beanspruchung zu begegnen, ist es, diese Phänomene maschinell zu detektieren und entsprechend darauf zu reagieren. KOPF (2005) definiert „Fahrerzustand“ so: „Mit Fahrerzustand im engeren Sinne wird häufig Ermüdung in Verbindung mit Aufmerksamkeit, Wachsamkeit bzw. Aktivierung bezeichnet“ (S. 119). Nach der für die vorliegende Analyse eingenommenen weiter gefassten Perspektive bezieht sich der Begriff Fahrerzustand auf den Zustand der energetischen Aufmerksamkeitsressourcen, die durch interne und externe Einflüsse kurz- oder mittelfristig negativ beeinflusst werden können, was zu Leistungsminderung in der Fahraufgabe führen kann. Diese Einflüsse können durch Ermüdung, Ablenkung, Beanspruchung oder andere die Aufmerksamkeit betreffenden Phänomene erzeugt werden.

Systeme, die die Detektion von und die Reaktion auf Fahrerzustände bewerkstelligen, werden als Systeme zur Erkennung des Fahrerzustands oder als Fahrerzustandserkennungssysteme (FZS) bezeichnet. Entsprechend den gemachten Ausführungen werden im Folgenden als FZS Systeme verstanden, die Aufmerksamkeitsphänomene, die potenzielle Leistungsminderungen in der Fahraufgabe zur Folge haben, detektieren und darauf reagieren.

## Modelle und Taxonomien

### Informationsverarbeitungsmodell

Unsere Diskussion des Fahrerzustands erfolgt mit Konzepten, die in klassische Modelle der Informationsverarbeitung einzuordnen sind, wie sie beispielsweise WICKENS & CARSWELI (2006) formulieren (vgl. Bild 2). Bezogen auf die Fahrsituation nimmt der Fahrer Informationen aus seiner Umgebung auf, verarbeitet diese, entscheidet über Handlungen und führt diese aus.

Die energetische Versorgung dieser Prozesse wird von einem oder mehreren Ressourcenpools der Aufmerksamkeit übernommen. Die Bedeutung der Aufmerksamkeit als energetischem Konzept wird deutlich herausgestellt: Wahrnehmung, Verarbei-

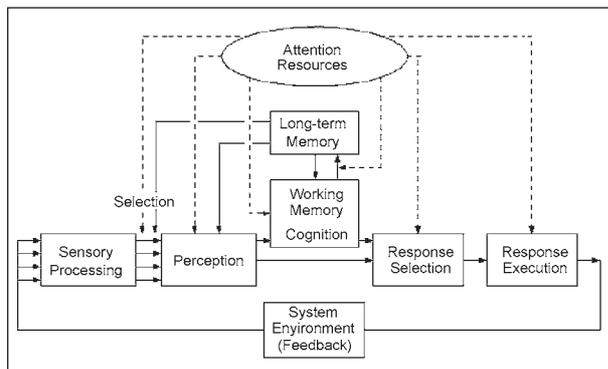


Bild 2: Informationsverarbeitungsmodell modifiziert nach WICKENS & CARSWELI (2006)

tung und Handlungsausführung sind – mehr oder weniger – auf diese Kapazitäten angewiesen.

Eine weitere zentrale Funktion der Aufmerksamkeit liegt in der Auswahl von aufzunehmenden Informationen aus der parallel aufgenommenen Vielzahl an Reizen. WICKENS & McCARLEY (2008) bezeichnen diese beiden zentralen Funktionen der Aufmerksamkeit als filter and fuel.

Der obigen Argumentation folgend sollen Systeme zur Erkennung des Fahrerzustands Rückschlüsse auf den Zustand der Aufmerksamkeitsressourcen des Fahrers ziehen. Da diese Ressourcen als konzeptuelle Modellvorstellung nicht direkt zugänglich sind, muss das FZS Informationen über deren Zustand indirekt aus dem Prozess der Informationsverarbeitung gewinnen.

Um die Beziehung zwischen der Informationsverarbeitung des Fahrers und der des FZS zu illustrieren, wird das Modell aus Bild 2 vereinfacht und um die Komponente FZS erweitert.

### Erweiterung des Informationsverarbeitungsmodells

Die Änderungen und Erweiterungen gegenüber dem Modell aus Bild 2 werden, wie in Bild 3 dargestellt, nach Fahrer und FZS gegliedert. Da FZS auch die Eigenschaften des Gesamtsystems Fahr-

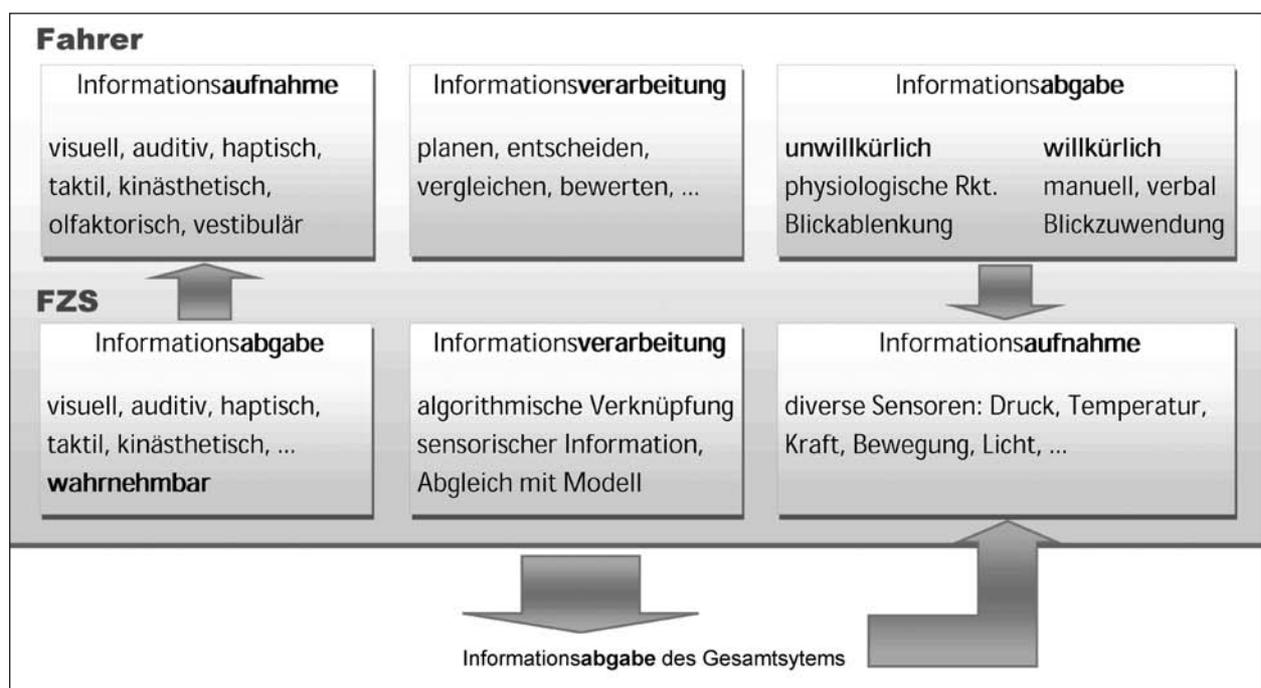


Bild 3: Kommunikationszyklus Fahrer-FZS als interagierende Informationsverarbeitungsprozesse

zeug detektieren können, wird auch dieser Aspekt der Informationsabgabe berücksichtigt.

Informationsverarbeitung des Fahrers:

- Das Informationsverarbeitungsmodell wird um die Komponente FZS erweitert.
- Auf die Darstellung von Aufmerksamkeitseinflüssen wird verzichtet.
- Die Handlungsausführung (engl. response execution) wird in Anlehnung an ABENDROTH & BRUDER (2009) allgemeiner als Informationsabgabe bezeichnet. So können auch unwillkürliche Arten der Abgabe von Information berücksichtigt werden, beispielsweise die Ablenkung des Blicks durch plötzlich eintretende Außenreize oder physiologische Reaktionen.

Informationsverarbeitung des FZS:

- Über leistungsfähige Sensorik ist ein FZS in der Lage, diverse sensorische Daten zur Informationsabgabe des Fahrers oder des Gesamtsystems aufzunehmen.
- Diese werden algorithmisch verarbeitet, d. h. mit Bezug auf ein allgemeines oder individuelles Modell des Verhaltens oder der Informationsverarbeitung des Fahrers integriert.
- Informationen zu Schlussfolgerungen über den Zustand des Fahrers werden diesem zurückgemeldet.

Das Modell beschreibt einen Kommunikationszyklus zwischen Fahrer und FZS. Verarbeitungsschritte können für beide Systemkomponenten analog bzw. komplementär formuliert werden. Diese Art der Strukturierung gestattet die Identifikation wichtiger Attribute zur Kategorisierung von FZS:

- Welche Informationen über den Fahrer werden vom FZS aufgenommen?
- Welche sensorische Ausstattung weisen FZS dazu auf?
- Welche Modelle zum Fahrerzustand werden verwendet?
- Welche zentralen Konzepte werden dazu eingesetzt (Müdigkeit, Ablenkung, ...)?

- Wie werden Schlussfolgerungen über den Fahrerzustand an den Fahrer zurückgemeldet?
  - o Welche Modalitäten werden dazu verwendet?
  - o Erfolgt die Rückmeldung kontinuierlich oder diskret?
  - o Erfolgt die Rückmeldung als Information, Warnung oder als Eingreifen in die Fahraufgabe?
  - o Allgemeine Fragen der HMI-Gestaltung (Positionierung, Größe, Lautstärke, ...).

Aus der Perspektive der Interaktion zweier kommunizierender informationsverarbeitender Prozesse lassen sich bereits viele Aspekte berücksichtigen, die für eine systematische Kategorisierung von FZS wichtig sind. Durch dieses Modell wird jedoch nicht berücksichtigt, in welcher Situation oder in welcher Umgebung sich Fahrer oder Fahrzeug befinden, welche (Kontroll-)Aufgaben Fahrer oder FZS ausführen müssen oder innerhalb welcher zeitlicher Grenzen sich die Interaktion abspielt.

### Informations-Perspektive im Kontext

Wird die Perspektive der Interaktion zweier informationsverarbeitender Systeme erweitert, so wird deutlich, dass insbesondere die Informationsverarbeitung auf Fahrerseite von dessen Eigenschaften, individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten beeinflusst wird (vgl. ABENDROTH & BRUDER, 2009; Bild 4). Zudem erfolgt diese Interaktion nicht situationsunabhängig, sondern ist in einen unmittelbaren physikalischen sowie einen Aufgaben-Kontext eingebunden. Der physikalische Kontext besteht insbesondere aus Eigenschaften und Zustand der Fahrstrecke und der Position und dem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer.

Aus der Sicht des Fahrers bestehen relevante Eigenschaften seiner physikalischen Umgebungen demnach aus

- der geographischen Orientierung des Fahrzeugs besonders hinsichtlich anderer Verkehrsteilnehmer,
- dem Wissen des Fahrers über Systemzustände des Fahrzeugs sowie
- der Verantwortung für die Kontrolle verschiedener Fahraufgaben.

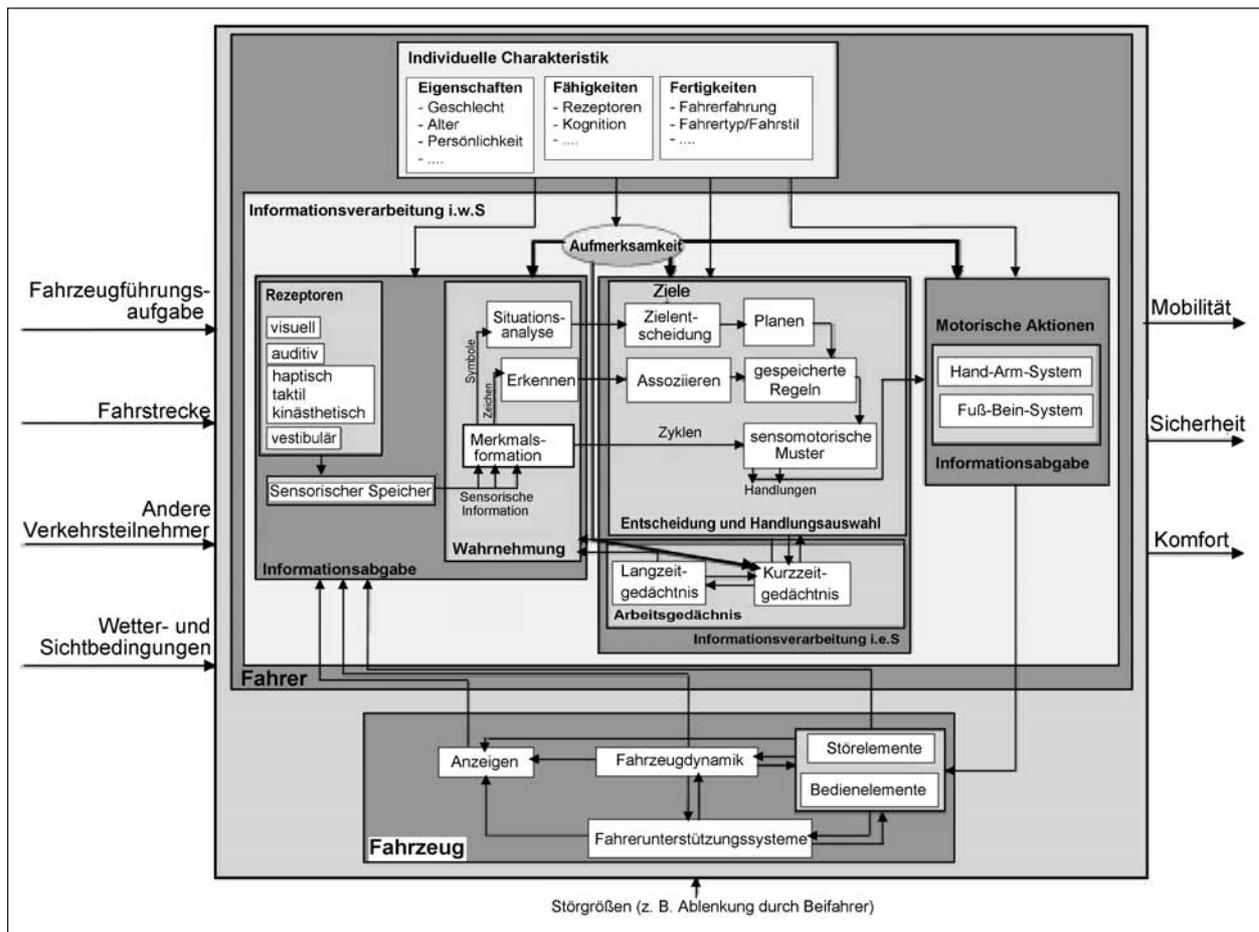


Bild 4: Systemmodell Fahrer-Fahrzeug-Umgebung (nach ABENDROTH & BRUDER, 2009; S. 4)

Diese Gliederung entspricht nach WICKENS (1996) den Bestandteilen des Situationsbewusstseins, das ENDSLEY (1995) so definiert: „Situation awareness is the perception of elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning, and the projection of their status in the near future“ (S. 36).

## Mehr-Ebenen-Modelle

### Unterscheidung nach Arten des Verhaltens

Ein im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion häufig eingesetztes Kategorisierungsschema ist die SRK-Taxonomie von RASMUSSEN (1983). RASMUSSEN unterscheidet fertigkeit-, regel- und wissensbasiertes (engl. skill, rule, knowledge based; vgl. Bild 5) Verhalten. Die drei Ebenen unterscheiden sich insbesondere nach dem Grad der Automatisierung des Verhaltens, das von hochintegrierten, häufig sensomotorischen Fertigkeiten über regelhafte Verknüpfung von Reiz und Reaktion bis hin zu komplexem Problemlöseverhalten führt. Jeder

Art von Verhalten ist eine Qualität von wahrgenommener Information zugeordnet: Signale dienen als Auslöser für automatisierte Fertigkeiten, Zeichen werden interpretiert und sind regelhaft mit Handlungen verbunden. Symbole bedingen komplexe kognitive Vorgänge, die zur Handlungsauswahl führen.

### Unterscheidung nach Arten der Fahraufgabe

Auch Modelle der Fahraufgabe sind meist hierarchisch oder mehrschichtig aufgebaut. BUBB (2003) trifft folgende inhaltliche Unterscheidung nach der Bedeutung für den Fahrtzweck, die besonders bei der Kategorisierung von Assistenzsystemen und der Einordnung von Handlungen zu deren Bedienung von Bedeutung ist und damit auch als grobes Raster zur Aufgabenanalyse dienen kann:

- Primäre Fahraufgabe: der eigentliche Fahrprozess; für die Durchführung der Fahrt unbedingt nötige Tätigkeiten wie Lenken und Spurhalten; vorwiegend bestimmt durch andere Verkehrsteilnehmer und Umgebungsbedingungen (vgl. ABENDROTH & BRUDER, 2009).

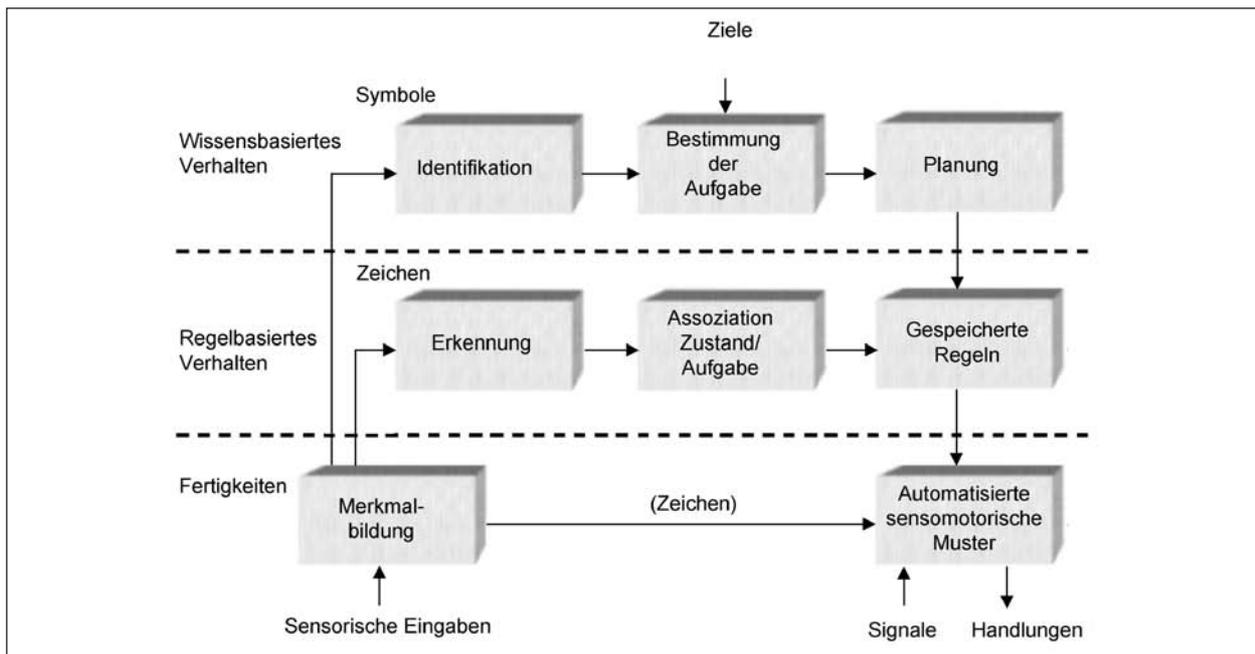


Bild 5: Verhaltenstaxonomie nach RASMUSSEN (1983)

- Sekundäre Fahraufgabe: Handlungen, die zu der primären Fahraufgabe in direkter oder indirekter Beziehung stehen, ohne den eigentlichen Fahrprozess zu betreffen; vorwiegend gekennzeichnet durch Informationsabgabe an die oder Reaktion auf Einflüsse aus der Umgebung (vgl. ABENDROTH & BRUDER, 2009); z. B. Blinken, Hupen, Bedienung von Licht oder Scheibenwischer.
- Tertiäre Fahraufgabe: Handlungen, die den Fahrkomfort und das Informationsbedürfnis betreffen; z. B. Regelung von Heizung, Klimaanlage, (interne u. externe) Informations- und Kommunikationstechnik.

Diese einfache Kategorisierung stößt an ihre Grenzen, wenn Aspekte der Interaktion abgebildet werden sollen. So agieren Systeme zur Abstandskontrolle auf Ebene der primären Fahraufgabe. Ihre Bedienung durch den Fahrer erfolgt aber auf Ebene der sekundären Fahraufgabe. Diese Konzeptualisierung birgt Verwechslungsgefahr. Die Perspektive zweier kommunizierender Informationsverarbeitungssysteme (vgl. Kapitel „Erweiterung des Informationsverarbeitungsmodells“) schafft hier eine klarere konzeptuelle Trennung.

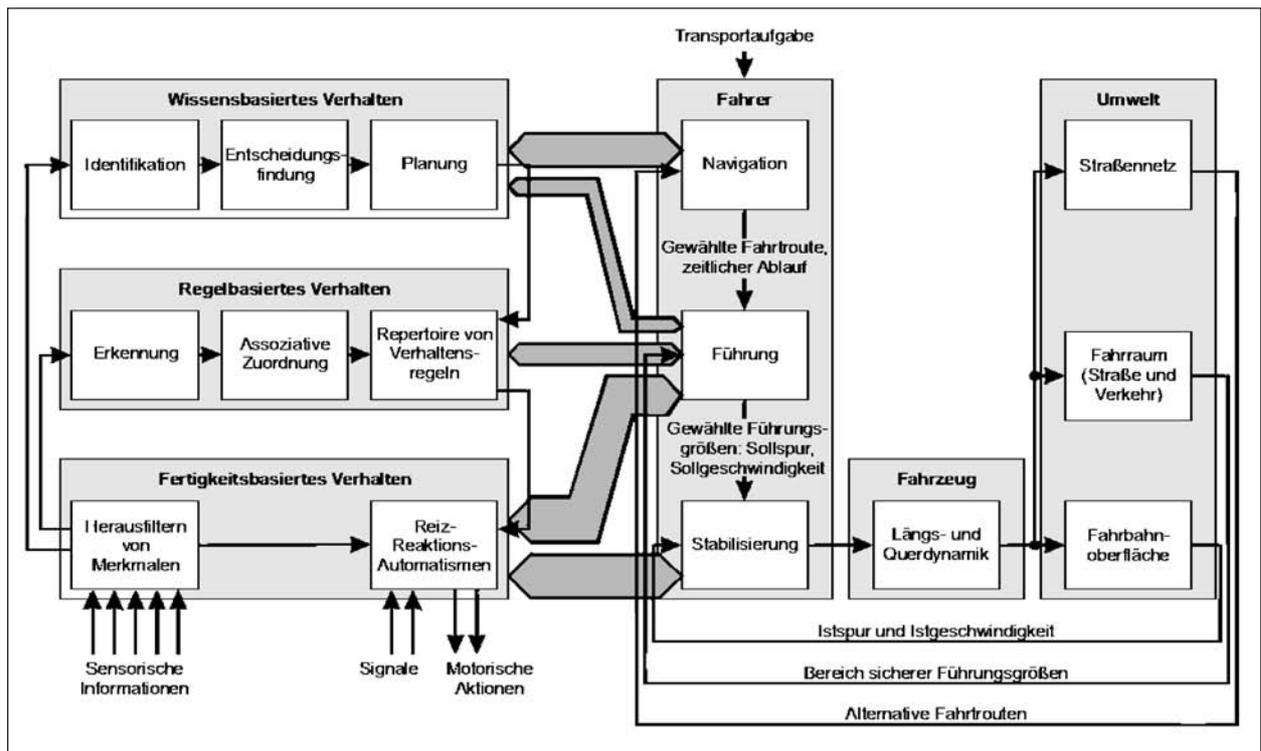
### Unterscheidung nach Kontrollprozessen

Die primäre Fahraufgabe kann weiter gegliedert werden nach hierarchisch zueinander in Beziehung

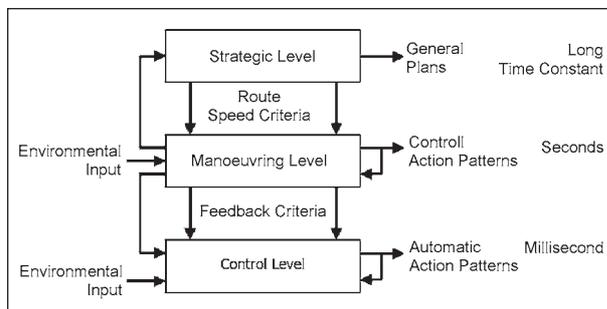
stehenden Kontrollprozessen. Nach Modellen von DONGES (1982, 2009, vgl. Bild 6, rechts) und MICHON (1985; vgl. Bild 7) sind diese Prozesse drei Ebenen zuzuordnen:

- Navigations-/Strategieebene: Entscheidung von fahrübergeordneten Aspekten wie Fahrtroute oder zeitlicher Verlauf; Planung und Evaluation von Kosten und Risiken; Handlungen sind bewusstseinspflichtig; wissensbasiertes Verhalten im Sinn des SRK-Taxonomie.
- Bahnführungs-/Manövierebene: Einhalten von Geschwindigkeitsvorgaben und Vorschriften; Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern; Vermeiden von Hindernissen; Handlungen sind bewusstseinsfähig; wissens-, regel- und vorwiegend fertigkeitstaxonomisches Verhalten im Sinn des SRK-Taxonomie.
- Stabilisierungs-/Kontrollebene: stark automatisierte Handlungen wie Lenken, Bremsen; Handlungen sind unbewusst; fertigkeitstaxonomisches Verhalten im Sinn des SRK-Taxonomie.

Nach ÖSTLUND et al. (2005) ist das Modell von MICHON (1985) vor allem als allgemeiner Rahmen zur Einordnung von Kontrollprozessen geeignet. Ein Defizit des Modells wird in den fehlenden Beziehungen zwischen den Ebenen und damit der fehlenden Möglichkeit gesehen, dynamische Fahrer Aspekte abzubilden, wie auch MICHON (1985) einräumt: „A comprehensive model of driver



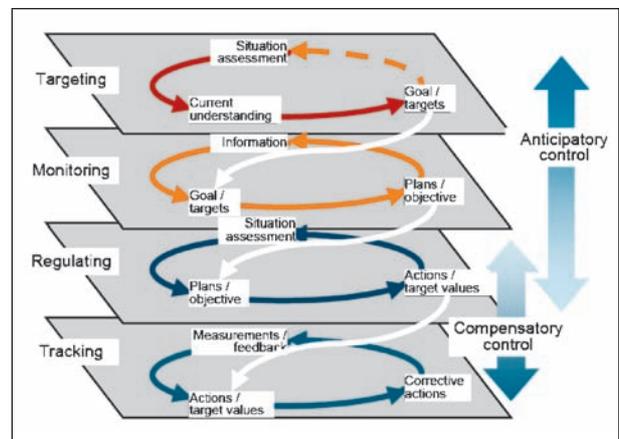
**Bild 6:** Drei-Ebenen-Hierarchie der Fahraufgabe nach DONGES (2009) – rechts; hier in Zusammenhang mit der Verhaltenstaxonomie nach RASMUSSEN (1983) – links



**Bild 7:** Hierarchische Struktur der Fahreraufgabe nach MICHON (1985)

behavior should not only take the various levels into account, but should also provide an information flow control structure that enables control to switch from one level to the other at the appropriate points in time.“ (S. 490).

Ein Modell, das diese Kritik aufnimmt und die hierarchische Beziehung von Kontrollprozessen in den Mittelpunkt rückt, ist das erweiterte Kontrollmodell (engl. extended control model, ECOM, Bild 8) von HOLLNAGEL & WOODS (2005). Es betont als Erweiterung eines grundlegenden Kontext-Kontrollmodells (engl. context control model, COCOM) explizit den Umgebungseinfluss, in dem das Mensch-Maschine-System als verbundenes kognitives System (engl. joint cognitive system, JCS) Kontroll-



**Bild 8:** Extended Control Model – ECOM; nach HOLLNAGEL & WOODS (2005)

handlungen ausführt. Die Autoren betonen, dass ein Teil des situativen Kontextes durch den Operateur konstruiert wird und damit dessen Wissen und Erfahrung in Kontrollsituation einfließen.

Kontrolle wird dabei verstanden als die Fähigkeit, das Verhalten des Kontroll-Empfängers auf die beabsichtigte Weise zu beeinflussen und damit einen beabsichtigten Effekt zu erreichen. Empfänger einer Kontrollhandlung sind andere kognitive Systeme oder Artefakte. Neben teils konstruierten Kontexteinflüssen wird die Auswahl einer Handlung be-

stimmt von Feedback- und Feedforward-Aspekten der Kontrolle.

HOLLNAGEL (2002) und HOLLNAGEL & WOODS (2005) beschreiben die vier Ebenen von ECOM so:

- Targeting/Zielsetzung: Setzen und Modifizieren allgemeiner Fahrtziele, die die Monitoring-Aktivitäten bestimmen; proaktive, Open-loop-Feedforward-Kontrolle.
- Monitoring/Überwachung: Kontrolle von Ort und Zustand des Fahrer-Fahrzeug-Systems bezüglich des Fahrumfelds; Situationseinschätzung liefert Zielvorgaben für die Regulation und Information für die Formulierung oder Anpassung übergeordneter Ziele; vorwiegend proaktive, Open-loop-Feedforward-Kontrolle.
- Regulating/Regulierung: Einhalten von Sicherheitstoleranzen zu anderen Verkehrsteilnehmern; bewusster Prozess; vorwiegend reaktive, Closed-loop-Feedback-Kontrolle.
- Tracking/Kursverfolgung: unmittelbare, automatisierte Korrektur von Störungen; reaktive, Closed-loop Feedback-Kontrolle.

Im Gegensatz zu der von MICHON (1985) ange deuteten Serialisierung separater Kontrollprozesse besteht eine grundlegende Annahme des ECOM-Modells darin, dass verschiedene Kontrollziele gleichzeitig verfolgt werden können. So sind Interaktionen und Interferenzen der verschiedenen Schichten möglich. Kriterien der Fahrleistung können bezüglich jeder der Schichten festgelegt und bestimmt werden.

Ein wichtiger Gesichtspunkt des ECOM-Modells ist die Anordnung der Aktivitäts- oder Kontrollebenen entlang eines Kontinuums, das durch die Kombination von kompensatorischer und antizipatorischer Kontrolle gebildet wird. Die Beziehungen zwischen Kompensation und Antizipation sind gegenläufig. Je mehr der Schwerpunkt auf kompensatorischen Kontrollprozessen liegt, desto geringer ist der Anteil antizipatorischer Kontrolle. Je mehr antizipatorische Kontrolle erforderlich ist, desto weniger ist kompensatorische Kontrolle nötig. Die Projektion der Kontrollprozesse auf diese Antizipationsebene kann im energetischen Sinn interpretiert werden: Es existiert ein Zusammenhang zwischen den verfügbaren Ressourcen und der Anzahl der gleichzeitig aktiven Kontrollebenen. Je mehr Ressourcen zur Verfügung stehen, desto eher sind Prozesse mit

hohen Anteilen antizipativer Kontrolle möglich; je weniger Ressourcen vorhanden sind, desto eher wird auf Ressourcen-intensive antizipative Prozesse verzichtet.

### Mehrebenen-Kontroll-Ansätze im Kontext

SUMMALA (1997) formuliert eine Modellvorstellung, die die Dimensionen Informationsverarbeitungsprozesse, Fahrfunktionen und Kontrollprozesse kombiniert. Das Modell bildet keine dynamischen Beziehungen zwischen den verwendeten Konzepten ab und dient damit vor allem als Auflistung wichtiger Aspekte der Fahrsituation. SUMMALA (1997) weist darauf hin, dass hierarchische Kontrollprozesse stark von motivationalen und emotionalen Aspekten des Fahrers beeinflusst werden.

Auf ähnliche Weise erweitert KESKINEN (1996) ein hierarchisches Fahrverhaltensmodell von MIKKONEN und KESKINEN (1980; zitiert in KESKINEN et al., 2004) um die Ebene "Goals for life and skills for living", in der insbesondere Aspekte der Fahrerpersönlichkeit und -motivation anzusiedeln sind.

Ähnlich ABENDROTH & BRUDER (2009; vgl. Bild 4) erweitern SUMMALA (1997) und KESKINEN (1996) mit und in ihren Ansätzen klassische Perspektiven um neue Konzepte und Blickwinkel und betonen dabei ebenfalls die Bedeutung individueller Charakteristiken, die vorwiegend höhere Kontrollschichten beeinflussen.

## Modelle – Kategorisierung, Interpretation und Konsequenzen

Im Folgenden wird ausgeführt, wie die verschiedenen Modellperspektiven für die vorliegende Analyse eingesetzt werden können: Zum einen stellen sie die Untersuchungen zum Thema Fahrerzustand auf eine einheitliche theoretische Grundlage. Außerdem dienen die Modelle als Kategorisierungsschemata, um unterschiedliche Ansätze zur Erkennung des Fahrerzustands voneinander abgrenzen und vergleichen zu können. Sie zeigen verschiedene Perspektiven auf, die für die Untersuchung der Wirkung von FZS relevant sind. Dabei erlauben sie es, verschiedene Kriterien abzuleiten, um diese Wirkung wertend einordnen zu können, sowie methodische Ansätze zu ermitteln, um diese Kriterien zu erfassen.

## Kategorisierung nach Informationsverarbeitungszyklus

Es liegt nahe, die Wirkung von FZS im Kontext klassischer Informationsverarbeitungsmodelle zu diskutieren (vgl. Bild 2). Die Ausführungen zur „Erweiterung des Informationsverarbeitungsmodells“ zeigen jedoch, dass diese Sichtweise um die Komponente FZS als parallel arbeitendes Informationsverarbeitungssystem erweitert werden sollte, ohne dabei die konzeptuelle Perspektive zu verlassen. Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher auf den in Bild 3 dargestellten Kommunikationszyklus Fahrer-FZS.

### Willkürliche und unwillkürliche Informationsabgabe durch den Fahrer

Ein FZS muss aufgrund detektierbaren Verhaltens auf den energetischen Zustand des Fahrers schließen. Bezüglich des Fahrers kann dafür erfassbares Verhalten nach willkürlicher und unwillkürlicher Verhaltensabgabe gegliedert werden. Der Übergang zwischen beiden Gruppen ist graduell und nicht scharf abgegrenzt. Zu der willkürlichen Verhaltensabgabe zählen insbesondere die intendierte verbale und manuelle Handlungsausführung sowie deren Attribute wie Dauer, Geschwindigkeit und Genauigkeit; also insbesondere Leistungsmaße, wie sie für die Erfassung von Aspekten der Effektivität und Effizienz von Verhalten oder Aufgabenbearbeitung erhoben werden.

FZS können aus dem Ort einer Handlungsausführung auf die mögliche Ablenkung der Aufmerksamkeit schließen. Dieser Schluss kann umso valider erfolgen, als der Handlungsausführung eine aufgaben- oder verhaltensanalytische Einordnung zugrunde liegt, beispielsweise im Sinne der SRK-Taxonomie von RASMUSSEN (1983). Es kann die Unterscheidung getroffen werden, ob die Handlung fertigkeitbasiert und damit weitgehend automatisiert ausgeführt wird oder kognitive Ressourcen für die Bestimmung der Gültigkeit der Prämisse regelbasierten Verhaltens erfordert, die der Fahraufgabe entzogen werden. Ein einfaches Bewertungsschema für die Handlung kann hier das Kategorisierungsschema von BUBB (2003) liefern, indem beispielsweise Handlungen der Primäraufgabe und Handlungen zu deren Unterstützung vom FZS entsprechend gewichtet werden.

Die Erfassung der Blickrichtung des Fahrers kann der willkürlichen Handlungsausführung zugerech-

net werden, wenn ein vorhergehendes visuelles Informationsziel erreicht werden soll, wenn die visuelle Aufmerksamkeitssteuerung somit top-down erfolgt. Wird der Blick als automatische Reaktion auf einen meist peripher wahrgenommenen Reiz abgelenkt, erfolgt die Aufmerksamkeitssteuerung damit bottom-up (vgl. hierzu auch WARE 2004, 2008; WICKENS & McCARLEY, 2008), ist diese Art der Handlungsausführung unwillkürlich.

Wie angedeutet ist die Unterscheidung zwischen Blickzuwendung und Blickablenkung keine kategorische, sondern graduell zu interpretieren. Trotzdem weist sie auf einen wichtigen Umstand in den Schlussfolgerungen des FZS für den Fahrerzustand hin. Im Fall der willkürlichen Blickzuwendung ist die Aufmerksamkeitssteuerung ein eher bewusster Akt und Element des Planungsgefüges der Fahraufgaben. Es ist somit eher davon auszugehen, dass die aktuelle Fahrsituation diese Umverteilung der Ressourcen gestattet. Die unwillkürliche Ablenkung der Aufmerksamkeit durch vorwiegend visuelle Reize zwingt den Fahrer dazu, Ressourcen aus der Fahraufgabe für deren Wahrnehmung und Interpretation abzuziehen. Für die Erfassung der Blickrichtung über Eye-Tracking-Systeme hat dies zur Folge, dass die Qualität des Blickziels in die Interpretation des Fahrerzustands eingehen sollte. Unvermittelt intensiv aufleuchtende Informationsanzeigen, die den Blick auf sich ziehen, haben daher größeres Ablenkpotenzial als die kontinuierliche Anzeige der Tankanzeige.

Eine große Gruppe von Variablen, die von FZS erfasst werden können, sind physiologische Informationen zum Fahrerzustand. Auch diese sind der unwillkürlichen Informationsabgabe zuzuordnen. Dazu gehören klassische physiologische Maße wie Hautleitwiderstand, Herzschlagfrequenz oder deren Variabilität. Informationen zur Gehirnaktivität, die mittels EEG erhoben werden, erlauben zwar mit Einschränkung valide Aussagen über den Fahrerzustand, dienen aber meist nur zur Kalibrierung anderer Sensoren, da der verbundene Erhebungsaufwand für ein FZS nicht praktikabel ist. Für die Gruppe der nicht EEG-basierten physiologischen Größen gilt, dass jede Variable für sich genommen nur schwer in Richtung einer Zustandsqualität des Fahrers interpretiert werden kann. Es werden daher meist mehrere physiologische Größen erhoben, um daraus bestimmte Signalmuster identifizieren und interpretieren zu können.

Ein weiterer Ansatzpunkt für die Erfassung unwillkürlich abgegebener Information ist die Gesichtsmimik. Aus evolutionärer Perspektive ist diese ein primäres Kommunikationsmittel, das die Umgebung über den eigenen Zustand informieren soll. Die Erhebung und Interpretation entsprechender Informationen stellen somit einen potenziell sehr differenzierten Ansatz dar, der über energetische Aspekte von Aufmerksamkeit und Ermüdung hinausgeht und durch die Interpretation von Emotion und Motivation eine breitere Perspektive gestattet, wie sie beispielsweise SUMMALA (1997; vgl. Kapitel „Mehrebenen-Kontroll-Ansätze“) voraussetzt.

### **Informationsabgabe an das Gesamtsystem Fahrzeug**

Zwar ist vorwiegend der Fahrer für das Verhalten des Fahrzeugs verantwortlich. Die Abgabe der Information erfolgt aber nicht direkt durch das Verhalten des Fahrers, sondern indirekt über das Gesamtsystem Fahrzeug, das dem FZS wiederum als Informationsquelle dient; möglicherweise in Kombination mit Sensorik für die Umgebung.

Zu dieser Gruppe von Variablen gehören beispielsweise klassische Abweichungsmaße von Normvorgaben wie das Verlassen der Fahrspur oder auch Informationen über Längs- und Querbeschleunigung.

### **Informationsaufnahme durch FZS**

Die Ausführungen des vorigen Abschnitts machen deutlich, dass die Kategorisierung von FZS nach Art der abgegebenen Information zwangsläufig die Frage nach der Informationsaufnahme auf Seiten des FZS aufwirft. Im Gegensatz zur Sensorik des Fahrers ist die Fülle an Sensoren auf Seiten eines FZS unüberschaubar. Es wird daher nur ein Ausschnitt der großen Bandbreite vorgestellt.

Zur Erhebung von Blickzu- bzw. -abwendung sowie der Blickrichtung im Allgemeinen werden Eye-Tracking-Systeme eingesetzt. Besonders diese Systeme zeigen, wie technologische Entwicklung ein klassisches Laborgerät zum Kandidaten für den operativen Einsatz in FZS macht. Verboten früher störende Aufbauten kopfgetragener Systeme den kommerziellen Einsatz, besteht nun über so genannte Remote-Systeme mit fest im Fahrzeug verbauten Kameras die Möglichkeit, Maße der Blickbewegung berührungslos zu erfassen.

Die visuelle Sensorik von Kameras kann auch für die Erfassung von Gesichtsmimik oder Gähnen genutzt werden.

Physiologische Maße wie Hautleitwiderstand, Herzschlagfrequenz oder Körpertemperatur werden durch entsprechende Sensoren am Lenkrad erhoben.

Drucksensoren am Sitz können die Körperhaltung bzw. deren Dynamik erfassen.

### **Anwendungen**

**Willkürliche Informationsabgabe:** Maße der Brems- und Beschleunigungsaktivität über die Pedalnutzung erheben KIM et al. (2008) und AKTIV (2008), um auf die Ermüdung zu schließen. Die Dynamik der Lenkbewegung bzw. den Lenkwinkel interpretieren SCHRAMM (2009) und AKTIV (2008) hinsichtlich Ermüdung. Über die Lenk-Entropie ziehen PAUL et al. (2005) und COOPER (2007) Schlüsse über die Fahrerablenkung.

**Unwillkürliche Informationsabgabe:** Phänomene der Müdigkeit, Ablenkung und des emotionalen Zustands erheben CAI & LIN (2007) über Pulsamplitude, Atemfrequenz, Hautleitfähigkeit, Hauttemperatur, Greifkraft am Lenkrad und die Handposition am Lenkrad.

Die meisten Studien zum Einsatz von FZS arbeiten mit Maßen der Blickbewegung, insbesondere des Lidschlussverhaltens als Indikator für Müdigkeit. Lidschlussdauer verarbeiten HARGUTT (2003, 2004), LUND (2009), BENOIT et al. (2009), SCHLEICHER et al. (2008); Lidschlusshäufigkeit wird eingesetzt in AKTIV (2008) und von HARGUTT (2003, 2004); Lidschluss-Grad verwenden MA et al. (2008); die Lid-Öffnungs-Verzögerung, Sakkadengeschwindigkeit und Fixationsdauer interpretieren SCHLEICHER et al. (2008).

Die Iris-Erkennung werten D'ORAZIO et al. (2007) mittels eines neuronalen Netzes hinsichtlich Fahrerablenkung und Müdigkeit aus. Über Kamera visuell erfasstes Gähnen interpretieren SARADADEVI & BAJAJ (2008) und BENOIT et al. (2009). Abnehmende Sitzbewegungsamplitude als Indikator für Müdigkeit verwenden ZILBERG et al. (2009).

**Willkürliche oder unwillkürliche Informationsabgabe:** Die Gesichtsabwendung als Indikator für Abwendung oder Ablenkung der Aufmerksamkeit wird von BÜKER et al. (2007) verwertet. Die Abwendung

des Blicks wird eingesetzt in AKTIV (2008). Kopfbewegungen detektieren BENOIT et al. (2009).

Informationsabgabe durch das Gesamtsystem Fahrzeug: LUND (2009) und COOPER (2007) interpretieren Maße der Bahnabweichung als Indikator für Müdigkeit. Wie die Übersicht der aktuell marktreifen Systeme zeigt, sind besonders diese Systeme für Fahrzeughersteller attraktiv, da bereits im Fahrzeug verbaute Sensorik, beispielsweise zur Lane-Departure-Warnung als Informationsquelle dienen kann (vgl. Anhang „Kommerzielle Systeme zur Fahrerzustandserkennung“).

### **Wirkung von FZS aus Perspektive verschiedener Modellansätze**

Die verschiedenen beschriebenen Modellansätze werden verwendet, um Ansatzpunkte für die Wirkung von FZS zu ermitteln. Den Ausgangspunkt der Überlegungen bildet der Informationsverarbeitungs- oder Kommunikationszyklus aus Bild 3. Die in den vorhergehenden Ausführungen diskutierten Modelle ergänzen die Betrachtung und werden soweit erforderlich zueinander in Beziehung gesetzt. Dieses Vorgehen ermöglicht die Ableitung und Formulierung von Kriterien, um die Wirkung von FZS zu untersuchen.

Um den kompletten Prozess der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -abgabe der beiden kommunizierenden Systeme Fahrer und FZS weiter zu gliedern, bietet sich die SRK-Taxonomie an; damit wird auch der Grad der Automatisierung der Informationsverarbeitung explizit berücksichtigt. Auf der Ebene fertigkeitbasierten, hochautomatisierten Verhaltens ist vor allem von Belang, inwieweit sensorische Aspekte der Mensch-System-Interaktion berücksichtigt werden. Dabei ist zum einen die Wahrnehmbarkeit der durch den Fahrer an das FZS als auch die durch das FZS an den Fahrer abgegebenen Information von Bedeutung. Obwohl der erste Fall nicht direkt die Wirkung von FZS betrifft, ist hier als indirekte Systemwirkung von Belang, zu welchem Grad der Fahrer die Wahrnehmbarkeit der von ihm abgegebenen Informationen steuern kann und welche Manipulationsmöglichkeiten sich daraus ergeben. Der zweite Fall umfasst auf dieser Ebene klassische Aspekte und Kriterien der sensorischen Registrierung der angebotenen Information. Das betrifft Aspekte der visuellen, auditiven oder taktilen Gestaltung von Feedback, Platzierung, Größe, Farbgebung, Lautstärke, Tonfrequenz und Ähnli-

ches. Viele dieser Aspekte können durch den Vergleich mit bestehendem Normvorgaben verifiziert werden. Dabei ist die Gestaltung anderer Systeme zu berücksichtigen, sodass beispielsweise Verwechslungsfehler vermieden werden können oder die Modalität der Rückmeldung nicht mit anderen Warnungen oder Systeminformationen interferieren.

Auf Ebene der regelbasierten Verhaltensanteile ist zu prüfen, in welchem Maß der Fahrer durch das FZS in die Lage versetzt wird, regelhafte Zusammenhänge zwischen der durch ihn abgegebenen Information, deren Verarbeitung durch das FZS und dessen Rückmeldung herzustellen. Es stellt sich die Frage, welche Vor- und Nachteile ein klar nachvollziehbares Systemverhalten, das beispielsweise auf jede Blickabwendung von der Straße von mehr als zwei Sekunden mit einer akustischen Warnung reagiert, gegenüber der für den Fahrer intransparenten Verwertung und Verrechnung verschiedener Sensoren hat. Der Aufbau einer entsprechenden Wenn-dann-Beziehung kann über Verständnisfragebögen zum Systemverhalten geprüft werden. Die Wirkung dieses Regelwissens kann nur in längerfristigen Untersuchungen ermittelt werden.

Der Übergang zu wissensbasiertem Verhalten ist fließend und wird auch durch die Komplexität des FZS und dessen Sensorik beeinflusst. Eine interne Repräsentation des Systemverhaltens als Basis für die regelhafte Interpretation des Systems wird durch den Fahrer umso leichter aufgebaut, je transparenter und vorhersehbarer das Verhalten des FZS ist. Nach NORMAN (1990) kann so das mentale Modell des Benutzers entsprechend dem tatsächlichen System Image aufgebaut werden.

Die Informationsabgabe des FZS an den Fahrer wird aus dessen Sicht als Systemrückmeldung interpretiert. Diese Rückmeldung des FZS kann nach dem Grad der Assistenz bzw. Invasivität strukturiert werden. BULD et al. (2002) unterscheiden nach warnender und ersetzender Assistenz. Nach ihren Forschungsergebnissen führt der Einsatz ersetzender Assistenz zu einer Reduktion der Aufmerksamkeit des Fahrers. Freie Aufmerksamkeitsressourcen werden für Tätigkeiten aus dem sekundären und tertiären Aufgabenbereich verwendet. Im Kontext des ECOM-Modells gilt: Der Fahrer reduziert seine Kontrolltätigkeit auf Ebene der Kursverfolgung und der Regulation und kontrolliert nur mehr vereinzelt auf der Überwachungsebene. Die Beanspruchung des Fahrers nimmt ab. Die Kompensationshypothese, wonach die durch eingreifende oder ersetzende

Assistenz freien Ressourcen für andere Fahraufgaben gleicher Gewichtung eingesetzt werden, können BULD et al. (2002) in verschiedenen experimentellen Settings nicht bestätigen. Hinsichtlich warnender Assistenz erhalten die Autoren komplementäre Befunde. So steigert eine Warnung die Aufmerksamkeit und führt zu einem Erhalt der sensorischen Handlungsausführung. Die Neigung zu Nebenaufgaben nimmt ab. Im Kontext des ECOM-Modells gilt: Tracking- und Regulationskontrolle bleiben erhalten. Erwartungsgemäß steigt dadurch die Beanspruchung des Fahrers. Nach BULD et al. (2002) führen beide Warnstrategien subjektiv zu einer Verringerung der Schwierigkeit der eigentlichen Fahraufgabe.

Um diese Art von Effekten und Wirkzusammenhängen experimentell erfassbar machen zu können, muss zum einen der Grad der Assistenz von FZS manipuliert und die Auswirkung auf energetische Aspekte und Kontrollstrategien operationalisiert werden. Dazu können verschiedene Ansätze zur Ermittlung der Beanspruchung von Aufmerksamkeitsressourcen verwendet werden. Die Bandbreite dieser Methoden reicht von der subjektiven Fragebogenerhebung über physiologische Maße bis hin zu Verhaltensmaßen im Zweitaufgabenparadigma (vgl. VIDULICH, 2003). Speziell mit Bezug auf Mehrebenen-Kontrollmodelle kann über Zusatzaufgaben der gleichen Kontrollebene überprüft werden, ob differenzierte Defizite entstehen.

Die mentale Repräsentation, die der Benutzer in der Interaktion mit dem System aufbaut, bezieht sich nicht nur auf ein Systemabbild, sondern auf die Gesamtsituation und den Kontext, in denen diese Interaktion stattfindet. Wird der Interaktionszyklus Fahrer-FZS aus dieser Perspektive betrachtet, gewinnen die Wahrnehmung und das Verständnis der Situation entscheidend an Bedeutung. Wie im Abschnitt „Erweiterung des Informationsverarbeitungsmodells“ ausgeführt, sind Aspekte, die sich auf Eigenschaften und Zustand von Kontextelementen beziehen, dem Bereich des Situationsbewusstseins zuzuordnen.

Die Bedeutung des Situationsbewusstseins im Zusammenhang mit Kontrollprozessen stellt deutlich das ECOM-Modell heraus. Die Definitionen von WICKENS (1996) und ENDSLEY (1995; vgl. Abschnitt „Informations-Perspektive im Kontext“) können zur Verdeutlichung um die Begriffsbestimmung von SARTER & WOODS (1991) ergänzt werden, die Situationsbewusstsein beschreiben als “accessibility

of a comprehensive and coherent situation representation which is continuously being updated in accordance with the results of recurrent situation assessments“ (S. 52). In Grundzügen ähnelt diese Charakterisierung damit der Beschreibung der Monitoring- oder Überwachungs-Ebene des ECOM-Modells. Automation auf Ebene der Regulation oder des Tracking führt dazu, dass den Kontrollprozessen der Überwachungsebene wichtige Informationen fehlen, wenn durch unvorhergesehene Ereignisse der Fahrer zum Eingreifen auf der Ebene des Regulierens gezwungen wird; der Fahrer ist dann out of the loop. Die gleiche Wirkung haben Interferenzen auf der Überwachungsebene durch gleichzeitig auszuführende und damit konkurrierende Überwachungsprozesse sowie alle Vorgänge, die zum Entzug von Aufmerksamkeitsressourcen führen, die für diese Prozesse benötigt werden. Verhalten und Wirkung von FZS lassen sich ebenfalls im Kontext der Ebenen des ECOM-Modells diskutieren: Ein System zur Erkennung von Müdigkeit, das Spurhaltedaten, Lenkbewegung und Pedalbedienmuster interpretiert und zurückmeldet, nimmt Information auf der Tracking- und Regulations-Ebene auf, zieht Schlüsse über Prozesszustände auf der Überwachungsebene und beeinflusst durch warnende oder eingreifende Informationsabgabe die Prozesse der Zielbildung. Von zentraler Bedeutung scheinen also auch hier überwachende und auch proaktiv antizipierende Prozesse der Monitoring-Ebene zu sein, die von einem Entzug der Ressourcen am stärksten betroffen sind. Diese Sichtweise unterstützen experimentelle Befunde von YANG et al. (2009), die Defizite durch Fahrerermüdung nicht bei fertigkeitbasiertem, sondern bei regel- und wissensbasiertem Verhalten feststellen. Sie sprechen deshalb von der Verdeckungs- oder Tarnnatur (engl. camouflage nature) regelbasierten Verhaltens; die negative Wirkung von Ermüdung auf das Fahrverhalten sollte sich demnach vorwiegend in den ressourcenintensiven, kognitiv beanspruchenden Prozessen manifestieren, die im ECOM-Modell auf der Überwachungsebene anzusiedeln sind.

Die Untersuchung von Situationsbewusstsein und mentaler Repräsentation wird auch von STANTON & YOUNG (1998) als wichtiges Kriterium genannt, um Auswirkungen durch die Einführung eines neuen Assistenzsystems zu überprüfen. Mit der Forderung nach der Erhebung von Workload und Stress nehmen STANTON & YOUNG zudem den energetischen Aspekt der oben gemachten Ausführungen auf.

Die Wirkung von Assistenzsystemen wird nach STANTON & YOUNG (1998) durch das Vertrauen in das System beeinflusst; ein Gesichtspunkt, der das gesamte Zusammenspiel von Informationsabgabe und -aufnahme von Fahrer und FZS betrifft und der vor allem eine längerfristige Perspektive auf die Interaktion voraussetzt. Nach SHERIDAN (1988) beeinflusst das Systemvertrauen, in welchem Ausmaß Benutzer die steigende Automatisierung von Assistenzsystemen akzeptieren und sich darauf verlassen. Systemvertrauen baut sich nach REMPEL et al. (1994) auf, wenn das Verhalten des Systems vorhersagbar und verlässlich ist. MUIR & MORAY (1996) ergänzen die Einflussfaktoren um Kompetenz, Verantwortung und Reliabilität. SHERIDAN (1988) führt als weitere Komponenten Robustheit, Bekanntheit, Verständlichkeit und Nützlichkeit an. Ohne im Detail auf diese Einflussvariablen einzugehen, wird deutlich, dass der Aufbau des Systemvertrauens von einem komplexen Gefüge von Faktoren abhängig ist, von denen die meisten eine längerfristige Interaktionshistorie voraussetzen und damit auch einen langfristig angelegten Untersuchungsansatz erforderlich machen. Bei der Einführung eines Systems, das nicht über Systeminformationen, sondern über den Zustand des Fahrers Auskunft gibt, also über eine Domäne, für die die Expertise eigentlich auf Seiten des Fahrers liegt, ist davon auszugehen, dass besonders diese Aspekte des Vertrauens in die Systemleistung von Bedeutung sind.

STANTON & YOUNG (1998) identifizieren die Kontrollüberzeugung (engl. locus of control) als weitere Einflussgröße auf die Wirkung von Assistenzsystemen und bestätigen damit die Bedeutung individueller Charakteristiken des Fahrers als moderierende Faktoren für deren Wirkung. Experimentelle Belege für diesen Einfluss liefern LAI et al. (2010), die den individuellen Fahrstil als moderierende Variable für langfristige Auswirkung von Systemen zur intelligenten Geschwindigkeitsanpassung (engl. intelligent speed adaptation, ISA) identifizieren, oder PARKER (1998), der den Einfluss von Überzeugungen und Einstellung auf aggressives Fahrverhalten belegt. Die Bedeutung von individuellen Charakteristiken betonen auch ABENDROTH & BRUDER (2009) und untergliedern diese nach

- Eigenschaften: intraindividuell weitgehend zeitunabhängige Einflussgrößen; z. B. Geschlecht, Alter und Persönlichkeitsmerkmale,

- Fähigkeiten: intraindividuell zeitabhängige, kurz- bis langfristige Einflussgrößen, auch physiologische Grundfunktionen des Menschen; z. B. Intelligenz, Feinmotorik, Wahrnehmungsempfindlichkeit,
- Fertigkeiten: Arbeitsfunktionen des Menschen, die sowohl durch menschliche Grundfunktionen als auch durch den konkreten Gestaltungszustand der Arbeitsaufgabe und der Arbeitsumgebung bedingt sind; z. B. Fahrstil, Antizipationsfähigkeit, Suchstrategien.

Für die Untersuchung der Wirkung von FZS kann vermutet werden, dass ein System, das Informationen zum individuellen Fahrzustand liefert, auf Ebene der individuellen Charakteristiken relevante Einflüsse zu erwarten hat. So ist davon auszugehen, dass Alter, Fahrerfahrung, Aspekte der Einstellung wie beispielsweise Technikaffinität oder auch kognitive Fähigkeiten moderierend auf Maße des Verhaltens, aber auch auf die Akzeptanz wirken.

Eine ähnliche Sichtweise auf individuelle Fahrermerkmale wird im EU-geförderten Projekt Humanist eingenommen, wo zusätzlich zu den Charakteristiken des Systems und den situativen Umständen explizit der Einfluss von Fahrereigenschaften diskutiert wird (vgl. COTTER & MOGILKA, 2007). Hier werden mit Driver Appropriation<sup>1</sup> verschiedene individuelle Charakteristiken erfasst. Die Autorinnen definieren das Konzept als "Acquisition of knowledge, skills and attitudes underlying short term and long term changes in behaviour" (COTTER & MOGILKA, 2007; S. 8). Sie erweitern damit das Konzept der Verhaltensanpassung (engl. behavioural adaptation), das von der OECD (1990) definiert wird als "those behaviours which may occur following the introduction of changes to the road-vehicle-user system and which were not intended by the initiators of the change" (S. 23). Diese beiden Ansätze verdeutlichen, dass der Einsatz von Assistenzsystemen im Fahrzeug ungewollte Nebeneffekte bedingt, die sowohl die Prozesse der Verhaltensanpassung als auch Änderungen und Anpassungen in den kognitiven, motivationalen und Kontrollprozessen betreffen, die nach COTTER & MOGILKA (2007) der Verhaltensanpassung zugrunde liegen.

<sup>1</sup> Die korrekte Übersetzung ins Deutsche entzieht sich der Kenntnis des Autors.

Diesen Ausführungen entsprechend empfehlen die Autorinnen neben den klassischen Ansätzen der Erhebung von Fertigkeiten und Maßen des Fahrerhaltens eine weitere methodische Perspektive. Sie empfehlen den Einsatz von Methoden der Einstellungserhebung sowie die Berücksichtigung des tatsächlichen Fahrkontextes und der tatsächlichen Systemverwendung durch die Benutzer. Die Kriterien werden auf dem Kontrollmodell von MICHON (1985; vgl. auch Bild 7: Hierarchische Struktur der Fahreraufgabe nach MICHON (1985).) verortet.

Dabei stellt jede Ebene für sich einen Ansatzpunkt für potenzielle Änderungen durch den Einsatz eines Systems dar. Entsprechend den strategischen Einflüssen auf taktische Kontrollprozesse, die das Modell ursprünglich abbildet, üben nach COTTER & MOGILKA (2007) zusätzlich Einstellungen, Motive und Wissen des Fahrers Einfluss auf die Verhaltensanpassungen aus.

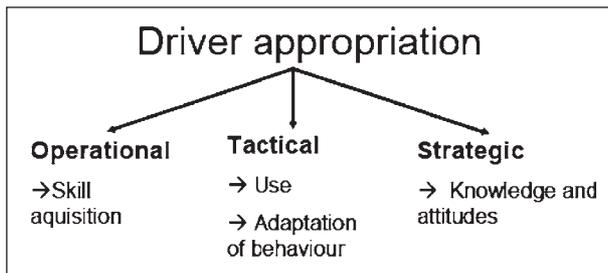


Bild 9: Individuelle Fahrercharakteristiken nach den Kontrollebenen von MICHON (1985)

Hinsichtlich adaptiver und insbesondere kompensatorischer Vorgänge nach Einführung von Systemen zur Steigerung der Fahrersicherheit wirft HEDLUND (2000) die Frage auf, wie wahrscheinlich welche Maßnahmen welche Konsequenzen nach sich ziehen. Er identifiziert vier Faktoren, die helfen, die auf eine Systemeinführung folgenden Verhaltensanpassungen einzuschätzen:

- **Sichtbarkeit:** Ist das System und seine Arbeitsweise für den Fahrer wahrnehmbar und offensichtlich oder wird es nur hinter den Kulissen aktiv? Rule 1: If I don't know it's there, I won't compensate for a safety measure (HEDLUND, 2000; S. 87).
- **Effekt:** Betreffen die Effekte des Systems das Verhalten oder die Einstellungen des Fahrers? Rule 2: If it doesn't affect me, I won't compensate for a safety measure (HEDLUND, 2000; S. 87).
- **Motivation:** Sind Motive und motivationale Einflüsse durch das System betroffen – Risikowahrnehmung, subjektiver Nutzen, Gewohnheit, ...? Rule 3: If I have no reason to change my behavior, I won't compensate for a safety measure (HEDLUND, 2000; S. 88).
- **Kontrolle:** Ist das Fahrverhalten durch Kontrollmechanismen in hohem Maße festgelegt? Rule 4: If my behavior is tightly controlled, I won't compensate for a safety measure. (HEDLUND, 2000; S. 88)

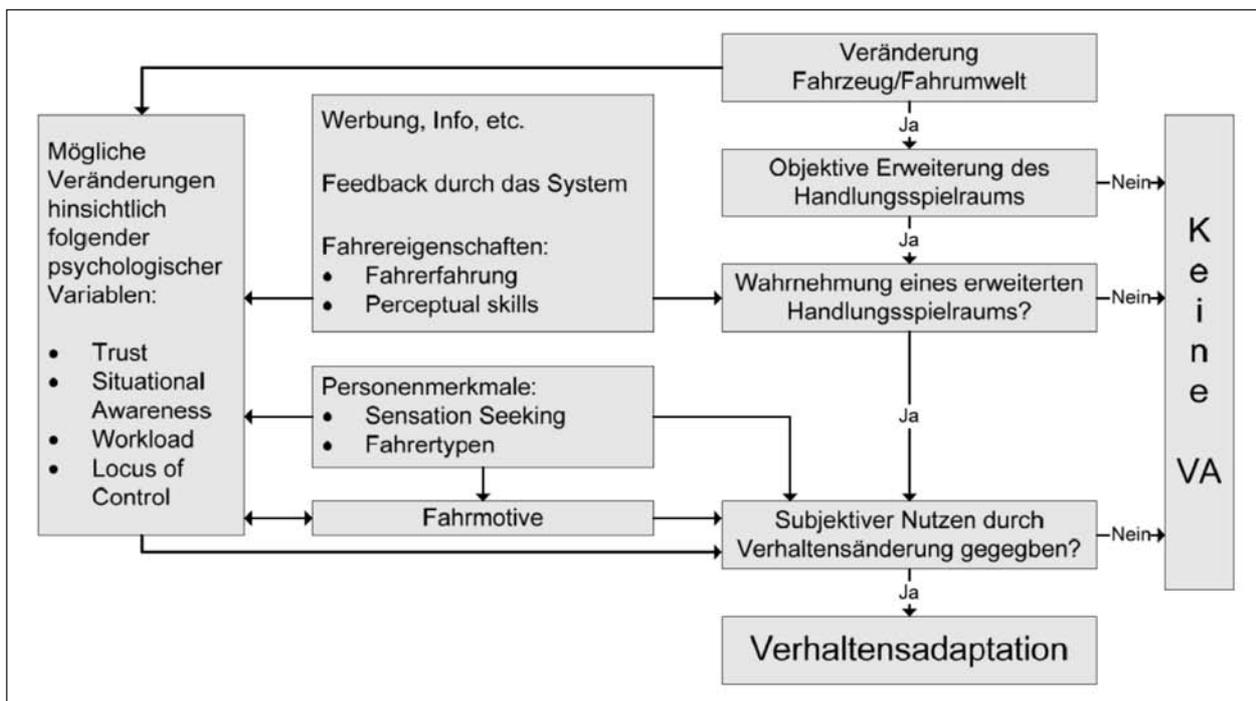


Bild 10: Prozessmodell der Verhaltensadaptation nach WELLER & SCHLAG (2004)

Hinsichtlich der Einführung und der Wirkung von FZS kann davon ausgegangen werden, dass die beiden Aspekte Effekt und Motivation eindeutig für eine Verhaltensanpassung sprechen. Die vom FZS abgegebene Information zielt auf einen Verhaltens-effekt ab. Es besteht für den Fahrer zudem die Motivation, Systemhinweise auf Ermüdung zu überstimmen, wenn er sein Ziel in einem vorgegebenen Zeitrahmen erreichen will. In welchem Ausmaß die vom FZS abgegebene Information für den Fahrer wahrnehmbar gestaltet wird, ist systemabhängig. Das System reagiert aber auf ungünstige Fahrerzustände mit Information, Warnung oder Eingreifen. Auch der Grad der Kontrolle, die der Fahrer über die Funktionalität des FZS hat, ist systemabhängig. Für informierende oder warnende Systeme ist die Verhaltensflexibilität des Fahrers hoch; nach Grad des Systemeingriffs nimmt der Kontrolleinfluss durch das System zu. Informierende oder warnende FZS ohne eingreifende Fahrerassistenz haben nach diesem Schema damit durchaus das Potenzial für eine Verhaltensanpassung seitens des Fahrers.

Relevante Einflussgrößen auf die Anpassung von Verhalten fassen WELLER & SCHLAG (2004) in einem Prozessmodell der Verhaltensadaptation zusammen, das besonders die individuellen Charakteristiken als Determinanten der Verhaltensanpassung hervorhebt (vgl. Bild 10).

## Zusammenfassung und Folgerungen

Der Begriff des Fahrerzustands und grundlegende Mechanismen von Phänomenen, die in diesem Zusammenhang erörtert werden, können mit Bezug auf das klassische Informationsverarbeitungsmodell definiert und erläutert werden. Die Ausführungen der vorhergehenden Kapitel zeigen aber, dass es nicht ausreicht, die Wirkung von FZS nur hinsichtlich der Aufmerksamkeitsprozesse des Fahrers zu diskutieren.

Es ist daher ein Ansatz nötig, der Fahrer und FZS als komplementäre Verarbeitungssysteme betrachtet, die beide Informationen aufnehmen, verarbeiten und abgeben, wie er in Bild 3 dargestellt wird. Die Überprüfung der Wirkung von FZS sollte daher die verschiedenen Arten und Modalitäten der Informationsaufnahme und -abgabe und deren Determinanten aufnehmen. Die Qualität der Informationsabgabe und -aufnahme kann analytisch durch den

Vergleich relevanter Normvorgaben und Standards verifiziert werden. Experimentelle Untersuchungen nehmen klassische Leistungsaspekte auf, die Indikatoren der Genauigkeit und Geschwindigkeit umfassen. Diese Aspekte können in ersten Versuchsdurchgängen in geeigneten Simulationsumgebungen untersucht werden. Bereits auf dieser Ebene sollte neben den Leistungsaspekten die Benutzerakzeptanz zu relevanten Systemaspekten erhoben werden.

Um Wirkprozesse granular und in gegenseitiger Beeinflussung untersuchen zu können, sollten in einer Phase der Verhaltens- und/oder Aufgabenanalyse Verhaltensweisen und Kontrollprozesse ermittelt werden, die von dem untersuchten FZS betroffen sind. Dadurch lassen sich konkrete Wirkhypothesen für eine geplante Untersuchung ableiten. Die analytische Auflösung ist dabei abhängig von versuchsökonomischen Aspekten. Wie ausgeführt, können Verhaltensweisen auf den unterschiedlichen Ebenen der SRK-Taxonomie untersucht werden, wie beispielsweise bei YANG et al. (2009). Mehrebenen-Kontrollmodelle bilden eine zusätzliche Möglichkeit, potenzielle Ansatzpunkte für die Wirkung von FZS auf unterschiedlichen Kontrollniveaus zu untersuchen.

In einer steigenden Anzahl von Studien wird deutlich, dass ein großer Teil der in Fahrversuchen beobachteten Variabilität in den erhobenen Maßen vor allem durch situative und inter-individuelle Faktoren erzeugt wird. Der klassische experimentelle Ausweg hinsichtlich situativer Einflussgrößen besteht oft in der strengen Kontrolle von Kontextbedingungen. Diese werden häufig als Störvariablen zusammengefasst und für einen Versuch über alle Durchgänge konstant gehalten. Dieser strengen Kontrolle wird durch Vertreter eines ökologisch (engl. ecological; i. S. v. „kontextvalide“) orientierten Forschungsansatzes entgegengehalten, dass dadurch das komplexe Wirkgefüge situativer Einflüsse auf reales Verhalten künstlich reduziert und die Generalisierung experimenteller Ergebnisse auf andere Kontextbedingungen nicht möglich ist (vgl. BENNETT et al., 2006; VICENTE, 1990; GIBSON, 1986; HAMMOND, 1986; BRUNSWIK, 1956). Für die experimentelle Untersuchung der Wirkung von FZS ist daher ein realitätsnahes Umfeld zu schaffen, das in relevanten Belangen nicht vom tatsächlichen Umfeld abweicht bzw. diesem tatsächlich entspricht. Diese Anforderungen werden beispielsweise durch Field Operational Tests teilweise erfüllt. Einen weiteren empirischen Erhebungsansatz

stellen Studien im Rahmen des Naturalistic Driving dar, wo Untersuchungen im natürlichen Fahrumfeld durchgeführt und die erfassten Daten deskriptiv ausgewertet werden (vgl. NEALE et al., 2005 oder das EU-Projekt AIDE). Damit folgt dieser Ansatz nicht dem experimentellen Paradigma und ist daher mit extremer Vorsicht bezüglich der Auswertbarkeit zu betrachten.

Eine spezielle Form von Kontexteinflüssen auf die Wirkung von FZS stellen im Bereich des Schwerlastverkehrs die Sozialvorschriften (Lenk- und Ruhezeiten) dar. Von besonderem Interesse ist dabei das Zusammenwirken von Regelvorgaben, individuell empfundener Müdigkeit und des vom FZS ermittelten Zustands, vor allem die resultierenden Verhaltenskonsequenzen, wann beispielsweise unter welchen Umständen welcher Informationsquelle Vorrang eingeräumt wird.

Neben den situativen oder Kontexteinflüssen stellen die individuellen Charakteristiken des Fahrers eine noch zu wenig beachtete Quelle systematischer Varianz für die Untersuchung der Wirkung von Assistenzsystemen dar. Das gilt besonders für FZS, für die vermutet werden kann, dass ihre Akzeptanz stark von individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie motivationalen und Einstellungsfaktoren abhängt. So ist davon auszugehen, dass Wirkungen von FZS beispielsweise durch Alter, Fahrstil, Kontrollüberzeugung, Sensation Seeking oder emotionales Befinden systematisch beeinflusst werden.

Mit der Erweiterung der Perspektive auf den Einfluss von Faktoren wie Einstellung, Motivation oder Persönlichkeit rücken mehr und mehr langfristige Fragestellungen ins Zentrum des angewandten Forschungsinteresses. Mit der Untersuchung von Phänomenen der Verhaltensadaptation wird dem Umstand Rechnung getragen, dass Systemeinführungen auch unbeabsichtigte Konsequenzen auf individuelles Fahrverhalten haben. Durch das Konzept der Driver Appropriation wird der Einfluss um kognitive und Einstellungsänderungen erweitert. Als wichtiger Einflussfaktor für die Entwicklung von Verhaltensanpassung kann Systemvertrauen identifiziert werden. Die Entwicklung von Systemvertrauen erfordert eine gewisse Interaktionserfahrung. Um diese mittel- und langfristigen Auswirkungen und ihre Determinanten untersuchen zu können, muss die zeitliche Systemerfahrung des Nutzers explizit im Versuchsansatz abgebildet werden.

## Ausblick

Im weiteren Verlauf des Projekts werden auf Grundlage dieser Vorarbeiten konkrete Messmodelle erarbeitet. Es wird festgelegt, unter welchen Untersuchungsbedingungen welche Variablen in die Untersuchung eingehen und wie diese operationalisiert werden sollten. Dabei werden Vor- und Nachteile verschiedener methodischer Ansätze dokumentiert und diskutiert.

## **Teil 2**

**Methodisches Vorgehen zur Erhebung von langfristigen  
Wirkungen von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands**



## Einleitung

Es ist das Ziel der vorliegenden Studie, ein methodisches Vorgehen zu entwickeln, um langfristige Wirkungen von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands (kurz FZS) zu erheben und diesen Aspekt von FZS so einer Bewertung zugänglich zu machen.

In einem ersten Ansatz werden themeninvariante Aspekte, Strukturen und Perspektiven der Evaluationsforschung identifiziert, die den konzeptuellen Kontext für die weiteren Ausführungen bilden. In diesem Zusammenhang werden zudem Fragen formuliert, die die Struktur einer Wirkungsuntersuchung von FZS grundlegend bestimmen und die daher im Rahmen einer konkreten Umsetzung zu beantworten sind.

Auf der Grundlage von modelltheoretischen Überlegungen aus Teil 1 werden Kriterien abgeleitet, die geeignet sind, langfristige Folgen und Wirkungen von FZS zu erfassen. Komplexe Konzepte, die sich der direkten Erfassung entziehen, werden weiter detailliert und so einer Messung zugeführt.

Methoden und methodische Ansätze werden hinsichtlich ihrer Eignung zur Erhebung der ermittelten Variablen eingeordnet. Dabei werden auch versuchsökonomische sowie allgemeine Qualitätskriterien der Versuchsplanung und -durchführung berücksichtigt.

## Evaluationsforschung

Die Evaluation von Systemen in komplexen, hochdynamischen Umgebungen erfordert einen Ansatz auf unterschiedlichen Ebenen. Ein Modell, das diesem Anspruch genügt, wird im Folgenden entwickelt. Für die vorliegende Untersuchung werden zuerst allgemeine Aspekte identifiziert, die bei der Durchführung von Evaluationsstudien zu berücksichtigen sind.

### Allgemeine Aspekte

Zur Einordnung und Beschreibung eines Evaluationsprojekts sind nach PEJTERSEN und RASMUSSEN (1997) folgende Kategorisierungsdimensionen hilfreich:

### Formative und summative Evaluation

Besonders im Hinblick auf den Stand des Evaluationsprojekts sowie seine Zielsetzung ist eine Unterscheidung von formativer und summativer Evaluation nützlich (vgl. BORTZ & DÖRING, 2006). Die summative Evaluation begutachtet die Maßnahme zusammengefasst nach ihren Auswirkungen, die beispielsweise mit denen einer alternativen Maßnahme oder mit den Erwartungen zu Projektbeginn verglichen werden.

Für die Entwicklung von neuen Maßnahmen sowie der Bewertung von Veränderungsprozessen stellt die begleitende, formative Evaluation den geeigneten Ansatz dar. Hier werden die Abwicklung der Maßnahme und deren Wirkung stetig kontrolliert. Gewonnene Erkenntnisse fließen in den nächsten Iterationsschritt der Entwicklung. Die formative Evaluation strebt nach Information zu kontextuellen Einflussfaktoren, Mechanismen und Prozessen (vgl. TREASURY, 2007).

### Verifizierung und Validierung

Der allgemeine Begriff der Evaluation kann gegliedert werden in die Bewertung der Übereinstimmung mit den Spezifikationen der Maßnahme oder des Produkts, die Verifizierung, und in die Bewertung der Übereinstimmung der Maßnahme oder des Produkts mit den Bedürfnissen der Nutzer, die Validierung.

Für den Bereich der Gestaltung von Benutzerschnittstellen wird während des Prozesses der Verifizierung überprüft, inwieweit ein Produkt den Gestaltungszielen entspricht. Die Durchführung dieser Evaluation erfolgt über den Vergleich mit Gestaltungsheuristiken oder anerkannten Normen und Standards (vgl. NIELSEN & MACK, 1994; SHEREHIY, KARWOWSKI & RODRICK, 2006).

Die Validierung betrifft auch die Gültigkeit hinsichtlich der Übereinstimmung der experimentellen Gegebenheiten mit den Bedingungen in realen Situationen. Verifizierung und Validierung sind dabei eher serielle als parallele Prozesse: Die Verifizierung geht üblicherweise der Validierung voraus.

### Analytische und empirische Evaluation

Die analytische Evaluation von Benutzerschnittstellen umfasst den strukturierten Vergleich von Anforderungen der Arbeitsumgebung mit den Gestal-

tungsanforderungen oder den Spezifikationen eines Prototyps. Der analytische Ansatz prüft inhaltliche Anforderungen an die Funktionalität eines Produkts und übernimmt damit deren Verifizierung (s. o.).

Der empirische Ansatz legt den Schwerpunkt auf formale Aspekte eines Produkts und bezieht Kontext, Benutzererfahrung und -präferenzen mit ein. Durch Experimente werden Leistungsstandards verifiziert und der Produkteinsatz mit repräsentativen Nutzern in repräsentativer Umgebung validiert.

Den Ausgangspunkt der Überlegungen von PEJTERSEN und RASMUSSEN (1997) bildet die Analyse moderner Computerarbeitsplätze. Deren Merkmal sind immer seltener statische Arbeitsprozeduren als mehr situativ motiviertes Verhalten nach Ermessen des Operateurs. »The interaction of work environment and actors' resource constraints creates the task ad hoc« (PEJTERSEN & RASMUSSEN, 1997, S. 1519). Diese Beschreibung kann auf die Anforderungen übertragen werden, die an den Fahrer eines Kfz gestellt werden. Auch hier bestimmt das Zusammenspiel von Umgebungsanforderungen und Ressourcenbeschränkungen die Fahraufgabe, wie die zentrale Rolle der Aufmerksamkeit als energetisches Konzept der Informationsverarbeitung unterstreicht (vgl. dazu die Ausführungen in Teil 1).

## Rahmenmodell

Die Evaluation von Benutzerschnittstellen in komplexen, dynamischen Umgebungen erfordert geeignete Bewertungsansätze, die die Anforderungen durch die Umgebung in die Konzeption mit aufnehmen. Ein allgemeines Rahmenmodell zur Formulierung solcher Bewertungsansätze kann in Anlehnung an PEJTERSEN und RASMUSSEN (1997) formuliert werden.

Ein Rahmenmodell zur Evaluation muss demnach die Charakteristiken der physischen Umgebung und die situative Interpretation dieser Umgebung durch den Operateur in Abhängigkeit von dessen Wahrnehmung, Fertigkeiten, Einstellungen oder Strategien umfassen. Folgende Perspektiven bilden die Grundstruktur für die verschiedenen Ansatzpunkte oder Ebenen der Evaluation:

1. Operateur,
2. Aufgabensituation,

3. Physikalisches situatives Umfeld,
4. (Soziale Organisation).

Die soziale Organisation spielt für die unmittelbare Situation des Fahrers eine untergeordnete Rolle und muss daher nicht in Betracht gezogen werden. Es sind allerdings Einsatzgebiete von FZS vorstellbar, in denen die soziale Struktur, besonders im gewerblichen Einsatz, bedeutsam wird. Die verbleibenden drei Ebenen bilden jeweils eigenständige Bewertungsperspektiven, die auch einen eigenständigen Beitrag zur Bewertung leisten können und daher zu berücksichtigen sind.

Das allgemeine Rahmenmodell zur Bewertung von Benutzerschnittstellen untersucht die Interaktion Fahrer-Fahrzeug hinsichtlich des physikalischen situativen Umfelds, der Aufgabensituation sowie der Charakteristiken des Operateurs. Es umfasst damit folgende Ansatzpunkte:

Die Untersuchung von sensomotorischen Aspekte der Interaktion beantwortet allgemeine Fragen zur Gestaltung von Bedienelementen und Anzeigen, sodass sie den Wahrnehmungs- und motorischen Anforderungen der Operateure gerecht werden. Bewertungen auf dieser Ebene beinhalten den analytischen Vergleich mit und die Verifizierung von ergonomischen Standards und Normen. Neuartige Fragestellungen erfordern die empirische Prüfung der Anforderungen im Rahmen von Labor-Experimenten. Im Kontext FZS ist zu prüfen, inwieweit die Informationsabgabe des Fahrers (vgl. Kapitel "Erweiterung des Informationsverarbeitungsmodells" in Teil 1) vom System wahrzunehmen sind, vor allem aber inwieweit die rückgemeldete Systemreaktion, also beispielsweise die visuelle, akustische oder taktile Warnmeldung, vom Fahrer wahrgenommen wird, wahrgenommen werden kann und wie sich diese Wahrnehmung im Verlaufe eines Systemeinsatzes entwickelt.

Kognitive Ressourcen und Prozesse stehen im Zentrum der Untersuchung von Aspekten der Bereitstellung von Information. Die Interaktion soll weder durch Geschwindigkeit noch durch Menge oder Anordnung der Präsentation beeinträchtigt werden. Diese Untersuchung erfolgt vorwiegend empirisch-experimentell.

Unter Einsatz realistischer Aufgabenstellungen und -szenarien wird experimentell überprüft, inwieweit die Situationsanalyse und individuelle Entscheidungsstrategien unterstützt werden. In diesem Zu-

sammenhang ist eine Unterscheidung von Komplexität und Schwierigkeit hilfreich, wie sie De WAARD (1996) und KANTOWITZ (1987) treffen. Komplexität ist danach eine Eigenschaft der Aufgabe, während Schwierigkeit eine Eigenschaft der Interaktion von Operateur und Aufgabe darstellt. Besonders in Szenarien, bei denen durch Ablenkung oder Abwendung der Aufmerksamkeit oder durch Ermüdung auf Seiten des Operateurs Ressourcen für die Interaktion entzogen werden, erhöht sich die Schwierigkeit einer vergleichsweise einfachen (als Antonym von „komplexen“) Aufgabe.

Die Überprüfung des Aufgabenspektrums auf Vollständigkeit erfolgt sowohl analytisch nach der Dokumentation der Anforderungen und Expertenurteilen als auch über Experimente, die eine möglichst große Bandbreite an Systemeinsätzen abdecken. Die Bandbreite wird bestimmt durch verschiedene Kontext- und Einsatzszenarien.

Um den Anforderungen der Repräsentativität des Versuchsaufbaus zu genügen und generalisierbare Studienergebnisse zu erhalten, fordern PEJTERSEN und RASMUSSEN (1997) für die empirische Bewertung, dass das experimentelle Umfeld in relevanten Belangen der Arbeitsumgebung entspricht. Sie fordern zudem, »to make explicit how the behavior-shaping constraints are transferred to the research domain« (S. 1527). Wichtige Ausprägungen dieser »behavior-shaping constraints« können sich je nach dem Ort der Evaluation unterscheiden.

Eine eigenständige Dimension des Rahmenmodells stellt die zeitliche Perspektive dar, die sich auf die dynamische Entwicklung der Aspekte aller Ebenen bezieht. Sie bildet hinsichtlich der langfristigen Wirkungen von FZS einen entscheidenden Blickwinkel.

## Evaluation: Ziele, Kriterien, Methoden

Evaluationsstudien unterscheiden sich hinsichtlich einer Vielzahl struktureller und inhaltlicher Aspekte. Die wichtigsten dieser Aspekte werden im Folgenden kommentiert und sind für die konkrete Umsetzung einer Untersuchung zu dokumentieren.

### Welche allgemeinen Ziele hat die Evaluation?

Die Bewertung von Systemen in hochagilen Umgebungen, wie beispielsweise Assistenzsysteme im

Kfz, stellt besondere Anforderungen an einen Versuchsplan. Nach STOCKMANN (2000) können für eine Evaluationsstudie besonders folgende Ziele identifiziert werden:

1. wissenschaftliche Erkenntnis von Eigenschaften und Wirkungen der Intervention,
2. Optimierung der Maßnahme im Hinblick auf die konkreten Ziele,
3. Kontrolle der korrekten Umsetzung des Projekts,
4. Entscheidung zwischen verschiedenen Interventionsmaßnahmen oder hinsichtlich des weiteren Forschungsvorgehens,
5. Legitimierung der Entwicklung und Durchführung der Maßnahme nach außen.

Erfolgt die Evaluation der Maßnahme oder des Produkts im wissenschaftlichen Kontext und soll sie nach außen kommuniziert und legitimiert werden, ist besonderes Augenmerk auf Gütekriterien der Versuchsplanung und -durchführung sowie die Auswertung der erhobenen Daten zu legen. Es ist dann besonders darauf zu achten, dass die Operationalisierung der Messgrößen reliabel und valide und die Erhebung der Daten objektiv erfolgen. Anforderungen und Kriterien der statistischen Auswertung sind zu berücksichtigen. So ist beispielsweise zu fordern, dass der Versuchsplan eine ausreichende Teststärke aufweist, sodass ein vermuteter Effekt mit genügend hoher, vorher festzulegender Wahrscheinlichkeit identifiziert werden kann (zu Kriterien der Versuchsplanung, -durchführung und -auswertung vgl. BORTZ & DÖRING, 2006; ROSENTHAL & ROSNOW, 2008).

### Was soll evaluiert werden?

Es ist zu unterscheiden, ob

- ein marktreifes Produkt,
- ein Interaktionskonzept,
- eine Teillösung oder ein Prototyp

zu evaluieren ist. Eine prototypische Umsetzung kann dabei einen kompletten Teilbereich oder die gesamte Bandbreite an Funktionalität zu einem gewissen Grad implementieren.

Jede dieser Instanzen stellt sich dem Vergleich von konkurrierenden Produkten, Konzepten oder Prototypen oder wird für sich bewertet. Es ist damit als

weitere Evaluationsdimension festzulegen bzw. als Frage zu klären, ob eine Instanz absolut nach festgelegten Gütekriterien oder vergleichend zu anderen Instanzen bewertet werden soll: Soll aus einer Menge von Systemen oder System-Merkmalen das beste identifiziert werden? Soll überprüft werden, ob ein System ein bestimmtes Kriterium erfüllt? Absolute Bewertungen erfordern eine genaue Beschreibung und Repräsentation relevanter situativer Gesichtspunkte.

### **Welche inhaltlichen Ziele hat die Evaluation?**

Ein klassisches Rahmenkonzept zur Bewertung von Systemen stellt beispielsweise das komplexe Konstrukt Gebrauchstauglichkeit oder Usability dar (vgl. DIN ISO 9241-11, 1998). Es umfasst Anforderungen an Effizienz, Effektivität und Zufriedenstellung. Die im Konzept Usability integrierten Leistungs- und Akzeptanzkriterien decken eine große inhaltliche Bandbreite ab und sind bei der Versuchsplanung zu berücksichtigen.

### **Welche Kategorien von Situationen sollen bewertet werden?**

Es ist festzulegen, ob eine Bewertung auf Niveau bestimmter Situationen oder Anwendungsfälle durchgeführt werden soll. So kann beispielsweise in einer zusammenfassenden Evaluierung nach Erfahrungen in kritischen Situationen (engl. critical incidents; vgl. FLANAGAN, 1954) gefragt werden. Auch eine experimentelle Erhebung von Leistungsdaten muss festlegen, für welche situativen Umstände Versuche durchgeführt werden. Für andere Fragestellungen ist es eher angeraten, eine breitere Perspektive einzunehmen und die Operateure Einschätzungen über die gesamte Bandbreite von Einsätzen vornehmen zu lassen. Es stellt sich damit die Frage, ob über verschiedene Situationen integriert werden soll.

### **Wie werden relevante Konstrukte definiert und operationalisiert?**

Relevante Konstrukte können, wie in der vorliegenden Studie, beispielsweise aus anerkannten Modellen abgeleitet werden. Zur Beantwortung dieser Frage sind auch die Verbindungen zwischen den Evaluationszielen und den messbaren Variablen herauszustellen. Wenn die Operationalisierung komplexe Konstrukte betrifft, müssen die Gliederung und Detaillierung dieser Konstrukte bedacht werden.

### **Welchen Effekt haben intermittierende Variablen?**

Besonders hinsichtlich der Systemakzeptanz und des Aufbaus von Vertrauen in die Zuverlässigkeit eines Systems ist zu erwarten, dass individuelle Faktoren wie Training, Erfahrung, Motive, Einstellung sowie situative Kontextfaktoren wie Aufgabe und Umgebung einen starken Einfluss auf die Interaktion und deren langfristige Wirkungen ausüben.

Wenn ein solch differenzierter Einfluss zu erwarten ist bzw. als Einflussgröße (quasi-)experimentell untersucht werden soll, müssen auch diese Konstrukte entsprechend strukturiert und in geeignete messbare Variablen überführt werden.

### **Wer nimmt an der Evaluation teil?**

Die untersuchte Stichprobe ist dem Versuchsansatz und der Ebene der Evaluation anzupassen. Können grundlegende sensomotorische Aspekte ohne zeitliche Perspektive problemlos mit beliebigen Teilnehmern untersucht werden, so beschränkt bereits die Untersuchung langfristiger Wirkungen bestimmte Anforderungen an den Probandenkreis: Sie müssen ein bestimmtes Alter erreicht haben und die Fahrerlaubnis besitzen. Zudem ist von Bedeutung, ob Teilnehmer zufällig ausgewählt werden können oder ob in einem quasiexperimentellen Design bestehende Benutzergruppen zu untersuchen sind. Es ist zudem die Frage zu beantworten, in welcher Hinsicht die intendierte Benutzerschaft des Systems repräsentiert werden soll. Je nach Ziel des Studie (s. o.) sind bei der Auswahl der Stichprobe auch Rahmenbedingungen aus den Bereichen Marketing und Außendarstellung zu berücksichtigen.

### **Wo wird die Evaluation durchgeführt?**

Eine wichtige Entscheidung für jede Art der Evaluation betrifft den Ort der Versuchsdurchführung bzw. der Analyse. Vor allem versuchsökonomische Gründe gestatten häufig nicht, realitätsnahe Versuche im Feld durchzuführen; aber auch für Simulationen ist der Versuchsaufwand zum Teil beträchtlich. Wenn reliable und valide Informationen über die Selbstauskunft erhalten werden können, sollten alle zur Verfügung stehenden Medien in Betracht gezogen werden, beispielsweise Internet-basierte Befragungen oder Fragebogen-Anwendungen.

### Welche Daten werden erhoben?

Das Niveau der Daten, die erhoben werden, steht in enger Beziehung zu dem Grad der Dokumentation und der Rechtfertigung nach außen, der für die Bewertung angestrebt wird. Quantitative Erhebungen sind leichter mit festgelegten Qualitätsstandards zu vergleichen. Auch die Analyse und Auswertung der Daten können nach quantitativen und qualitativen Methoden untergliedert werden.

Für frühe Phasen der Konzept- oder Produktentwicklung kann auch eine qualitative formative Evaluation wertvolle Erkenntnisse für kommende Iterationsschritte liefern.

Besonders mit Blick auf die Unabhängigkeit der Erhebungsmethoden vom Anwender spielt deren Objektivität eine wichtige Rolle. Auch hier gilt: Je nach angestrebtem argumentativem Gewicht und dem Stand der Entwicklung sind flexibel handhabbare explorative oder auch hochstandardisierte Methoden angebracht. Die Methoden der Datenerfassung sind dabei äußerst vielfältig; sie umfassen synchronisierte maschinelle Aufnahmen, Fragebögen, Beobachtung, Interviews etc.

### Kriterien zur Evaluation auf mehreren Ebenen

Auf der Grundlage der Ausführungen in Teil 1 sowie der allgemeinen Ausführungen zu Evaluationsstudien werden im Folgenden für die langfristige Wirkung von FZS relevante Kriterien, Ansatzpunkte und Einflussgrößen vorgestellt.

Dabei wird der Mehr-Ebenen-Ansatz der Evaluation, wie er in den vorangegangenen Ausführungen entwickelt wurde, berücksichtigt, sodass die wichtigsten Kriterien, die in Teil 1 aus diversen Modellperspektiven abgeleitet werden konnten, alle Ebenen des Rahmenmodells abdecken. So wird sichergestellt, dass sowohl aus allgemeiner struktureller als auch aus inhaltlicher Sicht alle relevanten Aspekte für eine Evaluation beachtet werden können.

Die Ausführungen in Teil 1 identifizieren verschiedene Einflussgrößen und Kriterien, die zu prüfen sind, möchte man die vielfältigen Ansatzpunkte der Wirkungen von FZS in ganzer Breite erfassen. Verschiedene Modelle bieten unterschiedliche Perspektiven auf spezielle Aspekte der Fahrsituation und -aufgabe, beteiligte Akteure und Elemente und

deren Interaktion. Im Folgenden werden die einzelnen Kriterien kurz beschrieben. Für jedes Konzept werden Wege der Operationalisierung aufgezeigt und Methoden vorgeschlagen, um die Maße zu erheben. Wenn eine weitere Einordnung der Konzepte erforderlich ist oder das Verständnis unterstützt, wird der Bezug zu anderen Konzepten beschrieben.

### Mentale Modelle & Situationsbewusstsein

Die zentrale Rolle des Situationsbewusstseins beim Führen eines Fahrzeugs stellen die modelltheoretischen Ausführungen in Teil 1 deutlich heraus. Eine korrekte mentale Repräsentation der aktuellen Situation als Grundlage angepasster Handlungsausführung ist damit ein Kristallisationspunkt nicht nur für die aufmerksamkeitsenergetischen Mechanismen, die für die Wirkung von FZS von Bedeutung sind. Hinsichtlich des Evaluationsmodells ist das Konzept Situationsbewusstsein in der Lage, mehrere Ebenen anzusprechen: beginnend bei grundlegenden Vorgängen der Aufnahme von Information über deren Integration zu einem kohärenten Ganzen als Repräsentation der Situation, auf deren Grundlage die unmittelbare Entwicklung antizipiert wird (vgl. ENDSLEY, 1995). Der Begriff der mentalen Modelle, wie ihn NORMAN (1983) verwendet und populär gemacht hat, entspricht damit der internen Repräsentation von Situationszusammenhängen, die in ENDSLEYS (1995) Modell auf der Verständnisebene des Situationsbewusstseins stattfinden. So sehen auch SARTER und WOODS (1991) ein korrektes mentales Modell als Bedingung von Situationsbewusstsein.

Hinsichtlich der langfristigen Wirkungen von FZS ist damit von Relevanz, wie ihre Verwendung auf das Verhalten der Informationsaufnahme, deren Verarbeitung und das darauf aufbauende Antizipationsverhalten wirkt. Damit werden Aspekte der grundlegenden Passung Mensch-System genauso berücksichtigt wie die physikalische und die Aufgabensituation sowie deren zeitlicher Verlauf.

Bereits die Ausführungen zum Aufbau von Systemvertrauen weisen darauf hin, dass die Mechanismen zum Aufbau von Systemverständnis und darauf aufbauende Antizipation wichtige Verarbeitungs- und Verhaltenskomponenten darstellen (vgl. dazu den Abschnitt „Systemvertrauen und Complacency“).

### **Kriterium: Situationsbewusstsein – Wahrnehmung, Verstehen, Antizipation**

Operationalisierung: keine weitere Detaillierung des Konzepts nötig.

Methode: Echtzeit-Befragung während des Fahrens (JONES & ENDSLEY, 2000); Unterbrechungsstichproben – Situation Awareness Global Assessment Technique, SAGAT (ENDSLEY, 1988); Wahrnehmungs-Reaktionstests; Fragebogen Situation Awareness Rating Technique, SART (TAYLOR et al., 1993); Fragebogen Participant Situation Awareness Questionnaire – PSAQ (STRATER et al., 2000).

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise: Situationsbewusstsein hat zu vielen anderen Konzepten Querverweise. So werden im Abschnitt „Systemvertrauen und Complacency“ ähnliche Mechanismen zum Aufbau von Systemvertrauen identifiziert, wie sie für den Aufbau von Situationsbewusstsein behauptet werden. WARD (2000) setzt das Drei-Ebenen-Modell von ENDSLEY zum Modell von MICHON in Beziehung und kann Entsprechungen zwischen den Ebenen feststellen. HOLLNAGEL und WOODS (2006) identifizieren antizipatorische Prozesse als zentrale energetische Größe im ECOM-Modell. Über den Brückenschlag der energetischen Rolle der Aufmerksamkeit ist damit leicht eine konzeptuelle Beziehung zu klassischen energetischen Konstrukten wie Anstrengung und Workload herzustellen, die auf Aufmerksamkeitsprozessen beruhen (vgl. WICKENS & McCARLEY, 2008).

## **Automation**

Den Zusammenhang zwischen Situationsbewusstsein und Automation bzw. einer korrekten mentalen Repräsentation stellen GOODRICH und BOER (2003) heraus, wenn sie eine den aktuellen mentalen Modellen des Fahrers entsprechenden Automation fordern.

Wenn Automation Aufgaben übernimmt, die vorher vom Operateur wahrgenommen wurden, ändert sich die Rolle des Menschen fundamental von aktiver Kontrolle hin zu überwachender Kontrolle; ein Ebenenwechsel, den SHERIDAN (1960) als Meta-Kontrolle bezeichnet.

Im klassischen Fall der überwachenden Kontrolle ist es die Aufgabe des Operateurs, die automati-

sierte Leistung zu überprüfen. Im Falle von FZS stellt sich die Situation anders dar: Hier ist das Objekt der Automatisierung der Operateur selbst. Die Automatisierung betrifft Situationen, in denen der Operateur eben nicht mehr in der Lage ist, Überwachungsfunktionen zu leisten. Das FZS übernimmt damit nicht eine Kontrollfunktion des Operateurs, sondern eine Meta-Kontrollfunktion. Entsprechend dieser Logik fällt dem Operateur damit die Aufgabe der Meta-Meta-Kontrolle zu, also die Kontrolle der Meta-Kontrolle. Im Kontext FZS besteht diese Meta-Kontrolle in der Überprüfung, ob der eigene Zustand und die Systemeinschätzung übereinstimmen.

Nach BAINBRIDGE (1983) führt ein Nicht-Ausüben einer Kontrollhandlung zu Deskillung. Damit stellt sich für diese Einschätzprozesse die Frage, inwieweit durch den längerfristigen Einsatz von FZS hier Defizite auftreten.

### **Kriterium: Kalibrierung der Meta-Kontrolle**

Operationalisierung: Überprüft werden soll, in welchem Ausmaß die Selbsteinschätzung und die Fremdeinschätzung durch das FZS hinsichtlich Aufmerksamkeit oder Müdigkeit übereinstimmen.

Methode: Gegenüberstellung der Selbsteinschätzung bezüglich Aufmerksamkeits- oder Ermüdungszustand und der Systemeinschätzung; Grad der Übereinstimmung über verschiedene Situationen.

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise: Es bestehen Verbindungen zu den Konzepten Situationsbewusstsein oder Systemvertrauen (s. o.).

## **Fehler**

In engem Zusammenhang zu RASMUSSENS SRK-Taxonomie steht das generic error modelling system (GEMS) nach REASON (1990). REASON unterscheidet drei Typen von Fehlern. Slips beziehen sich auf Aufmerksamkeitsfehler in der Ausführung einer Handlung, lapses werden durch Gedächtnisfehleistungen verursacht. Slips und lapses sind unbeabsichtigte Aktionen und lassen sich der Fertigkeitsebene der SRK-Taxonomie zuordnen. Sie geschehen während Routinetätigkeit in gewohnter Umgebung. Mistakes resultieren aus intentionaler Handlung und können der regel- oder wis-

sensbasierten Ebene zugeordnet werden. Regelbasierte mistakes entstehen durch Fehlanwendung einer angemessenen Regel oder durch Anwendung einer unangemessenen Regel. Zudem unterscheidet REASON Verletzungen. Anders als Fehler sind Verletzungen beabsichtigte Übertretungen von regulierten oder sozial akzeptierten Verhaltensweisen, wie beispielsweise durch Telefonieren während des Fahrens ohne Freisprecheinrichtung.

#### **Kriterium: Slips, lapses, mistakes, violations**

Operationalisierung: Die verschiedenen Fehlerarten sind für die konkrete Situation konzeptuell umzusetzen und festzulegen. Verstöße gegen Vorschriften können im Bereich des Schwerlastverkehrs beispielsweise hinsichtlich der Einhaltung der Sozialvorschriften definiert werden.

Methode: Je nach Operationalisierung kommen diverse methodische Ansätze infrage. Die Bandbreite reicht von offener Befragung über Fremdbeurteilung hin zu automatisch aufgezeichneten Informationen; um im Kontext Lkw, zu bleiben beispielsweise durch den Fahrtenschreiber.

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise: Viele der angesprochenen Kriterien lassen eine Formulierung von Normvorgaben zu, sei es eine wohl-kalibrierte Meta-Kontrolle oder ein angepasstes Maß von Systemvertrauen. Verstöße gegen diese Normen können im Rahmen des GEMS diskutiert werden.

### **Ebenen der Fahraufgabe nach MICHON**

WARD (2000) setzt die Ebenen des Situationsbewusstseins mit den von MICHON (1985) definierten Ebenen der Fahraufgabe in Beziehung (vgl. Bild 11). Die inhaltliche Bandbreite des Situationsbewusstseins kann auch für die Modellebenen nach MICHON (1985) angenommen werden.

Im Folgenden werden Kriterien definiert, die den einzelnen Ebenen entsprechen, und besonderes Augenmerk auf mögliche Operationalisierungen dieser Modellkriterien gelegt. Eine Betrachtung aller drei Ebenen ist allein deshalb zu empfehlen, als davon auszugehen ist, dass Veränderungen auf einer Ebene die Kontrollprozesse auf anderen Ebenen beeinflussen; auch wenn dieser Einfluss nicht explizit im Modell abgebildet wird (vgl. MICHON, 1985; HOLLNAGEL & WOODS, 2006).

#### **Kriterium: Operationale Kontrolle auf der Stabilisierungsebene**

Operationalisierung: Maße zur Operationalisierung dieses Kriteriums betreffen stark automatisierte Handlungen wie Lenken oder Bremsen. Potenzielle Messgrößen sind damit beispielsweise Maße der Güte der Spurhaltung sowie der Abstandskontrolle.

Methode: Zur Erhebung dieser Maße kann evtl. auf fahrzeugeigene Sensorik zurückgegriffen werden, die für Assistenzsysteme auf dieser Ebene verwendet wird. Zu empfehlen ist jedenfalls eine automatische Aufzeichnung relevanter Kenngrößen, da eine Erhebung durch Beobachtung oder Selbstauskunft aufgrund des Zeithorizonts und der schweren Verbalisierbarkeit fertigkeitbasierten Verhaltens nicht möglich ist.

#### **Kriterium: Taktische Kontrolle auf der Manövierebene**

Operationalisierung: Maße zur Operationalisierung dieses Kriteriums betreffen teilautomatisierte, aber bewusstseinsfähige Handlungen, wie das Einhalten von Geschwindigkeitsvorgaben und Vorschriften. Potenzielle Messgrößen sind damit Häufigkeit und Ausmaß von Verstößen gegen Geschwindigkeitsvorgaben.

Methode: Zur Erhebung dieser Maße kann evtl. auf fahrzeugeigene Sensorik zurückgegriffen werden, im Lkw-Bereich hier besonders auf den Fahrtenschreiber. Zu empfehlen ist auch hier eine automatische Aufzeichnung relevanter Kenngrößen; eine Erhebung durch Beobachtung oder Selbstauskunft ist eher möglich als auf den Stabilisierungsebenen. Sie ist allerdings für den konkreten Fall zu entscheiden, da auch hier aufgrund des Zeithorizonts und der schweren Verbalisierbarkeit fertigkeitbasierten Verhaltens nicht möglich ist.

<i>Driving task level</i> (MICHON 1985)	<i>Cognitive process level</i> (RASMUSSEN 1986)	<i>Situation awareness</i> (ENDSLEY 1995)
Strategic	Knowledge-based	Level 3SA (prediction)
Tactical	Rule-based	Level 2SA (comprehension)

**Bild 11:** Gegenüberstellung der Modelle von MICHON (1985), RASMUSSEN (1983) und ENDSLEY (1995) nach WARD (2000)

sierten Verhaltens eine Selbstauskunft und Fremdbeurteilung problematisch sein können.

### **Kriterium: Strategische Kontrolle auf der Navigationsebene**

Operationalisierung: Maße zur Operationalisierung dieses Kriteriums betreffen wissensbasierte und bewusste Handlungen, wie das Planen von Routen oder das Ausführen von Nebentätigkeiten. Potenzielle Messgrößen betreffen die Entscheidung von fahrübergeordneten Aspekten wie Fahrtroute oder zeitlicher Verlauf; Planung und Evaluation von Kosten und Risiken.

Methode: Zur Erhebung dieser Kenngrößen ist auf Fremd- oder Selbstauskunft zurückzugreifen. Dadurch kommen diverse Methoden infrage: Befragung in Interviews oder durch Fragebögen; Beobachtung durch Beifahrer; Selbstauskunft über Aufzeichnungen wie schriftliche oder verbale Logbücher. Für die verbale Selbstauskunft ist zu berücksichtigen, dass die dafür nötigen Ressourcen möglicherweise der Fahraufgabe entzogen werden.

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise: Nach RANNEY et al. (2000) wird die Bereitschaft, sich mit Zweitaufgaben zu beschäftigen, beeinflusst durch Attribute

- des Fahrers (Erfahrung, Vertrauen, trust/confidence),
- des Fahrzeugs (display design),
- des Umfelds/der Umgebung (Wetter) und
- der Aufgabencharakteristiken (ease of use).

Zudem wird die Zweitaufgaben-Bereitschaft durch die Vorteile beeinflusst, die sich durch die Bearbeitung der Zweitaufgabe ergeben (RANNEY et al., 2008):

- Unterhaltung,
- Vermeidung von Langeweile und Ermüdung,
- Arbeitseffizienz: Arbeiten während des Fahrens.

Nach HATAKKA et al. (1999) werden Einflüsse und Mechanismen auf der Strategieebene besonders von individuellen Unterschieden zwischen den Fahrern beeinflusst.

### **Individuelle Charakteristiken**

Diverse Studien weisen darauf hin, dass ein Großteil der Variabilität in den Messgrößen zur Erfassung von Fahrverhalten durch individuelle Eigenschaften erklärt werden kann (vgl. ABENDROTH und BRUDER, 2009). In diesem Zusammenhang sind klassische Attribute wie Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung oder Bildungsstand zu nennen. Diverse Modelle im Kontext der Fahrzeugführung erweitern die klassische Perspektive der Fahraufgabe, wie sie sich in Modellen wie dem von MICHON (1985) oder BUBB (2003) finden, um so genannte „weiche“ Faktoren. Damit sind meist Kriterien gemeint, die die Ausführung der Fahraufgabe indirekt über individuelle Attribute des Fahrers beeinflussen. Nach COTTER und MOGILKA (2007) gehören dazu der Fahrstil sowie Persönlichkeitseigenschaften wie Kontrollüberzeugung oder Sensation Seeking. Im Sinne des Modells von ABENDROTH und BRUDER (2009) zählen dazu auch individuelle kognitive Fähigkeiten und Einstellungen, besonders die Versiertheit im Umgang mit neuartiger Technologie (vgl. SVAHN, 2004).

Abgesehen von den unveränderlichen Eigenschaften und von Eigenschaften, die nicht unmittelbar von der Verwendung eines FZS beeinflusst werden, erfolgt die Erhebung der angesprochenen Attribute zur Erfassung der Wirkung von FZS sowie aufgrund eines vermuteten moderierenden Einflusses der Faktoren auf die Kriterien. So wird ein starker moderierender Einfluss der Faktoren Sensation Seeking und Kontrollüberzeugung auf den Aufbau von Systemvertrauen postuliert (vgl. LEE & SEE, 2004; siehe dazu auch das nächste Kapitel).

### **Faktoren: Alter, Geschlecht, Fahrerfahrung, Bildungsstand**

Operationalisierung/Methode: Befragung/Fragebögen.

### **Faktor/Kriterium: Sensation Seeking**

Operationalisierung: keine weitere Detaillierung des Konzepts nötig.

Methode: Sensation Seeking Scale (BSSS) nach HOYLE et al. (2002); Sensation Seeking Scale nach ZUCKERMAN (1994).

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise:

#### **Faktor/Kriterium: Fahrstil**

Operationalisierung: keine weitere Detaillierung des Konzepts nötig.

Methode: Driving Style Questionnaire (DSQ; vgl. FRENCH, WEST, ELANDER & WILDING, 1993).

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise:

#### **Faktor/Kriterium: Kontrollüberzeugung**

Operationalisierung: keine weitere Detaillierung des Konzepts nötig.

Methode: Locus of Control Scale nach ROTTER (1966).

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise:

### **Systemvertrauen und Complacency**

Basierend auf schnellen emotionalen Prozessen ist der Mensch in der interpersonalen Kommunikation sehr schnell in der Lage, Urteile über das Vertrauen abzugeben, das er seinem Gegenüber entgegenbringt. In der Interaktion mit technischen Systemen sind Aussagen über die Ausprägung von Systemvertrauen meist auf eine längerfristige Interaktionshistorie angewiesen.

Auch in Teil 1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass der Aufbau von Systemvertrauen von einem komplexen Gefüge von Faktoren abhängig ist, von denen die meisten eine längerfristige Interaktionshistorie voraussetzen und damit auch einen langfristig angelegten Untersuchungsansatz erforderlich machen.

Da FZS eine Wahrnehmungsleistung automatisieren, die eindeutig in die Domäne des Fahrers fällt, ist davon auszugehen, dass dem Aufbau eines angemessenen Systemvertrauens hier eine entscheidende Bedeutung beizumessen ist. Die wichtigsten Einflussfaktoren und Kriterien werden daher im Folgenden auf Grundlage modelltheoretischer Ausführungen abgeleitet und eingeordnet sowie mögliche Operationalisierungen aufgezeigt.

LEE und SEE (2004) identifizieren Gemeinsamkeiten in den diversen Definitionsansätzen zu Vertrauen: Vertrauen weist demnach Aspekte einer Ein-

stellung oder Erwartung hinsichtlich zukünftiger Ergebnisse, der Absicht oder Bereitschaft zu handeln oder des Zustands der Verletzlichkeit auf. Auf der Grundlage der Arbeiten von Ajzen und Fishbein (1980) integrieren LEE und SEE (2004) verschiedene Aspekte zu einem konzeptuellen Modell (vgl. Bild 12). Sie definieren Vertrauen als "the attitude that an agent will help achieve an individual's goals in a situation characterized by uncertainty and vulnerability" (S. 54).

Im Zentrum des Modells von LEE und SEE (2004) steht die Sequenz Überzeugung-Einstellung-Absicht-Verhalten. Diese Folge verdeutlicht und erklärt die Verhaltenskomponente von Vertrauen in ihrer Entstehung und erklärt mögliche Ansatzpunkte für die Wirkung auf dieses Verhalten.

In persönlichen Beziehungen ist die Neigung, dem Gegenüber zu vertrauen, eine stabile Persönlichkeitseigenschaft (vgl. ROTTER, 1980). REMPEL, HOLMES und ZANNA (1985) identifizieren darüber hinaus Vorhersagbarkeit (engl. predictability), Verlässlichkeit (engl. dependability) und Glaube (engl. faith) als Komponenten des Vertrauens. Diese Komponenten überträgt MUIR (1994) erfolgreich auf Vertrauen in der experimentellen Interaktion mit Systemen. Auch LEE und SEE (2004) bestätigen diese Komponenten, erweitern ihre inhaltliche Bandbreite und bezeichnen sie als Performanz (engl. performance), Prozess (engl. process) und Zweck (engl. purpose). Nach LEE und SEE bilden die Komponenten die drei Arten von Information, die für ein angepasstes Level von Vertrauen erforderlich sind. Zudem beeinflusst wahrgenommene Kohärenz zwischen diesen Komponenten das Systemvertrauen. Sie bilden damit wichtige Konzepte, die für die Erfassung von Systemvertrauen operationalisiert werden sollten.

#### **Kriterium: Performanz**

Beschreibung: Performanz bezieht sich auf aktuelles und vergangenes Systemverhalten und umfasst schwerpunktmäßig Reliabilität und Vorhersagbarkeit. Information zur Performanz beschreibt, was das System tut, speziell hinsichtlich der Fähigkeit des Systems, die Ziele des Operateurs zu erreichen.

Operationalisierung: Performanz wird gegliedert in die Konzepte Reliabilität und Vorhersagbarkeit. Aufgrund des subjektiven Charakters der Größen können diese durch Befragung des Fahrers erhoben werden. Im Sinn des Modells von LEE und SEE

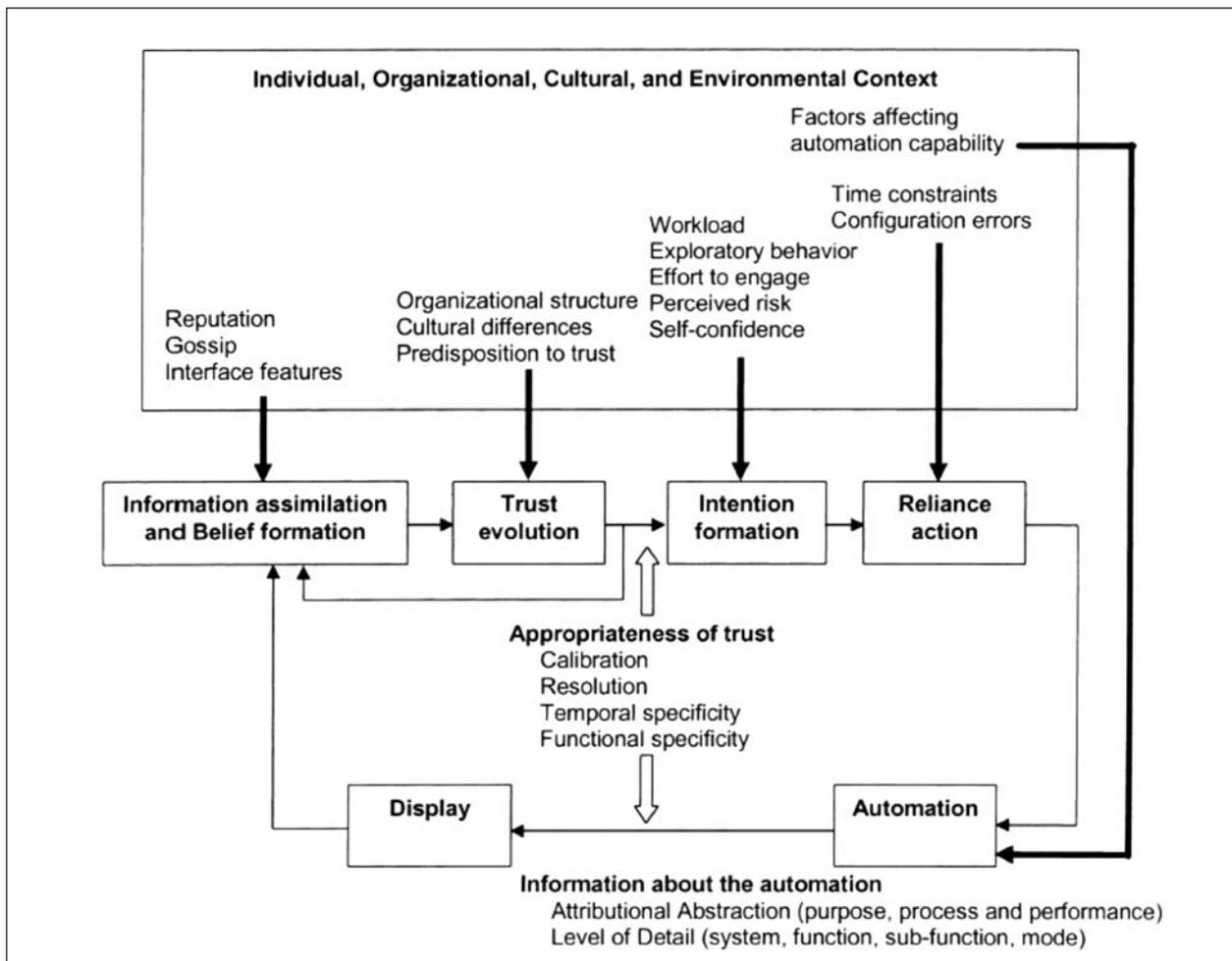


Bild 12: Konzeptuelles Modell des Systemvertrauens nach LEE & SEE (2004)

(2004) kann als ultimatives, aber nicht spezifisches Kriterium die Verwendungshäufigkeit auf Probleme in der wahrgenommenen Performanz hinweisen. Bei gehäuften Fehlalarmen steigt die Reaktionszeit auf Warnungen; über die Reaktionszeit: kann dadurch indirekt auf die wahrgenommene Sensitivität und Reliabilität geschlossen werden.

Methode: Befragungen; Skala Trust in automation nach JIAN et al. (2000); Skala Human-Computer-Trust nach MADSEN und GREGOR (2000); angepasste Fragebögen zur Erhebung von Situationsbewusstsein Level 3; unter kontrollierten Bedingungen Unterbrechungstichproben ähnlich SAGAT (ENDSLEY, 1995); selbst entwickelte Fragebögen; Logbuch der Häufigkeit der Systemverwendung mit detaillierender Befragung; Reaktionszeit auf Warnungen.

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise: Die Vorhersagbarkeit als Teilkomponente der Performanz des FZS entspricht im Rahmen ihres Geltungsbereichs der Ebene der Antizipation des Konzepts Situationsbewusstsein.

Konzeptuelle Ähnlichkeiten bestehen zu SHERIDANs (1992) Robustheit und offensichtlich zur von REMPEL, HOLMES und ZANNA (1985) beschriebenen Vorhersagbarkeit.

Nach RUDIN-BROWN und PARKER (2004) übt Systemvertrauen im Zusammenspiel mit mentalen Modellen, Systemrückmeldung und den Persönlichkeitseigenschaften Kontrollüberzeugung und Sensation Seeking Einfluss auf die Anpassung von Verhalten im Zuge von Systemneueinführungen aus.

#### Kriterium: Prozess

Beschreibung: Prozess-Informationen beschreiben, wie ein System arbeitet. Damit wird abstrahiert von spezifischem Verhalten hin zu einer breiteren Betrachtungsweise der Verständlichkeit und Verlässlichkeit.

Operationalisierung: Prozessinformationen können gegliedert werden in die Konzepte Verständlichkeit und Verlässlichkeit. Aufgrund des subjektiven Cha-

racters der Größen können diese durch Befragung des Fahrers erhoben werden. Im Sinn des Modells von LEE und SEE (2004) als ultimates, aber nicht spezifisches Kriterium kann die Verwendungshäufigkeit auf Probleme in der wahrgenommenen Performanz hinweisen.

Methode: Befragungen; Skala Trust in Automation nach JIAN et al. (2000); Skala Human-Computer-Trust nach MADSEN und GREGOR (2000); angepasste Fragebögen zur Erhebung von Situationsbewusstsein Level 2; unter kontrollierten Bedingungen Unterbrechungstichproben ähnlich SAGAT (ENDSLEY, 1995); selbst entwickelte Fragebögen; Logbuch der Häufigkeit der Systemverwendung mit detaillierender Befragung.

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise: Die Verständlichkeit als Teilkomponente der Prozessinformationen des FZS entspricht im Rahmen ihres Geltungsbereichs<sup>2</sup> (s. o.) der Ebene des situativen Verständnisses des Konzepts Situationsbewusstsein.

Ähnlichkeiten bestehen zu SHERIDANs (1992) Konzept der Verständlichkeit in der Beziehung Mensch-Automation und offensichtlich zur von REMPEL, HOLMES und ZANNA (1985) beschriebenen Verlässlichkeit.

#### **Kriterium: Zweck**

Beschreibung: Informationen, die den Zweck eines Systems oder einer Automation betreffen, beschreiben das Warum des Systemverhaltens. Im interpersonalen Bereich betrifft dieser Aspekt die Absichten und Motive des Gegenübers. Im Bereich der Mensch-System-Interaktion, besonders im Bereich FZS, beziehen sich diese Informationen darauf, inwieweit auf Motive und Absichten des Systems, deren Entwickler oder Initiator geschlossen werden können. Problematisch für die Entwicklung von Systemvertrauen sind nicht korrespondierende Absichten von Fahrer und System.

Operationalisierung: Die Erhebung kann direkt mit dem beschriebenen Konzept beginnen. Eine weitere Detaillierung ist nicht nötig. Im Sinn des Modells von LEE und SEE (2004) als ultimates, aber nicht spezifisches Kriterium kann die Verwendungshäufigkeit auf Probleme in der wahrgenommenen Performanz hinweisen.

figkeit auf Probleme in der wahrgenommenen Performanz hinweisen.

Methode: Befragungen; selbst entwickelte Fragebögen; Logbuch der Häufigkeit der Systemverwendung mit detaillierender Befragung.

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise:

#### **Kriterium: Complacency, übersteigertes Systemvertrauen**

Beschreibung: Prozess-Informationen beschreiben, wie ein System arbeitet. Damit wird abstrahiert von spezifischem Verhalten hin zu einer breiteren Betrachtungsweise der Verständlichkeit und Verlässlichkeit.

Operationalisierung: Aufgrund des subjektiven Charakters der Größe kann diese durch Befragung des Fahrers erhoben werden. Die Reaktionen des Fahrers auf Warnhinweise des FZS geben Einblick in den Grad der Complacency. In diesem Zusammenhang kann der Command-Effect überprüft werden (vgl. KRAMER & REICHART, 1989), eine Tendenz, automatisierten Systemvorschlägen zu gehorchen. Als ultimates, aber nicht spezifisches Kriterium kann die Verwendungshäufigkeit auf übersteigertes Systemvertrauen hinweisen.

Methode: CPRS-Skala nach SINGH et al. (1993); Beobachtung oder Befragung hinsichtlich der Reaktion auf Warnhinweise des FZS; automatisierte Verhaltensaufzeichnung; Logbuch der Häufigkeit der Systemverwendung mit detaillierender Befragung.

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise: Ein starker Bezug besteht zwischen Complacency und dem Selbstvertrauen des Fahrers (vgl. LEE & MORAY, 1994). So vertrauen selbstbewusste Fahrer eher auf die eigene Einschätzung, während Fahrer mit geringem Selbstbewusstsein eher die Systemvorschläge annehmen.

#### **Zufriedenheit und Akzeptanz**

Einige der bereits angesprochenen Kriterien betreffen und beeinflussen die Akzeptanz eines Systems. So kann davon ausgegangen werden, dass ein geringes Systemvertrauen zu geringer Akzeptanz führt, die in der Nicht-Verwendung des Systems ihren Niederschlag findet.

<sup>2</sup> Situationsbewusstsein ist inhaltlich breiter angelegt und bezieht sich nicht nur auf Antizipation im Rahmen der Interaktion mit dem FZS.

### Kriterium: Akzeptanz

Operationalisierung: Die verschiedenen Ausprägungen von Akzeptanz sind für die konkrete Situation konzeptuell umzusetzen und festzulegen. Sie können sich im Rahmen klassischer Usability-Konzeptualisierungen und damit innerhalb des Konstrukts Zufriedenheit bewegen (DIN ISO 9241-11, 1998) und betreffen Dimensionen wie den wahrgenommenen Nutzen oder eine einfache Handhabung. Es können auch weitere Akzeptanz-Perspektiven eingenommen werden und die Konzepte in Richtung bereits angesprochener Konstrukte erweitert werden (z. B. Systemvertrauen; leichter Aufbau mentaler Modelle; s. o.). Als ultimatives, aber nicht spezifisches Kriterium kann die Verwendungshäufigkeit auf die Ausprägung von Akzeptanz hinweisen.

Methode: Je nach Operationalisierung kommen diverse methodische Ansätze infrage. Die Bandbreite reicht von offener Befragung über Fremdbeurteilung hin zu automatisch aufgezeichneten Informationen, um im Kontext Lkw zu bleiben, beispielsweise durch den Fahrtenschreiber. Logbuch der Häufigkeit der Systemverwendung mit detaillierter Befragung.

Weitere Einflussgrößen/Sonstiges/Querverweise: Systemvertrauen und mentale Modelle können auch als Kriterien für die Erfassung von Systemakzeptanz interpretiert werden.

## Methodische Aspekte

Im vorangehenden Abschnitt werden für jedes Kriterium und für jeden Faktor Möglichkeiten und Methoden zur Operationalisierung vorgeschlagen. In diesem Abschnitt werden Versuchsdesigns, Methoden und methodische Ansätze vorgestellt, die speziell zur Untersuchung von langfristigen Wirkungen von FZS geeignet sind bzw. die einen passenden methodischen Rahmen zu deren Untersuchung bieten.

### Spezielle Untersuchungsansätze für Veränderungen

Um langfristige Auswirkungen von FZS überprüfen zu können, sind Längsschnittuntersuchungen ein naheliegender Ansatz. In festgelegten Intervallen wird eine Erhebung der relevanten Kriterien durchgeführt bzw. eine kontinuierliche automatisierte Er-

hebung ausgelesen und ausgewertet. Der Nachteil dieser Art von Untersuchungen ist offensichtlich: Sie erfordert enormen zeitlichen und versuchsökonomischen Aufwand. Von manchen Wirkungen kann vermutet werden, dass sie erst relativ spät in der Interaktionsgeschichte einsetzen, was den Aufwand zudem erhöht.

Klassische Untersuchungen mit Erhebungen vor und nach der Einführung einer Intervention, mit oder ohne Kontrollgruppe, bei denen relevante Kriterien erfasst werden, lassen keine Schlüsse über die zeitliche Entwicklung der Kriterien zu. Über das Konzept der Kohortenanalyse kann eine solche Interpretation durch Kombination von Quer- und Längsschnittansätzen und unter bestimmten zusätzlichen Annahmen möglich sein.

Kohorten sind Jahrgänge oder Gruppen von Jahrgängen, die voneinander abgegrenzt werden. Definiert werden Kohorten über ein zeitlich gemeinsames, langfristig prägendes Startereignis (vgl. BORTZ & DÖRING, 2006). Unterschiede, die zwischen verschiedenen Kohorten bestehen und sich somit auf das Vorhandensein unterschiedlicher sozialer und umweltbedingter Einflüsse zurückführen lassen, werden als Kohorteneffekte bezeichnet. Im Kontext der vorliegenden Untersuchung werden Kohorten durch den zeitgleichen Erwerb eines FZS gebildet.

Wird zu einem bestimmten Zeitpunkt das Verhalten eines Fahrers als Reaktion auf die Einführung eines FZS erhoben, wird dieses nicht nur vom Kohorteneffekt, also dem Zeitpunkt des Erwerbs des FZS, sondern zusätzlich von der Dauer des Systemeinsetzes und vom Zeitpunkt der Erhebung beeinflusst.

Für die Untersuchung der Bedeutung der drei unabhängigen Variablen Dauer, Zeitpunkt des Kaufs und Zeitpunkt der Erhebung sowie deren Kombination böte sich ein vollständiger dreifaktorieller Versuchsplan an (vgl. BORTZ & DÖRING, 2006). Da aber nicht alle Stufen aller Faktoren miteinander kombiniert werden können, ist dieser Versuchsplan so nicht umsetzbar. Ein Konstanthalten des Erhebungszeitpunktes führt beispielsweise dazu, dass die unterschiedlichen Ausprägungen des Faktors Dauer mit den Ausprägungen des Faktors Kaufzeitpunkt kovariieren und die Faktoren somit konfundiert sind.

Die Effekte der verschiedenen Variablen werden klassischerweise bezeichnet als

- Alterseffekte: Effekte des Alters der Mitglieder einer Kohorte zu einem bestimmten Zeitpunkt, also der Dauer der Verwendung des FZS,
- Kohorteneffekte: Effekte der Zugehörigkeit zu einer Kohorte; hier des Kaufzeitpunkts,
- Periodeneffekte: Effekte des Zeitpunktes der Erhebung.

Im konzeptuellen Blickwinkel der Kohortenanalyse werden potenzielle Probleme von Quer- und Längsschnittuntersuchungen deutlich: Bei Querschnittuntersuchungen sind Alters- und Kohorteneffekte konfundiert. Wenn man davon ausgehen kann, dass Kohorteneffekte vernachlässigt werden können, könnten durch Querschnittuntersuchungen Alterseffekte untersucht werden. Bei Längsschnittuntersuchungen sind Alters- und Periodeneffekte konfundiert. Für die Untersuchung von Kohorteneffekten wird der Alterseffekt konstant gehalten. Dadurch wird zwangsläufig auch der Erhebungszeitpunkt verändert. BALTES (1967) nennt dieses Vorgehen Zeitwandelmethode.

Es ist untersuchungstechnisch unmöglich, einen der drei Effekte Alter, Periode oder Kohorte, also der unabhängigen Variablen Dauer, Zeitpunkt des Kaufs und Zeitpunkt der Erhebung, isoliert zu erfassen.

Unter der Annahme gleichartiger Kohorten, im vorliegenden Fall also äquivalenter FZS, kann der Einfluss der Altersvariable Dauer in Querschnittstudien untersucht werden. Dabei können verschiedene Kohorten, also Kaufzeitpunkte, herangezogen werden, um für einen konstanten einmaligen Erhebungszeitpunkt den Einfluss unterschiedlicher Systemeinsetzungsdauern zu untersuchen.

Sollen diese Untersuchungen repliziert werden, kann zudem der Einfluss des Erhebungszeitpunktes in sog. Time-Sequential-Studien (vgl. SCHAIE, 1994) untersucht werden, wobei wiederum der Einfluss der Kohorten als vernachlässigbar angenommen wird (vgl. BORTZ & DÖRING, 2006).

## Tagebuchstudien

Tagebuchstudien sind eine nützliche Methode, um reichhaltige qualitative Daten zu gewinnen. Sie eignen sich besonders für die frühen Phasen einer Untersuchung, sind aber aufgrund der längeren zeitlichen Ausdehnbarkeit auch für mittel- und langfristige Untersuchungen angezeigt.

Surveys und Fragbögen sind besonders geeignet, um gemeinsame Trends in meist großen Stichproben zu identifizieren. Sie erlauben aber häufig keinen ausreichend detaillierten Blick auf den Untersuchungsgegenstand, auch wenn offene Fragetypen eingesetzt werden. Diesem Defizit begegnen Tagebuchuntersuchungen. Sie können Detail- und Hintergrundinformationen zu der relevanten Situation und ihren Kontextbedingungen liefern. Auch im Bereich der Verkehrspsychologie werden Tagebuchstudien häufig eingesetzt, um einer langfristigen Forschungsperspektive gerecht zu werden (vgl. EOST & FLYTE, 1998; BEHRENS & MASAOE, 2009).

Die Methode ist geeignet zur Erhebung diverser Kenngrößen; sie reichen von reinen Verhaltensdaten über individuelle Einstellungsaspekte bis hin zu motivationalen und emotionalen Kriterien. So entwickelte REASON (1990) sein Fehlerklassifikationsschema basierend auf verschiedenen Tagebuchstudien, bei denen die Teilnehmer angehalten waren, begangene Fehler nach der vorgegebenen Taxonomie aufzuzeichnen.

Auf die große Bandbreite und das Potenzial, das in der Vielfalt der erhobenen Daten liegt, weist HARVEY (1999) hin und stellt dabei die Brückenfunktion von Tagebuchstudien zwischen objektiven und subjektiven Gegebenheiten heraus:

“Time diaries provide the opportunity to carry out a wide range of studies, explore a wide variety of issues, and present temporal and activity information in many different ways. (...) the real value of time-diary studies is their ability to provide insight into the very fine grain of human activity and to link objective and subjective states. There is no area of human behavior for which time use studies cannot provide valuable and interesting data” (S. 42).

Die Tagebuchtechnik kann leicht um andere verwandte Verfahren ergänzt werden. So kann für den Untersuchungsgegenstand FZS die Critical Incidents Technique (kurz CIT) potenziell wichtige Einsichten liefern (vgl. FLANAGAN, 1954). Die CIT erfolgt üblicherweise in fünf Schritten:

1. Vorfall festlegen,
2. Detaillierung des Vorfalls,
3. Zusammenhänge aufzeigen,
4. Lösungen ermitteln,

## 5. Bewertung der Lösungen,

Die beiden ersten Schritte können leicht ergänzend im Rahmen von klassischen Befragungen implementiert werden.

### Vorteile:

- Datenerhebung in situ und damit innerhalb realer Umweltbedingungen; dadurch potenziell hohe externe Validität,
- explizite Berücksichtigung von Kontexteinflüssen durch Activity bzw. Behavior Settings (vgl. HARVEY, 1999),
- hoch variable Granularität; mit entsprechender technischer Unterstützung ist die Auflösung sogar auf Minutenbasis möglich (CZERWINSKI, HORVITZ & WILHITE, 2004),
- längerfristige Zeitperspektive ist Bestandteil der Methode,
- Erweiterbarkeit um verwandte Verfahren,
- Datenvielfalt: Verhaltens-, Einstellungs-, motivationale und emotionale Daten; Potenzial für Strukturerkennung in den Daten,
- CIT: konzentriert sich auf Schwachstellen des Systems,
- CIT: berücksichtigt auch seltene Vorfälle,
- CIT: zwingt den Befragten keinen Rahmen auf; dadurch werden Daten aus der Perspektive des Befragten erhoben.

### Nachteile:

- Je nach zeitlicher Auflösung aufwändige Datenerhebung für den Aufzeichner,
- Versuchsökonomischer Aufwand,
- aufwändige Datenanalyse und -auswertung,
- CIT: Abhängig von Umfang, Verlässlichkeit und Validität der Erinnerung der Teilnehmer,
- CIT: abhängig von der Bereitschaft, CIs aufzuzeichnen oder zu berichten,
- CIT: Recency-Effekt.

## Befragungen

Techniken der Befragung gelten als Standardwerkzeug zur Ermittlung von Fakten, Wissen, Meinungen, Einstellungen oder Bewertungen. Unterschieden werden die Verfahren nach mündlicher, schriftlicher oder internetbasierter Befragung. Innerhalb dieser Gruppen unterscheiden sich die Befragungen nach dem Grad ihrer Strukturierung. So ist ein erstes exploratives Einzelinterview mit einem Fachexperten zur Identifikation von wichtigen Konzepten und Konzeptzusammenhängen in einer Domäne evtl. weniger strukturiert als eine Befragung auf Grundlage eines standardisierten Fragebogens (vgl. hierzu die diversen Fragebögen zu den einzelnen Kriterien wie Systemvertrauen oder Complacency).

Nach Art der Befragung werden spezielle methodische Überlegungen relevant, wie inhaltliche und formale Konstruktionskriterien oder die Schulung der Interviewer. Von besonderer Bedeutung in diesem Zusammenhang sind methodische Probleme, die bei dem Einsatz von Befragungen auftreten können. Hier sind vor allem die diversen Formen der Antwortverzerrung zu nennen: Zustimmungstendenz, soziale Erwünschtheit, Positionseffekte, Interviewereffekte (vgl. SCHNELL et al., 2008).

Beispiele für besondere Formen der Befragung, die sich für die Erhebung von langfristigen Wirkungen von FZS eignen, sind Leitfadengespräche und narrativ, Interviews.

Leitfadengespräche werden vorwiegend eingesetzt

- im Bereich der Hypothesenentwicklung,
- zur Entwicklung vorwissenschaftlichen Verständnisses,
- zur Analyse seltener oder interessanter Gruppen.

Die Vorteile von Leitfadengesprächen liegen darin, dass durch die relativ offene Gesprächsführung und erweiterte Antwortspielräume der Bezugsrahmen des Befragten und so auch seine Erfahrungshintergründe mit erfasst werden können. Durch gesteigerte Dokumentationsanforderungen und seine höhere Involviertheit stellt diese Technik höhere Anforderungen an den Befragten.

Als Extremform der offenen Befragung können narrative oder auch narrativ-fokussierte Interviews gelten. Ziel dieser Technik ist nicht, Hypothesen zu prüfen, sondern die Sicht- und Handlungsweisen von

Personen verstehen zu helfen. Narrative Interviews werden üblicherweise aufgezeichnet und später transkribiert. Da bei diesem Verfahren vorwiegend der Befragte spricht, ist es auch stark von dessen Sprach- und retrospektiver Kompetenz abhängig (vgl. SCHNELL et al., 2008).

Beide Verfahren lassen sich beispielsweise einsetzen, um mentale Repräsentationen über die Wirkungsweise von FZS zu ermitteln; Informationen, die auf der Ebene des situativen Verständnisses anzusiedeln sind und die über eine standardisierte Befragung nur schwer zugänglich sind.

Um besonders die verschiedenen Arten von Versuchsleitereffekten zu mindern, können ethnographische Verfahren eingesetzt werden. Dabei wird die Befragung um Komponenten der Beobachtung erweitert, indem der volle Kontext in Beobachtung und Befragung mit aufgenommen wird. Untersuchungsteilnehmer werden holistisch im tatsächlichen Lebensumfeld begleitet, beobachtet und befragt (vgl. AGAR, 1996).

Ist davon auszugehen oder kann erwartet werden, dass durch soziale Interaktion Einstellungen und Überzeugungen eher verbalisiert werden, kann auf Gruppenbefragungen, beispielsweise Gruppeninterviews, Gruppendiskussionen oder die Methode der Fokusgruppen, zurückgegriffen werden (vgl. SCHNELL et al., 2008; PELZ et al., 2004).

#### **Vorteile:**

- diverse Befragungstechniken verfügbar,
- dadurch potenziell begrenzbarer Aufwand für Anwendung und Auswertung,
- vielfältige Kriterien operationalisierbar,
- potenziell: Berücksichtigung von Kontextinformationen,
- Exploration von Zusammenhängen von Überzeugungen (mentale Modelle).

#### **Nachteile:**

- potenziell aufwändige Datenanalyse und Auswertung,
- vielfältige Möglichkeiten von Antwortverzerrungen.

## **Beobachtungen**

Im Bereich der Verkehrspsychologie haben Beobachtungen eine lange Tradition (z. B. Wiener Verhaltensbeobachtung; vgl. RISSER & BRANDSTÄTTER, 1985). Ebenso wie Befragungen können Beobachtungen in vielfältiger Hinsicht bei der Datenerhebung in Studien eingesetzt werden. In der explorativen Phase gewähren sie Einblicke in noch wenig strukturiertes Gebiet und dienen als Grundlage für Forschungshypothesen. Darüber hinaus liefern sie Belege für die Daten anderer Methoden oder beschreiben den Forschungsgegenstand. Wie bei der Befragung kann je nach Grad der Standardisierung der Beobachtung der Beobachter Einfluss auf die Datenerhebung nehmen, Diesen Verzerrungen kann durch entsprechende Schulungsmaßnahmen begegnet werden.

Die verschiedenen Varianten von Beobachtungsverfahren können nach direkter oder indirekter Beobachtung gegliedert werden. Während indirekte Beobachtung die Verhaltensbeobachtung im engeren Sinn darstellt, werden den indirekten Beobachtungen Verfahren zugeordnet, die sich nicht auf das Verhalten selbst, sondern auf dessen Spuren und Auswirkungen beziehen, beispielsweise einige nicht-reaktive Verfahren. Für jede Beobachtung sind folgende Fragen ist zu klären (vgl. SCHNELL et al., 2008):

- Haben die Beobachtungsobjekte Kenntnis vom Beobachtungsvorgang?
- Nimmt der Beobachter an der Interaktion der beobachteten Personen teil?
- Beruht die Beobachtung auf einem ausführlichen Schema: Ist sie strukturiert oder unstrukturiert?
- Findet die Beobachtung im Labor oder im Feld statt?
- Wird eine andere oder die eigene Person beobachtet: Fremd- oder Selbstbeobachtung?

Es können drei Arten von Beobachtungsinstrumenten unterschieden werden: Zeichensysteme, Kategoriensysteme und Schätzskaalen. Für die Erfassung von spezifischem Verhalten im Auto kommen vorwiegend Zeichensysteme, die besondere Ereignisse und Verhaltensweisen erfassen und codieren, und Schätzskaalen, die vom Beobachter eine zahlenmäßige Einordnung der Ausprägung eines Verhaltens verlangen, infrage.

**Vorteile:**

- Möglichkeit der Fremd- und Selbstauskunft,
- Vorgabe relativ objektiver Codierungsstandards möglich.

**Nachteile:**

- potenziell aufwändige Datenerhebung, -analyse und -auswertung,
- potenziell aufwändige Erstellung von Beobachtungsschemata,
- vielfältige Möglichkeiten von Antwortverzerrungen.

**Field Operational Test – FOT**

Die Untersuchung der Wirkung von FZS in simulierten Umgebungen ist nur schwer zu realisieren (vgl. ALMEN, 2003; KARLSSON, 2005; zitiert nach KIRCHER, 2009). Von vielen Autoren wird daher zur Untersuchung vergleichbar komplexer Wirkzusammenhänge der Einsatz von realistischen Erhebungsszenarien und -umgebungen gefordert (DONMEZ et al., 2007).

Field Operational Tests (kurz FOT) stellen einen Erhebungsansatz dar, der versucht, den angesprochenen Defiziten von Versuchen in artifizierlicher Umwelt zu begegnen. Eine allgemeine Definition von FOTs bietet FESTA (2008). Danach ist ein FOT "A study undertaken to evaluate a function, or functions, under normal operating conditions in environments typically encountered by the host vehicle(s) using quasi\_experimental methods" (S. 1).

FOTs können vielfältige Ausrichtungen und Zwecke haben (vgl. RICHARDSON & REGAN, 2009):

- Bewertung von Systemeffizienz,
- Systemeinflüsse auf sozialer Ebene,
- Systemoptimierung,
- Erhebung und Verbesserung der Marktakzeptanz.

Das zentrale Ziel von FOTs ist die Evaluation von Fahrzeugfunktionen, die auf Informations- und Kommunikationstechnologie basieren. Die Kriterien dieser Evaluation können dabei aus den Bereichen Sicherheit, Umwelt, Mobilität, Verkehrseffizienz,

Systemverwendung oder Akzeptanz stammen und damit eine große Bandbreite an inhaltlichen Fragestellungen abdecken (RICHARDSON & REGAN, 2009). Die Vielzahl der erhobenen Daten ermöglicht es zudem, eine Reihe von Post-hoc-Fragestellungen zu untersuchen.

Die große Variabilität in den untersuchten Fragestellungen führt auch in methodischer Hinsicht zu großen Unterschieden in der Planung, Durchführung und Auswertung von FOTs. Um diesem Wildwuchs zu begegnen, wird im Rahmen des Field Operational Test support Action (kurz FESTA)-Projekts eine methodische Grundlage für die Durchführung von FOTs entwickelt, das FESTA-Handbuch (FESTA, 2008). Die Empfehlungen, die anhand der FOT-Kette (vgl. Bild 13) organisiert sind, reichen von den ersten Planungsschritten über die diversen, auch technischen, Details der Durchführung bis hin zur Auswertung der erhobenen Daten. Das FESTA-Handbuch unterstützt damit folgende Ziele (RICHARDSON & REGAN, 2009):

- Herausstellen der wichtigsten Aktivitäten bei der Durchführung eines FOT,
- Absichern, dass alle Teammitglieder eine übereinstimmende Einschätzung von potenziell wichtigen Einflüssen auf den Untersuchungserfolg entwickeln,
- Dokumentieren von do's and don'ts und best practices,
- Bereitstellen eines einheitlichen Planungsrahmens.

RICHARDSON & REGAN (2009) sehen in FOTs einen mächtigen Evaluationsansatz, der eine stringente Einschätzung von Assistenzsystemen in der realen Umgebung mit realen Nutzern liefert und dessen Ausrichtung ausreichend breit und langfristig ist, um statistisch robuste Daten liefern zu können.

Dass FOTs aber nicht nur mit einer Vielzahl an eingesetzten Fahrzeugen verwertbare Daten liefern, zeigen FOT-Studien zur Untersuchung relativ fokussierter Fragestellungen. So untersuchen KIRCHER et al. (2009) die Wirkung von taktlicher Ablenkungswarnung unter Einsatz von sieben Fahrzeugen im Rahmen eines FOT mit sieben Fahrzeugen. Neben Fahrzeugsensorik und Blickerfassung erheben die Autoren auch subjektive Daten zur Erfassung von Fahrerfahrung, Einstellungen und deren Veränderung über die Versuchsdauer.

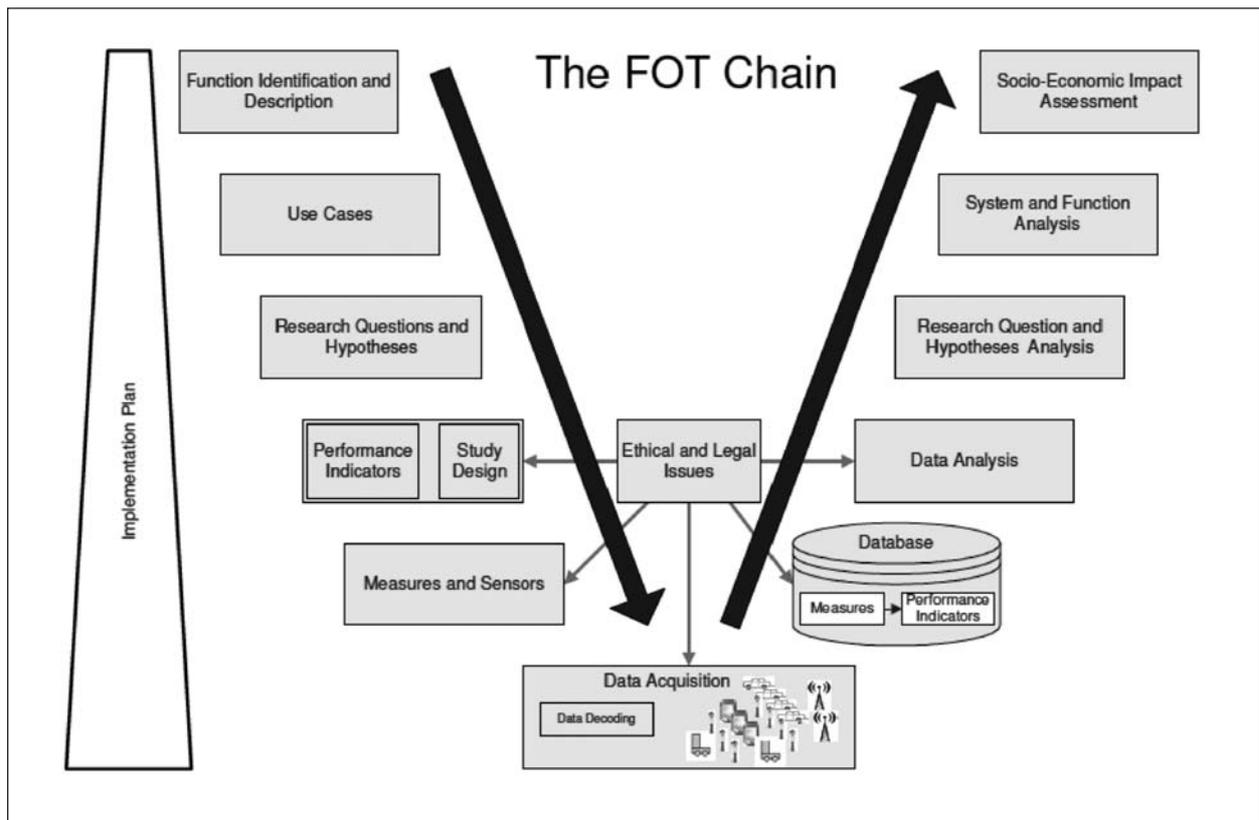


Bild 13: Die FOT-Kette (FESTA, 2008)

#### Vorteile:

- große Bandbreite an inhaltlichen Fragestellungen zu integrieren,
- ein einheitlicher methodischer Rahmen ist Bestandteil des Ansatzes,
- relativ gut skalierbar,
- Datenerhebung in situ und damit innerhalb realer Umweltbedingungen; dadurch potenziell hohe externe Validität,
- längerfristige Zeitperspektive ist Bestandteil der Methode,
- Kombination und Integration diverser Einzelmethoden möglich,
- Datenvielfalt: Verhaltens-, Einstellungs-, motivationale und emotionale Daten; Potenzial für Strukturerkennung in den Daten,
- mit dem FESTA-Handbuch existiert eine umfassende Unterstützung zur Planung und Umsetzung.

#### Nachteile:

- auch für kleine Fallzahlen: Versuchsökonomischer Aufwand,
- aufwändige Datenanalyse und -auswertung.

### Ausblick: Kohortenanalyse

In den beiden folgenden Abschnitten werden konkrete Umsetzungen von Versuchsdesigns im konzeptuellen und begrifflichen Rahmen der Kohortenanalyse skizziert. Im ersten Fall wird in einer Querschnittsuntersuchung an verschiedenen Gruppen mit unterschiedlicher Interaktionsdauer das Kriterium zu einem Zeitpunkt erhoben. So wird versucht, mit geringem Versuchsaufwand aufgrund interindividueller Unterschiede auf intraindividuelle Veränderungen zu schließen.

Die Kohortenanalyse findet klassisch in entwicklungspsychologischen Fragestellungen Anwendung. Anders als in der Entwicklungspsychologie wird der Altersaspekt der Interaktion Fahrer-FZS

nicht durch das chronologische Alter einer Person, sondern vor allem vom Zeitpunkt und von den Rahmenbedingungen des Erwerbs, wie neuen gesetzlichen Vorschriften und Regelungen sowie den Einstellungen der Person, beispielsweise deren Technikaffinität, beeinflusst. Im Kohortensequenzdesign werden daher mehrere Längsschnitt- bzw. Zeitwandeluntersuchungen kombiniert. So kann ein mögli-

cher Generationeneffekt explizit im Versuchsdesign geprüft werden.

Die beiden folgenden Fragestellungen sind zwar fiktiv, können aber als Ausgangspunkt für vergleichbare Untersuchungsansätze dienen und formulieren daher auch potenzielle Störeinflüsse und Erweiterungen.

<b>Querschnittsuntersuchung</b>	
<b>Einführung und Situationsbeschreibung</b>	Die erste Generation eines Systems zur Erkennung des Fahrerzustands (FZS) soll evaluiert werden. Das FZS erkennt Phasen der Müdigkeit des Fahrers und soll im Schwerlastverkehr eingesetzt werden. Von Interesse ist aufgrund der zentralen Bedeutung des Konstrukts und seiner mutmaßlichen Auswirkung auf Einstellung und Verhalten die Entwicklung des Vertrauens in die korrekte Arbeitsweise des Systems im zeitlichen Verlauf der Verwendung.  Untersucht wird der hypothetische Fall, dass Lkw mit dem System ausgerüstet werden. Das System ist für die Fahrer obligatorisch zu benutzen und kann nicht deaktiviert werden.
<b>Beschreibung kohortenanalytischer Konzepte</b>	Im konzeptuellen Rahmen der Kohortenanalyse sind drei potenzielle Einflüsse zu benennen: Einfluss des Kaufzeitpunkts (Kohorte, Generation), Einfluss der Interaktionsdauer (Alter) und Einfluss des Zeitpunkts der Erhebung des Systemvertrauens (Periode, Epoche).
<b>Fragestellung</b>	Wie entwickelt sich das Systemvertrauen im zeitlichen Verlauf der Interaktion Fahrer-FZS?
<b>Abhängige Variable/Kriterium</b>	Systemvertrauen
<b>Operationalisierung</b>	Skala Trust in Automation nach JIAN et al. (2000) Skala Human-Computer-Trust nach MADSEN & GREGOR (2000) CPRS-Skala nach SINGH et al. (1993)
<b>Versuchsdesign und unabhängige Variable</b>	Um den Einfluss der Interaktionsdauer mit wenig Aufwand empirisch nachweisen zu können, werden in einer Querschnittsuntersuchung Daten zum Systemvertrauen an Gruppen von Lkw-Fahrern erhoben. Diese Gruppen unterscheiden sich durch den Zeitpunkt, seit dem sie das FZS einsetzen. Mit dem Zeitpunkt des Erwerbs bzw. dem Beginn der Verwendung verbunden (oder auch konfundiert) ist die Dauer der Interaktion als Einflussgröße, die im Fokus des Interesses steht.
<b>Annahmen</b>	Der Einfluss des Kaufzeitpunkts (Kohorte, Generation) kann vernachlässigt werden, da es sich um dieselbe Gerätegeneration handelt und zum Kaufzeitpunkt keine spezifischen Kontexteinwirkungen anzunehmen sind.  Die Befragung wird für alle Beteiligten zum gleichen Zeitpunkt durchgeführt. Der Einfluss des Erhebungszeitpunkts (Periode, Epoche) kann somit als konstant angenommen werden.
<b>Auswertung</b>	Die durch die unterschiedliche Interaktionsdauer definierten Gruppen werden in einem einfaktoriellem Design ohne Messwiederholung varianzanalytisch ausgewertet. Werden bestimmte Entwicklungsverläufe angenommen, können entsprechende Trends geprüft werden.
<b>Mögliche Störeinflüsse, Nachteile des Versuchsplans</b>	Modifikationen des Systems können dazu führen, dass die Annahme der gleichen Systemgeneration nicht mehr gerechtfertigt ist. Die unterschiedlichen Gruppen rekrutieren sich dann aus unterschiedlichen Kohorten. Die eindeutige Interpretation eines Haupteffekts Interaktionsdauer wird durch konfundierende Einflüsse der Generation geschwächt.  Ebenso können differenzierte Effekte zum Zeitpunkt der Systemintroduktion zu analogen Effekten führen; beispielsweise gesetzliche Vorschriften, die die zeitlich versetzte Einführung des Systems für die untersuchten Gruppen erst verursachen. Auch hier wären Kohorteneffekte mit der Interaktionsdauer konfundiert.

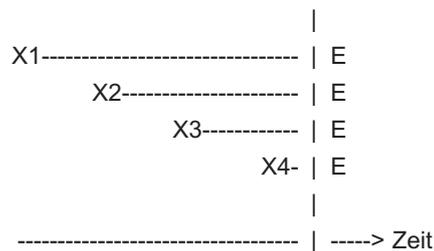
### Querschnittsuntersuchung (Fortsetzung)

**Erweiterungen des Versuchsdesigns** Ist von unterschiedlichen Kohorten auszugehen und soll deren Einfluss systematisch untersucht werden, kann das Versuchsdesign zu einem Kohortensequenzdesign erweitert werden (s. u.).

Soll der Kohorteneffekt nicht explizit berücksichtigt werden, kann durch mehrere, zeitlich getrennte Erhebungen bei einer Gruppe eine klassische Längsschnittuntersuchung durchgeführt werden.

Bis auf die Dauer der Verwendung sollten sich die Gruppen in diesem Design nicht unterscheiden. Variablen, die mutmaßlich mit der Gruppenzugehörigkeit korrelieren und einen Einfluss auf das erhobene Kriterium ausüben, sollten zur Kontrolle mit erhoben werden.

**Schema** Xi: Einführung FZS für Gruppe i  
E: Zeitpunkt der Erhebung  
E-Xi: Interaktionsdauer



### Kohortensequenzuntersuchung

**Einführung und Situationsbeschreibung** Mehrere Generationen eines FZS sollen evaluiert werden. Das FZS erkennt Phasen der Mündigkeit des Fahrers und soll im Schwerlastverkehr eingesetzt werden. Von Interesse ist aufgrund der zentralen Bedeutung des Konstrukts und seiner mutmaßlichen Auswirkung auf Einstellung und Verhalten die Entwicklung des Vertrauens in die korrekte Arbeitsweise des Systems im zeitlichen Verlauf der Verwendung. Untersucht wird der hypothetische Fall, dass verschiedene Gruppen von Lkw mit den verschiedenen Systemtypen ausgerüstet werden. Das System ist für die Fahrer obligatorisch zu benutzen und kann nicht deaktiviert werden.

**Beschreibung kohortenanalytischer Konzepte** Im konzeptuellen Rahmen der Kohortenanalyse sind drei potenzielle Einflüsse zu benennen: Einfluss des Kaufzeitpunkts, im konkreten Fall die Systemgeneration (Kohorte), Einfluss der Interaktionsdauer (Alter) und Einfluss des Zeitpunkts der Erhebung des Systemvertrauens (Periode, Epoche).

**Fragestellung** Wie entwickelt sich das Systemvertrauen im zeitlichen Verlauf der Interaktion Fahrer-FZS?

**Abhängige Variable/Kriterium** Systemvertrauen

**Operationalisierung** Skala Trust in Automation nach JIAN et al. (2000)  
Skala Human-Computer-Trust nach MADSEN & GREGOR (2000)  
CPRS-Skala nach SINGH et al. (1993)

**Versuchsdesign und unabhängige Variable** Um sowohl den Einfluss der Interaktionsdauer als auch den Einfluss der Systemgeneration nachweisen zu können, werden in einem Kohortensequenzdesign zu unterschiedlichen Zeitpunkten an den verschiedenen Gruppen von Lkw-Fahrern Daten zum Systemvertrauen erhoben. Die Gruppen unterscheiden sich nicht nur durch das System, sondern auch durch den Zeitpunkt, seit dem sie das FZS einsetzen. Der Zeitpunkt des Erwerbs bzw. der Beginn der Verwendung ist verbunden mit der Einführung einer neuen Generation von FZS. Das Versuchsschema unten beschreibt die Untersuchung von vier Systemen, in deren Verlauf zu vier Zeitpunkten Daten erhoben werden. Der Haupteffekt Interaktionsdauer ist damit in Bezug auf die Generation und der Haupteffekt Generation in Bezug auf die Interaktionsdauer ausbalanciert (vgl. BORTZ & DÖRING, 2006).



- and Dar es Salaam. African Centre of Excellence for Studies in Public and Non-motorised Transport (ACET), Southern African Transport Conference (6-9 July 2009), Pretoria
- BENNETT, K., NAGY, A. & FLACH, J. (2006): Visual displays. In: G. SALVENDY (Eds.): Handbook of human factors and ergonomics (S. 1191-1220). New York: John Wiley & Sons, Inc
- BORTZ, J. & DÖRING, N. (2006): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin: Springer
- BRUNSWIK, E. (1955): The Conceptual Framework of Psychology. Chicago: University of Chicago Press
- BUBB, H. (2003): Fahrerassistenz primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit. In: VDI (Hrsg.): Der Fahrer im 21. Jahrhundert. VDI-Verlag, Düsseldorf: 25-33
- BULD, S., KRÜGER, H.-P., HOFFMANN, S., KAUSSNER, A., TIETZE, H. & TOTZKE, I. (2002): Wirkungen von Assistenz und Automation auf Fahrerzustand und Fahrsicherheit, Veröffentlichter Abschlussbericht Projekt EMPHASIS: Effort-Management und Performance-Handling in sicherheitsrelevanten Situationen (Förderkennzeichen: 19 S 9812 7). Würzburg: Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg (IZVW)
- COTTER, S. & MOGILKA, A. (2007): Methodologies for the assessment of ITS in terms of driver appropriation processes over time. Humanist Deliverable 6 of Task Force E, ETRL-070912-E1-A1
- CZERWINSKI, M., HORVITZ, E. & WILHITE, S. (2004): A diary study of task switching and interruptions. Paper presented at the Proceedings of the 2004 conference on Human factors in computing systems, Vienna, Austria
- DeWAARD, D. (1996): The measurement of drivers' mental workload. PhD thesis, University of Groningen. Haren, The Netherlands: University of Groningen, Traffic Research Centre
- DIN EN ISO 9241-11 (1998): Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit
- DONGES, E. (1982): Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. Automobil-Industrie 27, 183-190
- DONGES, E. (2009): Fahrerverhaltensmodelle. In: H. WINNER, S. HAKULI & G. WOLF (Eds.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort (S. 15-23). Wiesbaden: Vieweg+Teubner
- DONMEZ, B., BOYLE, L. N. & LEE, J. D., 2007. Safety implications of providing real-time feedback to distracted drivers. *Accid. Anal. Prev.* 39 (3), 581-590
- ENDSLEY, M. (1988): Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT). NAECON 88, 789795
- ENDSLEY, M. R. (1995): Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors* 37 (1), 32-64
- EOST, C., FLYTE, M. G., 1998: An investigation into the use of the car as a mobile office. *Applied Ergonomics*, 29, 383-388
- EVANS, L. (1985): Human behaviour feedback and traffic safety. *Human Factors*, 27, 555-576
- EVERS, C. (2008): Unterschätzte Risikofaktoren – Übermüdung und Ablenkung als Ursachen für schwere Lkw-Unfälle. Vortrag DVR-Presseseminar „Sicherheit von Nutzfahrzeugen“ am 24.11.2008.
- EVERS, C. & AUERBACH, K. (2006): Übermüdung als Ursache schwerer Lkw-Unfälle, *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 52, 67-70
- FESTA Project (2008): FESTA Handbook Version 2. Deliverable D6.4 of Field operational teSt support Action'. URL: <http://www.its.leeds.ac.uk/festa/>
- FLANAGAN, J. C. (1954): The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51, 327-359
- FRENCH D. J., WEST R. J., ELANDER J., & WILDING J. M. (1993): Decision making style, driving style and self-reported involvement in road traffic accidents. *Ergonomics*, vol. 36. pp. 627-44
- GIBSON, J. J. (1986): The Ecological Approach to Visual Perception. Lawrence Erlbaum Associates

- GOODRICH, M. A., & BOER, E. R. (2003): Model-Based Human-Centered Task Automation: A Case Study in ACC System Design. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part A: Systems and Humans*, 33(3), 325-336
- HAMMOND, K. (1986): Generalization in operational contexts: What does it mean? Can it be done? *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 16 (3), 428-433
- HARVEY, A. (1999): Guidelines for Time Use Data Collection and Analysis. In: Wendy E. PENTLAND, Andrew S. HARVEY, Powell LAWTON, and Mary Ann McCOLL (Eds.): *Time Use Research in the Social Sciences*, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp. 19-45
- HATAKKA, M., KESKINEN, E., GREGERSEN, N. R., GLAD, A., & HERNETKOSKI, K. (1999): Results of EUproject GADGET, Work package 3. In: S. SIEGRIST (Eds.): *Driver training, testing and licensing – towards theory based management of young drivers injury risk in road traffic*. BFU Report 40, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern
- HEDLUND, J. (2000): Risky business: safety regulations, risk compensation, and individual behavior. *Injury Prevention*. 6 (2), 82-89
- HOLLNAGEL, E. (2002): Cognition as control: A pragmatic approach to the modelling of joint cognitive systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics A: Systems and Humans – Model-Based Cognitive Engineering in Complex Systems*
- HOLLNAGEL, E. & WOODS, D. D. (2006): *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*. New York: CRC Press
- HOYLE, R. H., STEPHENSON, M. T., PALM-GREEN, P., LORCH, E. P., & DONOHEW, R. L. (2002): Reliability and validity of a brief measure of sensation seeking. *Pers. Individ. Differences*, 32, 401-414
- JIAN, J. J., BISANTZ, A. M., & DRURY, C. G. (2000): Foundations for an empirically determined scale of trust in automated systems. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 4(1), 53-71
- JONES, D. G. & ENDSLEY, M. R. (2000): Examining the validity of real-time probes as a metric of situation awareness. *Proceedings of the 14<sup>th</sup> Triennial Congress of the International Ergonomics Association and the 44<sup>th</sup> Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society
- KAHNEMAN, D. (1973): *Attention and Effort*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall
- KANTOWITZ, B. H. (1987): Mental workload. In: P. A. HANCOCK (Eds.): *Human Factors Psychology*. (pp 81-121). Amsterdam: North-Holland
- KARLSSON, R. (2005): Evaluating driver distraction countermeasures (VTI notat No. 28A-2005). Linköping: VTI
- KESKINEN E. (1996): Why do young drivers have more accidents? In: *Junge Fahrer und Fahrerinnen/Young Drivers, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M52*. Bergisch Gladbach: BAST
- KESKINEN, E., HATAKKA, M., LAAPOTTI, S., KATILA, A., PERAAHO, M. (2004): Driver behaviour as a hierarchical system. In: T. ROTHENGATTER & R. D. HUGUENIN (Eds.): *Traffic and Transport Psychology*, (S. 9-29). Amsterdam: Elsevier
- KIRCHER, K., KIRCHER, A. & AHLSTRÖM, C. (2009): Results of a field study on a driver distraction warning system (VTI notat No. 639A-2009). Linköping: VTI
- KOPF, M. (2005): Was nützt es dem Fahrer, wenn Fahrerinformations- und -assistenzsysteme etwas über ihn wissen? In: M. MAURER & C. STILLER (Hrsg.): *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung* (S. 117-140). Berlin: Springer
- KRAMER, U. & REICHART, G. (1989): *Automation and Safety Systems Engineering Aspects of Selected Prometheus Functions*, Second Prometheus Workshop, Stockholm, 1989
- LAI, F., HJÄLMDAHL, M., CHORLTON, K. & WIKLUND, M. (2010): The long-term effect of intelligent speed adaptation on driver behavior, *Applied Ergonomics*, 41 (2), 179-186

- LEE, J. D. & SEE, K. (2004): Trust in automation: Designing for appropriate reliance. *Human Factors*, 46 (1), 50-80
- LEE, J. D., & MORAY, N. (1994): Trust, self-confidence, and operators' adaptation to automation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 40, 153-184
- LERNER, N. (2005): Deciding to be distracted. *Proceedings of the Third International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*
- MADSEN, M. & GREGOR, S. (2000): Measuring human-computer trust. In: G. GABLE & M. VITALE (Eds.); *Proceedings of the 11<sup>th</sup> Australian Conference on Information Systems* (p. 53). Brisbane, Australia: Information Systems Management Research Centre
- 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* (485-519). New York: Plenum Press
- MUIR, B. M. (1994): Trust in automation: 1. Theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated systems, *Ergonomics*, 37, 1905-1922
- MUIR, B. M., MORAY, N. (1996): Trust in automation: Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, 39 (3), 429-460
- NEALE, V. L., DINGUS, T. A., KLAUER, S. G., SUDWEEKS, J. & GOODMAN, M. (2005): An Overview of the 100-car naturalistic study and findings. *National Highway Traffic Safety Administration*
- NIELSEN, J. & MACK, R. (1994): *Usability inspection methods*. New York: Wiley
- NORMAN, D. (1983): Some observations on mental models. In: D. GENTNER & A. STEVENS (Eds.) *Mental models* (pp. 7-14). HILLSDALE, N. J: Erlbaum
- NORMAN, D. A. (1990): *The Design of Everyday Things*. New York: Doubleday
- OECD (1990): *Behavioural adaptations to changes in the road transport system*. Organization for Economic Co-operation and Development: Paris
- ÖSTLUND, J., PETERS, B., THORSLUND, B., ENGSTRÖM, J., MARKKULA, G., KEINATH, A., HORST, D., MATTES, S. & FOEL, U. (2005): *Driving Performance Assessment – Methods and Metrics: AIDE D2.2.5*
- PARKER, D., LAJUNEN, T. S., STRADLING, S. G., (1998): Attitudinal predictors of interpersonally aggressive violations on the road. *Transportation Research Part F* 1, 11-24
- PEJTERSEN, A. & RASMUSSEN, J. (1997): Effectiveness Testing of Complex Systems. In: SALVENDY, G. (Ed.): *A Handbook of Human Factors and Ergonomics* (S. 1514-1541). New York: John Wiley & Sons, Inc
- PELZ, C., SCHMITT A. & MEIS, M. (2004): Knowledge Mapping als Methode zur Auswertung und Ergebnispräsentation von Fokusgruppen in der Markt- und Evaluationsforschung. In: *Forum Qualitative Forschung*, Volume 5, No. 2, Art. 35 – Mai 2004
- RANNEY, T. A. (2008): *Driver Distraction: A Review of the Current State-of-Knowledge*, NHTSA/NVS-312, Report No. DOT HS 810 787
- RANNEY, T. A., MAZZAE, E., GARROTT, R., & GOODMAN, M. J. (2000): *NHTSA Driver distraction research: Past, Present and Future*. URL <http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/departments/Human%20Factors/driver-distraction/PDF/233.PDF> (letzter Zugriff am 13. Juli 2010)
- RASMUSSEN, J. (1983): Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models. *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 13 (3), S. 257-266
- RAUCH, N., KAUSSNER, A., KRÜGER, H.-P., BOVERIE, S. & FLEMISCH, F. (2009): The importance of driver state assessment within highly automated vehicles. Paper presented at the 16<sup>th</sup> ITS World Congress. Stockholm, Sweden, 21.-25. September
- REASON, J. T. (1990): *Human error*. Cambridge: Cambridge University Press
- REGAN, M. A., LEE, J. D. & YOUNG, K. L. (2009): *Driver Distraction Injury Prevention Countermeasures – Part 2: Education and Training*. In: M. A. REGAN, J. D., LEE, and K. L. YOUNG (Eds.): *Driver distraction: Theory, effects and mitigation*. Boca Raton: CRC Press

- REGAN, M. A., LEE, J. D. & YOUNG, K. L. (2009): Driver distraction: Theory, effects and mitigation. Boca Raton: CRC Press
- REMPEL, J. K., HOLMES, J. G., and ZANNA, M. P. (1985): Trust in close relationships. *Journal of Personality and Social Psychology*, 49 (1), 95-112
- RICHARDSON, J. H. & REGAN, M. A. (2009): A checklist for planning and implementing Field Operational Tests of Intelligent Transport Systems. Loughborough: Loughborough University
- RISSE, R., BRANDSTÄTTER, Ch. (1985): Die Wiener Fahrprobe. Freie Beobachtung. Kleine Fachbuchreihe des Kuratoriums für Verkehrssicherheit, 21. Wien: Literas
- ROSENTHAL, R. & ROSNOW, R. L. (2008): Essentials of Behavioral Research. New York: McGraw-Hill
- ROTTER, J. B. (1966): Generalized expectancies for internal versus external control of reinforcement. *Psychological Monographs*, 80. (Whole No. 609)
- ROTTER, J. B. (1980): Interpersonal trust, trustworthiness, and gullibility. *American Psychologist*, 35, 1-7
- RUDIN-BROWN, C. M., & PARKER, H. A. (2004): Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): Implications for preventive strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(2), 59-76
- SAAD, F., HJÄLMDAHL, M., CANAS, J., ALONSO, M., GARAYO, P., MACCHI, L., NATHAN, F., OJEDA, L., PAPAKOSTOPOULOS, V., PANOU, M. & BEKIARIS, A. (2004): Literature review – analysis of behavioural changes induced by ADAS and IVIS. AIDE Project, Deliverable D1\_2\_1
- SANDERS, A. F. (1983): Towards a model of stress and human performance, *Acta Psychologica*, 53, p. 61-67
- SARTER, N. B. & WOODS, D. D. (1991): Situation awareness: A critical but ill-defined phenomenon. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1:1, pp. 45-57
- SCHAIK, K. W. (1994): Developmental designs revisited. In: S. H. COHEN & H. W. REESE (Eds.): *Life-span developmental psychology: Methodological considerations* (pp. 45-64). Hillsdale, NJ: Erlbaum
- SCHNELL, R., HILL, P. B. & ESSER, E. (2008): Methoden der empirischen Sozialforschung. München, Wien: R. Oldenbourg
- SHEREHIY, B., KARWOWSKI, W. & RODRICK, R. (2006): Human factors and ergonomics standards. In: G. SALVENDY (Hrsg.), *Handbook of human factors and ergonomics* (S. 1487-1515). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- SHERIDAN, T. B. (1960): The human metacontroller. In: *Proceedings of the Annual Conference on Manual Control*. Stamford, CT: Dunlap Associates
- SHERIDAN, T. B. (1988): Trustworthiness of command and control systems. In: *IFAC Man-Machine Systems*, 427-431, Oulu, Finland
- SHERIDAN, T. B. (1992): *Telerobotics, automation, and human supervisory control*. Cambridge, MA: MIT Press
- SINGH, I. L., MOLLOY, R. & PARASURAMAN, R. (1993): Automation-induced complacency: Development of the complacency potential rating scale. *International Journal of Aviation Psychology*, 3, 111-122
- STANTON, N. A. and YOUNG, M. S. (1998): Vehicle automation and driving performance, *Ergonomics*, 41 (7), 1014-1028
- STOCKMANN, R. (2000): *Evaluationsforschung*. Opladen: Leske + Budrich
- STRATER, L. D., ENDSLEY, M. R., PLEBAN, R. J., & MATTHEWS, M. D. (2001): Measures of platoon leader situation awareness in virtual decision making exercises No. Research Report 1770. Alexandria, VA: Army Research Institute
- SUMMALA, H. (1997): Hierarchical model of behavioural adaptation and traffic accidents. In: J. A. ROTHENGATTER & E. CARBONELL VAYA (Eds.): *Traffic and Transport Psychology: Theory and Application* (pp. 41-52). Oxford: Pergamon
- SVAHN, F. (2004): In-Car Navigation Usage: An End-User Survey on Existing Systems. In

- proceedings of IRIS27, Falkenberg, Sweden. August 2004
- TABACHNICK, B. & FIDELL, L. (2006): Using Multivariate Statistics. Upper Saddle River: Pearson Education
- TAYLOR, R. M., SELCON, S. J. & SWINDEN, A. D. (1993): Measurement of situational awareness and performance: a unitary SART index predicts performance on a simulated ATC task. In: R. FULLER, N. JOHNSTONE, and N. McDONALD (Eds.): Human factors in aviation operations. (Aldershot: Avebury Aviation), 275-280
- TREASURY, H. (2007): The Magenta Book: Guidance Notes for Policy Evaluation and Analysis. London: Government Social Research Unit
- VICENTE, K. (1990): Coherence- and correspondence-driven work domains: Implications for systems design. *Behaviour and Information Technology*, 9 (6), 493-502
- VIDULICH, M. (2003): Mental workload and situation awareness. In: P. TSANG & M. VIDULICH (Eds.): Principles and Practice of Aviation Psychology (S. 115-146). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates
- WARD, N. (2000): Automation of task processes: An example of Intelligent Transportation Systems, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 10 (4), pp. 395-408
- WARE, C. (2004): Information Visualization: Perception for Design. San Francisco: Morgan Kaufmann
- WARE, C. (2008): Visual Thinking: For Design. San Francisco: Morgan Kaufmann
- WELLER, G. & SCHLAG, B. (2004): Verhaltensadaptation nach Einführung von Fahrerassistenzsystemen. In: SCHLAG, B. (Hrsg.): Verkehrspsychologie: Mobilität – Sicherheit – Fahrerassistenz (S. 351-370). Lengerich u. a., Pabst Science Publishers
- WICKENS, C. & CARSWELL, C. (2006): Information Processing. In: G. SALVENDY (Ed.): Handbook of Human Factors and Ergonomics (S. 111-149). Hoboken: John Wiley
- WICKENS, C. & McCARLEY, J. (2008): Applied Attention Theory. Boca Raton: CRC Press
- WICKENS, C. D. (1996): Situation awareness: impact of automation and display technology. In: Situation awareness: Limitations and Enhancement in the Aviation Environment (S. k2.1-k2.13). Brussels AGARD Conference Proceedings
- WICKENS, C. D. (2000): The trade-off of design for routine and unexpected performance: Implications of Situation Awareness. In: M. R. ENSLEY & D. J. GARLAND (Eds.): Situation Awareness Analysis and Measurement (pp. 211-225). Mahwah, N. J: Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers
- WICKENS, C. D., & XU, X. (2002): Automation, trust, reliability and attention. HMI 02 03, AHFD-02-14/MAAD-02-2, AHDF Technical Report
- YANG, J. H., MAO, Z.-H., TIJERINA, L., PILUTTI, T., COUGHLIN, J. F. & FERON, E. (2009): Detection of driver fatigue caused by sleep deprivation In: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 39
- ZUCKERMAN, M. (1994): Behavioral expressions and biosocial bases of sensation seeking. New York: Cambridge University Press

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

#### 1997

- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung  
Bugsel, Albus, Sievert € 10,50
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase  
Berg, Mayer € 19,50

#### 1998

- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes  
Kalliske, Albus, Faerber € 12,00
- F 25: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern  
Kalliske, Wobben, Nee € 11,50

#### 1999

- F 26: Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme  
Schweers € 11,50
- F 27: Betriebslasten an Fahrrädern  
Vötter, Groß, Esser, Born, Flamm, Rieck € 10,50
- F 28: Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen  
Kohlstruck, Wallentowitz € 13,00

#### 2000

- F 29: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen  
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter PKW-Reifen  
Glaeser  
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen  
Aubel € 13,00
- F 30: Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen  
Faber € 12,50
- F 31: Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen – Fahrzeugsicherheit '95 – Analyse aus Erhebungen am Unfallort  
Otte € 12,50
- F 32: Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BAST – Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach € 14,00

#### 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, Weillkes, 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 Fußgängerschutzes  
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 Kraftfahrzeugen  
Domsch, Sandkühler, Wallentowitz € 16,50

#### 2003

- F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge  
Afflerbach, Hassel, Mäurer, Schmidt, Weber € 14,00
- F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen  
Krieg, Rüter, Weißgerber € 15,00
- F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen 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 Fahrerinformationssystemen  
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: 1<sup>st</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3<sup>rd</sup>/4<sup>th</sup> 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: 2<sup>nd</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1<sup>st</sup>/2<sup>nd</sup> September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange 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 Motorradsicherheit  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung 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, Eggert, Lerner, Ellmers € 13,50

## 2009

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

F 72: 3<sup>rd</sup> International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5<sup>th</sup>/6<sup>th</sup> 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 Fahrverhalten  
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](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4<sup>th</sup> 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](http://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 ITS-Architekturen im Straßenverkehr  
Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

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

---

Alle Berichte sind zu beziehen beim:

Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10  
D-27511 Bremerhaven  
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0  
Telefax: (04 71) 9 45 44 77  
Email: [vertrieb@nw-verlag.de](mailto:vertrieb@nw-verlag.de)  
Internet: [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.