

# Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung

Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen

Mensch und Sicherheit Heft M 280



**bast**

# Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung

von

Thomas Jürgensohn  
Sandra Böhm  
Dorota Gardas  
Tilman Stephani

HFC Human-Factors-Consult GmbH  
Berlin

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Mensch und Sicherheit Heft M 280**

**bast**

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

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

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

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

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

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

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.0563/2012:**  
Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung

**Fachbetreuung:**  
Michael Bahr

**Herausgeber**  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach  
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

**Redaktion**  
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

**Druck und Verlag**  
Fachverlag in der  
Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen  
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53  
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

ISSN 0943-9315  
ISBN 978-3-95606-386-2

Bergisch Gladbach, Juli 2018

## Kurzfassung – Abstract

### **Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung**

Ziel des Forschungsvorhabens war die Erarbeitung eines Durchführungskonzepts für eine Längsschnittstudie zur Erfassung der zeitlichen Entwicklung von Fahr- und Verkehrskompetenz bei Fahranfängern. Aus den Ergebnissen der Längsschnittstudie sollen Anforderungen an Maßnahmen zur Unterstützung des Kompetenzerwerbs abgeleitet werden können. Zur Erfüllung dieses Forschungsziels wird im ersten Teil des Berichtes auf Basis theoretischer Überlegungen und vor dem Hintergrund veröffentlichter Befunde zur Verkehrssicherheit von jungen Fahrern und Fahranfängern sowie deren Unterschieden zu erfahrenen Fahrern ein theoretisches Gerüst zu Fahrvermögen, Fahrkompetenz und deren Erhöhung durch Übung und Erfahrung abgeleitet.

Die Begriffe Fahrvermögen und Fahrkompetenz werden dabei als messbare Konstrukte definiert, die an die Verkehrssicherheit gekoppelt sind. Während Fahrvermögen das reine Fahrenkönnen beschreibt, umfasst der Begriff der Fahrkompetenz zusätzlich verkehrssicherheitsrelevante motivationale und volitionale Faktoren.

Im Bericht wird eine neue Klassifikation der Fahraufgabe vorgestellt, die auf die Belange der Untersuchung von Fahranfängern zugeschnitten ist. Es wird weiterhin eine Modellvorstellung zum Informationsverarbeitungsprozess beim Autofahren und zu Prozessen der Fahrkompetenzerhöhung auf Basis einer Ressourcenbetrachtung erarbeitet. Demnach gibt es drei verschiedene Informationsverarbeitungsebenen: die rein kognitive, die kognitiv-sensumotorische und die rein sensumotorische. In der kognitiven Ebene werden Aufgaben bearbeitet, die keine direkte Verbindung zu motorischen Aktionen haben. In der kognitiv-sensumotorischen Ebene arbeiten Kognition und Sensumotorik zur Erfüllung der primären Fahraufgaben der Quer- und Längsführung dauernd und kontinuierlich Hand in Hand. Auf die rein sensumotorische Ebene hat die Kognition keinen Einfluss.

Auf Basis der erarbeiteten Modellvorstellungen werden im zweiten Teil des Berichtes Anforderungen an das Design von Längsschnittstudien diskutiert. Der Kern der Untersuchung wird dabei durch

die Erfassung von Befragungsdaten, durch Verhaltensbeobachtungen im Realverkehr sowie durch Simulatorversuche definiert. Schließlich werden zwei unterschiedlich komplexe Designs für Längsschnittstudien mit Fahranfängern erarbeitet.

### **Development of driving and traffic competence with increasing driving experience**

The aim of this research project was to develop an implementation concept for a longitudinal study for the recording of the development of the driving and traffic competence of novice drivers over time. Requirements on measures for the support of the competence acquisition are to be developed from the results of the longitudinal study. To meet this research aim, in the first part of the report a theoretical framework for driving skill, driving competence and their increase by practice and experience is derived based on theoretical considerations and against the background of published findings regarding the traffic safety of young and novice drivers and the differences compared to experienced drivers.

The terms driving skills and driving competence are therefore defined as measurable constructs which are linked to traffic safety. Whilst driving skills describes purely the ability to drive, the term driving competence also includes the motivational and volitional factors relevant for traffic safety.

The report introduces a new classification of the driving task, which is tailored to the needs of the study of novice drivers. In addition, a model concept of the information processing process when driving cars and for the processes of the increase in driving competence is developed based on a consideration of resources. According to that, there are three different information processing levels: purely cognitive, cognitive-sensorimotoric and the purely sensorimotoric. On the cognitive level, tasks are processed which are not connected directly to motoric actions. On the cognitive-sensorimotoric level cognition and sensorimotoric continuously work hand in hand to fulfil the primary driving tasks of the lateral and longitudinal guidance. On the purely sensorimotoric level, cognition does not have any influence.

Based on the developed model representations, the requirements on the design of longitudinal studies are discussed in the second part. In doing so, the essence of the study is defined by the recoding of survey data, traffic observations in real traffic and simulator experiments. Finally, two different complex designs for longitudinal studies with novice drivers are developed.

## Summary

### Development of driving and traffic competence with increasing driving experience

## 1 Background

The Starting point for the project “Development of the driving and traffic competence with increasing driving experience” was the presentations of further measures for the support of driving experience acquisition after passing the driving test, which were encouraged by the success of the German program “Begleitetes Fahren ab 17” (accompanied driving at the age of 17). The basic idea is to contribute to the increase of traffic safety with measures for the independent acquisition of driving competence under protective conditions. In this context, it so far remains unclear which measures are especially well suited and at which stage of the driving practice acquisition they should be applied. From the knowledge about the differences between young novice drivers and experienced drivers from cross-sectional comparisons alone the ideal measures cannot be derived as they do not show the course of the competence development over time. In particular, they do not show clearly how the exposure frequency to different traffic situations influences the competence development. A longitudinal study design with young novice drivers being accompanied diagnostically during a reasonable period is necessary for their determination and for the derivation of individual learning biographies. This is the only way to acquire the necessary knowledge about the process of competence development and to be able to differentiate when or at which state of development which measure shows the greatest effect.

The aim of this research project was to develop an implementation concept for a longitudinal study for the recording of the development of the driving and traffic competence of novice drivers over time. Requirements on measures for the support of the competence acquisition are later to be developed from the results of the longitudinal studies.

## 2 Procedure

To meet this research aim, in the first part of the project a theoretical framework for driving skill, driving competence and their increase by practice and experience was derived based on theoretical considerations and against the background of published findings regarding traffic safety of young and novice drivers and the differences compared to experienced drivers.

Based on the developed model representations, the requirements on the design of longitudinal studies are discussed in the second part. For this, essentially four main questions had to be answered: How many study participants are necessary, how often and when should the measures be recorded and how is to be measured? Two different complex drafts for the longitudinal study were developed from this.

## 3 Results

When they start driving independently, novice drivers are first driving rather rarely and carefully, however, after only a few thousand kilometres they start do develop confidence in their skills and drive more. The thus resulting self-confidence leads to higher speeds being driven and partially a higher acceptance of risk. In this context gender-specific differences show: The young men often preferred higher powered cars and drive for driving’s sake. They also stand out for one party accidents with a disproportionally high percentage of fatal accidents. On the other hand, young women primarily use the car as a means of transport and prefer safer cars. The different choice of reason for driving and the context of driving compared to older drivers of both genders indicates motive structures specific to the youth. The higher share of driving motives such as sensation mongering, hunt for special experience and adventure is typical for young drivers (mainly for men).

Novice drivers learn relatively quickly (after only a few hours of practising) to move the vehicle on the road in such a way that they can blend into the traffic without colliding with objects, whereas the focus is often first on the lateral guidance and later on the longitudinal guidance. Doing so, they show a jerky movement pattern, in particular for steering, which gets increasingly smoother with more experience. Even though novice drivers very quickly master the

control elements of the car in such a way that they can move with it, it takes a very long time until this is possible with the security of an experienced driver. The accident indices related to driving performance follow an exponential and/or power law with falling rates from the first day of independent driving experience. For novice drivers who took their driving test at the earliest date allowed by law, the accident rates in many countries decreased to half after about nine to eleven months driving experience. For novice drivers who get their driving licence later, the half life periods are much higher. Simultaneously, however, the initial height of the accident indices is lower. It still needs to be studied what causes the differences between the groups of different ages at the time of getting their driving licence. Self election processes or age-related changes caused by changes in motive structures, learning abilities, brain structures, etc, for development reasons could be the reason.

In the project the terms “driving skills” and “driving competence” were derived from the above findings and defined based on theoretical considerations. Both were in this context defined as measurable constructs which are linked to traffic safety. According to this, a driver with higher driving skills and higher driving competence would drive more safely. The construct of driving competence is in this context the extension of the driving skills by safety-relevant, motivational and volitional factors. The construct driving competence is in this context linked to driving. Motivational influences with the effect of avoiding driving despite of normative social acceptance of the driving context are excluded from the construct driving competence.

It is not known how the temporal progress of the traffic safety related quality develops individually. In particular, it is not known when and if this process is at all completed. It can absolutely be assumed that individual learning biographies, which distinguish themselves in particular by the fact that driving contexts have been experienced and mastered at different frequencies and different experience change the individual motive structures, show an increase in driving competence in stages. However, in the statistical average of accident statistics, these stages are averaged out.

If these accident statistics are followed and it is assumed that accident statistics reflect driving competence, the just mentioned exponential and/or power law will continue for at least another 25 years.

It is unknown, how big the influence of motivational and volitional factors is on the increase in safety and how big the influence of the driving skills is. It is also unknown, how big the influence of qualitative exposition changes (such as the share of safe motorway journeys increasing with age) or how big the influence of practice (driving experience) is. However, the comparison of men and women as well as frequent and less frequent drivers and findings regarding novice drivers strongly suggest that it is in particular the driving experience which has the biggest influence on traffic safety. Drivers of both genders who drive frequently drive safer in terms of exposition. This means that a once reached level of expertise can also be reduced again by a lack of practice.

Novice drivers naturally start without any driving experience. In the course of the acquisition of expertise, the processes of processing of environmental stimuli change with the aim to master driving tasks in a principle way: In the beginning, only cognitive resources are needed for mastering the base abilities which will then be automated by practice and experience. This causes an increase in the share of sensorimotoric information processing and basic skills can be carried out more safely and quickly. The increased share of automated sensorimotoric information processing gives the experienced driver the opportunity to make an adequate choice of action also in new, time-sensitive situations, whilst novice drivers have to refer back to slow cognitive information processing and therefore often react too slowly or in the wrong way. Driving a car is almost exclusively a non-symbolic process and can therefore be learned mainly by experience only. To be able to perform time-critical situations in an automated way, similar situations have therefore to have been experienced several times beforehand. However, the process can be supported and sped up by symbolic knowledge. The automation towards sensorimotoric processes does, however, demand experience. The denser the net of experienced situations, the safer the transfer of not yet experienced constellations. In this context, otherwise geometrically identical situations already differ when they are experienced at different driving speeds.

So, on one hand, the transition of an information processing process with a big cognitive share to one which is more and more of a purely sensorimotoric nature increases the driving skills because the safety-critical requirements, which are

normally highly dynamic, can be performed faster and more precisely. However, it also increases it on the other hand by releasing cognitive resources which can then be used for anticipatory driving and for early realisation of potential dangers with the effect of increased traffic safety. In the course of this process, the driver is learning to realise potential dangers quickly. This manifests amongst others in effective glance strategies which are as well actively controlled by experience and also controlled passively with the use of the peripheral field of vision. Also novice drivers use the peripheral field of vision, but mainly for the lateral guidance task. They fixate to the point where the peripheral information intake necessary for the lateral guidance task is easiest possible. With increasing experience the drivers need less definite information for the lateral guidance task which opens the freedom for other fixation points and thus the realisation of potential dangers.

In the project, a model concept was developed for the information processing process when driving cars and for the processes of the increase of the driving competence based on a consideration of resources. Resource in this context is defined as speed of information (information by time). According to that, there are three different information processing levels: purely cognitive, cognitive-sensorimotoric and the purely sensorimotoric. On the cognitive level, tasks are processed which are not connected directly to motoric actions. The navigation or the observation for the realisation of dangers has to be named as an example. On the cognitive-sensorimotoric level cognition and sensorimotoric continuously work hand in hand to fulfil the primary driving tasks of the lateral and longitudinal guidance. On the purely sensorimotoric level, cognition does not have any influence. Sensorimotoric resources are task-related and can be increased by practice, cognitive resources cannot. Cognitive resources are remarkably smaller than sensorimotoric ones. Novice drivers need more cognition to fulfil the cognitive-sensorimotoric requirements of the driving task than experienced drivers who through this have more cognitive resources for fulfilling the purely cognitive task requirements or for other tasks.

This model concept can be clarified using the riderhorse metaphor. In this metaphor, the rider is the cognition and the sensorimotoric the horse. The horse is bigger, stronger and faster, but not as intelligent as the rider. Both act as a symbolic unity.

With increased training, the horse will be able to perform tasks mainly independently.

Based on this theoretical framework, it was worked out in the project that the core of the research is defined by the recording of the survey data, observations of behaviour in real traffic and simulator experiments. During a driving behaviour analysis via driving behaviour observation over a certain period, it is observed how the driver is acting. Aspects of the driving skills can be derived from a driving experiment in real traffic or an examination in the simulator. The big advantage of the real experiments is the ecological validity. It is a further advantage, that the evaluator in the sense of a global evaluation of the level of driving competence can be immediately estimated. Simulation experiments are to be used when the aim is reproducibility of the situation, possibility of experimental manipulation and stabilisation of the confounding variables. Simulation experiments also allow for a relatively easy recording of driving-related data. A remarkably higher internal validity than in field studies can be reached.

The need for cognitive resources and therefore the level of automation can be investigated with the help of multitasks. Also gaze movement measuring can be used to record changes in the information processing process in the course of the increase in driving competence. Gaze direction measuring as well as multiple tasks are possible in the field as well as in the simulator. With the help of different questioning techniques (interview, questionnaire, driving diary) the recording of potential influence factors (personal characteristics, driving context, traffic context) and (almost) accidents is possible.

It was shown in the project, that the driving performance is a significant factor during the course of the increase in driving competence. It is therefore essential in the longitudinal study to record the exposition data of different traffic contexts as differentiated as possible. Therefore, an electronic driving exposition recording can be very helpful. However, driving diaries or regular interviews after experienced situations, standard traffic contexts, are also important.

## 4 Conclusions for the practical research

Based on the developed possibilities for measuring factors necessary for the determination of driving competence, two different complex designs were developed in the project for longitudinal studies with novice drivers. The concepts are assuming a number of experimental subjects of about 350. On top of that, around 50 experienced drivers aged between 30 and 45 years are included. This control group allows for the recording of the influence of the test methods on the study participants as well as the building up of competence by repeating practice and time effects. The measurements each start with the training in the driving school as it is expected that the driving competence development is already starting at this point. The distance of the measures is defined by the expected amendments in driving competence which again are strongly linked to driving experience. When assuming a respective halving of the accident likeliness caused by a lack of driving competence, determination points result which are estimated at about 2,280 km, about 6,430 km and about 20,620 km of driving performance after the start of independent driving. Additionally, there is an examination points during the driving training.

In a concept for a basic study, cognitive-sensorimotoric as well as purely cognitive skills are determined at four determination points by expert opinions in real drives. Questionnaires are recording timely stable person characteristics and features of the traffic context. In the driving diary, the study participants provide details regarding the variable features of the traffic context and the personal characteristics after each drive. A road behaviour measurement, which can follow after the driving diary is automatically measuring the mobility habits of the study participants related to the vehicle.

The second study suggestion is based on the first and is expanding it by the determination in a simulator environment. Apart from that, the investigation period is extended by one determination point. If this effort is made for the development and implementation of a simulator investigation, ideally, cognitive driving competences are at the same time measured under laboratory conditions. Confounding third variables as they arise during the collection of cognitive abilities by the expert evaluation in real car journeys, could be almost completely excluded under laboratory conditions. Cognitive-sensori-

motoric abilities are measured by expert's assessments. Gaze analyses are carried out. Questionnaires, a driving diary and a driving behaviour measurement record the personal characteristics and features of the traffic context as well as the exposition data.

## Inhalt

|          |       |   |    |
|----------|-------|---|----|
|          | 3.3.4 | Fahrtüchtigkeit . . . . .   | 43 |
|          | 3.3.5 | Emotionen . . . . .   | 43 |
|          | 3.4   | Gefahrenwahrnehmung und subjektive Sicherheit . . . . .   | 43 |
|          | 3.4.1 | Gefahrenwahrnehmung . . . . .   | 43 |
|          | 3.4.2 | Subjektive Sicherheit und subjektive Aufgabenschwierigkeit. . . . .   | 43 |
|          | 3.5   | Fahrkompetenzerwerb . . . . .   | 44 |
|          | 3.6   | Unterschiede in Mustern des Lenkverhaltens . . . . .  | 46 |
| <b>1</b> |       | <b>Einleitung</b> . . . . .   | 11 |
| 1.1      |       | Problemstellung . . . . .   | 11 |
| 1.2      |       | Begrifflichkeiten . . . . .   | 12 |
| 1.2.1    |       | Fahrkompetenz versus Verkehrskompetenz . . . . .  | 12 |
| 1.2.2    |       | Fahrkompetenz . . . . .   | 12 |
| 1.2.3    |       | Psychomotorik, Sensusmotorik . . . . .  | 14 |
| 1.2.4    |       | Kognition . . . . .   | 16 |
| 1.2.5    |       | Explizites Wissen, implizites Wissen, prozedurales Wissen, verbalisierbares Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Können . . . . . | 20 |
| 1.2.6    |       | Faktor, Indikator, Prädiktor . . . . .  | 21 |
| <b>2</b> |       | <b>Befunde der Verkehrssicherheit</b> . . . . .   | 21 |
| 2.1      |       | Allgemeine Unfallkennwerte und -statistiken . . . . .   | 22 |
| 2.2      |       | Verkehrssicherheit von Fahranfängern . . . . .  | 28 |
| 2.3      |       | Zusammenfassung Befunde der Verkehrssicherheit . . . . .  | 33 |
| <b>3</b> |       | <b>Unterschiede zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern</b> . . . . .   | 33 |
| 3.1      |       | Unfallmerkmale . . . . .  | 34 |
| 3.1.1    |       | Unfälle mit Beteiligung mitfahrender Gleichaltriger . . . . .   | 35 |
| 3.1.2    |       | Unfälle bei Nacht, insbesondere an Wochenenden . . . . .  | 35 |
| 3.1.3    |       | Unfälle unter Alkoholeinfluss . . . . .   | 35 |
| 3.1.4    |       | Fazit Unfallmerkmale . . . . .  | 36 |
| 3.2      |       | Fähigkeiten und Fertigkeiten . . . . .  | 36 |
| 3.3      |       | Personenmerkmale, Motive, Emotionen . . . . .   | 41 |
| 3.3.1    |       | Soziodemografische Merkmale . . . . .   | 41 |
| 3.3.2    |       | Persönlichkeitsmerkmale . . . . .   | 41 |
| 3.3.3    |       | Motive, Erwartungen und Einstellungen . . . . .   | 42 |
|          | 4     | <b>Modelle</b> . . . . .  | 49 |
|          | 4.1   | Ebenenmodelle der Fahraufgabe. . . . .  | 49 |
|          | 4.1.1 | Zusammenfassung: Ebenenmodelle der Fahraufgabe . . . . .  | 53 |
|          | 4.2   | Modelle der Fahrkompetenz. . . . .  | 54 |
|          | 4.2.1 | Hierarchisches Fahrverhaltensmodell und GDE-Matrix . . . . .  | 54 |
|          | 4.2.2 | Arbeitsmodell der Fahrkompetenz und dessen Erwerb von GRATTENTHALER, KRÜGER & SCHOCH (2009). . . . .                            | 56 |
|          | 4.2.3 | Fahrkompetenzstrukturmodell von STURZBECHER & WEIßE (2011). . . . .   | 58 |
|          | 4.2.4 | Zusammenfassung: Fahrverhaltensmodelle, Modelle der Fahrkompetenz. . . . .  | 59 |
|          | 4.3   | Eigene Modellvorstellungen . . . . .  | 61 |
|          | 4.3.1 | Klassifikation der Fahraufgabe. . . . .   | 61 |
|          | 4.3.2 | Aufgabenanalyse Fahraufgabe . . . . .   | 61 |
|          | 4.3.3 | Definition Fahrkompetenz . . . . .  | 66 |
|          | 4.3.4 | Informationsverarbeitungsprozess beim Autofahren und Prozesses der Fahrkompetenzerhöhung. . . . .                               | 68 |
| <b>5</b> |       | <b>Möglichkeiten zur Messung des Fahrvermögens und der Fahrkompetenz</b> . . . . .  | 74 |
| 5.1      |       | Überblick . . . . .   | 74 |
| 5.2      |       | Fahrverhaltensbeobachtung bei Real- und/oder Simulatorfahrten . . . . .   | 75 |
| 5.2.1    |       | Arten der Verhaltensbeobachtung . . . . .   | 75 |
| 5.2.2    |       | Fahrverhaltensprotokolle . . . . .  | 76 |

---

|          |   |           |          |  |            |
|----------|---|-----------|----------|--|------------|
| 5.2.3    | Registrierung physikalischer Maße . . .   | 77        | 6.5.4    | Ablauf und Ressourcenplan . . . . .                        | 97         |
| 5.2.4    | Real- oder Simulatorfahrten? . . . . .  | 78        | 6.6      | Zusammenfassung Längsschnitt-<br>studienkonzepte . . . . . | 97         |
| 5.3      | Fahrtagebücher zur Erfassung von<br>Unfällen sowie Fahr- und<br>Verkehrskontext . . . . .   | 80        | <b>7</b> | <b>Zusammenfassung.</b> . . . . .                          | <b>99</b>  |
| 5.3.1    | Fahrtagebücher . . . . .  | 80        |          | <b>Literatur.</b> . . . . .                                | <b>102</b> |
| 5.3.2    | Unfälle und Beinaheunfälle . . . . .  | 80        |          | <b>Bilder</b> . . . . .                                    | <b>112</b> |
| 5.3.3    | Klassifikation der Fehler . . . . .   | 81        |          | <b>Tabellen</b> . . . . .                                  | <b>114</b> |
| 5.3.4    | Erfassung des Fahrkontextes<br>und des Verkehrskontextes . . . . .  | 81        |          |  |            |
| 5.4      | Mehrfachaufgabenparadigma . . . . .   | 82        |          |  |            |
| 5.5      | Befragungen . . . . .   | 82        |          |  |            |
| 5.6      | Tests zur Gefahrenwahrnehmung . . . .   | 83        |          |  |            |
| 5.7      | Blickbewegungsmessung . . . . .   | 84        |          |  |            |
| 5.8      | Zusammenfassung: Möglichkeiten<br>zur Messung der Fahrkompetenz. . . . .  | 85        |          |  |            |
| <b>6</b> | <b>Konzeptionierung von Längs-<br/>schnittstudien zur Erfassung<br/>von Fahrvermögen und Fahr-<br/>kompetenz von Fahranfängern<br/>in Abhängigkeit unterschiedlicher<br/>Budgetierungen</b> . . . . . | <b>85</b> |          |  |            |
| 6.1      | Empirische Rahmenbedingungen . . . .  | 89        |          |  |            |
| 6.1.1    | Grundsätzliches Versuchsdesign . . . .  | 89        |          |  |            |
| 6.1.2    | Stichprobe . . . . .  | 89        |          |  |            |
| 6.1.3    | Erhebungspunkte . . . . .   | 90        |          |  |            |
| 6.2      | Zusammenfassung der<br>Konzeptionierung . . . . .   | 91        |          |  |            |
| 6.3      | Aufwandsschätzung . . . . .   | 92        |          |  |            |
| 6.4      | Vorschlag 1: Basisuntersuchung<br>mittels Expertenbewertung . . . . .   | 94        |          |  |            |
| 6.4.1    | Ansatz . . . . .  | 94        |          |  |            |
| 6.4.2    | Messmethodik . . . . .  | 94        |          |  |            |
| 6.4.3    | Fragestellungen . . . . .   | 95        |          |  |            |
| 6.4.4    | Ablauf und Ressourcenplan . . . . .   | 95        |          |  |            |
| 6.5      | Vorschlag 2: Expertenbewertung<br>und Simulationsversuche über<br>2 Jahre Fahrpraxis . . . . .  | 96        |          |  |            |
| 6.5.1    | Ansatz . . . . .  | 96        |          |  |            |
| 6.5.2    | Messmethodik . . . . .  | 96        |          |  |            |
| 6.5.3    | Fragestellungen . . . . .   | 97        |          |  |            |

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Junge Autofahrer stehen seit vielen Jahren wegen ihrer überproportional hohen Unfallraten im Fokus verkehrspolitischer Diskussionen. Nachdem für viele Jahre insbesondere verkehrserzieherische Maßnahmen in der Fahrschulausbildung sowie in Kampagnen im Vordergrund standen, werden zunehmend auch fahrpraktische Maßnahmen diskutiert und erprobt. Das Begleitete Fahren ab 17 (BF17) wird in der Öffentlichkeit als eine besonders erfolgreiche Maßnahme zur Erhöhung der Sicherheit junger Fahranfänger gelobt und als Erfolgsstory bezeichnet. Die Deutsche Verkehrswacht bezeichnet das BF17 als „die erfolgreichste Maßnahme zur Reduzierung des Unfallrisikos junger Fahrer, die es in der Bundesrepublik je gab“ (DVW, 2015). Grundidee ist es, den jungen Fahranfängern Fahrpraxiserwerb zu ermöglichen, sie aber durch die Begleitung von Erwachsenen vom risikoerhöhten Fahrverhalten abzuhalten. Wegen des Erfolges liegt die Vermutung nahe, dass auch andere Maßnahmen zur Förderung des selbstständigen Fahrpraxiserwerbs unter protektiven Bedingungen einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten können.

Unklar ist bisher, welche Maßnahmen besonders geeignet sind und in welchem Stadium des Fahrpraxiserwerbs sie angewendet werden sollten. Aus dem Wissen aus Querschnittsvergleichen über Unterschiede zwischen jungen Fahranfängern und erfahrenen Autofahrern allein lassen sich die optimalen Maßnahmen nicht ableiten, weil aus diesen Vergleichen der Verlauf der Kompetenzentwicklung in der Zeit nicht sichtbar wird. Insbesondere wird daraus nicht deutlich, wie sich die Expositionshäufigkeit unterschiedlicher Verkehrssituationen auf die Kompetenzentwicklung auswirkt. Für deren Erfassung und zur Ableitung individueller Lernbiographien ist ein längsschnittliches Untersuchungsdesign notwendig, bei dem junge Fahranfänger während einer sinnvollen Zeitspanne diagnostisch begleitet werden. Nur so kann das notwendige Wissen über den Prozess der Kompetenzentwicklung akquiriert werden, um zu entscheiden, zu welchem Zeitpunkt oder Entwicklungsstand welche Maßnahme die höchste Wirkung entfaltet.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Erarbeitung eines Durchführungskonzepts für eine Längsschnittstudie zur Erfassung der zeitlichen Entwick-

lung von Fahr- und Verkehrskompetenz bei Fahranfängern. Aus den Ergebnissen der Längsschnittstudie sollen Anforderungen an Maßnahmen zur Unterstützung des Kompetenzerwerbs abgeleitet werden können. Eine Grundvoraussetzung dafür sind geeignete Methoden zur Erfassung verkehrssicherheitsrelevanter Fahrkompetenzen bei Fahranfängern. In diesem Zusammenhang sind die Fragen zu beantworten, wie man Fahrkompetenz messen kann und welche Indikatoren Fahrkompetenz abbilden. Hierfür und zur Beantwortung daraus abgeleiteter Fragestellungen wird der wissenschaftliche Kenntnisstand zu Unterschieden zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern und zum Erwerb von Fahr- und Verkehrskompetenz bei Fahranfängern in der initialen Phase des Fahrerfahrungsaufbaus ausgewertet. Dabei werden ausschließlich Fahranfänger von PKW untersucht. Fahranfänger von anderen Verkehrsmitteln (Fahrrad, Motorrad, LKW) werden nicht betrachtet.

Demensprechend eingeschränkt ist der Begriff des Fahranfängers im folgenden Bericht zu verstehen. Aus den Befunden des wissenschaftlichen Kenntnisstands wird ein theoretisches Gerüst aufgebaut, das die Grundlage des im Projekt erarbeiteten längsschnittlichen Untersuchungsdesigns bildet.

Gemäß der eben geschilderten Zielsetzung gliedert sich der vorliegende Forschungsbericht neben der Einleitung in die zwei Hauptteile:

1. Darstellung und Kommentierung der einschlägigen Literatur zur Verkehrssicherheit jüngerer Fahrer, zu Unterschieden zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern, zu Modellvorstellungen von Fahrkompetenz und zum Kompetenzerwerb bei Autofahranfängern, Erarbeitung eigener Modellvorstellungen sowie einer Definition des Begriffes Fahrkompetenz.
2. Ableitung von Anforderungen an und Ausarbeitung von Konzepten für Längsschnittstudien, insbesondere Ableitung von Methoden zur Messung der Verkehrs- und Fahrkompetenz und Ausarbeitung von Studienkonzepten.

Letzteres wird bis zu einem Detaillierungsgrad ausgeführt, der Abschätzungen des Aufwands für Teilarbeiten der Längsschnittstudien ermöglicht. Da der Budgetrahmen einer möglichen Längsschnittstudie entscheidend das Forschungsdesign determiniert, werden zwei unterschiedlich komplexe Konzepte erarbeitet.

Eine Voraussetzung für die Bestimmung von mess- oder beobachtbaren Indikatoren von Fahr- und Verkehrskompetenz und deren Veränderung ist ein Verständnis darüber, was unter Fahr- und Verkehrskompetenz verstanden werden kann. In der Literatur bestehen unterschiedliche Auffassungen darüber – explizite Definitionen finden sich kaum. Dies gilt auch für andere in diesem Kontext relevante Begriffe, die in der einschlägigen Literatur (häufig undefiniert) verwendet werden. Vor der tieferen inhaltlichen Analyse sollen deshalb zunächst Begrifflichkeiten geklärt werden.

## 1.2 Begrifflichkeiten

In der im Rahmen dieser Studie analysierten Literatur, die sich mit den Aufgaben beim Autofahren, mit dem Fahrkompetenzerwerb oder angrenzenden Themen beschäftigt, werden Schlüsselbegriffe, die komplexe Konstrukte benennen, häufig ohne explizite Erklärung verwendet. Wir werden im Zuge der Ableitungen wichtige Begriffe angepasst an die Zielstellung des Projektes beschreiben bzw. definieren. Für ein besseres Verständnis der Begründungen für die eigenen Definitionen ist es sinnvoll, vorab eine grobe Übersicht über Unterschiede in der Verwendung der Begriffe zu geben und der eigenen Auffassung auf einer prinzipiellen Ebene gegenüber zu stellen.

### 1.2.1 Fahrkompetenz versus Verkehrskompetenz

Der Titel dieser Studie enthält das Begriffspaar Fahr- und Verkehrskompetenz, ein gemeinsames Ganzes definierend. Im wissenschaftlichen und öffentlichen Gebrauch werden die Begriffe Verkehrskompetenz und Fahrkompetenz häufig fast synonym verwendet. Dabei wird Verkehrskompetenz eher in der umfassenderen Konnotation einer ganzheitlichen sicheren Bewältigung der Teilnahme am Straßenverkehr gebraucht, was auch das Wissen um die Verkehrsregeln oder Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern umfasst. Unter Fahrkompetenz wird eher die Güte des Fahrenkönnens gemeint, was aber auch solche Aufgaben wie z. B. das Erkennen gefährlicher Situationen umfasst. In GENSCHOW et al. (2013) wird der Begriff Verkehrskompetenz ausschließlich in dem Begriffspaar Fahr- und Verkehrskompetenz benutzt. Dagegen wird der Begriff Fahrkompetenz auch separat, ohne Kopplung mit der Verkehrskompetenz, verwendet.

Eine explizite Definition der Begriffe findet sich dort allerdings nicht. In GLITSCH et al. (2013, S. 77) wird Verkehrskompetenz als der Fahrkompetenz übergeordnet bezeichnet. Demnach umfasst Verkehrskompetenz das „Wissen, die Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie die Einstellungen, die im Hinblick auf das Gesamtsystem des motorisierten Straßenverkehrs erforderlich sind“ (ebd.) Dagegen zeigt sich bei den Autoren (ebd.) mit Rückgriff auf STURZBECHER et al. (2010) die Fahrkompetenz eines Kraftfahrers in der erfolgreichen Bewältigung von Anforderungen im motorisierten Straßenverkehr (z. B. Fahraufgaben) und umfasst verkehrsspezifisches Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten und angemessene Sicherheitseinstellungen. Die beiden Definitionen unterscheiden sich allerdings nur marginal. Die Autoren selbst führen als Beispiel der Unterscheidbarkeit an, dass das Mitführen der Fahrerlaubnis der Verkehrskompetenz, aber nicht der Fahrkompetenz zugeordnet werden sollte (ebd.).

Im Hinblick auf die Zielsetzung der vorliegenden Studie, die eng mit Fahrpraxis und dem Fahrenkönnen verbunden ist, werden wir uns im Weiteren auf die Auseinandersetzung mit dem Begriff der Fahrkompetenz beschränken und Verkehrskompetenz in diesem Zusammenhang als Synonym auffassen.

### 1.2.2 Fahrkompetenz

Das Konstrukt der Fahrkompetenz wird in der verkehrspsychologischen Forschung gegenwärtig in Verbindung mit zwei Gruppen von Verkehrsteilnehmern diskutiert und untersucht: den jungen Fahranfängern und den älteren Autofahrern. Bei beiden Gruppen deuten Werte von Verkehrssicherheitsindikatoren (z. B. Unfälle pro gefahrene Kilometer) auf eine höhere verursachende Gefährdung der Fahrer hin. Wir werden in Kapitel 2 auf statistische Befunde noch genauer eingehen. Die Verknüpfung der Verkehrssicherheit mit der Fahrkompetenz bei jungen Fahranfängern gilt als hinreichend belegt. Insbesondere der Rückgang von Unfallzahlen in den ersten Monaten nach Beginn des selbstständigen Fahrens (siehe Bild 11) wird gut durch den Aufbau der Fahrkompetenz erklärt (siehe Diskussion in Kapitel 3.1.4). Einstellungsfaktoren (Motivregulation) werden in der Regel – wie bei GENSCHOW et al. (2013) – mit zur Fahrkompetenz gezählt. Ebenso wird das Vermögen, volitionale Verhaltensdeterminanten in Richtung Risikoreduzierung zu steuern, als Teil höherer Fahrkompetenz angesehen. Beispiele sind die Kontrolle des Alkoholkonsums in

Verbindung mit dem Autofahren oder der Umgang mit Ablenkungen (z. B. Handy) während der Fahrt. Dagegen wird das durch Einstellung veränderte Verhalten Älterer, das sich z. B. darin äußert, dass Fahrten bei Nacht, große Verkehrsdichten oder lange Strecken vermieden werden, eher als Kompensation selbst wahrgenommener, altersbedingter Reduzierung der Fahrkompetenz bezeichnet und damit explizit vom Konstrukt Fahrkompetenz abgegrenzt (z. B. POSCHADEL et al., 2012a,b). So wird in POSCHADEL et al. (2012a, S. 3) Fahrkompetenz direkt mit der Fahrleistung assoziiert:

„Zur Vereinheitlichung der unterschiedlichen Begriffe, die verwendet wurden (z. B. Fahrleistung/performance, Fahrbefähigung, Fahrvermögen, Fahrfähigkeit), schlagen wir 'Fahrkompetenz' vor“.

Weitgehende Einigkeit in den veröffentlichten Auffassungen besteht darin, dass Fahrvermögen Fähigkeiten und Fertigkeiten im Zusammenhang mit der Bewältigung der Fahraufgabe umfassen. Während sie bei den jungen Fahrern noch nicht ausreichend vorhanden sind, haben sie bei den Älteren abgenommen, wobei die Hauptgründe unterschiedliche sind: Die Jüngeren haben hohe sensorische, kognitive und motorische Fähigkeiten, aber noch keine domänenspezifisch erlernten Fertigkeiten, die Älteren haben erlernte Fertigkeiten<sup>1</sup>, aber physiologisch bedingt, reduzierte Fähigkeiten.

Insgesamt finden sich nur wenige Versuche, den Begriff Fahrkompetenz explizit zu definieren. Neben der oben zitierten Definition in GLITSCH et al. (2013) findet man in der Literatur noch Definitionen, die aus der Expertiseforschung und der Pädagogischen Psychologie im Zusammenhang mit der Diskussion der Fahrausbildung abgeleitet sind. STURZBECHER (2011, S. 16) definiert mit Rückgriff auf die Definition zur Handlungskompetenz von WEINERT (2001):

„Somit kann man unter dem Begriff 'Fahrkompetenz' in Anlehnung an WEINERT (2001, S. 27) die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlern-

baren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten verstehen, die erforderlich sind, um bestimmte Probleme im motorisierten Straßenverkehr zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Verkehrssituationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“.

Auch hier finden wir die Komponenten des Könnens, aber auch des Wollens und der Einstellung in der Definition. In Vorgriff auf andere Definitionen fällt auf, dass hier nur von kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten gesprochen wird. Das hängt stark mit dem Rückgriff auf die Definitionen von Wissen und Handlungskompetenz nach WEINERT (2001) zusammen, die er aus der Beschäftigung mit der Leistungsmessung in Schulen ableitet. Dort ging es um die Vermittlung von Wissen im klassischen Sinne. Mit der dort gedachten Handlungskompetenz ist die Fähigkeit gemeint, sein Wissen (z. B. den Dreisatz in der Mathematik) im Alltag auch anwenden zu können.

Handlungskompetenz im Zusammenhang mit dem Autofahren ist hingegen zu einem großen Teil durch sensumotorische Prozess bestimmt, d. h. Rückgriff auf erlernte und weitgehend automatisierte Handlungsabläufe, die durch entsprechende sensorische Reize gesteuert werden (siehe Kapitel 1.2.3). Autofahren ist zum überwiegenden Teil mit Prozessen verbunden, die nur zu einem geringen Teil mit bewusstem Problemlösen verbunden sind (siehe Kapitel 4.3.4).

Die Berücksichtigung der motorischen Fertigkeiten findet sich ebenfalls in der Charakterisierung der Fahrkompetenz von MALONE (2012, S. 40) aus der Pädagogischen Psychologie. Mit Rückgriff auf LEUTNER et al. (2009) stellt sie fest:

„Aus Sicht der Pädagogischen Psychologie kann der Aufbau von Fahrkompetenz als ein Prozess verstanden werden, bei dem verschiedene kognitive, affektive und psychomotorische Teilfertigkeiten erworben werden“.

Neu gegenüber den vorherigen Definitionen ist die Nennung psychomotorischer Prozesse. Diese spielen ebenfalls bei GRATTENTHALER et al. (2009) eine prominente Rolle. Aus der Verkehrspsychologie kommend wird dort der Begriff der Fahrkompetenz zwar nicht umfassend definiert, implizit aber stark mit dem Fahrenkönnen verknüpft: „Der Begriff der Fahrkompetenz ist unter psychologischer Pers-

<sup>1</sup> Als Fähigkeiten soll für die vorliegende Studie ein Vermögen oder physiologische Voraussetzungen bezeichnet werden, die man mitbringt, um Fertigkeiten in einer Domäne zu erlangen. Erlangte Fertigkeiten können zu Fähigkeiten für andere Domänen werden. Fertigkeiten sind in unserer Vorstellung mit Handlungen mit motorischen Komponenten verbunden. Für ausschließlich kognitive erlangte Vermögen verwenden wir den Begriff der Fähigkeit.

pektive als „Handlungswissen“ zu fassen, ...“ (GRATTENTHALER et al., 2009, S. 83). Die Autoren stellen ein Modell des Informationsverarbeitungsprozesses beim Autofahren vor und nennen es Strukturmodell der Fahrkompetenz. Wesentliches Element in dem Modell ist die Unterscheidung in eine Kognitionskomponente der Handlungsplanung und eine psychomotorische Komponente der Handlungsausführung. Der volitionale Aspekt ist durch einen Block Intention auch enthalten, tritt im Modell aber in den Hintergrund (siehe Bild 28).

Die ebenfalls der Verkehrspsychologie zuzuordnende Auffassung von HOLTE (2012) ähnelt weitgehend den bisher beschriebenen Ansätzen. HOLTE (2012, S. 32) schließt aber Einstellungsfaktoren explizit aus, wenn er schreibt: „Es ist anzunehmen, dass zwischen Fahrmotiven und erworbenen Fahrkompetenzen ein starker Zusammenhang besteht“.

Die internationale Literatur liefert für die Begriffsfestlegung des analogen Begriffs driver competence oder driving competence keine grundsätzlich differierenden Auffassungen zu denen der deutschsprachigen Literatur. In vielen Veröffentlichungen, die sich mit der Thematik beschäftigen, kommt der Begriff allerdings nicht explizit vor (z. B. HARRISON, 1999, GARDENER & STEINBERG, 2005, DE CRAEN, 2010, ROMAN et al., 2015).

Bei allen expliziten Definitionen oder dem impliziten Gebrauch des Begriffes Fahrkompetenz liegt ein wesentlicher Kern der Fahrkompetenz in den Fähigkeiten und Fertigkeiten, die das Fahrenkönnen als mit motorischen Aktionen verbunden determinieren. Dieser Kern wird dann unterschiedlich differenziert. Nicht in allen Definitionen spielen affektive oder volitionale Aspekte eine Rolle. Da sich diese Komponenten im Laufe des Lern- und Übungsprozess der Fahranfänger aber mit Wirkung auf die Verkehrssicherheit ändern können, werden wir sie bei der Ableitung des Untersuchungskonzeptes für eine Längsschnittstudie zur Fahrkompetenz dazuzählen. Die nichtvolitionalen Aspekte werden wir Fahrvermögen nennen (siehe Kapitel 4.3.3).

Die individuelle Fahrkompetenz wird nach unserer Vorstellung durch individuelle Fähigkeiten und Fertigkeiten und individuelle Motivstrukturen bestimmt, die sich durch Lernen und Üben verändern, aber relativ zeitlich stabil sind. Da das Fahrvermögen und die Motivlagen sich aber auch kurzfristig ändern können (z. B. bei einem Herzanfall oder bei Alkoholeinfluss, Müdigkeit, Emotionen, Stress) ist es sinnvoll, zwei Varianten der Fahrkompetenz zu

definieren, eine tonische (relativ zeitlich stabil) und eine phasische (zeitlich schnell veränderlich). Eine Änderung in der phasischen Fahrkompetenz verändert die tonische Fahrkompetenz nicht. Wenn der Typus der Fahrkompetenz nicht angegeben ist, ist die tonische Fahrkompetenz gemeint.

Zusammenfassend definieren wir Fahrkompetenz in Anlehnung und Modifikation der diskutierten expliziten Definitionen und den impliziten Verwendungen zunächst vorläufig. Die endgültige Definition findet sich in Kapitel 4.3.3.

### **Vorläufige Definition Fahrkompetenz**

„Fahrkompetenz“ ist ein durch Verkehrssicherheitsaspekte definiertes, messbares Konstrukt, das Fahrern zugeordnet werden kann. Höhere Fahrkompetenz deutet auf höhere Verkehrssicherheit hin. Fahrkompetenz wird einerseits durch Fähigkeiten und Fertigkeiten determiniert, die zur Erfüllung von Anforderungen an den motorisierten Straßenverkehr notwendig sind. Diese werden als „Fahrvermögen“ bezeichnet.

Fahrkompetenz ist andererseits durch motivationale, volitionale und personenbezogene Faktoren bestimmt, die den Einsatz der Fähigkeiten und Fertigkeiten und den Fahrkontext steuern.

### **1.2.3 Psychomotorik, Sensusmotorik**

In einigen Veröffentlichungen, die sich mit Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb beschäftigen, spielt der Begriff der Psychomotorik eine Rolle. Bei GRATTENTHALER et al. (2009) ist – wie eben erläutert – die Psychomotorik neben der Kognition das zweite wesentliche Element. Die Autoren beschreiben nicht explizit, was sie unter Psychomotorik genau verstehen. Der Begriff wird aber ausschließlich im Zusammenhang mit dem Begriff von Fertigkeiten gebraucht, die mit motorischen Aktionen verbunden sind. Das beinhaltet z. B. das Lenken, das Gasgeben, Kuppeln, etc. In diesem Zusammenhang wird auch von psychomotorischem Können gesprochen. In einem Modell des Informationsverarbeitungsprozesses des Autofahrens (ebd., siehe Bild 28) wird die Rolle der Psychomotorik deutlich. Die Aufgabe der von den Autoren so bezeichneten Psychomotorik ist die Ausführung der Pläne, die die Kognition je nach erkannter Situation generiert. Um die Ausführung kontrollieren zu können, greift die Psychomotorik auf visuelle und andere Wahrnehmungsquellen zurück, die aber nicht Teil

der Psychomotorik sind. Die durch die Psychomotorik abgebildeten Fertigkeiten werden als Handlungswissen bezeichnet, das implizit und nicht berichtbar ist. Obwohl von den Autoren explizit nicht ausgeführt, scheint es so zu sein, dass die Kognition an diskreten Zeitpunkten Ausführungsbefehle an die Psychomotorik übergibt, die diese dann weitgehend selbstständig mit einer eigenen Informationsverarbeitung abarbeitet. Wenn dabei Fehler in der Planung erkannt werden, wird dies an die kognitive Instanz mit der Bitte um Korrektur des Planes zurückgemeldet. Ein wesentliches Element in der Modellvorstellung ist, dass Kognition und Psychomotorik durch Rückkopplungsschleifen verknüpft sind. Diese Vorstellung werden wir mit einer Modifikation in einem eigenen Modell übernehmen.

Eine ähnliche Modellvorstellung von Prozessen, die mit Fahrkompetenz in Verbindung stehen und die das Konstrukt der Psychomotorik mit einbezieht, findet sich bei MALONE (2012). Die Autorin bezieht sich dabei auf ein Informationsverarbeitungsmodell von ATTKINSON und SHIFFRIN (1969). Auch hier geht der Hauptweg von Wahrnehmung zu Motorik über eine kognitive Schleife mit Arbeitsgedächtnis, Langzeitgedächtnis, etc. Bei gut geübten, automatisierten Prozessen greift die Psychomotorik direkt auf Wahrnehmungsprozesse zurück, bewusste Prozesse spielen dann keine Rolle mehr. Bei ATTKINSON und SHIFFRIN sind diese psychomotorischen Prozesse allerdings Teil der Kognition.

Auch bei STURZBECHER et al. (2010) wird der Begriff der psychomotorischen Fertigkeiten verwendet. Der Begriff wird den Wahrnehmungsfähigkeiten und kognitiven Komponenten der Fahrkompetenz gegenübergestellt. Ähnlich sind die Auffassungen bei ENGIN et al. (2010). Die Autoren unterscheiden als Teilkompetenzbereiche der Fahrkompetenz die Sensorik (insbesondere das Sehen), die Kognition und die Psychomotorik. Informationsverarbeitung wird als Aufgabe der Kognition aufgefasst. Eine gleiche Unterscheidung findet sich in BATES et al. (2014), wenn von „psychomotor, cognitive and perceptual proficiencies“ gesprochen wird. STURZBECHER et al. (2014, S. 190) definieren:

„‘Psychomotorisch‘ bedeutet, dass motorische Vorgänge bzw. das Ausführen von Bewegungen mit psychischen Prozessen (z. B. das Steuern und Überwachen der Bewegungen) verknüpft werden“.

Psychisch scheint hier mit kognitiv und dieses mit bewusst gleichgesetzt zu sein, was darauf hindeu-

ten könnte, dass Psychomotorik eine kognitiv (bewusst) geleitete Motorik ist.

Gemeinsam in den Auffassungen von Psychomotorik ist, dass Psychomotorik die Motorik enthält. Allerdings gibt es wenig Diskussion und keine einheitliche Definition über den psychischen Anteil der Psychomotorik.

Am weitesten ausgearbeitet erscheint die Vorstellung der Psychomotorik bei GRATTENTHALER et al. (2009). Bei ihnen zeichnet sich die Psychomotorik durch eigene Informationsverarbeitungs- und Bewertungskomponenten aus, die zwar von kognitiven Prozessen gesteuert und über das Ergebnis kontrolliert werden, dabei aber weitestgehend selbstständig und in den internen Prozessen nicht kognitiv beobachtbar agieren.

Ursprünglich beschreibt im deutschen Sprachgebrauch Psychomotorik ein Teilgebiet der Psychologie. Die Psychomotorik behandelt die menschliche Motorik in ihrer Rolle als Antipode zur Sensorik. In Abgrenzung zur Physiologie steht die Aufdeckung menschlicher Bewegungsgesetze im Wechselspiel mit der Umwelt im Vordergrund und nicht die Funktionskomponenten der Motorik, die Hardware. HEUER (2016) beschreibt Psychomotorik als „ein unscharf definiertes Teilgebiet der Psychologie [...], das sich mit willkürlichen, zielgerichteten Bewegungen beschäftigt. Betont wird dabei die Verzahnung der Bewegung mit Wahrnehmung und kognitiven Prozessen (Kognition)“.

Eine Übersicht über das Gebiet der Psychomotorik aus Sicht der Kraftfahrzeugführung liefert JÜRGENSOHN (1997).

Zur Unschärfe des Begriffes trägt bei, dass heute ein Teilgebiet der Heilpädagogik auch mit Psychomotorik bezeichnet wird (z. B. MÖLLER, 2015). Der Begriff bezeichnet dort eine Gruppe von motorischen Übungs- und Behandlungsverfahren.

Im englischen Sprachgebrauch besteht diese Problematik der Begriffsambiguität nicht, da es dort das Wissenschaftsgebiet Psychomotorik nicht gibt. Es sind eher die Begriffe motor behavior oder motor control verbreitet. Die Bezeichnung psychomotor skills grenzt sich gegen motor skills ab und ist mit perceptual-motor skills oder sensory-motor skills gleichzusetzen (NOBLE, 1968). Der Zusatz psycho steht hier also für die direkte Verbindung der Motorik mit der Wahrnehmung. In diesem Sinne sind

psychomotor skills mit sensory-motor skills gleichzusetzen.

Die Auffassung des Wortanteiles Psycho in Psychomotorik als eine Erweiterung der rein motorischen Ausführung durch Verarbeitungs-komponenten, die Wahrnehmungsinhalte (Sensorik) direkt, ohne vorgeschaltete Kognition verwertet, ist nur im mengenmäßig geringsten Anteil von Veröffentlichungen zum Thema Psychomotorik zu finden. In dem eben erwähnten heilpädagogischen Gebrauch steht Psycho für Psyche im Sinne von Seele. Vor dem Hintergrund der Unschärfe im Begriff Seele scheint für die Betrachtung des Kompetenzerwerbs von Fahrern diese Auffassung nicht passend.

Wegen der geschilderten Mehrdeutigkeit des Begriffs der Psychomotorik, der noch dazu heute in Deutschland weitestgehend von der heilpädagogischen Verwendung dominiert wird, werden wir in dieser Studie den Begriff Sensumotorik einsetzen<sup>2</sup>, wie er in handlungstheoretischen Abhandlungen (z. B. VOLPERT, 1969; HACKER; 1970; VOLPERT, 1981) der Beschreibung von Koordinationsaufgaben (TIMPE, 1969), in der Arbeitswissenschaft (SCHLICK et al., 2010) oder neueren Theorien von Bewegungshandlungen (SCHACK, 2002) verwendet wurde, wobei allerdings deren Modellvorstellungen nicht übernommen werden. Inhaltlich ist er dem Psychomotorikbegriff von GRATTENTHALER et al. (2009) sehr nah, geht aber über diesen hinaus.

Wichtiges Merkmal sensumotorischer Verarbeitung ist es, dass die motorischen Aktionen direkt durch sensorische Information determiniert werden können und zwar ohne bewusste (höhere kognitive) Verarbeitung. In diesem verallgemeinerten Sinne sind alle automatisierbaren Reiz-Motorik-Verknüpfungen als Sensumotorik zu bezeichnen. Reiz kann dabei mehr sein als nur eine singuläre diskrete Entität. Er kann aus multidimensionalen sensorischen Mustern in der Zeit bestehen. In diesem Sinne sind auch automatisierte Prozesse, die in der noch nicht automatisierten Form als Planungs- oder Entscheidungsprozesse bezeichnet werden, der Sensumotorik zuzuordnen. Wir gehen in Anlehnung an die Ergebnisse der Bewegungsforschung (siehe KROMER, 2007) davon aus, dass ein Groß-

teil dessen, was alles zur Erzeugung von Handlungsmustern in Abhängigkeit einer bestimmten sensorisch wahrnehmbaren, dynamischen Umgebungssituation notwendig ist – und dazu zählen auch Planungs- und Entscheidungsprozesse –, durch Übung bis zu einem bestimmten Grad automatisiert werden kann. Im folgenden Kapitel wird dies in Abgrenzung zur Kognition weiter differenziert.

#### 1.2.4 Kognition

In den oben diskutierten Vorstellungen über Fahrkompetenz wird häufig Kognition als wesentliche Komponente genannt. Eine allgemein gültige Definition von Kognition ist nicht möglich. Im Onlinelexikon der Neurowissenschaft (SPEKTRUM, 2016) werden fünf verschiedene Kognitionsbegriffe vorgestellt, die sich teilweise widersprechen. In der klassischen, philosophisch geprägten Vorstellung, steht Kognition für höhere geistige Prozesse, die mit Bewusstsein verbunden sind und im Gegensatz zu den niedrigen geistigen Prozessen (Sensorik, Bewegungssteuerung) stehen (ebd.). Der in der Kognitionspsychologie entwickelte Begriff ist als Gegenentwurf zur behavioristischen Denkweise entstanden, in welcher das Handeln (Output) als direkt mit dem sensorischem Input verbunden gedacht ist. Die Kognitionspsychologie postuliert differenzierte interne Zustände und Prozesse, die dann aber auch auf den Output wirken können. Das Input-Output-Denken wird aus dem Behaviorismus übernommen, aber als Informationsverarbeitungsprozess gedacht, der in mehreren Stufen strukturiert ist. Starke Merkmale des Kognitionsbegriffs der Kognitionspsychologie sind die Computermetapher einerseits und andererseits die Vorstellung, dass Denken reine Software und unabhängig von der Hardware ist. Das Modell von Kognition ist also häufig das eines Computers mit Aspekten wie zentraler Prozessor, Speicher, Programm, etc.

Die Kognitionspsychologie beschäftigt sich mit mentalen Prozessen wie Gedächtnis, Problemlösen, Aufmerksamkeit, Entscheiden, Lernen. Sie beschäftigt sich aber auch mit Denken allgemein und mit Sprache, bei denen es nicht unbedingt einen unmittelbaren Input geben muss. Auch Wahrnehmung ist Gegenstand der Forschung in der Kognitionspsychologie.

Aus der Kognitionswissenschaft kommend definiert STROHNER (1995, S. 7):

<sup>2</sup> Gebräuchlich ist auch Sensomotorik. Bezieht man sich auf den lateinischen Ursprung ist die Variante mit u korrekter. Beide Varianten werden in der Literatur synonym verwendet.

„Kognition ist jede Art von Informationsverarbeitung durch das Zentralnervensystem von Lebewesen oder eine entsprechende Informationsverarbeitung in künstlichen Systemen.“

Sensumotorische Prozesse sind in dieser Definition Teil der Kognition. Das Nichtsensumotorische wird häufig unter dem Begriff höhere kognitive Prozesse (z. B. NEUBAUER, 2013) zusammengefasst. Das wirft die Fragen auf, wo die Grenze dieser zwei Ebenen ist? Wie viel der Informationsverarbeitung ist höher kognitiv und wie viel sensumotorisch?

Die Frage lässt sich nicht aus logischen Überlegungen und phänomenologischen Untersuchungen ableiten, sondern wird im Wesentlichen dadurch bestimmt, wie weit man die beiden Begriffe fasst. Insbesondere, wenn weitgehende subbewusste Kognition zugelassen wird, ist die Grenzziehung schwierig.

Nicht vollständig eindeutig, aber immerhin definierbar, gelingt die Trennung zwischen Sensumotorik und höheren kognitiven Prozessen über die Betrachtung der Grenzfälle. Sinnvoll erscheint die Annahme, dass Prozesse, die keinen äußeren sensorischen Input benötigen, sondern nur Vorstellungen sind – das wären z. B. das Nachdenken aus der Imagination, Problemlösen ohne sensorischen Input, das Formulieren eines Satzes, etc. – auf jeden Fall nicht sensumotorisch sind. Bezogen auf den Prozess des Autofahrens wäre das beispielsweise die Planung einer Route zum Ziel oder die Vorhersage einer Bewegungsintention anderer Verkehrsteilnehmer ohne vorherige Bewegungsindikatoren. Da hier keine Sensorik involviert ist, kann dies nicht sensumotorisch sein. Diese Tatsache kann man sich zunutze machen, um über ein Zweitaufgabenparadigma Unterschiede (z. B. vor und nach einer Fahrausbildung) des Bedarfs an kognitiven Ressourcen, die für das Autofahren benötigt werden, zu quantifizieren. Kognitiv sind aber auch nicht nur die sensorikfreien Denkprozesse, sondern eine sensorbasierte Informationsverarbeitung, die nicht unmittelbar mit motorischen Akten verbunden ist. Beim Autofahren wären dies beispielsweise das Lesen von Straßenschildern oder das visuelle Abscannen des Verkehrsraums nach möglichen Gefahrenquellen.

Auf der anderen Seite kann man schwerlich die Verarbeitung von propriozeptiven sensorischen Informationen zur Steuerung der Motorik durch Regulationszentren im Rückenmark als höhere kognitive Prozesse bezeichnen. Diese Zentren regeln bei-

spielsweise die Aufrechterhaltung einer konstanten (willentlich oder subbewusst) eingestellten Kraft bei äußeren mechanischen Störungen (BIZZI, 1980). Beim Autofahren spielt dies beispielsweise bei der Regelung auf ein konstantes Rückstellmoment beim Lenken eine Rolle – ein wesentliches Element der Kurvenfahrt.

Wo die Grenze zwischen höheren kognitiven Prozessen und Sensumotorik im Zwischenbereich zu setzen ist, ist schwer zu entscheiden und hängt entscheidend von der Modellvorstellung des Gesamtprozesses ab, z. B. ob die nichtbewussten Anteile der Wahrnehmung als subbewusst sensumotorisch oder als subbewusst kognitiv bezeichnet werden oder ob man subbewusst sensumotorisch mit subbewusst kognitiv gleichsetzt. Hinzu kommt, dass die Kategorisierung in zwei Klassen nicht unbedingt zwingend ist. So nimmt beispielsweise SCHACK (2002) in seinem hierarchischen Modell der Bewegungsorganisation zur Lösung von Bewegungsproblemen vier Ebenen an. Wir wollen im Weiteren aber aus praktischen Überlegungen vor dem Hintergrund, wie detailliert man in einer Längsschnittstudie messen kann, bei den zwei Ebenen bleiben.

Eine sinnvolle Grenzziehung zwischen Kognition und Sensumotorik kann über die Betrachtung der Automatisierung von Bewegungen während des Expertiseerwerbs erfolgen. Bei Musikern und Sportlern mit komplexen Bewegungsabläufen wissen wir, dass eine hohe Expertise erst nach vielen Jahren des Übens erreicht wird (z. B. ERICSSON, 2006). Dies gilt insbesondere für hochdynamische und komplexe Bewegungssequenzen (für den Bereich der Sportwissenschaft siehe z. B. MECHLING & MUNZERT, 2003). Während der Übung werden die Bewegungsabläufe zunehmend automatisiert und laufen bezüglich des Aspektes der Ausführung weitgehend subbewusst ab. Die Kontrolle der Bewegungen wandelt sich dabei von langsam geregelt auf schnell gesteuert (siehe Kapitel 3.6). Musikern wird empfohlen, ab einem bestimmten Übungsgrad während des Übens Zeitung zu lesen, um kognitive Einflüsse auf das Erlernen rein mechanischer Bewegungsabläufe möglichst zu vermeiden. Die Reaktionen beim Tischtennispielen müssen teilweise so schnell und dennoch präzise sein, dass ein willentlicher Eingriff in den Bewegungsablauf nur sehr begrenzt möglich ist. Die einzelnen Bewegungskomponenten sind nicht mehr in ihrer Gesamtheit bewusstseinsfähig. So liegt beim Tischtennispiel die Dauer der Flugbahn bei Spitzensportlern bei ca. 200 ms (brand eins, 2014). In die-

ser Zeit muss ein Tischtennispieler nicht nur die vollständige Bewegungsplanung von Arm, Hand, Stellung des Schlägers, Schlagstärke, etc., sondern auch grundsätzliche Entscheidungen wie slice oder top-spin vollzogen haben. Bewusst kognitiv würde er dafür ca. 550 ms benötigen (ROTH & SAHRE, 1990). Selbst, wenn man annimmt, dass noch etwas Zeit dadurch gewonnen wird, dass aus den beobachteten Ausholbewegungen des Gegners der Schlag in gewissem Maße antizipiert werden kann, ist Tischtennispielen von Experten ohne komplexe Automatisierungen nicht denkbar – zumal die Antizipation auch wieder mentale Ressourcen verschlingt. Dennoch setzen auch Profi-Tischtennispieler alle vorhanden kognitiven Ressourcen ein. Auch bei Rennfahrern werden trotz hohem Automatisierungsgrad volle bewusste kognitive Ressourcen benötigt (EMBERGER & PRINZ, 2013).

Nach der Theorie der Generalisierten Motorprogramme (SCHMIDT, 1975, 1988) werden Bewegungen nicht vollständig von höheren kognitiven Ebenen gesteuert, sondern liegen in Form von variablen sensorisch-motorischen Programmen vor, von denen nur wenige Aspekte verändert werden müssen. Dadurch sind einerseits eine schnelle Ausführung auf der sensumotorischen Ebene und andererseits eine kognitive Kontrolle möglich. Allerdings bestehen die Einflüsse auf die Programme in der Modellvorstellung von SCHMIDT nur in der Variation von Bewegungsparametern, wie Ausführungsstärke oder -geschwindigkeit. Die Befunde zum Tischtennispiel lassen vermuten, dass die Programmmodifikationen wesentlich weiter gehen oder andersherum, dass die automatisierten Bewegungsmechanismen wesentlich über die Annahmen der Schematheorie hinausgehen. MUNZERT (1989) erweitert aus diesem Grunde das Konzept der generalisierten Motorprogramme um handlungspsychologische und systemtheoretische Aspekte und integriert in das Modell situative Einflüsse und qualitative Bewegungsvariationen. Neues gehirnphysiologisches Wissen über komplexe Rückkopplungspfade der motorischen Areale und des Kleinhirns zu sensorischen Arealen lässt vermuten, dass sensumotorische Handlungen komplexe Sensor-Motor-Relationen beinhalten können, die durch das Wort Programm mit der Assoziation eines seriellen Computerprogramms nur unzureichend benannt werden. Es existiert deshalb eine Reihe von Vorschlägen von Modellerweiterungen zur Beschreibung sensumotorischer Vorgänge, die nicht auf der Programm-Metapher basieren (siehe KROMER, 2007).

Die eben am Beispiel des Tischtennispiels dargestellte Notwendigkeit, Aufgaben mit hochdynamischen Perzeptions-Bewegungsanforderungen als stark automatisierte Prozesse abzubilden, bei denen der Einfluss bewusster Prozesse eher gering ist, kann vollständig auf die Aufgabe Autofahren übertragen werden. Eine Abschätzung, wie viel der Informationsverarbeitung bewusst gesteuert und wie viel subbewusst ausgeführt und eventuell bewusst kontrolliert wird, gelingt über die Abschätzung von theoretischen Anforderungen an die für das Autofahren benötigte Informationsgeschwindigkeit einerseits und die maximale Informationsgeschwindigkeit des Bewusstseins andererseits.

Wie groß die maximale Informationsgeschwindigkeit bewusster Informationsverarbeitung ist, ist kaum untersucht. Bekannt sind Aussagen über die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. Über die Frage, in welcher Zeit die Inhalte des Arbeitsgedächtnisses ausgewechselt werden können, gibt es kaum Aussagen. LEHRL et al. (2016) wagt eine Quantifizierung und gibt die maximale Informationsgeschwindigkeit bewusster Informationsverarbeitung mit ca. 15 bit/sek an (siehe auch LEHRL, FISCHER, 1988). Dass mit einer solch niedrigen Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit kein Kraftfahrzeug durch den Verkehr gelenkt werden kann, zeigt ein Vergleich mit dem Informationsbedarf und der minimalen Informationsverarbeitungstaktrate von Fahrermodellen (JÜRGENSOHN & ALMS, 2015) oder autonomen mobilen Systemen. Nimmt man an, dass es eine optimale Informationskomprimierung der Sensoren (Kameras, Lidar, Radar, etc.) gibt, dann ist die minimale für das Autofahren benötigte Informationsrate durch die Informationsmenge für diese Information einerseits und die minimal akzeptierbare Taktrate bestimmt. Theoretische Analysen zeigen, dass zur kontinuierlichen Repräsentation eines Straßenrandes minimal 24 bit und für eine stabile Regelung eine minimale Wiederholrate von 10 Hz benötigt<sup>3</sup> wird (LAUER, 2016). Für jedes Fremdfahrzeug, Fahrrad oder sich bewegenden Fußgänger, deren Bewegungen zur Kontrolle oder Planung eigener Handlungen geschätzt werden müssen, kommt ein Informationsbedarf in derselben Größenordnung hinzu. Bei drei Fahrzeugen in der Nähe werden dann schon minimal ca. 1.000 bit/sek benötigt. Darin sind die Informationen über

<sup>3</sup> Typisch in autonomen Fahrzeugen sind ca. 30-60Hz.

Straßenbeschaffenheit, Verkehrsschilder, Ampelfarbe etc. noch nicht enthalten. Diese grobe Abschätzung legt nahe, dass der Anteil des Bewusstseins am Autofahren aus Sicht des Informationsverarbeitungsprozesses nur sehr gering sein kann. Das bedeutet dann aber auch, dass ein Fahranfänger in seiner ersten Fahrstunde schon eine große Menge automatisierter sensumotorischer Vorerfahrung und Können mitbringen muss, um überhaupt das Fahren lernen zu können bzw. besser ausgedrückt, das Fahren perfektionieren zu können.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt man durch detailliertere Betrachtung von Bewegungsmustern beim Autofahren. Lenkbewegungen wie viele motorische Regelvorgänge des Menschen sind nicht völlig glatt, sondern zeigen Merkmale von Korrekturen (JÜRGENSOHN, 1997). Die Abstände der Korrekturen sind nicht kleiner als 0,5 bis 1 Sekunde und typischerweise 0,7 Sekunden lang (VEDDER, 1990). PEW (1974) zeigt, dass die Grenze zwischen geregelter Bewegung und automatisierten Bewegungsmustern zwischen 0,5 bis 2 Hz liegt und damit weit unter den benötigten 10 Hz liegt.

Die Tatsache, dass sensumotorische Prozesse aus Sicht der Informationsmengen überwiegen müssen, bedeutet aber nicht, dass die bewussten Prozesse nicht benötigt werden. Dass Fahranfänger im Gegensatz zu erfahrenen Fahrern mehr bewusste Aufmerksamkeit benötigen, wird nicht in Frage gestellt. Generell ist heute unbestritten, dass zwischen der durch Aufmerksamkeit gelenkten und der vollständig automatisierten Bewegung ein Kontinuum existiert (DAUGS, 1993) und dass motorisches Lernen eine Verlagerung von aufmerksam kontrolliert in Richtung automatisiert mit der Folge einer kognitiven Entlastung bewirkt. Letzteres hat zur Folge, dass höher automatisierte Bewegungen mehr Raum für zusätzliche höhere kognitive Aufgaben, wie z. B. Unterhaltung mit Beifahrern, zulassen. Der höhere kognitive Anteil an den situativ bedingten Bewegungen ließe sich demnach indirekt an dem verbleibenden Raum höherer kognitiver Informationsverarbeitung – bei Annahme begrenzter kognitiver Ressourcen – definieren und messen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass es einen bewussten Einfluss auf die weitgehend selbstständigen sensumotorischen Prozesse gibt, der mit zunehmender Übung geringer wird. Wir wollen im Weiteren unter Sensumotorik alle automatisierten, mit sensorischer Wahrnehmung verbundenen Bewegungsprozesse im allgemeinen Sinnen ver-

stehen, die beispielsweise auch automatisierte Planungsvorgänge einbeziehen. Dabei kann es durchaus sein, dass es Handlungsanforderungen gibt, die ohne permanenten bewussten Einfluss nicht möglich sind. Es scheint sogar so zu sein, dass die Mehrzahl der sensumotorischen Prozesse offensichtlich nicht ohne permanenten oder punktuellen kognitiven (bewussten) Einfluss möglich ist. Die höheren kognitiven Prozesse fungieren in dieser Modellvorstellung weniger als Initiator und Steuerungsinstanz, sondern als Unterstützer sensumotorischer Prozesse. Bewusste kognitive Informationsverarbeitung und Sensumotorik arbeiten parallel und Hand in Hand. Wir werden deshalb im Weiteren auch von kognitiv-sensumotorischen Prozessen sprechen. Die Prozesse, die nicht direkt mit motorischen Aktionen verbunden sind, werden wir als rein kognitiv bezeichnen. Prozesse, die nicht bewusstseinsfähig sind, werden als rein sensumotorisch bezeichnet.

Die Einbeziehung bewusster Kognition in kognitiv-sensumotorische Prozesse wird als Aufmerksamkeitsprozess bezeichnet. Wir unterscheiden dabei in Anlehnung an die Arbeiten von Posner (POSNER & PETERSEN, 1990) zwei Arten von Aufmerksamkeitsprozessen, einerseits mit Ausrichtung (orienting) und Selektivität (selection) verbunden<sup>4</sup>, von uns fokussierte Aufmerksamkeit genannt, andererseits eine Daueraufmerksamkeit (sustained attention), von uns Vigilanz genannt. Der Wechsel der fokussierten Aufmerksamkeit ist immer mit relativ hohem Zeitaufwand von ca. ½ Sekunde verbunden (MECHLIN & MUNZERT, 2003). Teilweise wird vermutet, dass das menschliche Gehirn nicht in der Lage zu sein scheint, „auf mehrere Dinge gleichzeitig mit gleicher Aufmerksamkeit zu reagieren“ (FREUDE & ULLSPERGER, 2010, zitiert in WEIßBECKER-KLAUS, 2014). Beim Autofahren kommt man aber um ein Multitasking nicht herum. Immerhin können die Multitasking-Kosten, d. h. der Anteil der kognitiven Ressourcen, der allein für das Wechseln der Aufgaben notwendig ist, durch Training minimiert (van SELST et al., 1999), wenn auch nicht vollständig eliminiert werden (PASHLER, 1992).

Rein sensumotorische Prozesse sind nach unserer Definition nicht bewusst steuerbar, über die damit

<sup>4</sup> Bei POSNER und PETERSEN (1990) werden diese beiden Komponenten noch zwei unterschiedlichen Systemen zugeordnet.

verbundenen Auswirkungen (Muskelkontraktionen, Bewegungen) aber u. U. bewusst beobachtbar. Beispielsweise ist bei einem bewussten Krümmen eines Fingers eine Reihe von Muskeln beteiligt. Diese können nicht bewusst einzeln angesteuert werden. Bewusst ist in der Regel auch nicht, wie die Krümmung erfolgt. Über haptische Empfindung können aber die Muskelkontraktionen bewusst gemacht werden. Dies gilt auch, wenn die Bewegung als Ganzes subbewusst initiiert wird, wie es z. B. beim Spielen eines Musikinstrumentes der Fall ist. Der kognitiv beobachtbare Teil kognitiv-sensu-motorischer Prozesse kann bis zu einem gewissen Grade bewusst und willentlich beeinflusst und kognitiv beobachtet (Monitoring) werden.

Wie groß der Anteil der Kognition in kognitiv-sensu-motorischen Prozessen ist, kann man an Leistungen bzw. Leistungseinbußen in eindeutig kognitiven Nebenaufgaben oder Beanspruchung durch die Kommunikation mit Beifahrern erkennen (KRÜGER & VOLLRATH, 1996, MACIEJ, 2012). Der Stand der Fahrexpertise ist dann indirekt über die (noch) benötigten kognitiven Ressourcen bei vorgegebener Belastung abgebildet.

### 1.2.5 Explizites Wissen, implizites Wissen, prozedurales Wissen, verbalisierbares Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Können

Über Befragungen können wir das Wissen der Autofahrenden erfassen, das Einfluss auf die Fahrkompetenz hat. Das ist in erster Linie verbalisierbares Wissen über Regeln oder Sachverhalte im Zusammenhang mit dem Autofahren. Dieses Wissen ist in sprachlicher Form fassbar und bewusstseinsfähig. Dazu gehört z. B. die Rechts-Vor-Links-Vorfahrtsregel, oder das Wissen, dass eine rote Ampel verlangt, anzuhalten. Dazu gehören aber auch klassifizierbare Verhaltensregeln, die nie explizit verbal als Regeln vorlagen, aber zu Aussagen gefasst werden können, wie z. B.: „Beim doppelten Spurwechsel (z. B. Elchtest) muss man insgesamt dreimal das Lenkrad gegen und dreimal im Urzeigersinn bewegen“. Die überwiegende Mehrzahl aller Autofahrer wird dieses Wissen (im deklarativen Sinne) nicht haben, aber dennoch das Fahrmanöver ausführen können. Sprachliches Wissen wird in der Regel immer als explizites Wissen bezeichnet (POLANYI, 1966). Wissen kann aber auch nicht verbalisierbar sein und wird dann als implizites Wissen bezeichnet (POLANYI, 1966).

Wenn es z. B. dem Fahrschüler in der theoretischen Fahrprüfung gelingt, das Schild „Achtung Wildwechsel“ zu erkennen, kann er das Wissen dadurch kundtun, dass er auf das richtige Schild in einer Auswahl zeigt oder es etwa als „das Achtungsschild mit dem Hirsch drauf“ verbalisiert. Die beteiligten Mustererkennungsprozesse kann er aber nicht vollständig verbalisieren. Der Grund darin liegt in der hohen Informationsmenge im Bild, die nicht nur die Tatsache Hirsch, sondern auch die Zeichenkontur beinhaltet<sup>5</sup>. Aus demselben Grund ist auch das Vermögen, Entfernungen zu Fahrzeugen, Geschwindigkeiten entgegenkommender Fahrzeuge oder gar dynamisch-kinematische Fahrbewegungen von Objekten im Straßenraum einzuschätzen und zu präzisieren nicht (bzw. nur grob kategorial) verbalisierbar. Da diese Fähigkeiten ebenso wie Faktenwissen erlernbar sind, werden sie oft auch als Wissen bezeichnet – allerdings als implizites Wissen, weil es nicht verbalisierbar ist (POLANYI, 1966). Es besteht ein fundamentaler Unterschied zum Faktenwissen in der Abhängigkeit vom situativen Kontext, der in seiner spezifischen Ausprägung jeweils einmalig ist. Das Wissen kann deshalb nicht aus dem Gedächtnis abgerufen werden. Ausgedrückt in einer Computemetapher kann man deklaratives Faktenwissen in einer Datenbank nachschlagen (abrufen), implizites Wissen muss man in Abhängigkeit der aktuell sensorisch erfassten dynamischen Weltsituation berechnen<sup>6</sup> – und zwar quasikontinuierlich immer wieder neu. Die Berechnungsvorschriften kann man als verallgemeinerte Schemata auffassen. Gelernt werden also hochdimensionale Input-Output-Beziehungen, wobei der Output keine Handlung, sondern eine Schätzung ist.

In der Literatur (z. B. POLANYI, 1966, NEUWEG, 2005) ist implizites Wissen in der Regel mit Handlungen verknüpft, v. a. mit den Fähigkeiten komplexe Handlungen ausführen zu können (das Wissen wie) und wird oft mit Können gleichgesetzt. Komplexen Handlungen sind ebenfalls nicht verbalisierbar. Bei Handlungen spielt im Gegensatz zu dem obigen Beispiel das Einschätzen zeitlich aufeinander abgestimmte Bewegungsmuster eine Rolle. In einer



<sup>5</sup> Ob dies mit parallelisierten Gehirnstrukturen als Mustererkennungsprozess oder über serielle Berechnung erfolgt ist unerheblich.

Computermethapher wird dieses Können oft auch als prozedurales Wissen bezeichnet. Einige Aspekte von prozeduralem Wissen, wie der komplexe Ablauf der Ansteuerung der für eine Bewegung notwendigen Muskelkontraktionen, sind nicht bewusstseinsfähig. Das Vermögen Entfernungen einschätzen zu können, ist zwar nicht verbalisierbar aber durch das Bewusstsein begleitbar.

Wir werden das Vermögen, die dynamische Situation beim Autofahren einschätzen zu können, in Annäherung an den Gebrauch in der Literatur zum Fahrkompetenzerwerb (siehe oben) als Fähigkeit und das Vermögen adäquate motorische Bewegungen zum Zwecke der Führung eines Kraftfahrzeugs auszuführen als Fertigkeit bezeichnen. Beides bezeichnen wir als Können<sup>7</sup>.

Da Fertigkeiten beim Autofahren nicht verbalisierbar sind, können Veränderungen im Laufe des Expertiserwerbs nur durch Beobachtung von Kennwerten von Fahrhandlungen evaluiert werden. Auch Fähigkeiten werden indirekt ebenfalls über die Auswertung von entweder Handlungen oder Entscheidungen evaluiert. So kann beispielsweise das Vermögen eines Autofahrers, die Annäherungsgeschwindigkeit eines von hinten überholenden Fahrzeugs zu schätzen, über die Last-safe-gap-Methode (FISHER & GALER, 1984; FLANNAGAN & SIVAK 2006) ermittelt werden. Der getestete Autofahrer wird dabei aufgefordert, zum spätestmöglichen sicheren Zeitpunkt vor einem von hinten auf der Überholspur kommenden Fahrzeug auszuscheren. Ausgewertet wird beispielsweise die Zeitlücke<sup>8</sup> zum Zeitpunkt des Ausscherens.

### 1.2.6 Faktor, Indikator, Prädiktor

Faktor, Indikator und Prädiktor werden in unserer Abhandlung in ihrer fachsprachlichen Verwendung genutzt. Ein Faktor ist eine als Einheit gedachte Größe, meist im Zusammenhang einer Wirkung (Einflussfaktor). Ein Indikator ist entweder allgemein ein Hinweis auf etwas anderes oder speziell ein messbares Merkmal von etwas anderem. Im Zusammenhang mit der Fahrkompetenz ist ein Indikator der Fahrkompetenz eine messbare Größe,

von der angenommen wird, dass daraus allein oder in Verbindung mit anderen Indikatoren ein Maß für Fahrkompetenz abgeleitet werden kann. Prädiktoren sind auslösende bzw. verursachende Variablen für eine Zielgröße, die nicht unbedingt als direkte Messgröße dieser Zielgröße (z. B. der Fahrkompetenz) herangezogen werden, jedoch für deren Operationalisierung herangezogen werden können. Prädiktor wird als Begriff verwendet, wenn mit dem Wissen darüber Rückschlüsse auf Zukünftiges abgeleitet werden können.

## 2 Befunde der Verkehrssicherheit

Um in einer Längsschnittstudie herausfinden zu können, welche Einflussfaktoren sich in welchem Maße auf die Unfallkennwerte auswirken, ist die Analyse der Unterschiede von statistisch erfassten Gruppen (Fahranfänger unterschiedlichen Anfangsalters, Frauen/Männer) von besonderer Wichtigkeit, weil wegen der kostendeterminierten Größe der Stichprobe kaum verkehrssicherheitsrelevante Aussagen (insbesondere nicht über Unfälle mit Getöteten) abgeleitet werden können und deshalb nur über die Gruppenanalyse die exakte Verbindung zur letztendlich interessierenden Verkehrssicherheit möglich ist. Wenn sich also beispielsweise aus der Studie ergäbe, dass Fahranfänger mit besonders hohem manuellen Geschick oder mit einer bestimmten Konstellation von Persönlichkeitsmerkmalen besonders schnell die Fahraufgabe beherrschen, dann ließen sich nach Meinung der Autoren aus dieser Erkenntnis solange keine Rückschlüsse für mögliche verkehrspolitische Maßnahmen ableiten, solange nicht eine Verbindung zu amtlich erfassten Merkmalen der Unfallstatistiken hergestellt würde, da einerseits die verkehrspolitischen Maßnahmen im Zusammenhang mit Fahranfängern immer die Reduzierung von deren Unfallzahlen beabsichtigen und andererseits flächendeckende Screenings von speziellen Indikatoren (wie manuelles Geschick, Persönlichkeitsmerkmale) illusorisch erscheinen.

Es werden deshalb im Folgenden die Befunde von Unterschieden der Verkehrssicherheit bezüglich der Merkmale Alter, Geschlecht und Alter beim Fahrerlaubnisenerwerb zusammengestellt.

<sup>7</sup> GRATTENTHALER et al. (2009) sprechen in diesem Zusammenhang von implizitem psychomotorischem Können.

<sup>8</sup> Differenzweg geteilt durch Annäherungsgeschwindigkeit.

## 2.1 Allgemeine Unfallkennwerte und -statistiken

Junge Fahranfänger werden zusammen mit Kindern, Senioren, Fußgängern, Fahrradfahrern und Motorradfahrern zu den schwächeren Verkehrsteilnehmern gezählt, die einer besonderen Aufmerksamkeit bedürfen (BMVI, 2011). Festgemacht wird diese Einschätzung u. a. an Unfallzahlen, die seit vielen Jahren für junge Fahrer auffällig hoch sind. Nach einer Auswertung der Allianz Versicherungs-AG Deutschland werden Pkw-Großschäden von über 1 Millionen Euro Schadenaufwand zu einem überproportionalen Anteil von jungen Fahrern verursacht (KUBITZKI, 2014). Die bei Großschäden polizeilich registrierten Merkmale „männlich, unter Alkoholeinfluss, mit gleichaltrigen Mitfahrern, bei Nacht, im Fahrnunfall, außerorts, vor allem die Mitfahrer ohne Gurt“ (ebd., S. 107) zeichnen ein Bild der Ursache der Auffälligkeit von jungen Fahrern, die auch die veröffentlichte Meinung widerspiegelt: In erster Linie sind motivationale Faktoren die Ursache für die hohe Zahl schwerer Unfälle.

Der hohe Anteil jüngerer Fahrer an sehr schweren Unfällen wird auch an der Zahl der Getöteten bei hauptverursachten Unfällen deutlich. Bild 1 zeigt die Alters- und Geschlechtsverteilung der bei einem Unfall verursachten Gesamtzahl der Getöteten in Deutschland. Deutlich wird, dass Pkw-Fahrer aller Altersgruppen deutlich mehr Getötete bei Unfällen verursachen als Pkw-Fahrerinnen. Bezogen auf die

Altersklassen sind es aber eher die 20-30-Jährigen, die die höchsten Werte zeigen. Auch sind die prozentualen Unterschiede zwischen Frauen und Männern bei allen Altersklassen etwa gleich und insbesondere bei den unter 30-Jährigen nicht besonders auffällig.

Bild 1 spiegelt zwar die tatsächlichen absoluten Verhältnisse wider, lässt aber keine Rückschlüsse auf die Verkehrssicherheit der differenzierten Gruppen nach Alter und Geschlecht zu. Zum einen sind die Gruppen unterschiedlich groß, zum anderen hängt die statistische Zahl der Unfälle auch mit der Fahrleistung zusammen – wer nicht fährt, kann auch keinen Unfall verursachen. Folgerichtig ergibt sich ein anderes Bild, wenn man die Daten auf die Fahrleistung bezieht. Bild 2 gibt die Alters- und Geschlechtsverteilung der bei einem Unfall verursachten Gesamtzahl der Getöteten, bezogen auf die Fahrleistung, wieder. Die Daten wurden aus eigenen Berechnungen auf Basis der Unfallzahlen von 2009 (Statistisches Bundesamt, 2010), unter Hinzunahme von Daten der Fahrleistungserhebung Mobilität in Deutschland im Jahr 2008/2009 (MID 2008-Daten, 2010), abgeleitet. Einerseits stechen

<sup>9</sup> Die Zahlen der 15- bis 20-Jährigen und 20- bis 25-Jährigen wurden durch lineare Interpolation der nicht im Fünfjahresraster veröffentlichten Daten gewonnen. Dies gilt auch für alle folgenden Grafiken.

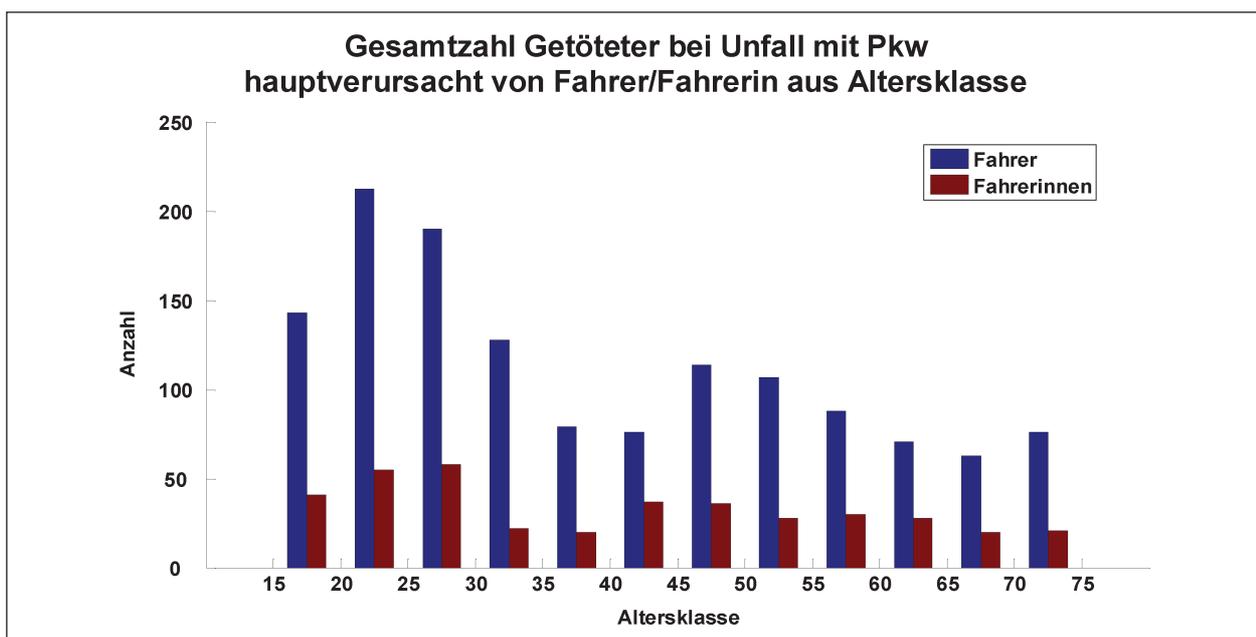


Bild 1: Die von Hauptverursachenden Pkw-Fahrern/Fahrerinnen in Unfällen zu verantwortende Zahl Getöteter nach Altersgruppe. Daten von 2014 (Statistisches Bundesamt, 2016)<sup>9</sup>

die 15- bis 20-jährigen Männer auch nach Bezug auf die Kilometerleistung besonders hervor. Andererseits verringern sich geschlechtsbezogene Unterschiede bei den höheren Altersklassen. Die Kennzahlen fallen bis zum Alter zwischen 40 und 45 Jahren und steigen dann wieder an. Insgesamt verursachten Männer über alle Altersklassen hinweg auf die Kilometerleistung bezogen im Jahr 2009 69 % mehr Getötete als Frauen.

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede drehen sich um, wenn man sich anstatt der Anzahl der Toten die Verunglücktenzahlen (Bild 3) anschaut. Bei den jungen Fahrern sind die Verhältnisse zwischen Männern und Frauen ausgeglichen und in mittleren Altersklassen sind die Kennzahlen bei den Fahrerinnen bis zu doppelt so hoch wie bei den Fahrern. In der Summe verunglücken ca. 8 % weniger Pkw-Fahrer als Pkw-Fahrerinnen bei noch dazu

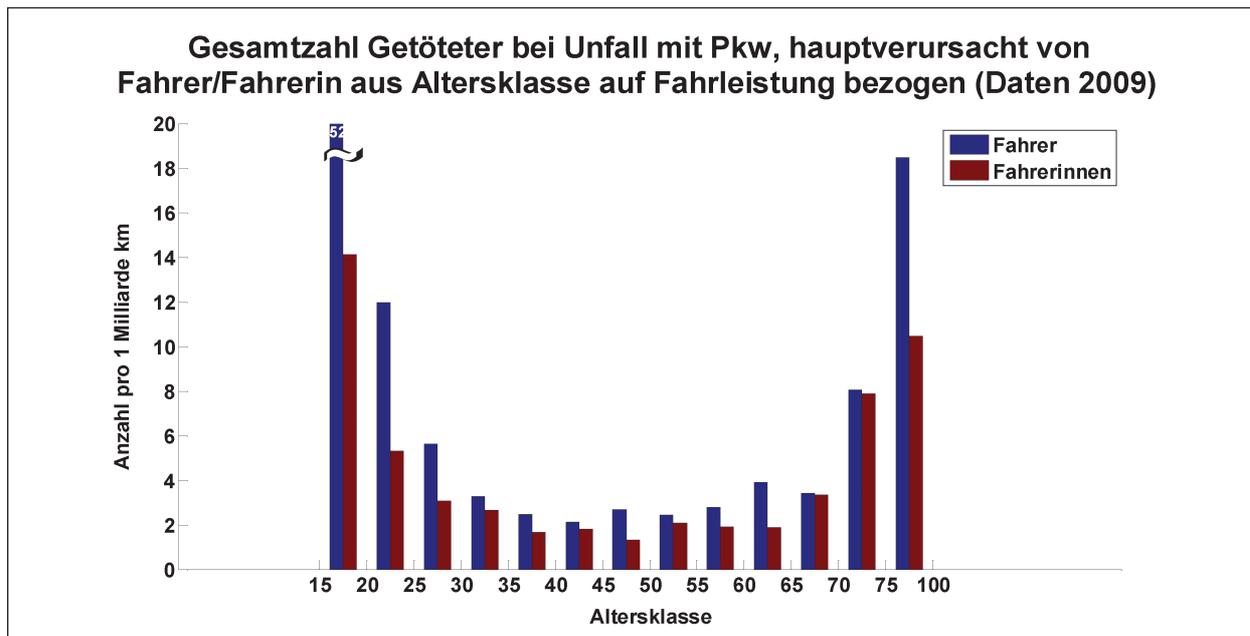


Bild 2: Die von hauptverursachenden Pkw-Fahrern/Fahrerinnen in Unfällen zu verantwortende Zahl Getöteter nach Altersgruppe, bezogen auf die Fahrleistung. Eigene Berechnung aus Daten von 2008/2009 (Statistisches Bundesamt, 2010 und MID 2008-DATEN, 2010)

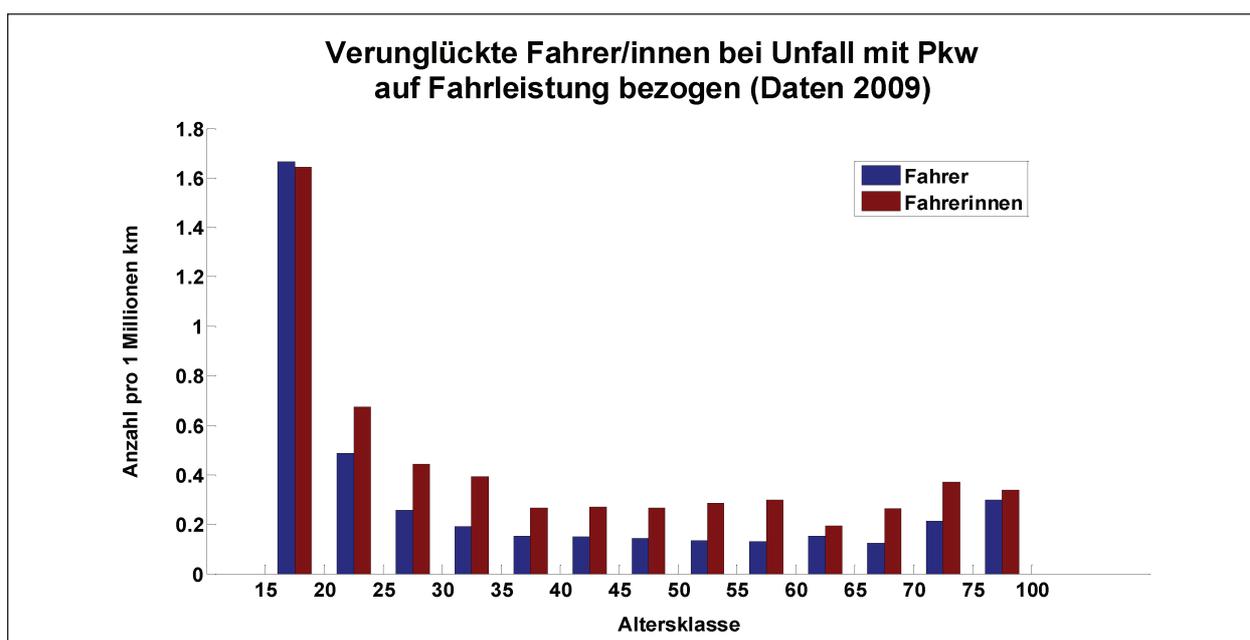


Bild 3: Auf die Fahrleistung bezogene Anzahl verunglückter Pkw-Fahrer und -Fahrerinnen. Eigene Berechnung aus Daten von 2008/2009 (Statistisches Bundesamt, 2010) und MID 2008-DATEN (2010)

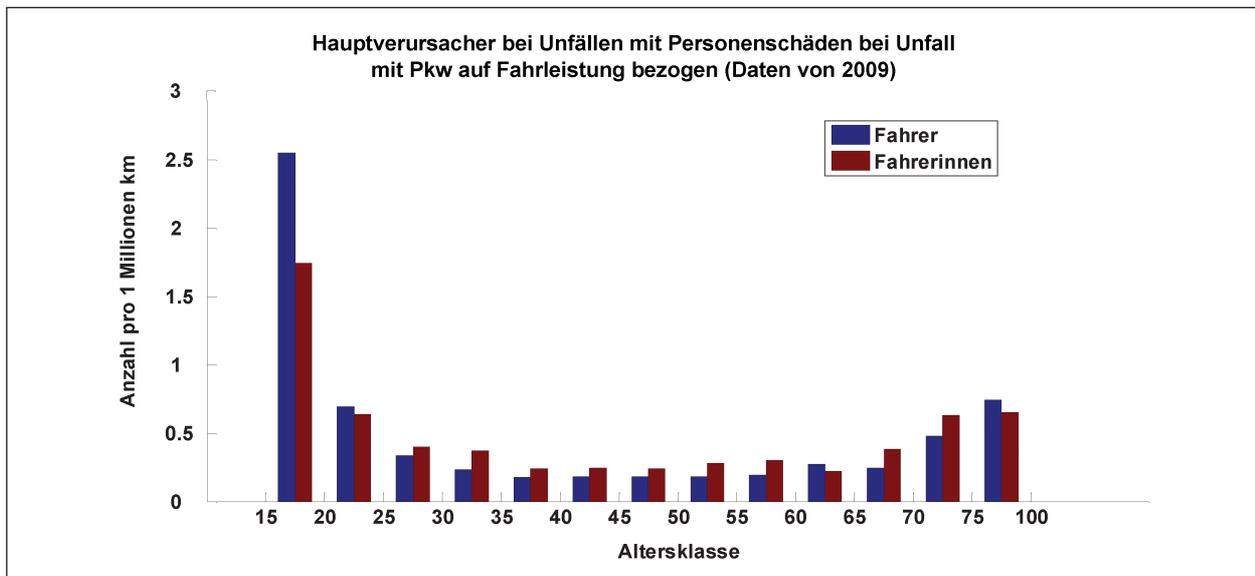


Bild 4: Auf die Fahrleistung bezogene Anzahl der Hauptverursacher bei Unfällen mit Personenschaden. Eigene Berechnung aus Daten von 2008/2009 (Statistisches Bundesamt, 2010) und MID 2008-DATEN (2010)

ca. doppelter Fahrleistung<sup>10</sup> (berechnet aus Statistisches Bundesamt, 2010 und MID 2008-Daten, 2010). Insgesamt war die Verunglücktenrate pro gefahrene Kilometer der Frauen im Jahr 2009 ca. 76 % höher als die der Männer.

Selbst bei den Kennzahlen der Hauptverursacher mit Personenschaden zeigen sich für die Frauen bei fast allen Altersgruppen höhere Häufigkeiten<sup>11</sup> (Bild 4). Allein bei den 15- bis 20-Jährigen sind die Kennzahlen bei den jungen Männern wesentlich höher als bei den jungen Frauen. Ähnliche Befunde werden aus den Niederlanden berichtet (Bild 5).

Allgemein besteht Konsens darüber, dass Männer aggressiver und schneller und damit unsicherer fahren. Warum sind die auf die Exposition bezogenen Daten bei den Frauen in den mittleren Altersklassen – außer bei den schwersten Unfallfolgen – dann so hoch? Antwort kann u. U. ein Blick auf die Fahrleistungen geben (Bild 6).

Die Gesamtfahrleistung der mittleren Altersgruppen ist wesentlich höher als die der Randaltersgrup-

pen<sup>12</sup> und wird wesentlich mehr durch Männer als durch Frauen bestimmt (etwa doppelt so hohe Fahrleistung der Männer). Ein Vergleich mit Bild 3 lässt vermuten, dass die fahrleistungsbezogenen Kennzahlen besser (kleiner) bei den Gruppen sind, die viel fahren. Sogar der Einbruch der summarischen Fahrleistung der Frauen zwischen 30 und 35 Jahren lässt sich als Anomalie in den Kennzahlen von Bild 3 identifizieren. Es erscheint schwierig, die erhöhten Werte der Kennzahlen bei Frauen mittleren Alters gegenüber Männern motivationalen Ursachen zuzuschreiben. Es scheint also so zu sein, dass eine niedrige Fahrleistung zu höheren fahrleistungsbezogenen Werten führen: Wer mehr fährt, fährt statistisch sicherer.

Dies stimmt mit internationalen Befunden überein. Bild 7 zeigt für die Situation in den Niederlanden die Abhängigkeit der fahrleistungsbezogenen Unfallrate von Alter und Fahrleistung (nach LANGFORD et al., 2006). Demnach wird die Unfallrate stark von der Fahrleistung determiniert.

Die Daten deuten nicht nur darauf hin, dass Fahrpraxis (in jedem Alter) mit einer fahrleistungsbezogenen Unfallrisikoreduktion einhergeht, sie zeigen auch fundamentale Unterschiede zwischen den drei Gruppen: junge (< 30), mittelalte und alte (> 75) Fahrer. Während bei den alten und mittelalten Fahrern sich das höhere Risiko erst unterhalb einer jährlichen Fahrleistung stärker bemerkbar macht (Bodeneffekt), scheint das Risiko bei jungen und insbesondere bei den sehr jungen Fahrern gleichmäßiger mit der Fahrpraxis zu fallen. Die Erhöhung

<sup>10</sup> Unabhängig von der Schuldfrage.

<sup>11</sup> Bezogen auf die Fahrleistung sind Frauen (alle Altersgruppen zusammen) im Zeitraum 2008/2009 zu ca. 18 % häufiger Hauptverursacher von Unfällen mit Personenschaden (eigene Berechnungen).

<sup>12</sup> Die Gesamtfahrleistung ergibt sich einerseits aus den individuellen jährlichen Fahrleistungen und andererseits aus der Anzahl der autofahrenden Personen.

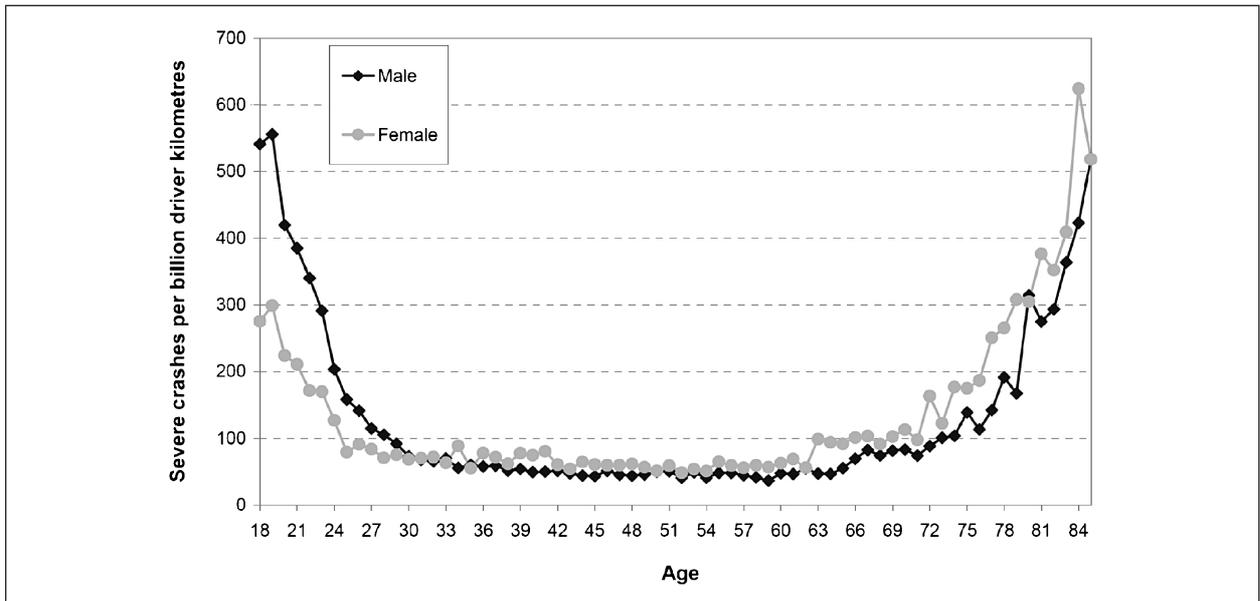


Bild 5: Auf die Fahrleistung bezogene Anzahl schwerwiegender Unfälle, differenziert nach Alter und Geschlecht (von VLAKVELD 2011 aggregierte Daten von 2004 bis 2009 aus den Niederlanden (VLAKVELD 2011, S. 15)

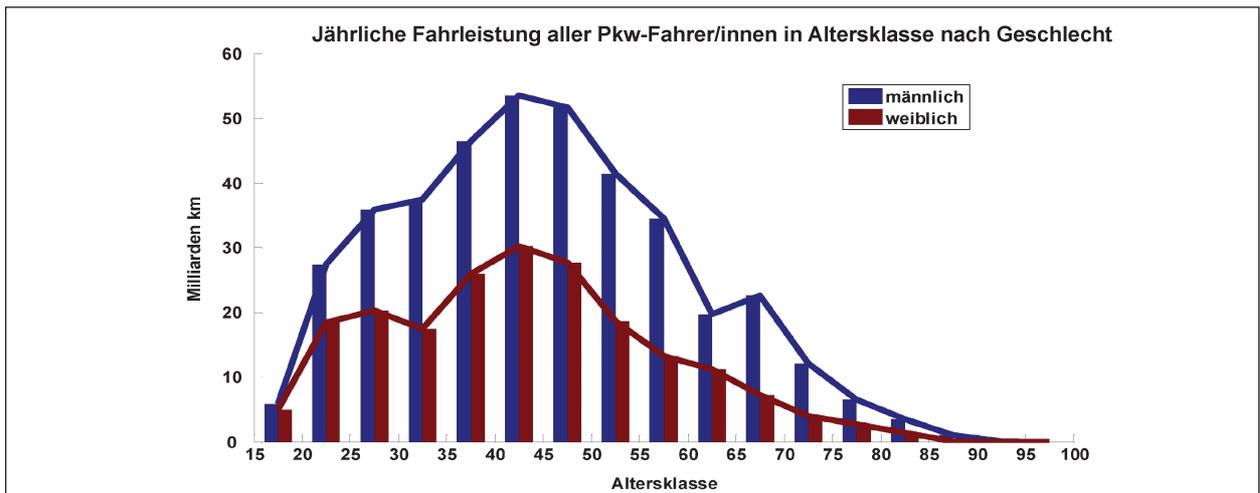


Bild 6: Jährliche Fahrleistung aller Pkw-Fahrer und -Fahrerinnen einer Altersklasse (Fünffjahresraster). Eigene Berechnung aus MID 2008-DATEN (2010)

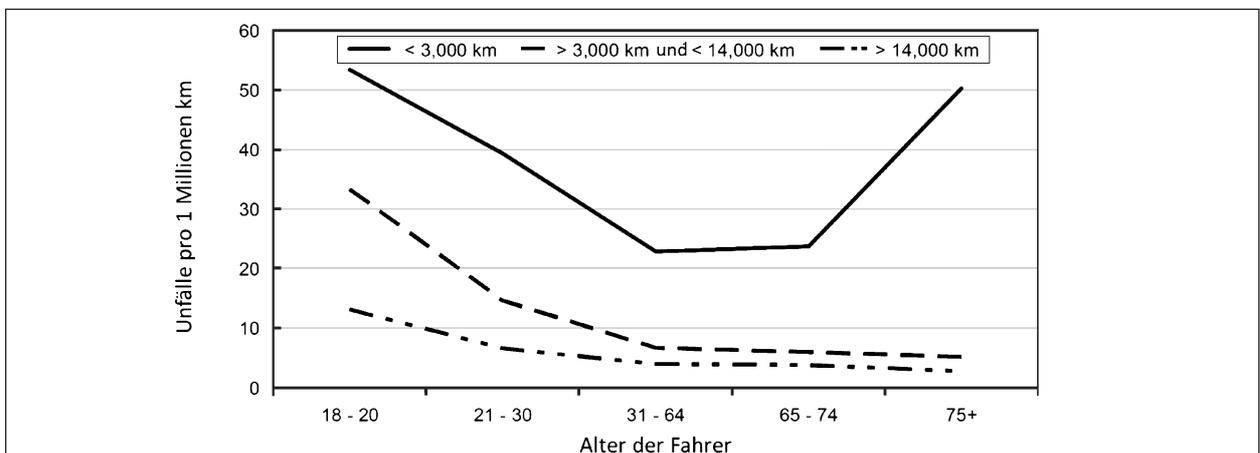


Bild 7: Abhängigkeit der fahrleistungsbezogenen Unfallrate von Alter und Fahrleistung (Daten aus den Niederlanden, Grafik modifiziert nach LANGFORD et al., 2006)

der Unfallraten der jungen Fahrer gegenüber den älteren (bei allen Fahrleistungen) zeigt, dass neben der Fahrleistung noch weitere Faktoren die Unfallraten bestimmen.

Man könnte nun schlussfolgern, dass fehlende Übung Ursache erhöhter Unfallkennwerte ist. Allerdings kann es weitere Faktoren geben, die Unterschiede in den Unfallkennzahlen bei veränderter statistischer Fahrleistung determinieren. Ein Faktor könnten motivationale Einflüsse sein. Man kann sich allerdings schwerlich vorstellen, dass nur besonders vorsichtig oder besonnen fahrende Fahrer mit daraus resultierendem besonders geringem Unfallrisiko in jeder Altersgruppe besonders viel fahren. Dazu gibt es keinerlei Hinweise aus der Literatur. Motivationale Faktoren als Erklärung des generellen Fahrleistungseffekts kann man daher weitestgehend ausschließen.

Die Verkehrssicherheit einer Gruppe von Fahrern hängt aber weiterhin stark von den äußeren Rahmenbedingungen ab. Nach ADAC (2016) ist die auf die Fahrleistung bezogene Unfallrate innerorts etwa 11 mal höher als auf der Autobahn. Umgekehrt ist auf der Autobahn die Wahrscheinlichkeit, dass ein Unfall auch mit Getöteten verbunden ist, ca. 4 mal höher als in der Stadt, auf Landstraßen sogar 5,8 mal höher (ebd.). Wenn also Gruppe A viele lange Autobahnfahrten absolviert und Gruppe B nur in der Stadt unterwegs ist, wird sich dies bei Gruppe A in den Kennwerten in mehr Toten, aber weniger Verunglückten als bei Gruppe B niederschlagen.

Weitere Einflüsse auf die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls sind die Wetterlage, die Helligkeit, die Tageszeit, die Verkehrslage, die gefahrene Geschwindigkeit (bei gleichen anderen Randbedingungen), die Bekanntheit der Strecke, die Sicherheitsausstattung des gefahrenen Fahrzeugs und vieles mehr. Wir werden dies im weiteren Fahrkontext nennen. Der Fahrkontext ist selbstgewählt. Daneben gibt es noch einen Verkehrskontext, der auch äußere Einflüsse einschließt. Viele Einflüsse auf die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls können in ihrer Auftretenshäufigkeit durch Motivregulation gesteuert werden, wenn sie nicht durch äußere Zwänge (z. B. berufliche Vorgaben) vorgegeben sind. Von älteren Fahrern ist bekannt, dass sie diese Mechanismen der Beeinflussung des Kontextrisikos in starkem Maße nutzen (ENGELN & SCHLAG, 2008).

Eine mögliche Erklärung der Befunde für die Unterschiede zwischen den Kennzahlen von Frauen und Männern im mittleren Alter wäre demnach, dass Männer mehr Kilometer fahren, dies aber überwiegend auf der Autobahn und häufig auch in der Nacht. Dies hat hohe Kennzahlen bei schweren Unfällen mit Toten zur Folge, aber kleine Kennzahlen bei den leichteren Unfällen. Frauen fahren hingegen im Schnitt weniger und eher in der Stadt und am Tag, mit dem gegenteiligen Effekt auf die Unfallkennzahlen. Diese Hypothese wird einerseits gestützt durch die Verteilung der Unfallzahlen innerorts gegenüber den Zahlen bei Autobahnfahrt (Bild 8) und anderer-

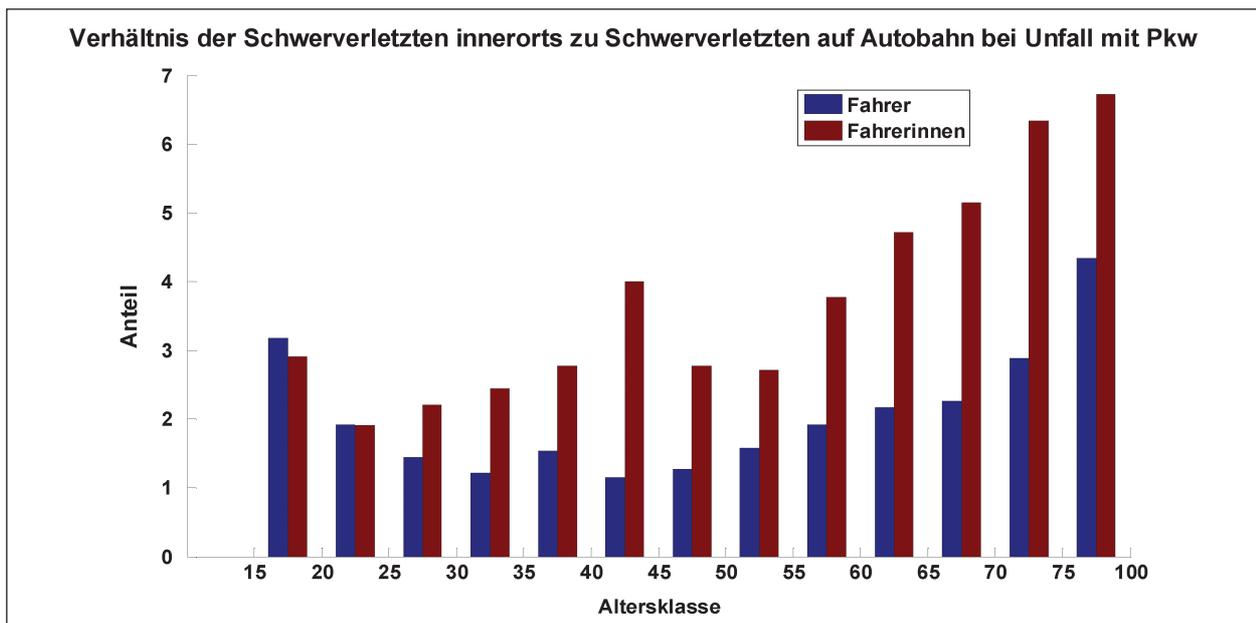


Bild 8: Verhältnis der Schwerverletztenzahlen innerorts zu den Schwerverletztenzahlen auf Autobahnen. Eigene Berechnungen aus Daten von 2014 (Statistisches Bundesamt, 2016)

seits durch die Analyse der Zeiten, in denen gefahren wird (Bild 9).

In Bild 8 sieht man, dass beispielsweise in der Altersklasse 45 bis 50 Frauen ca. dreimal so häufig innerorts schwerverletzt sind als auf Autobahnen. Bei den Männern dieser Altersklasse ist das Verhältnis wesentlich kleiner (ca. 1,5). Man kann vermuten, dass dies darauf zurückzuführen ist, dass Frauen im Vergleich zu den Männern mehr innerorts als auf Autobahnen fahren. Aus Bild 9 erkennt man, dass Frauen im Mittel weniger viel in der Nacht fahren als Männer.

Zusammenfassend kann man sagen, dass aus dem Vergleich der Unfallkennzahlen von Frauen und Männern im mittleren Alter vermutet werden kann, dass statistisch gesehen die Fahrleistung und der Fahr- bzw. Verkehrskontext die Unfallraten beeinflussen, dass aber die Unterschiede in den Altersklassen auf weitere Faktoren, wie Fähigkeiten, Fertigkeiten und Motivstrukturen hinweisen.

So könnte man die Unterschiede der Unfallkennzahlen von Frauen und Männern im mittleren Alter auch mit einer zweiten Hypothese erklären: Sie postuliert, dass Männer generell aggressiver und schneller

fahren als Frauen und deshalb mehr tödliche Unfälle verursachen. Frauen hingegen fahren vorsichtiger, können aber generell schlechter Autofahren und üben auch weniger und verursachen deshalb proportional mehr Unfälle, die aber leichter sind.

FORSYTH et al. (1995) geben als mögliche Ursache der Unterschiede zwischen Frauen und Männern an, dass Frauen das Auto eher als Transportmittel nutzen und Männer (insbesondere die jüngeren) auch gerne fahren um des Fahrens willen. Dies wird in gewisser Weise durch Beobachtungen von STIENSMEIER-PELSTER (2007) im Rahmen der Evaluierung des niedersächsischen Modellversuchs des Begleiteten Fahrens mit 17 bestätigt, der bei den Fahranfängerinnen gegenüber den Fahranfängern die Nutzung von sicheren und neueren aber dafür nicht so hochmotorisierten Autos identifiziert.

Generell lässt sich der spezifische Einfluss der vier Haupteinflussgrößen Fähigkeiten/Fertigkeiten, Übung, Verkehrskontext und Motivregulation nicht eindeutig aus den Unfalldaten schließen. Dies liegt vor allem daran, dass es einerseits nicht ausreichend differenzierte Fahrleistungsdaten mit Informationen über den Verkehrskontext gibt, und andererseits der Einfluss von Fähigkeiten und Fertigkeiten (losgelöst vom Verkehrskontext) auf Unfallkennziffern schwer zu ermitteln ist.

Im Rahmen der vorliegenden Studie sind insbesondere die Daten der jungen Pkw-Fahrer in der jüngsten Altersklasse interessant, da die meisten Fahr-

<sup>13</sup> Die großen Schwankungen bei höheren Altersklassen sind auf Datenunsicherheiten zurückzuführen.

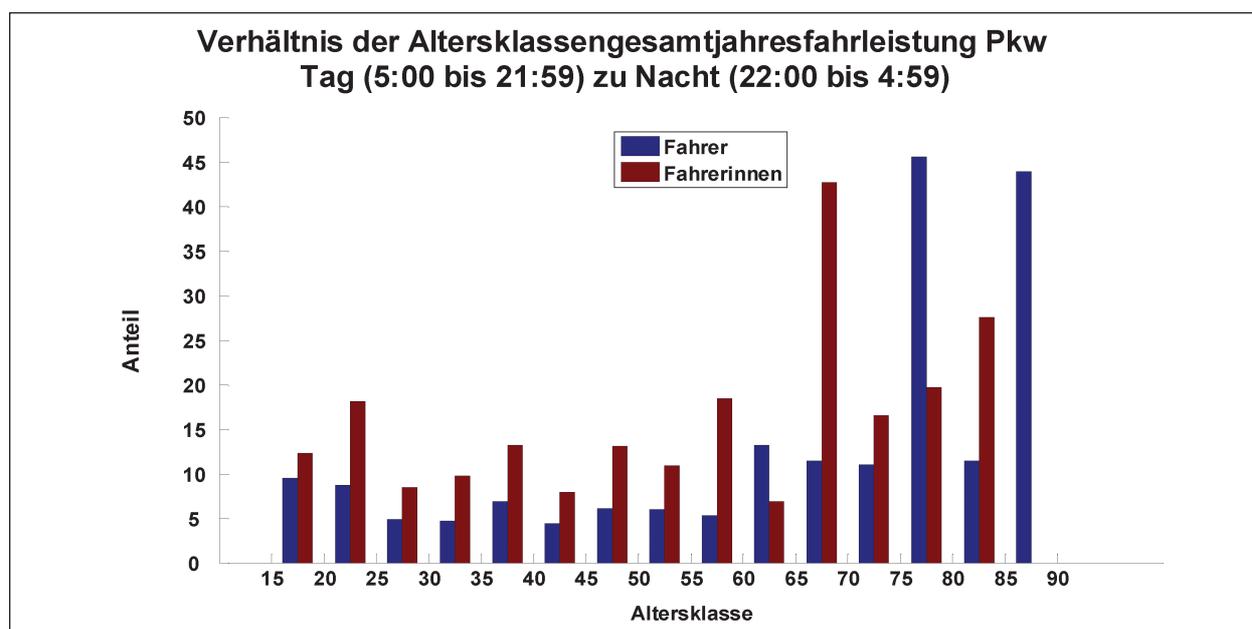


Bild 9: Verhältnis der Altersklassengesamtjahresfahrleistung Pkw von Tagfahrt (5:00 Uhr bis 21:59 Uhr) zu Nachtfahrt (22:00 Uhr bis 4:59 Uhr). Eigene Berechnungen aus MID 2008-DATEN (2010)<sup>13</sup>

anfänger aus dieser Altersklasse stammen. Abgeleitet aus der obigen Analyse kann man zusammenfassen:

- 15- bis 20-Jährige fahren weniger als 30- bis 65-jährige Fahrer (Bild 6)<sup>14</sup>.
- Junge Männer fahren nur etwas häufiger als junge Frauen (ca. 12 %<sup>15</sup>, siehe Bild 6).
- 15- bis 20-jährige Männer haben mit weitem Abstand den höchsten Index bezüglich der fahrleistungsbezogenen hauptverursachten Getötetenzahlen (4,3-fach größer als bei den 20- bis 25-jährigen und 24,5-fach höher als bei den 40- bis 45-jährigen Männern, siehe Bild 2). Aber auch die Zahlen der 15- bis 20-jährigen Frauen sind wesentlich höher als in anderen Altersgruppen (Faktor 2,6 gegenüber den 20- bis 25-jährigen und Faktor 7,7 gegenüber den 35- bis 40-jährigen Frauen).
- Bei der fahrleistungsbezogenen Anzahl von Verunglückten sind die Kennzahlen junger Männer und junger Frauen in der Altersklasse 15 bis 20 etwa gleich hoch, aber etwa 8 mal so hoch wie in der Altersklasse der 35- bis 40-Jährigen (Männer und Frauen zusammen, siehe Bild 3).
- 15- bis 20-Jährige (Männer und Frauen zusammen) sind ca. 7 mal häufiger Hauptverursacher von Unfällen mit Personenschaden als 35- bis 40-Jährige, wobei die jungen Männer ca. 46 % höhere Werte als die gleichaltrigen Fahrerinnen aufweisen (siehe Bild 4).

Insgesamt zeigt die Analyse, dass junge Fahrer im Alter zwischen 15 und 20 insgesamt gegenüber den mittleren Altersklassen wesentlich höhere Werte von fahrleistungsbezogenen Unfallkennwerten zeigen (Männer wie Frauen). Die Unfallkennwerte der hauptverursachenden jungen Männer sind teilweise wesentlich höher als die der jungen Frauen (bei Unfällen mit Todesfolge), teilweise etwa gleich (bei Personenschaden der Fahrer).

<sup>14</sup> Bild 6 täuscht, da die Anzahl der Fahrer zwischen 15 und 18 Jahren nur gering ist. Tatsächlich haben 15- bis 20-Jährige im Mittel 53 % (Männer) bzw. 84 % (Frauen) der Fahrleistung im Vergleich zu der Gruppe der 30- bis 35-Jährigen (Eigene Berechnungen aus MID-DATEN, 2010).

<sup>15</sup> Nach FUNK et al. (2012) liegen die Unterschiede zwischen Männern und Frauen bei Fahranfängern im ersten Jahr bei ca. 23 %.

<sup>16</sup> Wenn geschlechtsspezifische Unterschiede keine Rolle spielen wird aus Gründen der Lesbarkeit nur die männliche Form verwendet.

## 2.2 Verkehrssicherheit von Fahranfängern

Bisher wurde die Verkehrssicherheit in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht vorgestellt. Primäres Untersuchungsziel der vorliegenden Studie sind aber die Fahranfänger<sup>16</sup>. Zwar sind die meisten Fahranfänger auch jung, aber zum einen gibt es auch ältere Fahranfänger und zum anderen ist die obige Alterseinteilung in 5-Jahres-Klassen zu grob für eine differenzierte Analyse der Fahrkompetenzentwicklung am Anfang der selbstständigen Fahrpraxis.

Der starke Abfall der Kennwerte der Verkehrssicherheit mit dem Alter, wie in den obigen Grafiken verdeutlicht, findet sich auch bei der Analyse der Verkehrssicherheit von Fahranfängern unmittelbar nach Erlangung des Führerscheins. Bild 10 zeigt die Ergebnisse einer Studie aus Norwegen, in der ca. 10.000 Fahranfänger über Fragebogen nach Unfällen und Fahrleistung befragt wurden (SAGBERG, 2000).

Eine qualitativ gleiche Abnahme, bei einem größeren Betrachtungszeitraum, zeigen die Untersuchungen von SCHADE (2001) anhand der Analyse von Unfalleintragungen in das Verkehrszentralregister (Bild 11). Die Analyse basiert auf Daten von 5.205 Fahranfängern und 6.095 Fahranfängerinnen der Führerscheinklasse 3 aus dem Jahr 1987 über einen Zeitraum von 4 Jahren. Bei der Berechnung ging SCHADE davon aus, dass die Fahrleistung in diesen ersten 4 Jahren konstant bleibt, wobei für Männer eine etwa 37 % höhere Fahrleistung angenommen wurde. SCHADE bemerkt aber, dass diese Annahme möglicherweise falsch ist. Die Befunde aus den MiD-2008-Daten (2010) zeigen, dass die Fahrleistung in den ersten Jahren stark ansteigt. Man kann davon ausgehen, dass dies auch Ende der 80er Jahre der Fall war. Die Annahme von SCHADE ist deshalb in der Tat wahrscheinlich falsch.

In neueren Fahrleistungserhebungen von Fahranfängern (FUNK et al., 2012) sind die Unterschiede zwischen Männern und Frauen geringer (ca. 23 %) und die ermittelten Fahrleistungsdaten im ersten Jahr liegen ca. 50 % unter den von SCHADE angenommenen. FUNK et al. (2012) zeigen, dass die monatliche Fahrleistung ab dem ersten Monat ansteigt. Sie ermitteln eine mittlere Jahresfahrleistung (Männer und Frauen zusammen) von ca. 10.000 km. Noch kleiner sind die Werte von SCHADE

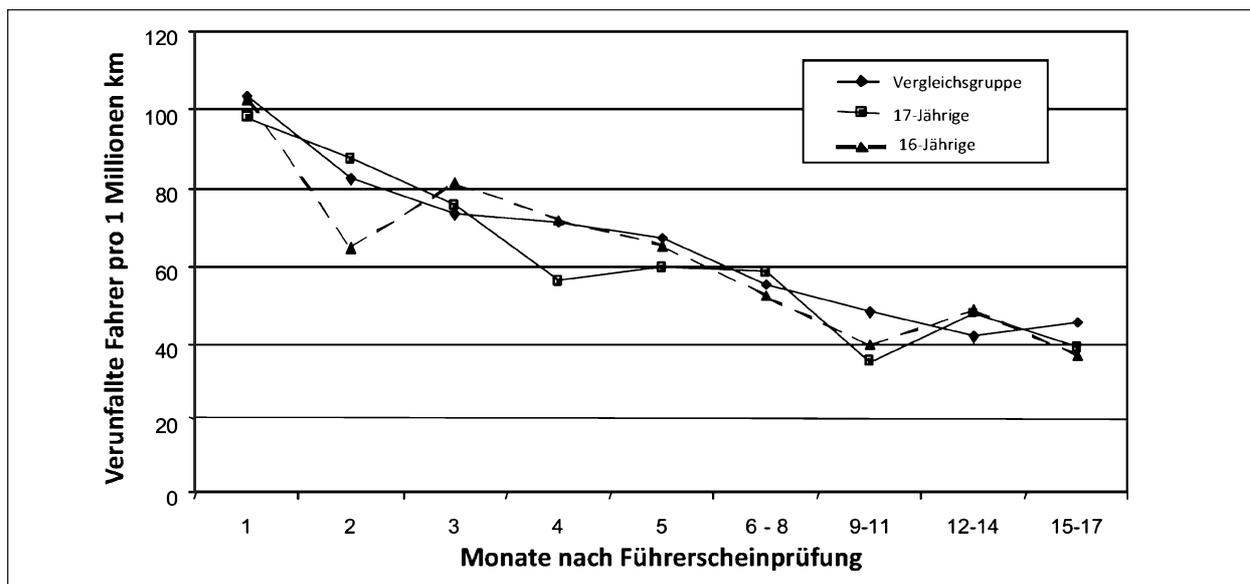


Bild 10: Auf die Fahrleistung bezogene Anzahl verunfallter Fahranfänger unterschiedlichen Alters bei Fahrerlaubniswerb in den ersten Monaten der selbstständigen Fahrpraxis. Befragungsstudie mit 10.300 Befragten (Grafik modifiziert nach SAGBERG, 2000)<sup>17</sup>

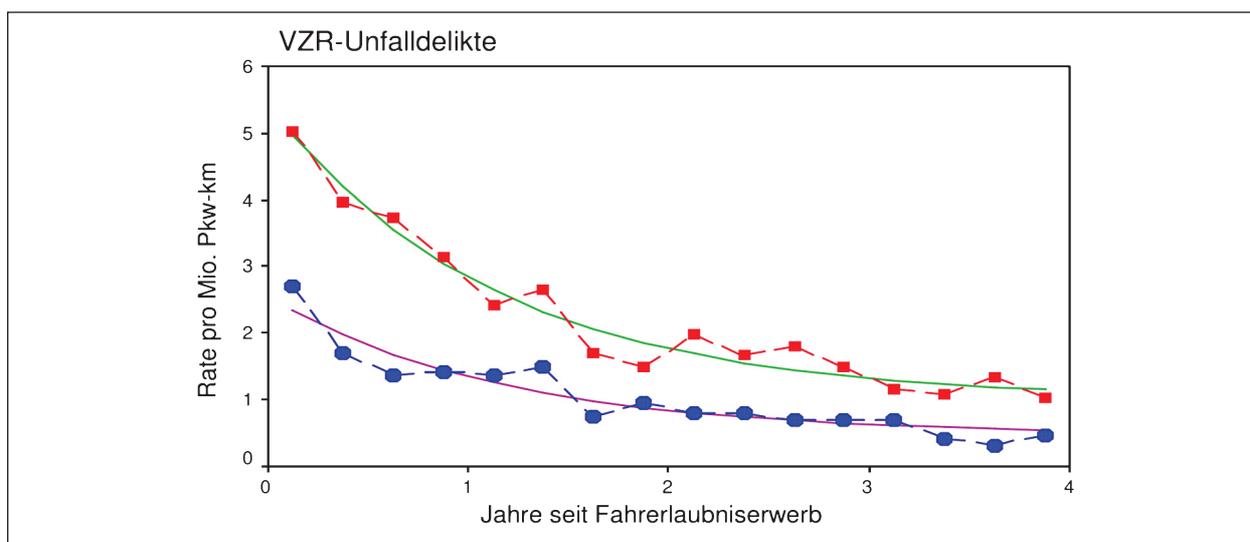


Bild 11: Auf die Fahrleistung bezogene Rate von Eintragungen von Unfällen pro Quartal mit Einträgen in das Verkehrszentralregister weiblicher (unten) und männlicher (oben) Fahranfänger der Führerscheinklasse 3 aus dem Jahr 1987. 5.205 Männer und 6.095 Frauen (aus SCHADE 2001, S. 4)

et al. (2011) mit rund 8.500 km, die etwa mit den Erhebungen von STIENSMEIER-PELSTER (2007) übereinstimmen. Allerdings beruhen die eben berichteten Fahrleistungsdaten auf selbstberichteten

summarischen Einschätzungen. Aus der differenzierteren Fahrleistungserhebung MiD 2008 ergibt sich, dass sich die jahresbezogene Fahrleistung in den ersten 4 Jahren der Fahrpraxis etwa verdoppelt (siehe Gleichung 1). Die in Bild 11 dargestellten Raten werden also in Realität, insbesondere am Anfang der selbstständigen Fahrpraxis, stärker abfallend gewesen sein.

VLAKVELD (2011) zeigt in seiner Dissertation, dass dieses Gesetz der kontinuierlichen Abnahme der

<sup>17</sup> Die Skala ist ab Monat 6 nichtlinear. In der Untersuchung wurden unterschiedliche Anfangsalter für den Fahrpraxiserwerb (BF17) untersucht. In der Vergleichsgruppe waren die Fahranfänger zwischen 18 und 20 Jahre alt. Die Unterschiede sind für die folgenden Betrachtungen nicht von Belang.

Unfallkennziffern sogar für ca. 25 Jahre der Fahrpraxis gilt und in Form einer Potenzfunktion modelliert werden kann (Bild 12).

Dieses Potenzgesetz ändert sich mit dem Alter, in dem die Fahrprüfung abgelegt wurde. Bild 13 zeigt, dass bei gleicher jährlicher Fahrleistung das Anfangsrisiko unmittelbar zu Beginn des selbst-

ständigen Fahrens mit dem Alter fällt. Dies wird gewöhnlich mit Jugendlichkeitsrisiko bezeichnet, da der Abfall der Unfallrate mit dem Alter nur vom Alter abhängt. Der oben gezeigte Abfall der Unfallhäufigkeit mit der Fahrpraxis ist bei jedem Alter des Fahrerlaubnisenerwerbs sehr hoch, wobei er mit zunehmendem Alter des Fahrerlaubnisenerwerbs geringer wird.

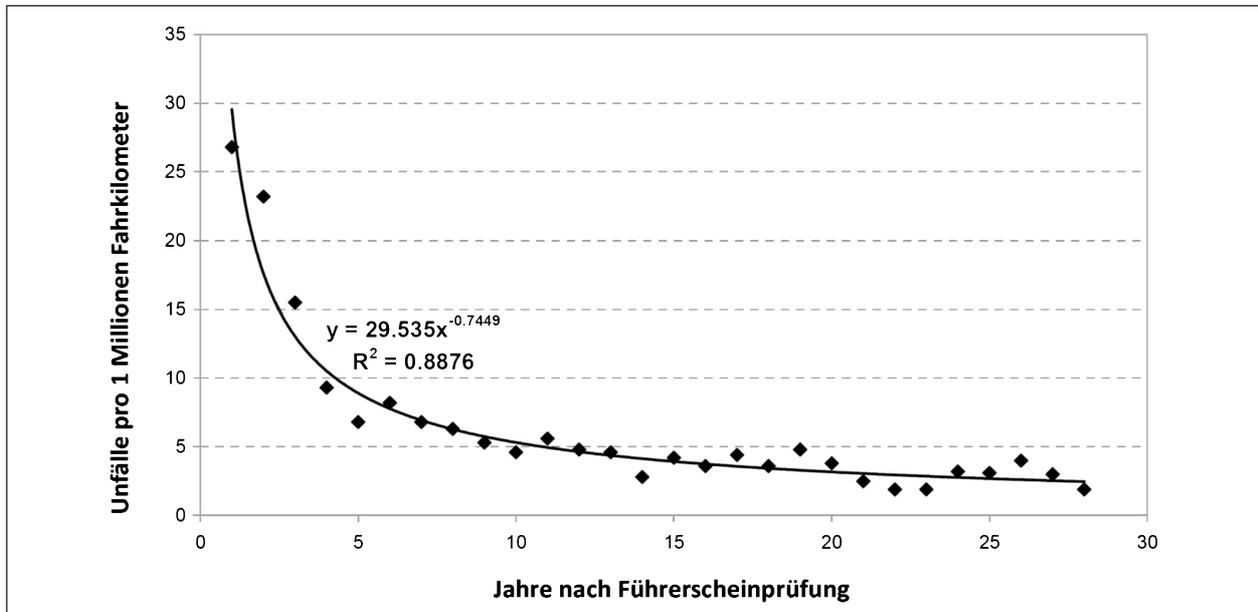


Bild 12: Unfallrate bezogen auf Fahrkilometer. Modifizierte Grafik aus Berechnungen von VLAKVELD (2011) auf Basis von Daten aus VLAKVELD (2005)

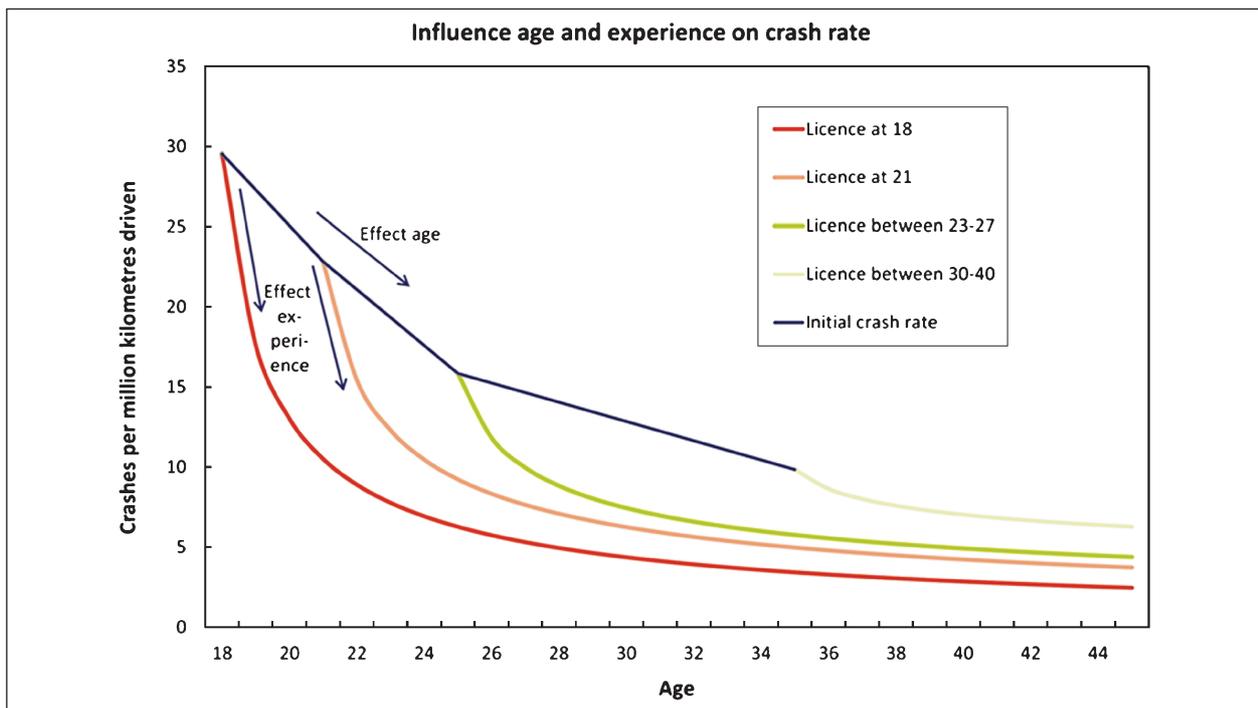


Bild 13: Einfluss von Alter und Fahrerfahrung auf die Unfallgefährdung (aus SWOV, 2016, S. 2, Quelle: periodische Straßensicherheitsberichte 1990-2001 in den Niederlanden verarbeitet in VLAKVELD, 2005). Dargestellt sind nicht die Daten, sondern Approximationskurven

Demnach ist nicht nur das Unfallratengefälle zu Beginn des selbstständigen Fahrens mit zunehmendem Alter beim Fahrerlaubniswerb geringer, sondern die Kurven fallen insgesamt nicht so stark ab. Die Kurven der Unfallraten der Spätlernenden sind flacher. Das führt dazu, dass sich die Kurven der Unfallraten bezogen auf den Beginn des selbstständigen Fahrens kreuzen (Bild 14).

Wenn die Daten von VLAKVELD (2005) stimmen, bedeutet dies, dass ein Fahrerlaubniswerb in jungen Jahren zwar hohe Anfangsunfallraten bewirkt, diese über lange Sicht in der Summe aber zu einem geringeren Lebensunfallrisiko führt als bei Gruppen mit einem späteren Führerscheinwerb. Das heißt, dass junge Fahranfänger zwar ein höheres Anfangsrisiko haben, dafür aber schneller lernen.

Zum Teil kann dies u. U. durch neurophysiologischen Befunde erklärt werden. Die Entwicklung des Gehirns dauert mindestens bis Mitte Zwanzig (GLENDON, 2011), wobei das weibliche Gehirn bis zu einem Alter von 22 Jahren einen Reifvorsprung von 3 bis 4 Jahren hat, was von den Männern erst mit Ende 20 aufgeholt wird (BENES et al., 1994). Dabei verläuft die Reifung der unterschiedlichen Hirnareale ungleichmäßig. Der präfrontale Kortex, zuständig für Handlungskontrolle, Planen oder höhere kognitive Funktionen, entwickelt sich langsamer als der sensumotorische Kortex und subkortikale Hirnareale (KONRAD et al., 2013). Nach einem Modell von CASEY et al. (2008) lässt sich die höhere Risikofreude von Jugendlichen und jungen Erwachsenen mit einem Ungleichgewicht des für Emotionen zuständigen vollentwickelten limbischen Systems bei gleichzeitig verzögerter Entwicklung des präfrontalen Kontrollsystems erklären (KONRAD et al., 2013). Warum die Lernkurven bei Jüngeren steiler verlaufen, lässt sich damit allerdings nicht erklären. U. U. bedeutet die Nichtausgereiftheit auch eine höhere Plastizität des Gehirns und damit höhere Lernfähigkeit.

Nicht auf die Kilometerleistung, sondern auf die Anzahl der Fahrer bezogen, sind die Ergebnisse der Untersuchungen von CURRY et al. (2014). Es wurden die Daten von 410.230 Fahranfängern (Daten von 2006 bis 2009) in der ersten Phase des selbstständigen Fahrens unter der sogenannten intermediate license<sup>18</sup> bezüglich des Alters beim Fahrerlaubniswerb in Gruppen eingeteilt und die Unfallrate pro 10.000 Fahrer je Monat errechnet. Wie man sieht, sind schon bei wenigen Monaten Unterschied im Alter beim Fahrerlaubniswerb Unterschiede in der Anfangsrate sichtbar. Die Raten gleichen sich nach ca. zwei Jahren Fahrpraxis an – allein die Unfallrate der Gruppe, die zum frühestmöglichen Anfang das restringierte selbstständige Fahren beginnt, liegt darunter. Das deutet wegen der kurzen Zeitspanne zur nächstälteren Gruppe (2 bis 5 Monate) auf einen persönlichkeitsbasierten Selbstselektionsprozess hin. Problematisch an der Untersuchung ist, dass keine Exposition erfasst wurde.

<sup>18</sup> Die Fahranfänger dürfen alleine fahren, es gibt aber einige Beschränkungen (z. B. ist Fahren zwischen 23 Uhr und 5 Uhr nicht erlaubt). Frühestes Alter dieser Phase ist 17 Jahren. Ab 16 Jahren darf mit der Fahrausbildung begonnen werden.

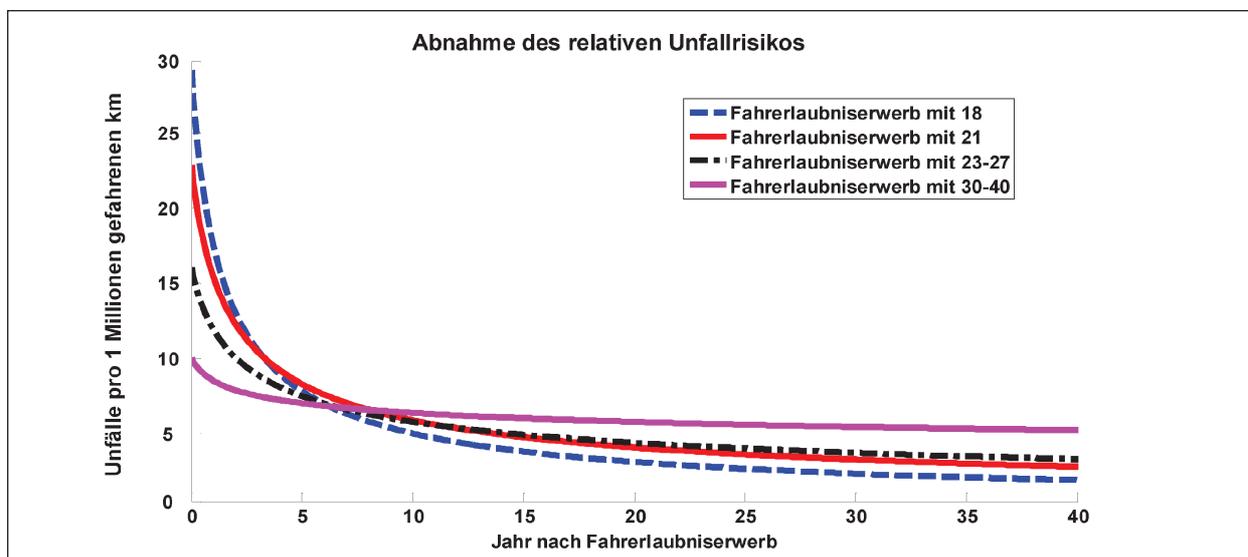


Bild 14: Einfluss von Alter und Fahrerfahrung auf die Unfallgefährdung (eigene Berechnung, abgeleitet aus der Grafik von Bild 13)

Die Unterschiede zwischen jungen und älteren Fahranfängern könnten offensichtlich auch über einen Selbstselektionsmechanismus erklärt werden, wenn also in der Regel insbesondere die Vorsichtigen aber auch langsam Lernenden sich zu einem späten Beginn der Fahrschul Ausbildung entschließen oder besondere Lebensumstände bei den Fahrern mit späterem Fahrerlaubnis erwerb vorliegen. Schließlich könnte es auch sein, dass diese Fahrer besonders wenig fahren und deshalb die Unfallkennwerte nicht so stark fallen. Als vierte Möglichkeit käme noch in Frage, dass sich aus der Fahraufgabe eine Kopplung von Anfangsrisiko und Risikoabnahmegeschwindigkeit ergibt. Das wäre dann der Fall, wenn eine hohe Lerngeschwindigkeit für das Fahrenkönnen (Fahrvermögen) aus lernpsychologischen und lernphysiologischen Gründen beim selbstständigen Üben nur über den Weg der Inkaufnahme erhöhten Risikos ermöglicht ist. Demnach wäre ein exploratives Handeln Voraussetzung für eine spätere hohe Expertise.

Zusammenfassend zeigen die veröffentlichten Befunde, dass sich die größten Änderungen in Unfallkennziffern von Fahranfängern in den ersten Monaten des selbstständigen Fahrens zeigen. Für eine Untersuchung des zeitlichen Verlaufs der Fahrkompetenzerhöhung ist deshalb eine hohe Dichte von Evaluierungszeitpunkten ganz zu Beginn des selbstständigen Fahrens notwendig. Aus den Unfallkennziffern deutet nichts darauf hin, dass sich der Lernprozess in Stufen vollzieht. Nach den Daten von VLAKVELD (2011) dauert der Lern-

prozess bezogen auf die Unfallwahrscheinlichkeit mindestens 25 Jahre. Dies ist allerdings eine summarische Sicht und bedeutet nicht, dass einzelne Teilprozesse kleinere Lernzeitkonstanten haben.

Gemeinsam ist den vorgestellten Unfallkennziffern der jungen Fahranfänger, dass sie mit dem Alter abnehmen, allerdings variieren die Abfallraten. Das liegt zum einen daran, dass sie auf unterschiedliche Werte bezogen sind (Personenanzahl, Fahrleistung). Zudem sind die Fahrleistungen vielfach nur aus einer Selbstauskunft abgeleitet. Ferner gibt es verschiedene Klassen von Unfällen (Unfälle mit mindestens Sachschaden, Unfälle mit Personenschaden, Unfälle mit Schwerverletzten, etc.). Bei SCHADE (2001, siehe Bild 11) halbieren sich die Unfallkennwerte nach 13 Monaten. Wenn man die falsch angenommenen Fahrleistungsentwicklungen korrigiert, kann man berechnen, dass dies nach ca. neun Monaten der Fall ist. Bei SAGBERG (Bild 10) halbieren sich die Unfallkennziffer nach ca. acht bis zehn Monaten des selbstständigen Fahrens. Bei CURRY et al. (2014, siehe Bild 15) halbieren sich die Unfallraten (allerdings auf Personen bezogen) bei der Gruppe mit dem frühestmöglichen Fahrerlaubnis erwerb nach ca. 14 Monaten. Wenn man davon ausgeht, dass die Fahrleistung in dieser Zeit (ähnlich wie in Deutschland) steigt, kann man vermuten, dass die Halbierung der fahrleistungsbezogenen Unfallraten schneller erreicht wäre (ca. nach zehn bis zwölf Monaten). Wenn man Fahrleistungsdaten der Fahranfänger wie in Deutschland annähme, ergäbe sich eine Halbierung nach ca. 12

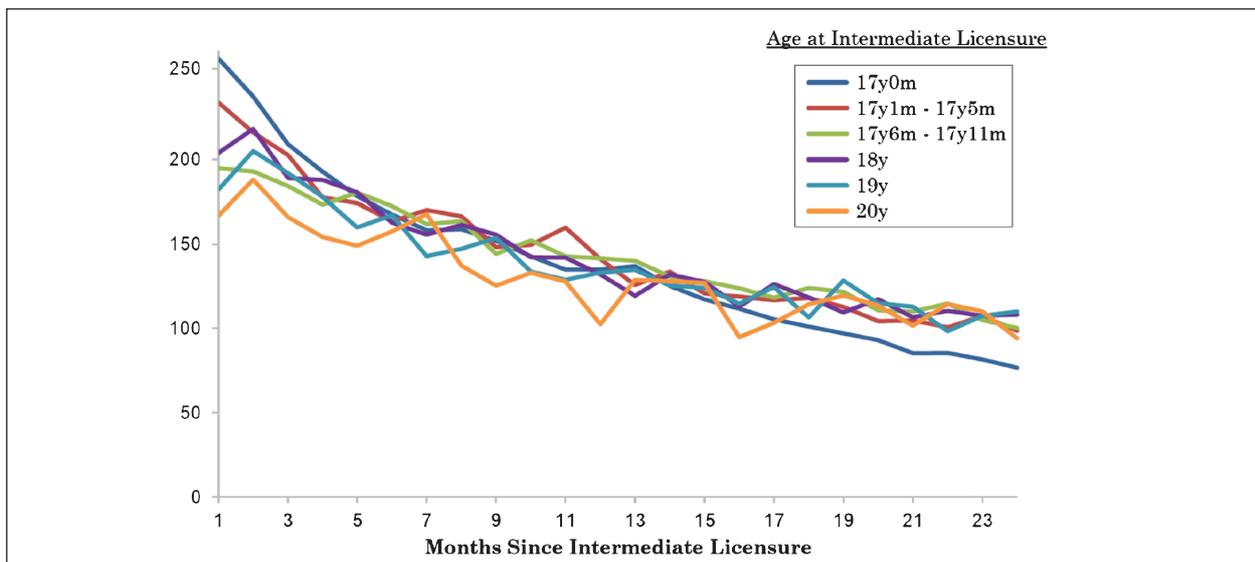


Bild 15: Einfluss von Alter und Fahrerfahrung auf die Unfallgefährdung während der ersten Zeit des restringierten Fahrerlaubnis erwerbs in New Jersey, USA. Unfallrate pro 10.000 Fahrer und Monat. Datengrundlage: N = 410.230 Fahranfänger in den Jahren 2006 bis 2009 (CURRY et al. 2014, S. 9)

bis 15 Monaten. Zusammenfassend weisen die meisten Befunde darauf hin, dass sich die fahrleistungsbezogene Rate für einen allgemeinen Unfall nach ca. 9 bis 14 Monaten halbiert ist, wobei die Mehrzahl der Befunde auf eine Halbwertszeit von 9 bis 11 Monaten hinweisen. Bei älteren Fahranfängern ergeben sich höhere Halbwertszeiten. Nach Umwandlung der Grafik Bild 13 aus SWOV (2016) in Daten lassen sich auch diese höheren Halbwertszeiten errechnen. Es ergibt sich eine 1,6-fach erhöhte Halbwertszeit bei Fahranfängern mit 20 Jahren gegenüber den Fahranfängern, die mit 18 Jahren mit der Fahrausbildung beginnen. Bei den Fahranfängern zwischen 23 und 27 Jahren ist die Halbwertszeit 2,6-fach so groß.

Diese für allgemeine Unfälle gemeldeten Halbwertszeiten sind u. U. bei anderen Klassen von Unfällen unterschiedlich. GRATTENTHALER et al. (2009) berichten über Ergebnisse von McCARTT et al. (2003), die eine Halbierung der fahrleistungsbezogenen Unfallraten bei besonders schweren Unfällen schon nach zwei bis drei Monaten der selbstständigen Fahrpraxis feststellen konnten.

### 2.3 Zusammenfassung Befunde der Verkehrssicherheit

Es wurden Befunde zur Verkehrssicherheit von Autofahrern differenziert nach Alter und Geschlecht vorgestellt. Außerdem wurde untersucht, wie sich die Verkehrssicherheit speziell bei Fahranfängern darstellt. Generell fallen die Unfallkennziffern nach Beginn der selbstständigen Fahrpraxis kontinuierlich ab. Dies gilt für Frauen wie für Männer. Die auf die Fahrleistung bezogenen Unfallkennziffern folgen einem Exponential- bzw. Potenzgesetz mit abfallenden Raten vom ersten Tag der selbstständigen Fahrpraxis an. Dieser Prozess dauert 25 bis 30 Jahre. Besonders hohe Abfallraten finden sich bei den auf die Kilometerleistung bezogenen Getötetenzahlen der männlichen jungen Fahrer. Junge männliche Fahranfänger sind überproportional stark gefährdet, in einem Unfall getötet zu werden. Generell sind männliche Fahrer bezüglich des Risikos tödlich zu verunfallen stärker gefährdet als weibliche. Bezogen auf Kennziffern von Verunglücktenzahlen sind dagegen Frauen mehr gefährdet. Die Ursachen sind noch nicht vollständig bekannt. Es wurde gezeigt, dass mögliche Ursachen in Unterschieden der mittleren Fahrleistung oder des üblichen Verkehrskontextes liegen kön-

nen. Generell gibt es starke Hinweise darauf, dass eine geringere Fahrleistung mit einer Erhöhung der (fahrleistungsbezogenen) Unfallkennziffern verbunden ist.

Bei Fahranfängern, die zum gesetzlich frühestmöglichen Zeitpunkt ihren Führerschein gemacht haben, sind die Unfallraten in vielen Ländern nach ca. neun bis elf Monaten Fahrpraxis auf die Hälfte gefallen. Bei Fahranfängern, die erst später den Führerschein erwerben, sind die Halbwertszeiten wesentlich höher. Gleichzeitig ist aber auch die Anfangshöhe der Unfallkennziffern geringer. Worauf diese Unterschiede zwischen den Gruppen mit unterschiedlichem Alter bei Führerscheinwerb zurückzuführen sind, ist noch nicht erforscht. Ursachen könnten Selbstselektionsprozesse oder altersbezogene Veränderung sein, die ihren Grund in entwicklungsbedingten Veränderungen von Motivstrukturen, von Lernfähigkeit, von Gehirnstrukturen, etc. haben.

## 3 Unterschiede zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern

Das vorherige Kapitel hat gezeigt, dass sich bei Fahranfängern einerseits bezüglich der Verkehrssicherheit deutlich höhere Ausprägungen von Risikofaktoren zeigen als bei Fahrern mittleren Alters. Der Übergang ist aber kein stufiger, sondern ein kontinuierlicher Prozess, der 20 bis 30 Jahre andauert. Der Verlauf über die Fahrpraxiszeit gehorcht den Befunden nach offensichtlich in Näherung einem Potenz- oder Exponentialgesetz mit zwei bis drei Variablen: Anfangsunfallrate, Anfangsunfallveränderungsgeschwindigkeit und eventuell Sättigungswert. Unklar ist, welche Einflüsse in welchem Maße auf diese Faktoren wirken. Neben personenbezogenen können dies – wie oben gezeigt – auch rein statistische Faktoren wie Selbstselektion oder der nicht persönlich beeinflussbare Verkehrskontext sein.

Ziel der in der vorliegenden Arbeit geplanten Längsschnittstudie soll es sein, Hinweise zu bekommen, wodurch die Anfangsunfallrate und die Anfangsunfallveränderungsgeschwindigkeit determiniert sind. Die Frage für den Entwurf des Längsschnittstudiendesigns lautet deshalb: Was muss man wie oft messen bzw. erfassen, um Einflüsse

auf die Verkehrssicherheit und ihre Veränderlichkeit abschätzen zu können? Hinweise dazu können aus der Analyse von Unterschieden zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern abgeleitet werden.

Die Unterschiede sollen im Folgenden bezüglich sechs Themenfeldern diskutiert werden:

1. Unfallmerkmale,
2. Fähigkeiten und Fertigkeiten,
3. Personenmerkmale, Motive, Emotionen,
4. Gefahrenwahrnehmung und subjektive Sicherheit,
5. Fahrkompetenzerwerb,
6. Unterschiede in Mustern des Lenkverhaltens.

### 3.1 Unfallmerkmale

Wie oben gezeigt, verursachen Fahranfänger allgemein mehr Unfälle. Gibt es über diese generelle Erkenntnis hinaus differenziertere Befunde, aus denen auf Ursachen für die Unfälle geschlossen werden kann? Gibt es also Unfalltypen, bei denen die Fahranfänger in besonderem Maße überrepräsentiert oder sogar unterrepräsentiert sind? GRATTENTHALER et al. (2009) analysieren die Veröffentlichungen zu Unfalltypen und -ursachen und fassen die Befunde wie folgt zusammen: Fahranfänger sind besonders deutlich überrepräsentiert in:

- Alleinunfällen,
- Unfällen unter Verlust der Fahrzeugkontrolle,
- Unfällen aufgrund unangepasster Geschwindigkeit.

Das Muster des Alleinunfalls ist besonders bei Männern vorzufinden. So zeigt eine schwedische Studie (MONÁRREZ-ESPINO, HASSELBERG & LAFLAMME, 2006), dass die Unfallrate junger männlicher Fahranfänger fünfmal höher ist als die der Fahranfängerinnen. Diese Unterschiede verschwinden aber, wenn die Alleinunfälle herausgerechnet werden. GRATTENTHALER et al. (2009) berichten von typischen Fahrfehlermustern von Fahranfängern: Lenkkorrekturen bei erkannten Fahrfehlern sind nicht zielführend (weil zu wenig

differenziert), notwendige Bremsmanöver werden nicht eingeleitet.

Die Unfallursache unangepasste Geschwindigkeit als herausragendes Merkmal junger Fahrer lässt sich auch aus den amtlichen Unfallstatistiken belegen. So lag in Deutschland im Jahr 2014 der Anteil der Unfälle mit Personenschäden, bei der als Ursache unangepasste Geschwindigkeit polizeilich festgehalten wurde, bei den 18- bis 20-Jährigen bei 23 %, bei den 21- bis 24-Jährigen bei 19 % und fällt dann weiter mit dem Alter ab (Statistisches Bundesamt, 2016).

In der Tat ist die aus Befragung nach der Wunschgeschwindigkeit abgeleitete intendierte Geschwindigkeit junger Fahrer im Mittel relativ hoch (VLAKVELD, 2011; Bild 16). Allerdings ist die Wunschgeschwindigkeit junger Fahranfänger nicht auffallend höher als die erfahrener Fahrer. Bei den Männern ist sie sogar etwas geringer. Geht man davon aus, dass die 35- bis 39-jährigen Männer gemäß Bild 3 die Referenzgruppe mit den niedrigsten Unfallraten ist, dann ist die Wunschgeschwindigkeit der 18- bis 19-jährigen Männer nur 1 % höher als die der Referenzgruppe. Dies kann aber nicht als Argument einer erhöhten Unfallrate wegen unangepasster Geschwindigkeit gewertet werden. Entweder ist also die höhere mittlere Rate von Unfällen mit unangepasster Geschwindigkeit bei den Fahranfängern auf einzelne Fahrer zurückzuführen, die bewusst und gewollt schneller als erlaubt fahren, oder die unangepasste Geschwindigkeit resultiert aus Unerfahrenheit und Fehleinschätzungen der Fahrer, die trotz Einhaltung der vorgeschriebenen Geschwindigkeit zu schnell fahren (z. B. bei Glatteis).

Neben den bereits genannten Alleinunfällen, Unfällen unter Verlust der Fahrzeugkontrolle und Unfällen aufgrund unangepasster Geschwindigkeit werden bei jungen Fahrern die im folgenden behandelten Unfallmerkmale häufig genannt, die sich von Unfallmerkmalen älterer Fahrer unterscheiden (siehe GRATTENTHALER et al., 2009):

- Unfälle mit Beteiligung mitfahrender Gleichaltriger,
- Unfälle bei Nacht, insbesondere an Wochenenden,
- Unfälle unter Alkoholeinfluss.

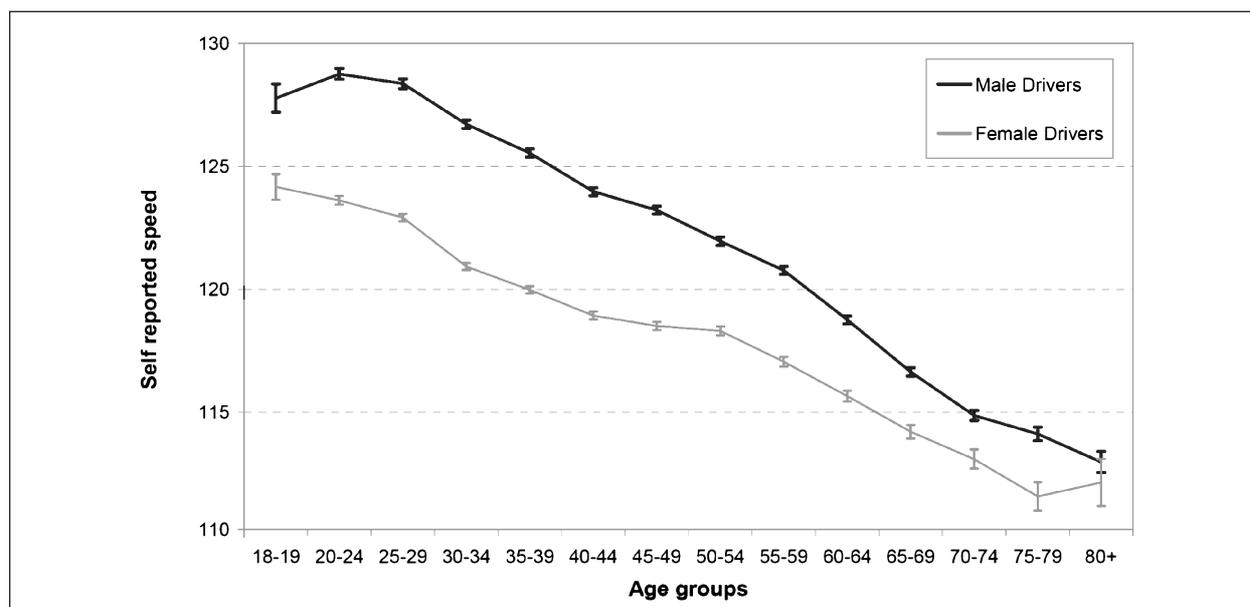


Bild 16: Selbstausskunft über gefahrene Geschwindigkeiten bei einer angenommenen Geschwindigkeitsbegrenzung von 120 km/h bei gutem Wetter ohne beeinflussenden Verkehr. Daten aus den Niederlanden, N = ca. 60.000 aus den Jahren 1990 bis 2005 (aus VLAKVELD 2011, S. 65)

### 3.1.1 Unfälle mit Beteiligung mitfahrender Gleichaltriger

Die überproportional hohe Beteiligung mitfahrender Gleichaltriger bei Fahranfängern wird oft als Auslöser von risikoerhöhender Motivregulation und kausale Ursache hoher Unfallraten der Fahranfänger genannt. In der Tat sinkt die Wahrscheinlichkeit zu Unfällen mit Getöteten, wenn ältere Personen im Auto sitzen (siehe HOLTE, 2012). Allerdings sind die Ursachen dafür, wie HOLTE (2012) feststellt, noch nicht erforscht. Weder gibt es demnach ausreichend Belege für mögliche psychologische Ursachen, noch ist der Einfluss des Fahrkontextes untersucht. Es gibt zwar Untersuchungen, die zeigen, dass junge Fahrer im Gegensatz zu älteren Fahrern dazu neigen, im Beisein Gleichaltriger ein höheres Risiko einzugehen als alleine (GARDNER & STEINBERG, 2005). Der aus der Unfallstatistik belegte Zusammenhang könnte aber auch in großen Teilen bloß korrelativer Natur sein und keine Ursachenbeziehung abbilden. Wenn also beispielsweise junge Fahranfänger mit Älteren immer nur in Fahrkontexten unterwegs sind, in denen das Unfallrisiko per se geringer ist (z. B. nur tagsüber, nicht zur Disko mit Landstraßenanfahrt, etc.) und umgekehrt mit Gleichaltrigen die risikoreicheren Kontexte wählen, dann ergeben sich statistisch unterschiedliche Unfallrisiken, die aber nicht durch Einflüsse während der Fahrt zu erklären sind. Eine Aussage, zu welchem Anteil der psychologische Einfluss während der Fahrt oder die Fahrkontextwahl vor

der Fahrt die Unfallzahlen determiniert, ist bis heute nicht möglich.

### 3.1.2 Unfälle bei Nacht, insbesondere an Wochenenden

Die Schwierigkeit, die Ursachen von Befunden separieren zu können, gilt sinngemäß auch für die Unfälle bei Nacht und am Wochenende, die für Fahranfänger als typisch identifiziert wurden (HOLTE, 2012). Die Häufung von Unfällen von Fahranfängern bei Nacht kann einerseits die Ursache darin haben, dass die Fahranfänger häufiger diesen Fahrkontext wählen und andererseits, dass es für Fahranfänger übermäßig schwer ist, in diesem Kontext zu fahren. Eine analytische Trennung dieser Einflüsse gelingt nur dann, wenn die Fahr- und Verkehrskontexte sehr genau erfasst werden und die Exposition in den unterschiedlichen Kontexten mit den erfassten Fähigkeiten und Fertigkeiten verknüpft werden.

### 3.1.3 Unfälle unter Alkoholeinfluss

Dass junge Fahrer in Deutschland im Vergleich zu Älteren überproportional durch Alkohol bedingte Unfälle verursachen, kann durch die Statistik nicht belegt werden. Mit den Daten des Statistischen Bundesamts (2016) zu Unfällen mit Personenschaden kann man berechnen, dass die Unfallursache Alkoholeinfluss bei den 18- bis 21-Jährigen nur zu

2,9 % ermittelt wurde. Am höchsten ist der Anteil bei den 25- bis 35-Jährigen (4,6 %). Dieser fällt dann ab und erreicht erst bei den 55- bis 65-Jährigen ein Niveau, das unter dem der 18- bis 21-Jährigen liegt. Junge Fahrer verursachen also heute in Deutschland unterproportional viele Unfälle auf Grund von Alkoholenuss als ältere Fahrer bis 65 Jahren. Da darüber hinaus ihr Risiko zu verunfallen, auch bei geringerem Alkoholkonsum höher ist als bei älteren Fahrern (PREUSSER, 2002; WILLIAMS, 2003), ist der Anteil derjenigen jungen Fahrer, die unter Alkoholeinfluss Auto fahren noch geringer, als die Unfallkennziffern widerspiegeln. Fahren unter Alkoholeinfluss ist also heute kein typisches Unfallrisiko von jungen Fahranfängern (mehr).

### 3.1.4 Fazit Unfallmerkmale

Aus der Unfallanalyse lassen sich als Hauptursachen in erster Linie Faktoren identifizieren, die in Verbindung mit dem Fahrvermögen stehen. Hinzu kommen Faktoren, die sich aus der Wahl des Fahrkontextes ergeben, was als Teil der Motivregulation bezeichnet werden kann. Dabei können durchaus bewusst Entscheidungen zu höherem Risiko (Fahren bei Nacht) verbunden sein. Dass die Fahranfänger aber u. U. überproportional gefährdet sind, können sie in der Regel nicht wissen, und es ist ihnen deshalb auch nicht bewusst. GRATTENTHALER et al. (2009) stellen mit Rückgriff auf LANGWIEDER (1999) fest, dass bewusst risikoreiches oder gar riskantes Fahren bei Fahranfängern nicht das Hauptproblem ist, sondern die Fehleinschätzung von Situationen, die Unterschätzung fahrdynamischer Gegebenheiten sowie die Überschätzung des eigenen Fahrkönnens. GRATTENTHALER et al. (2009) kommen in ihrem Fazit der Analyse von Unfallursachen deshalb auch zu dem Schluss, dass junge Fahranfänger Defizite besonders in den Bereichen visuelle Suche, Situationseinschätzung, Aufmerksamkeitssteuerung und Fahrzeughandling haben. Das sind alles Faktoren, die auf noch nicht vorhandenes Fahrvermögen hinweisen. Dies wird unseres Erachtens auch durch die Befunde der Verkehrssicherheit belegt: Der starke Rückgang der Unfallkennzahlen in den ersten Monaten des selbstständigen Fahrens kann schwerlich auf schnell veränderliche Motivstrukturen zurückzuführen sein.

Zu dieser Schlussfolgerung gibt es aber auch Gegenmeinungen. So schreibt HOLTE (2006, S. 115):

„Der Rückgang des Unfallrisikos der Fahranfänger nach 8 bis 10 Monaten um etwa 50 Prozent ist nicht

nur auf zunehmende Fahrerfahrung zurückzuführen. Das Unfallrisiko – insbesondere bei Fahranfängern – wird offensichtlich auch wesentlich beeinflusst durch die jeweiligen Fahrmotive und die Risikobereitschaft.“

Und in der Tat sind junge Fahranfänger, und insbesondere Männer (schon aus gehirnphysiologischen Gründen, siehe Kapitel 2.2) risikofreudiger als ältere Fahrer. Die eigentlich interessierende Frage ist deshalb: Wie stark ist der Anteil motivationaler Einflüsse und wie groß der Anteil der Einflüsse von Fähigkeiten und Fertigkeiten auf Anfangsfahrkompetenz und Lernfortschritts geschwindigkeit? Dies lässt sich nur über Belege aus einer speziell konzipierten umfangreichen Studie beantworten.

Allerdings fahren die Fahranfänger in den ersten Monaten freien Fahrens eher zaghaft und wenig (FUNK et al., 2012, SCHADE et al. 2011, KOTSCH et al. 2005). In der in Kapitel 2.2 diskutierten Studie über Untersuchungen zum begleiteten Fahren in Norwegen (SAGBERG, 2000) wurden die Probanden in Klassen unterschiedlicher Fahrleistung in der Phase begleitenden Fahrens unterteilt. Die Fahrer die wenig fuhren, wiesen eine auf die Kilometerleistung bezogene kleinere Unfallrate auf, als die die mehr übten. Bei denen, die noch mehr übten, wurden die Indizes dann wieder kleiner. SAGBERG begründet das damit, dass die Fahrer anfangs sehr vorsichtig fahren, dann aber Selbstvertrauen schöpfen, welches schneller wächst als das Fahrvermögen. Erst mit weiterer Übung überwiegen nach SAGBERG die positiven Effekte des Lernfortschritts gegenüber den negativen des übermäßigen Vertrauens.

Wenn die Fahranfänger in den ersten Monaten nach Fahrerlaubnis erwerb sehr vorsichtig fahren, scheinen Änderungen in Motivstrukturen als Ursache des starken statistischen Abfalls der Unfallkennziffern eher unwahrscheinlich. Mit Gewissheit kann man dies aber nicht sagen.

## 3.2 Fähigkeiten und Fertigkeiten

Neben den aus Daten der Verkehrssicherheit abgeleiteten Unterschieden von jungen und älteren Fahrern bzw. zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern gibt es zahlreiche Untersuchungen, die spezifische Besonderheiten von Fahranfängern/jungen Fahrern identifizieren konnten. Wie gezeigt, ist der Erwerb von Fähigkeiten und Fertigkeiten

offensichtlich nicht mit der Fahrausbildung abgeschlossen und dauert viele weitere Jahre an.

Aus der Literaturanalyse von GRATTENTHALER et al. (2009) sowie GENSCHOW und STURZBECHER (2014, mit Rückgriff auf DEERY, 1999) lassen sich folgende Unterschiede identifizieren:

### **Wahrnehmung und Einschätzung**

- Fahranfänger können die Time-to-Collision nicht so gut einschätzen.
- Bei entgegenkommenden Fahrzeugen nehmen Fahranfänger im Vergleich zu den erfahrenen Fahrern häufiger den Fuß vom Gaspedal und machen doppelt so häufig Ausweichbewegungen in Form von Schlenkern.
- Erfahrene Fahrer nutzen mehr Informationsquellen als unerfahrene, was sich darin äußert, dass sich bei den Erfahrenen die Leistung bei Informationsreduktion verringert und jüngere durch ein Zuviel an Informationen eher überfordert sind.
- Fahranfänger nehmen Gefahren weniger schnell wahr.
- Junge Fahrer nutzen das periphere Sehen ineffizient.
- Junge Fahrer können das periphere Sichtfeld nicht so effektiv wie erfahrene Fahrer zur Spurhaltung nutzen.
- Junge Fahrer können eine Verkehrssituation noch nicht im Gesamten erfassen und verschiedene Stimuli integrieren.
- Junge Fahrer haben noch kein ausgearbeitetes mentales Modell verschiedener Verkehrsumgebungen, auch wenn die kognitiven Ressourcen vorhanden sind.

### **Blickverhalten**

- Junge Fahrer schauen eher auf den visuellen Scheitelpunkt der Kurve.
- Junge Fahrer schauen eher direkt vor das Auto im Gegensatz zu älteren Fahrern.
- Junge Fahrer zeigen bei horizontalen Blickbewegungen auf zweispurigen Straßen nicht so viel Varianz.

- Junge Fahrer fixieren stärker unbewegliche Objekte als bewegliche. Bei erfahrenen Fahrern ist dies umgekehrt.
- Fahranfänger wollen so oft wie möglich nach vorne in Fahrtrichtung schauen. Erfahrenen Fahrer können auch gut fahren, wenn Sie nicht direkt nach vorne schauen.
- Unerfahrene Fahrer haben noch nicht ein variables (erfahrungsgeleitetes) Blick-Suchverhalten.
- Selektive Blickstrategien sind bei Fahranfängern noch nicht ausgebildet.
- Junge Fahrer nutzen die Spiegel seltener.

### **Kognitive Beanspruchung, Aufgabenteilung**

- Fahranfänger lassen sich häufiger durch Nebenaufgaben ablenken.
- Junge Anfänger können noch nicht so viele Teilaufgaben parallel durchführen.
- Erfahrene Fahrer bekommen auch bei kognitiver Nebenaufgabe noch das Wichtigste in der Umwelt mit im Gegensatz zu unerfahrenen Fahrern.

### **Unterschiede in der Quer- und Längsführung**

- Fahrer mit sehr wenig Erfahrung halten die Spur genauer als Anfänger mit mehr Erfahrung aber weniger genau als erfahrene Fahrer.
- Fahranfänger lassen weniger Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug.
- Die jungen unerfahrenen Fahrer bremsen häufig deutlich später vor statischen Objekten (z. B. Ampel) als die jungen erfahrenen Fahrer.
- Junge Fahrer korrigieren beim Durchfahren von Kurven mehr als ältere.
- Die Anzahl der Lenkkorrekturen fällt mit der Fahrerfahrung.

### **Risiko- und Selbsteinschätzung**

- Junge Fahrer fahren risikoreicher.
- Junge Fahrer schätzen Situationen als weniger gefährlich und das Verletzungsrisiko als geringer als erfahrene Fahrer ein.
- Jugendliche Fahrer sind allgemein schlechter bei der Wahrnehmung potenzieller Risiken in ihrer Fahrumgebung.

- Weniger erfahrene Fahrer ordnen eher unbewegte Objekte als gefährlich ein.
- Junge Fahrer schätzen im Gegensatz zu erfahrenen Fahrern ihre eigenen Fahrfertigkeiten besser ein als die gleichaltriger Kollegen und gleichgut zu erfahrenen Fahrern.
- Junge Fahrer zeichnen sich durch übermäßiges Selbstvertrauen aus, das zu unangemessenen Anforderungen führt, die sie an die eigenen Fähigkeiten stellen.

Die Befunde lassen sich durch wenige Grundannahmen erklären:

1. Motorische Handlungen in zeitkritischen Umgebungen (Autofahren, Sport, Musizieren) benötigen zu Beginn der Expertiseentwicklung mehr kognitiven und bewussten Einfluss sowie Aufmerksamkeit und werden zunehmend automatisiert.
2. Gut geübte motorische Handlungen zeichnen sich durch höhere Glätte in der Bewegung aus.
3. Das Lernen von komplexen Wahrnehmungshandlungsaufgaben in komplexen und vielfältigen Situationen bedarf der praktischen Übung in diesen Situationen.
4. Beim Lernen komplexer Aufgaben, fängt man mit dem an, was unbedingt notwendig ist und lernt dann sukzessiv nach Wichtigkeit oder Auftreten dazu.
5. Die Lenkaufgabe ist ohne peripheres Sehen nicht durchführbar.
6. Die Spurhaltung ist effektiv mit 2D-Informationen des visuellen Bildes lösbar.

Annahme 1 ist mehrfach belegt (siehe Kapitel 1.2.4) und wird wissenschaftlich nicht in Frage gestellt.

Annahme 2 ist auch mehrfach belegt und ist darauf zurückzuführen, dass der Bewegungsablauf zunehmend von einem langsamen, geregelten Verhalten in ein schnelles gesteuertes Verhalten übergeht (JÜRGENSOHN, 1997; MEINEL & SCHABEL, 1998). Die resultierenden Bewegungssequenzen gehorchen oft in ihrer Gesamtheit einem Gütekriterium (z. B. Zeitoptimalität, minimaler Kraftaufwand, etc., siehe dazu auch Kapitel 3.6 und JÜRGENSOHN, 1997).

Annahmen 3 und 4 müssen nicht erklärt werden. Es gibt zahlreiche Befunde aus der Expertiseforschung (z. B. GRUBER & ZIEGLER, 1996).

Annahme 5 lässt sich aus theoretischen Überlegungen ableiten. Um das Fahrzeug mit dem Lenkrad auf der Straße halten zu können, müssen mindestens zwei unabhängige Größen kontrolliert werden: der Gierwinkelfehler<sup>19</sup> und die Querabweichung im Schwerpunkt<sup>20</sup> (JÜRGENSOHN, 2007). Man kann zeigen, dass mit Rückgriff auf nur eine einzige Größe kein stabiles Verhalten möglich ist (MOEBIUS, 1986). Aus rein geometrischen Überlegungen ist leicht nachzuweisen, dass Veränderungen der Querabweichung im Schwerpunkt visuell am leichtesten über Informationen in direkter Nähe des Fahrzeugs wahrnehmbar sind, da sie dort bei Fahrzeugquerbewegungen am größten sind (siehe Bild 17). Wenn man direkt vor das Fahrzeug blickt, kann man den Rand der Frontscheibe mit dem Muster von linkem und rechtem Fahrbahnrand visuell vergleichen. Dann kann man über die Verschiebungen in diesem Muster sowohl die Veränderungen der Querabweichung im Schwerpunkt als auch den absoluten Wert der Querabweichung peripher gut erfassen. Theoretisch wäre dies auch foveal mit schnellen Blickwechseln zwischen rechtem und linkem Straßenrand möglich. Dies ist aber aus Zeitgründen nicht praktikabel und auch viel zu anstrengend. Generell ist es möglich, Aufmerksamkeit auf periphere Objekte zu lenken. Diese „verdeckte Aufmerksamkeitsverschiebung“ ist viel schneller als Augenbewegungen (SCHMENK, 2003).

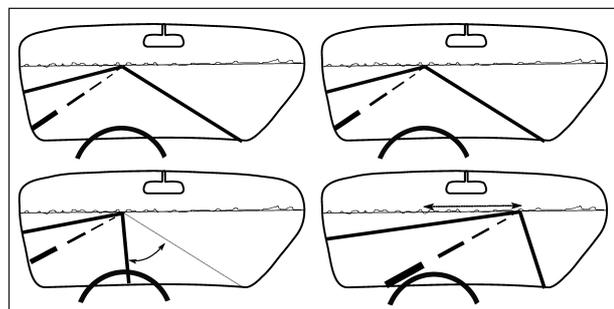


Bild 17: Aus Sicht des Fahrers. Links: Veränderung der Querabweichung im Schwerpunkt. Rechts: Veränderung des Gierwinkelfehlers

<sup>19</sup> Richtung des Fahrzeugs in Bezug auf die Fahrbahnlängsachse. Bei Gierwinkelfehler = 0 fährt man parallel zur Fahrbahnmittellinie.

<sup>20</sup> Entfernung des Fahrzeugs vom Fahrbahnrand.

Die Querabweichung im Schwerpunkt kann man also am leichtesten dadurch wahrnehmen, dass man direkt vor das Fahrzeug schaut und die Informationen peripher wahrnimmt<sup>21</sup>. Zur Erfassung des Gierwinkelfehlers benötigt man hingegen – neben den Informationen, die ein Indiz für die Fahrzeugrichtung sind – Informationen über den weiteren Straßenverlauf, weil nur der die Straßenrichtung definiert. Bei der Fahrt auf einer geraden Strecke ist die Straßenrichtung am leichtesten durch einen Blick auf den Fluchtpunkt erfahbar, weil sich dort Drehungen des Fahrzeugs am stärksten optisch auswirken. Außerdem kann der Fluchtpunkt als Ankerpunkt zum Fixieren dienen. Auch für diese Information benötigt man das periphere Sehen, da einerseits ein permanenter Vergleich notwendig ist und andererseits die Merkmale der Fahrzeugrichtung bei einem Blick zum Fluchtpunkt im peripheren Sichtbereich liegen. Wenn sowohl der Fluchtpunkt als auch die Fahrbahnränder direkt vor dem Auto optisch stabil in Relation zur Fahrzeugkarosserie sind, fährt man parallel zum Fahrbahnrand in immer gleichem Abstand (Bild 17, obere Reihe). Bei Fahrt in einer Kurve wandert der Fluchtpunkt zum optischen Scheitelpunkt des Kurveninnenrandes näher in Richtung Fahrzeug. Auch dieser Punkt bleibt bei Fahrt parallel zu Straße optisch stabil und eignet sich deshalb gut als Blickanker. Wie NECULAU et al. (1990) zeigen, benötigt der Fahrer Fixationspunkte, an denen er seinen Blick heften kann. Wie der Fluchtpunkt eignet sich der Scheitelpunkt des Kurveninnenrandes als Indikator einer falschen Fahrtrichtung (Bild 18).

Die Wahrnehmung der Querabweichung im Schwerpunkt verlangt also einen Blick direkt vor das Fahrzeug (eher nach unten), die Wahrnehmung des Gierwinkelfehlers einen Blick zum Fluchtpunkt weit vor dem Fahrzeug (eher nach oben). Die gegen-

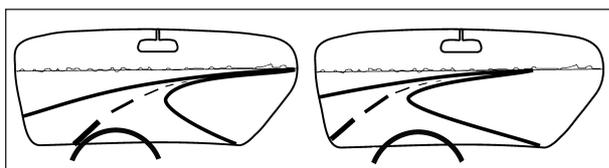


Bild 18: Aus Sicht des Fahrers. Links: Fahrt auf Kurve parallel zur Mittellinie. Rechts: Fahrt rechts in den Graben

<sup>21</sup> In Bild 17 würde man den Straßenrand sogar foveal wahrnehmen. Allerdings fährt man in diesem Fall mit den rechten Rädern schon nicht mehr in der Spur. Im Bild wurde dies zur Verdeutlichung der Effekte so gewählt.

sätzlichen Anforderungen lassen sich nur durch einen Kompromiss lösen. Der optimale Kompromiss hängt auch von der Sitzhöhe und der Fahrzeuggeometrie ab. Geometrisch liegt der optimale Fixationspunkt in einer groben Schätzung ca. 20 bis 40 m vor dem Fahrzeug.

Annahme 6 ergibt sich aus dem eben Geschilderten. Für eine effektive Querführung muss man als Fahrer nicht unbedingt die dreidimensionalen Inhalte der Umwelt heranziehen, sondern benötigt nur das visuelle 2D-Muster. KRAMER und ROHR (1982) haben dies in einem Modell des Fahrerhaltens umgesetzt.

Die Befunde über Besonderheiten des Blickverhaltens von jungen Fahranfängern lassen sich aus den Annahmen 5 und 6 begründen: Die Fahranfänger wählen den Blickpunkt direkt vor das Fahrzeug oder auf den Scheitelpunkt des Innenrandes einer Kurve, weil die für die Querführung notwendige periphere Informationsaufnahme dort am leichtesten möglich ist. Am leichtesten ist das Fahrzeug zu steuern, wenn Straßenränder und Fahrkabine als 2D-Muster verarbeitet werden. Erfahrene Fahrer können auch weniger eindeutige visuelle Informationsquellen und vermutlich zudem haptische und vestibuläre Informationsquellen für die Querführung nutzen. Wegen dieser Abhängigkeit der Fahranfänger von dem andauernden visuellen 2D-Input zur Erfüllung der Querregelaufgabe tendieren die Fahranfänger auch dazu, so oft wie möglich direkt vor das Auto zu schauen. Das könnte auch die Befunde über weniger Spiegelblicke und über eine kleinere Varianz im Blickverhalten erklären. Ferner könnte es auch den Befund erklären, dass die Fahranfänger die periphere Sicht weniger effektiv nutzen können. Wenn diese Vorausblicke für die Erfüllung der Querführung benötigt werden, bleibt kein Raum andere Informationen (z. B. möglicherweise gefährliche dynamische Objekte am Straßenrand oder von der Querstraße kommend) peripher wahrzunehmen. Erfahrene Fahrer nutzen das periphere Sehen für weitere Informationen, z. B. zur Gefahrenerkennung. Bei Fahranfängern sind wegen des Erfahrungsdefizits auch die selektiven Blickstrategien noch nicht so stark ausgebildet.

Die von MOURANT und ROCKWELL (1972) aufgestellte Vermutung, dass die Fahranfänger auf den Scheitelpunkt des Innenrandes einer Kurve bei deren Durchfahrung schauen, weil sie dort Informationen aufnehmen, stimmt deshalb nur bedingt. Die Information liegt nicht in dem jeweils mitwandernden

den Kurvenstück, sondern einerseits in der Relation des sichtstabilen Punktes zu der Geometrie des Fahrzeugs und des Fahrers und andererseits darin, dass dies wie der Fluchtpunkt bei geraden Strecken der einzige Ankerpunkt für eine Fixation ist, alles andere im optischen Fluss wandert (z. B. WARREN et al., 1991). Die Information steckt also nicht in dem fokussierten Inhalt (dort steckt überhaupt keine Information), sondern allein in Relationen der Gesamtschau. Fokussierung hat in diesem Fall also nicht den Zweck der Informationsextraktion, sondern nur der Bildstabilisierung (JÜRGENSOHN et al., 1991). Damit könnte man auch den Befund erklären, dass junge Fahrer – im Gegensatz zu erfahrenen – stärker unbewegliche Objekte als bewegliche fixieren. U. U. benötigen sie die Objekte als Fixationsanker. Beim Autofahren werden insgesamt viele Informationen (u. U. die meisten sogar integrativ in der Zeit) peripher wahrgenommen. Der größte periphere Informationsfluss findet dabei subbewusst statt, kann aber zum Teil ins Bewusstsein gehoben werden.

Die Unterschiede in den Lenkmerkmalen zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern lassen sich durch Annahme 1 und 2 herleiten. Da noch nicht so stark geübt, sind die Lenkbewegungen weniger glatt. Dass etwas erfahrenere Fahrer weniger strikt die Spur halten als unerfahrene, ist einerseits über die gewonnene Sicherheit und andererseits über die Spurhalteaufgabe selbst zu erklären. Die Spurhalteaufgabe besteht darin, das Fahrzeug auf der Straße zu halten und dies hauptsächlich in der befahrenen Spur. Hier hat der Fahrer aber einen relativ großen Spielraum, den er mit mehr Können auch besser nutzen kann. Fahranfänger sind sich noch unsicher über diese Freiheiten und fahren eher vorsichtig möglichst in der Mitte der Spur. Erfahrene Fahrer schneiden auch mal gerne Kurven, was nicht auf schlechtes Fahrkönnen hinweisen muss. Deshalb ist der Wert der Querabweichung kein guter Indikator für den Stand des Fertigkeitserwerbs bezüglich der Querführung.

Die Besonderheiten von Fahranfängern in der Längsführung sind auf fehlende Erfahrung, das heißt unzureichende Übung zurückzuführen. Für die Verinnerlichung einer Situations-Handlungs-Relation für den korrekten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug fehlt es an erfahrbaren Rückmeldungen. Im Gegensatz zum Lenken, bei dem es eine dauernde und permanente Rückmeldung der Richtigkeit der Handlung gibt (da recht gut eingeschätzt werden kann, wie schnell das Fahrzeug den

gewählten Fahrkorridor verlässt), gibt es diese Rückmeldung für das richtige Abstandhalten wesentlich seltener. Diese gibt es erst, wenn die Fahrer erfahren, wie schnell ein Abstand bei plötzlichem Bremsen des Vorderfahrzeugs aufgebraucht ist. Es gibt zwar einige deklarative Regeln (z. B. halber Tachoabstand). Diese sind aber in der Fahrpraxis und insbesondere unter den Anforderungen des realen Verkehrs zu starr und nur in Sondersituationen umsetzbar.

Die Besonderheiten von Fahranfängern bei der Wahrnehmung und Einschätzung sind schlicht der fehlenden Expertise einerseits und der noch vorhandenen kognitiven Beanspruchung bei den Basalaufgaben (Lenken, Beschleunigen, Bremsen, Schalten) geschuldet. Wenn es also an richtigen mentalen Modellen, richtigem Situationsbewusstsein oder Überblick über die Gesamtsituation fehlt, zeigt dies, dass dazu Fahrerfahrung notwendig ist, die nicht theoretisch übermittelt werden kann.

Die Befunde über die Selbsteinschätzung sind nicht überraschend. Woher sollen die Fahranfänger wissen, wie gut erfahrene Fahrer fahren können? Wenn es nicht einmal der Wissenschaft gelingt ein gutes Maß für das Fahrvermögen zu entwickeln, kann man von den Fahrern nicht erwarten das Fahrvermögen objektiv einschätzen zu können. Das Urteil kann also nur aus veröffentlichter Information oder aus Plausibilitätsüberlegungen abgeleitet sein. Das Urteil der jungen Fahranfänger resultiert also vermutlich offenbar aus einem höheren Maß an Selbstüberzeugung und nicht aus Fehleinschätzungen.

Ähnliches gilt für die Risikoeinschätzung, wobei hier noch die Erfahrung aus kritischen Situationen oder Beinaheunfällen hinzukommt. Die Einschätzung des objektiven Risikos während der individuellen Fahrt ist schon theoretisch nicht möglich. Da Unfälle sehr selten sind, kann man das Risiko spezifischer Situationen nur aus dem Vergleich zu in der Ausbildung übermittelten potenziell gefährlichen Situationen oder aus eigener Erfahrung von Schwierigkeiten in der Bewältigung (z. B. Beinaheunfälle, notwendige starke Brems- oder Lenkmanöver) der Fahraufgabe ableiten. Wegen der geringeren praktischen Erfahrung der Fahranfänger können sie diese Risikoeinschätzung nur schlechter vornehmen. Hinzu kommt, dass Fahranfänger schon wegen ihrer Jugend optimistischer gegenüber einem Risiko sind (siehe Kapitel 2.2) und deshalb schon im Sinne des Risikos als Auftretenswahrscheinlichkeit mal Schadenshöhe auch bei gleicher eingeschätzter Wahrscheinlichkeit das Risiko geringer einschätzen.

Mangelnde Übung kann auch für die Begründung der Befunde herangezogen werden, dass Fahranfänger Schwierigkeiten mit der parallelen Ausführung von Teilaufgaben haben. Wie schon erwähnt, bedarf das gleichzeitige Ausführen mehrerer Aufgaben der langfristigen Übung im Ressourcen-sharing (siehe Kapitel 1.2.4).

### 3.3 Personenmerkmale, Motive, Emotionen

Die Fahrkompetenz (tonisch wie phasisch) wird in unserer Modellvorstellung durch Fertigkeiten und Fähigkeiten (das Fahrenkönnen, Fahrvermögen) und durch Motivregulation bestimmt. Fertigkeiten, Fähigkeiten und Motivregulation werden wiederum durch weitere Personenmerkmale beeinflusst. Das heißt, dass Personenmerkmale einen entweder direkten kausalen oder zumindest statistischen Einfluss auf Fähigkeiten und Fertigkeiten und damit auf die Fahrkompetenzerhöhung und die individuelle Fahrkompetenz haben. Man kann wiederum zeitlich relativ stabile und schnell veränderliche Personenmerkmale definieren. Zeitlich relativ stabile Merkmale sind beispielsweise soziodemografische Merkmale oder Persönlichkeitsmerkmale im klassischen Sinne, wie z. B. die Big Five (siehe auch ASENDORPF & NEYER, 2012 für einen Überblick). Zeitlich stabile Motive sind z. B. Einstellungen. Schnell veränderliche Personenmerkmale sind z. B. die Fahrtüchtigkeit und Emotionen. Letztere wirken nur auf die phasische Fahrkompetenz. Darüber hinaus sind das subjektive Sicherheitsgefühl sowie die subjektive Aufgabenschwierigkeit Merkmale, die sich zu jeder Fahrt ändern können.

Wir werden später zeigen (Kapitel 4.3.3), dass Personenmerkmale wie auch teilweise Motive oder subjektive Einschätzungen nicht als Bestandteil in die Definition der individuellen Fahrkompetenz einbezogen werden können. Sie sind aber wertvolle Zusatzinformationen, um individuelle Unterschiede im Prozess der Erhöhung der Fahrkompetenz zu verstehen.

#### 3.3.1 Soziodemografische Merkmale

Zu den soziodemografischen Merkmalen gehören das Alter, das Geschlecht und der sozioökonomische Status. Wie oben gezeigt, gibt es statistische Unterschiede bezüglich des Unfallrisikos zwischen

Altersgruppen und zwischen Frauen und Männern. Gleiches gilt für Gruppen mit unterschiedlichem sozioökonomischem Status (HOLTE, 2012). Der Zusammenhang ist allerdings nur statistischer Natur und lässt keine Aussagen über die individuelle Fahrkompetenz zu. Man kann also beispielsweise aus dem Alter nicht ableiten, wie gut jemand fährt. Ähnliches gilt für den Zusammenhang des sozioökonomischen Status einer Person auf das Unfallrisiko. Zwar kann man statistisch ein erhöhtes Unfallrisiko bzw. riskanteres Fahrverhalten in allen Altersgruppen bei Armut bzw. niedrigem sozioökonomischem Status identifizieren (HOLTE, 2012). Man kann aber vermuten, dass eine Änderung der finanziellen Verhältnisse das Fahrvermögen nicht verändert.

Soziodemografische Merkmale sind also als Indikator für Fahrkompetenz nicht geeignet. Wir werden sie in unserer endgültigen Definition deshalb auch nicht berücksichtigen (Kapitel 4.3.3). Für die Konzeptionierung einer Längsschnittstudie ist deren Erfassung aber dennoch wichtig, weil für die Ableitung von verkehrspolitischen Maßnahmen der Übergang von der Individual- zur Gruppenebene notwendig ist.

#### 3.3.2 Persönlichkeitsmerkmale

Eine geringe Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals Gewissenhaftigkeit (nach dem 5-Faktoren-Modell/Big Five, COSTA & McCRAE, 1992) geht mit einem erhöhten Unfallrisiko einher. Ein höheres Aggressionspotenzial einer Person verstärkt deren risikoreiches Verhalten im Straßenverkehr. Es gibt risikoorientierte Typen, die mehr riskieren, um ihr Bedürfnis nach abwechslungsreichen Erfahrungen zu befriedigen. Zu den Indikatoren dieses Sensation Seeking zählen Impulsivität, Aggressivität, Erregbarkeit und Dominanzstreben (u. a. SCHLAG et al., 1986). Die Sensationssuche ist typisch für junge Fahrer; sie steigt bis etwa zum 20ten Lebensjahr an und sinkt danach wieder. Sie erhöht aber nur indirekt – über Extramotive, Bereitschaft zum Regelverstoß, Fahren unter Alkoholeinfluss, Trinkmenge und -häufigkeit – die Unfallzahlen.

Bei jeder Handlung, so auch beim Autofahren, spielt zudem das Selbstwertgefühl eine Rolle, also die globale Einschätzung der eigenen Wertigkeit. HOLTE (2012) fasst zusammen, dass Menschen entweder dem Motiv, das Selbstwertgefühl zu erhalten, oder dem Motiv, es zu erhöhen, nachgehen.

HOLTE (2012) ermittelte in einem Vergleich zweier Alterskohorten (17- bis 24-Jährige und 25- bis 37-Jährige) sechs unterschiedliche Lebensstiltypen, die sich in verkehrssicherheitsrelevanten Aspekten signifikant unterscheiden lassen: Den kicksuchenden Typ, den kulturinteressierten/kritischen Typ, den häuslichen Typ, den autozentrierten Typ, den Action-Typ und den Beauty-Fashion-Typ. Bei der Analyse orientierte sich HOLTE (2012) an der Arbeit von SCHULZE (1999). Action- und kicksuchende Typen haben mit ihren riskanteren Einstellungen (z. B. zu Geschwindigkeit, aggressivem Verhalten) und Verhaltensweisen (z. B. Alkoholkonsum, Sensation Seeking) das höchste Unfallrisiko. Dennoch stellt HOLTE (2012) fest, dass die 18- bis 24-Jährigen aus dem Jahr 2010 (Erhebungszeitraum von HOLTE, 2012) weniger unter Alkoholeinfluss Auto fahren als Gleichaltrige im Jahr 1996 (Erhebung von SCHULZE, 1999). Wie wir gezeigt haben (Kapitel 3.1.3), fallen Fahranfänger heute gegenüber erfahrenen Fahrern bezüglich der Problematik des Fahrens unter Alkohol nicht mehr besonders auf. Sie sind im Gegenteil unterauffällig. U. U. haben dies die entsprechenden Aufklärungskampagnen der letzten Jahre bewirkt. Bei der Einstellung zur Geschwindigkeit deutet allerdings einiges auf eine große Stabilität über den betrachteten 13-jährigen Zeitraum hin. HOLTES (ebd.) Querschnittsvergleich der 18- bis 24-Jährigen von 1996 mit den heutigen 31- bis 37-Jährigen (selbe Geburtskohorte wie 1996) legt die Vermutung nahe, dass Menschen die Lebensstilgruppe im Lebensverlauf wechseln (ggf. mehrfach).

### 3.3.3 Motive, Erwartungen und Einstellungen

Es gibt unterschiedliche Motive, die sich auf das Fahren auswirken:

- Leistungs- bzw. Sicherheitstendenz des Fahrers (KLEBELSBERG, 1982): Bei ausgeprägtem Leistungsmotiv soll ein Ziel mit möglichst geringem Aufwand erreicht werden (zügige Ankunft). Bei einem ausgeprägten Sicherheitsmotiv werden negative Verhaltenskonsequenzen vermieden. Ziel ist, die Verkehrssituation kontrollieren zu können (sichere Ankunft).
  - Selbstbestätigungsdrang, Fahrspaß, Geltungsdrang und Risiko um des Risikos Willen (NÄÄTÄNEN & SUMMALA, 1976)
  - Soziale Akzeptanz bzw. die Angst vor Zurückweisung, Ablehnung oder Ausschluss (HOLTE, 2012).
- Neben Motiven beeinflussen Erwartungen – im Sinne einer grundsätzlichen Bewertung von Objekten, Situationen oder Verhaltensweisen – einer Person ihr Handeln (HOLTE, 2012). Die Selbstwirksamkeitserwartung (besser wohl als Selbstwirksamkeitsüberzeugung bezeichnet) nach BANDURA (1991) wird definiert als die Erwartung einer Person, geplante Handlungen erfolgreich ausführen zu können. Sie beeinflusst kognitive, motivationale und affektive Prozesse des Fahrerverhaltens und entwickelt sich durch eigene Erfahrungen, durch das Beobachten Anderer, Feedback (Zuspruch) und physiologische Zustände und Gefühle.
- Das Verhalten einer Person wird nicht von der generellen Einstellung, sondern vielmehr von der affektiven (konsumatorisches Verhalten: Fahrerlebnis) oder kognitiven (instrumentelles Verhalten: ein bestimmtes Ziel erreichen) Komponente der Einstellung beeinflusst (MILLAR & TESSIER, 1986). In Bezug auf das Fahren gibt es Einstellungen zur Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsbegrenzungen sowie Einstellungen zum Auto, zum Autofahren und zu anderen Autofahrern (HOLTE, 2012). Eine wichtige Einstellung bzgl. der Sicherheit von Pkw-Fahrern ist daneben die Einstellung zu einem riskanten Fahrverhalten. Sie beeinflusst, wie riskant ein Fahrer fährt. Einige Längsschnittstudien untersuchen dies:
- Die Ergebnisse der australischen DRIVE Study (IVERS et al., 2006) zeigen unter anderem, dass selbst berichtetes riskantes Fahrverhalten stark in Verbindung mit einem erhöhten Unfallrisiko bei jungen Fahrern steht.
  - ROWE et al. (2013) untersuchten anhand von Daten der britischen G1219-Studie die Entwicklung von riskantem Fahrverhalten bei Fahranfängern. In dieser Untersuchung zeigte sich, dass über die Fahrausbildung hinweg risikoreiche Einstellungen, insbesondere bezüglich der Geschwindigkeit, zunehmen und diese die zum zweiten Messzeitpunkt berichteten Verkehrsverstöße vorhersagen. ROWE et al. (2013) geben als möglichen Grund für dieses Phänomen an, dass Fahrer mit zunehmender Fahrerfahrung selbstbewusster werden, was ihre Fähigkeiten zur Geschwindigkeitskontrolle angeht, und eine hohe Geschwindigkeit als weniger riskant

betrachten, als dies zu Beginn ihrer Fahrkarriere der Fall war.

- In der UK Cohort II Studie (WELLS et al., 2008) zeigte sich hingegen ein negativer Zusammenhang zwischen selbst-berichteter Risikowahrnehmung und Verwicklung in Unfälle. Die höchste Vorhersagekraft für die Unfallrate der Fahranfänger besaß die Einstellung der Führerscheinprüflinge gegenüber Verkehrsverstößen. Insbesondere liberale Einstellungen bezüglich der Geschwindigkeitsanpassung an gesetzte Geschwindigkeitsgrenzen waren mit einer erhöhten Anzahl von Verkehrsunfällen nach der Führerscheinprüfung assoziiert.

### 3.3.4 Fahrtüchtigkeit

Es gibt einige Faktoren, die die physische Fahrkompetenz beeinflussen. Dazu gehören Alkohol/Drogen, Medikamente, Stress oder Müdigkeit. Für eine Längsschnittstudie interessiert in erster Linie nur die tonische Fahrkompetenz. Unter Umständen ist es aber wichtig, die physischen Schwankungen aus den Erhebungen herauszurechnen, oder besser noch die möglicherweise verursachenden Faktoren zu kontrollieren.

Alkohol, Opiate und einige Medikamente beeinträchtigen Wahrnehmungs-, Konzentrations- und Reaktionsleistungen und erhöhen damit das Unfallrisiko bereits ab geringen Konzentrationen im Blut. Eine Blutalkoholkonzentration von 0,1 Promille bei 16- bis 20-Jährigen erhöht deren Unfallrisiko um ca. 30 %, bei 21- bis 24-Jährigen um fast 20 % (PREUSSER, 2002). Daneben führen erregende Drogen wie Kokain und Ecstasy zu einer Enthemmung und in der Folge zur Überschätzung der eigenen Fahrkompetenzen sowie Unterschätzung des Unfallrisikos. Viele Fahrer, die unter Alkohol- oder Drogenkonsum einen Unfall hatten, zeigen allgemein eine Tendenz zu riskanten Verhaltensweisen (z. B. MAYHEW et al., 1986). Auch Müdigkeit erhöht das Unfallrisiko.

### 3.3.5 Emotionen

Die Rolle der Emotionen beim Verkehrserleben ist weitgehend unerforscht. Emotionen spielen in der Verkehrspsychologie meist nur indirekt über das Sicherheits-, Angst- oder Gefahrenempfinden, Unsicherheitsgefühl oder Furcht, eine Rolle (HOLTE, 2012). Nach VAA (2007) versuchen Autofahrer eine

sogenannte target emotion, also einen bestimmten emotionalen Zustand, beim Fahren zu erreichen. Dies kann z. B. Spaß haben, Entspannen, Gefahren vermeiden, aber auch Abenteuerlust erleben sein. Es gibt jedoch keine Erkenntnisse, wie häufig verkehrsrelevante Emotionen auftreten bzw. ob (und wenn ja) und wie sich Jüngere und Ältere dahingehend unterscheiden (HOLTE, 2012). Weiterhin ist unbekannt, in wie weit sich Emotion auf die Höhe der (phasischen) Fahrkompetenz auswirken.

## 3.4 Gefahrenwahrnehmung und subjektive Sicherheit

### 3.4.1 Gefahrenwahrnehmung

Die Schulung der Risiko- und Gefahrenwahrnehmung (Hazard Perception) ist in der Fahrausbildung in den letzten Jahren zunehmend in den Fokus gerückt (STURZBECHER et al, 2014). Die Literaturanalyse von GENSCHOW und STURZBECHER (2014) zeigt, dass Konsens darin besteht, dass Gefahrenwahrnehmung immer die Identifikation bzw. Antizipation potenziell gefährlicher Situationen beinhaltet. GRAYSON et al. (2003) unterscheiden vier Stufen der Hazard Perception:

1. Entdecken der Gefahr (Hazard Detection),
2. Einschätzen der Bedrohung (Thread Appraisal),
3. Reaktionsauswahl entsprechend der situativen Umstände (Action Selection),
4. Handlungsausführung (Implementation).

Die Gefahrenwahrnehmung beinhaltet die Gefahrenidentifikation und die Einschätzung des Gefahrenpotenzials und ist erlernbar: Je besser der Fahrer die Verkehrsumwelt kennt, desto vertrauter ist sie ihm und er lernt gefährliche Objekte und Ereignisse einzuschätzen (BROWN & GROEGER, 1988; DEERY, 1999).

Bei Fahranfängern sind gerade diese Fähigkeiten der Gefahrenwahrnehmung noch nicht vorhanden und entwickeln sich erst langsam.

### 3.4.2 Subjektive Sicherheit und subjektive Aufgabenschwierigkeit

Bei der Steuerung des Verhaltens spielt das wahrgenommene Risiko eine wichtige Rolle (z. B.

NÄÄTANEN & SUMMALA, 1976). Darauf aufbauend werden weitere Handlungen initiiert, fortgesetzt oder abgebrochen. Ein Risiko wird vom Fahrer dabei erst wahrgenommen, wenn eine bestimmte Schwelle überschritten wurde (z. B. Fehleinschätzung der Geschwindigkeit, der eigenen Fahrkompetenz oder der Schwierigkeit einer Fahraufgabe). Das Risiko wird vom Fahrer wahrgenommen, sobald eine bestimmte Risikoschwelle überschritten wird. WILDE (1982) beschreibt in seiner Theorie der Risikohomöostase, dass Autofahrer ein Gleichgewicht zwischen wahrgenommenem Risiko in einer Fahrsituation und dem subjektiv grundsätzlich akzeptierten Risiko herstellen wollen. Liegt das wahrgenommene Risiko der Fahrsituation unter dem akzeptierten, versucht der Fahrer den Unterschied, z. B. durch riskanteres oder schnelleres Fahren, auszugleichen. Diese Annahme wurde jedoch von einigen Experten kritisiert. Für FULLER (2005) ist es beispielsweise nicht das subjektive Risiko, sondern die subjektiv empfundene Schwierigkeit einer Fahraufgabe, die das Fahrverhalten steuert. Das subjektiv wahrgenommene Risiko ist dabei ein wichtiger Faktor zur Beurteilung der subjektiven Fahraufgabenschwierigkeit.

### 3.5 Fahrkompetenzerwerb

Aus der Literaturanalyse von GRATTENTHALER et al. (2009) lassen sich folgende Befunde zusammenstellen:

- Fahranfänger lernen Fertigkeiten der Fahrzeugbedienung schnell, benötigen jedoch längere Zeit für die Entwicklung übergeordneter kognitiver Fähigkeiten.
- Nach 24 Monaten Fahrpraxis gibt es noch Probleme bei Basisfertigkeiten (Lenken, Schalten, etc.).
- Lenken, Kuppeln, etc. treten als Problem im Laufe des Expertiseerwerbs relativ schnell zurück. Die richtige Längskontrolle bleibt als Problem länger erhalten.
- Unerfahrene Fahranfänger konzentrieren sich zunächst auf die Lenkkontrolle zur Spurhaltung; erst mit zunehmender Fahrerfahrung versuchen sie, Geschwindigkeits- und Lenkkontrolle zu integrieren, was sich negativ auf die Querführung des Fahrzeugs auswirkt.

- Das Erlernen des Erkennens von Verkehrssituationen und Gefahren dauert länger als das Erlernen der Quer- und Längskontrolle.
- Einige Autoren schätzen die Dauer dieses fortlaufenden Lernprozesses auf etwa weitere sieben bis acht Jahre (nach Fahrerlaubniserwerb) bzw. circa 100.000 km Fahrpraxis (FASTENMEIER, 1995).
- SUMMALA (1987) geht von zwei hauptsächlichen Entwicklungen in den ersten Fahrjahren und den ersten 50.000 gefahrenen Kilometern aus (Herausbildung automatisierter Fahrpraktiken, Reduktion von Extramotiven).
- Nach NORMAN (1980) dauert der Expertiseerwerb bei einer komplexen Aufgabe etwa 5.000 Stunden, was etwa einem zweieinhalbjährigen Vollzeitlernen der Aufgabe entspricht (40 Stunden die Woche, 50 Wochen im Jahr).

Aus SWOV (2016) ist noch zu ergänzen:

- Junge Fahrer lernen schneller das eigene Fahrzeug zu beherrschen als das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer richtig einzuschätzen.

Diese Befunde werden ergänzt von den Ergebnissen einer britischen Längsschnittstudie (GROEGER & BRADY, 2004). Es wurden 123 Fahrschüler an fünf Messzeitpunkten vor und an einem Messzeitpunkt nach der praktischen Fahrprüfung (5 bis 10 Stunden Fahrübung zum ersten Messzeitpunkt) untersucht. Die Fahrkompetenz wurde mittels eines Kataloges von Fahrfehlern sowie durch Selbst- und Fremdbewertungen der Fahrkompetenz quantifiziert. Bezüglich der Lernkurve des Kompetenzerwerbs beim Autofahren zeigen die Autoren, dass das Fahrvermögen als Potenzfunktion der Fahrerfahrung ( $\alpha^{0,88} + 4,75$ , mit  $\alpha$  = gefahrene Kilometer<sup>22</sup>) zunimmt. Auch die Abnahmen der Unfallraten (Bild 12) kann mit einer Potenzfunktion modelliert werden, die interessanterweise einen ähnlichen Exponenten (negiert) in der Potenzfunktion enthält. Das würde heißen, dass die Abnahme des fahrleistungsbezogenen Risikos fast vollständig durch die Zunahme der Fahrkompetenz durch Fahrleistung erklärt werden kann. Dies würde aber wiederum heißen, dass der Kompetenzerwerb in

<sup>22</sup> Allerdings mit einer sehr hohen Standardabweichung des Exponenten von 0,54.

den ersten 20 Jahren der Fahrpraxis nie aufhört. Die Autoren der Studie (ebd., S. 114) kommen zu dem Schluss, dass „The results reported here also show clearly that progress made when learning to drive depends on the amount of driving done.“

Die Autoren resümieren weiterhin, dass unterschiedliche Arten von Fehlern im Verlauf des Fahrkompetenzerwerbs unterschiedlich häufig vorkämen, was auf unterschiedliche Geschwindigkeiten bei der Entwicklung einzelner Teilfertigkeiten hinweise. Das stimmt mit den oben berichteten anderen Befunden überein. Offensichtlich werden die Basisfertigkeiten zuerst gelernt, wobei die Querführung schneller gelernt wird als die Längsführung. Man kann sich dafür verschiedene Erklärungen vorstellen. Zum einen müssen Lenkbewegungen zur Einhaltung des Fahrweges wesentlich häufiger ausgeführt werden, als Beschleunigungen und Bremsungen (Lenken wird häufiger geübt). Wichtiger ist aber wahrscheinlich, dass die Rückkopplung der Lenkaktionen wesentlich unmittelbarer ist als beispielsweise Fehleinschätzungen der angemessenen Geschwindigkeit für eine Verkehrskonstellation. Deren Folgen erfährt man eigentlich nur, wenn etwas schief geht. Die Folge einer Lenkbewegung wird unmittelbar vestibulär, haptisch und visuell rückgemeldet.

Die Unterschiede in den Angaben der Befunde, wie lange der Expertiseerwerb beim Autofahren dauert, spiegeln die Schwierigkeiten wider zu entscheiden, wann der Lernprozess abgeschlossen ist. In der Expertiseforschung geht man allgemein von benötigten 10 Jahren aus (Ericsson et al., 1993). Das würde mit den MID-2008-DATEN (2010) bei den Männern einer gemittelten summarischen Fahrleistung von ca. 210.000 km entsprechen. Nimmt man an, dass der Abfall der Unfallkennziffern, wie in Bild 12 gezeigt, nur auf die Fahrerfahrung zurückzuführen ist, dann würde dieser Prozess sogar 25 Jahre dauern, was bei den Männern im Mittel einer Fahrleistung von ca. 560.000 km entspräche (390.000 km bei den Frauen).

Bei so großen Unterschieden in den berichteten Werten bis zur Erlangung des Expertisestatus des Autofahrens muss man schlussfolgern, dass es eigentlich keine gesicherte Erkenntnis gibt. Alles deutet darauf hin, dass die Fahrkompetenz tatsächlich bis zum Einsetzen altersbedingter Verschlechterungen mit der Erfahrung wächst, aber immer weniger stark. Wenn dies so ist, könnte man Fahrkompetenz aber nicht erwerben, sondern nur erhö-

hen und verbessern und ggf. im Alter verringern. Die Frage, wo man bei einem solchen exponentiellen (oder nach einem Potenzgesetz) Abfall der Zuwachsrate einen Schnitt macht und den Fahrer für ausgelernet erklärt, ist dann allein eine Frage der Konvention. Für normative und gesetzliche Entscheidungen wird man nicht umhin können, eine Grenze festzulegen, ab wann die Fahrkompetenzerhöhung abgeschlossen ist. Es deutet sehr viel darauf hin, dass die Fahrleistung der wichtigste Faktor zur Erhöhung der Fahrkompetenz ist. Das würde u. U. auch erklären, weshalb Frauen mittleren Alters weit höhere Werte der Unfallkennziffern aufweisen als Männer (Bild 3). Die Abhängigkeit der Unfallrate von der Fahrleistung hatten wir schon in Bild 7 gezeigt.

Für eine Längsschnittstudie hat ein solch vergleichsweise schlichtes Gesetz des Kompetenzerwerbs mit kontinuierlichem, gesetzmäßigem Abfall der Zuwachsrate allerdings den Vorteil, dass u. U. wenige Erfassungspunkte reichen, um einen ganzen Verlauf zu modellieren und sogar auf Bereiche außerhalb des Untersuchungszeitraums zu extrapolieren.

Unabhängig von diesem einfachen Gesetz für die globale Fahrkompetenz scheint es erwiesen zu sein, dass es aufgabenspezifische Unterschiede in den Lernraten gibt. Am langsamsten werden Strategien der optimalen Aufgabenallokation, Fähigkeiten zum fahrspezifischen Multitasking, Gefahrenwahrnehmung, Einschätzung komplexer Situationen, Einschätzen des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer und optimale visuelle Suchstrategien gelernt (siehe GRATTENTHALER et al., 2009). Langsam erlernt wird auch die Bewältigung von seltenen Fahrsituationen – schon einfach deshalb, weil man wenig Gelegenheit zum Üben hat. Dazu gehört z. B. das Fahren auf Schnee oder im Nebel. Obwohl jeder Fahrer kognitiv um die Gefahren weiß, kommt es regelmäßig zu Beginn der Schneesaison zu einer Häufung von Unfällen. Ähnliches gilt für das Fahren im Nebel. Wenn es keine Erfahrung über die richtige Fahrweise bei gegebener Nebeldichte gibt, nützt auch das möglicherweise vorhandene abstrakte Wissen, dass man langsamer fahren soll, nichts, weil man nicht konkret weiß, wie viel langsamer. Reicht es, auf 80 km/h zu drosseln oder müssen es 5 km/h sein?

Das letzte Beispiel macht deutlich, dass Handlungsfolgen, die mit quantitativer Abstufung verbunden sind, nicht aus Wissensstrukturen, sondern

nur aus der Erfahrung abgeleitet werden können. Man kann zwar lernen, dass man bei Nebel langsamer fahren muss, wie viel bei gegebener Nebelstärke langsamer ist aber nur durch Erfahrung erlernbar. Da Nebel so selten vorkommt, verschätzen sich viele Fahrer. Für das Konzept einer Längsschnittstudie bedeutet dies, dass eine Beurteilung der Fahrkompetenz nur vor dem Hintergrund von mit-erfassten Expositionen in unterschiedlichen Teilaufgaben des Autofahrens sinnvoll ist. Es muss also die summarische Fahrleistung erfasst werden – und zwar möglichst objektiv. Es müssen aber auch Häufigkeiten von erlebten Sondersituationen erfasst werden (z. B. wie oft wurde im Untersuchungszeitraum bei Nebel gefahren? Wie groß war da etwa die Sichtweite?).

### 3.6 Unterschiede in Mustern des Lenkverhaltens

Wie schon in Kapitel 1.2.4 erwähnt, ändern sich die Charakteristika gezielter Bewegungen im Laufe der Übung zum automatisierten Verhalten von langsam geregelt zu schnell gesteuert. Dies gilt für alle Bewegungen, wie Laufen, Bewegungen im Sport, Handschrift und auch Autofahren. Bild 19 zeigt die Veränderung des Geschwindigkeitsverlaufs einer Unterarmbewegung durch einen Lernprozess. Die Ausführung gelingt schneller und kürzer und es gibt weniger Überschwinger.

Charakteristisch für gut geübte Bewegungen sind glockenförmige Zeitverläufe der Bewegungsgeschwindigkeiten. Bild 20 zeigt eine in der Zeit symmetrische Bewegungsgeschwindigkeit aus einem sehr gut geübten und optimierten Trackingexperiment (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 80). Dies ist nur möglich, wenn die Bewegung als Ganzes vor

der Bewegung geplant wurde und ohne Korrekturen durchgeführt wurde. Dies wird als gesteuertes Verhalten im Gegensatz zu geregelterm Verhalten bezeichnet, bei welchem die Bewegung einem Gesetz der permanenten rückgekoppelten Kontrolle gehorcht. Der glockenförmige Verlauf der gesteuerten Bewegung zeigt, dass die Planung einem Optimierungskriterium gehorcht. Da keine Korrekturen nach Start mehr möglich sind, werden diese Bewegungsformen als ballistisch bezeichnet.

Ballistische gegenüber geregelten Bewegungsmerkmalen sind also Hinweise auf den Übungsgrad bzw. auf den Automatisierungsgrad motorischer Handlungen. Sie können deshalb auch als Hinweis für den erreichten Grad des Fahrvermögens bezüglich der sensumotorischen bzw. kognitiv-sensumotorischen Fertigkeiten sein. Dies gilt in erster Linie für die Lenktätigkeit. Die Längsdynamik eines Fahrzeugs ist vergleichsweise träge, sodass differenzierte Pedaleingaben sich nur wenig auf Geschwindigkeitsvariationen auswirken. Immerhin konnte

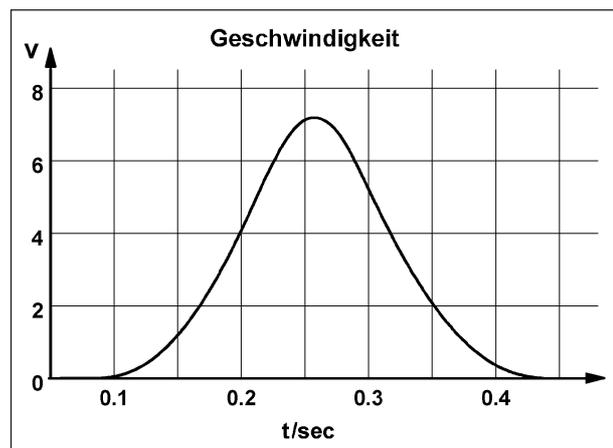


Bild 20: Bewegungsverlauf und Ableitungen eines Trackingexperimentes mit Instruktion zur Optimalität (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 103)

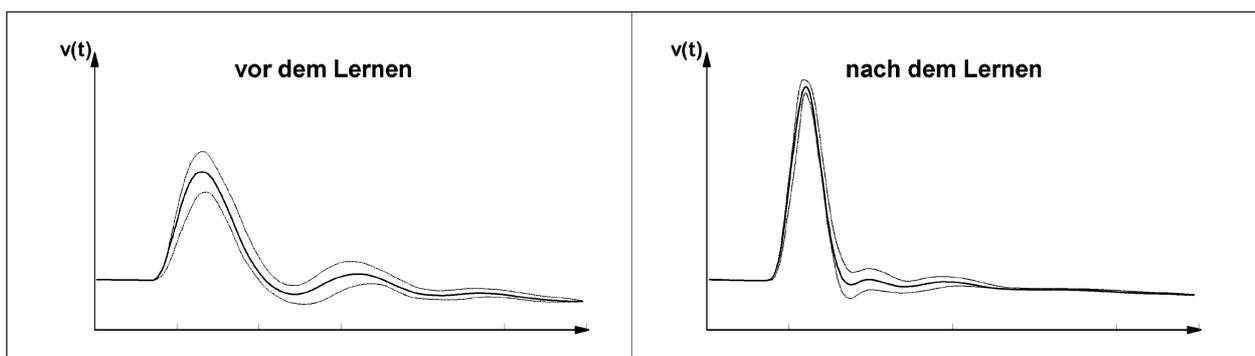


Bild 19: Geschwindigkeiten von Unterarmbewegungen in unterschiedlichen Stadien der Übung (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 80 nach KERR 1992)

aber JUNG (1998) zeigen, dass sich die Muster des Bremsdrucks über der Zeit bei einem Bremsvorgang bis zum Stillstand vor einer Ampel durch Üben wesentlich verändern können. Das adäquate Annähern an Ampeln wurde oben als einer der Problemunkte von Fahranfängern identifiziert.

Ballistische Bewegungen in ihrer reinen Form kann man im realen Straßenverkehr allerdings wegen der permanenten Störeinflüsse von der Fahrbahn auf das Fahrzeug und wegen der Dynamiken anderer Verkehrsteilnehmer nur selten beobachten. Insbesondere beim Lenken sind permanente Korrekturen notwendig. Dies gelingt dadurch, dass permanent mit einem zeitlichen Abstand von typischerweise 0,7 Sekunden (VEDDER, 1990) kleine ballistische Korrekturbewegungen durchgeführt werden.

Bild 21 zeigt das stufige Annähern an ein Ziel bei dem oben geschilderten Trackingexperiment (Bild 20). Die Bewegung ist noch nicht so stark geübt und deswegen noch nicht optimal. Der Proband nähert sich dem Ziel in mehreren Schritten, während er in Bild 20 das Ziel auf Antrieb trifft. Die Teilbewegungen der Zielannäherung sind jeweils kleine ballistische Bewegungen. Ein Indiz für die Expertisehöhe bezüglich der Lenkaufgabe wäre demnach durch die Anzahl der Korrektursequenzen gegeben.

Während der Durchführung von Querführungsmanövern (siehe Kapitel 4.3.1), z. B. bei einem Abbiegemanöver sind solche ballistischen Korrekturmanöver nicht möglich. Die Fahrer kompensieren dies durch Verlagerung der Korrekturebene auf die Lenkgeschwindigkeit. In Bild 22 ist der Verlauf

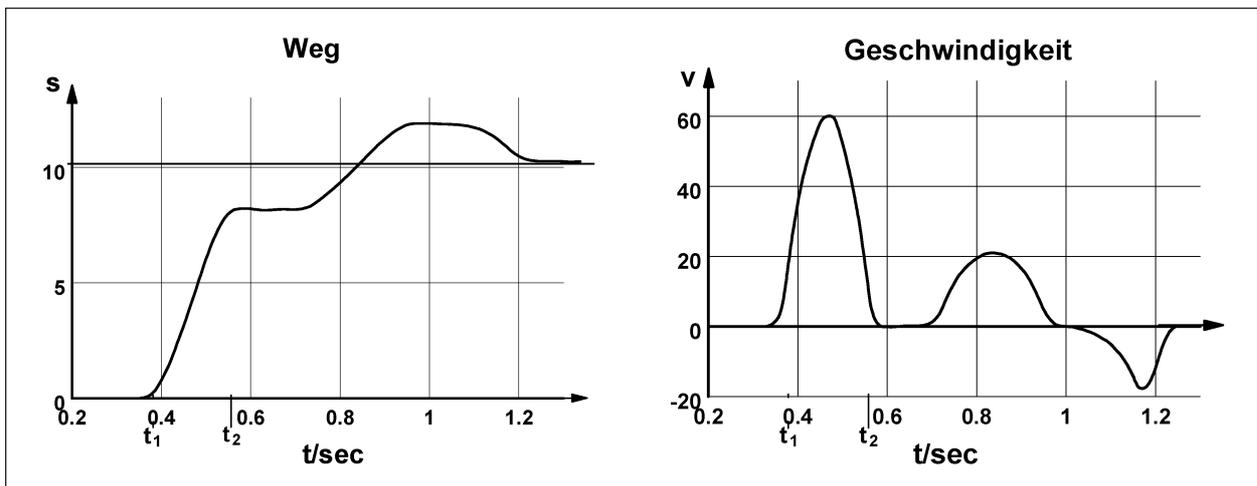


Bild 21: Bewegungsverlauf und Ableitungen eines Trackingexperimentes mit Instruktion zur Optimalität während des Trainings und vor Erreichen des höchsten Expertisegrades (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 102)

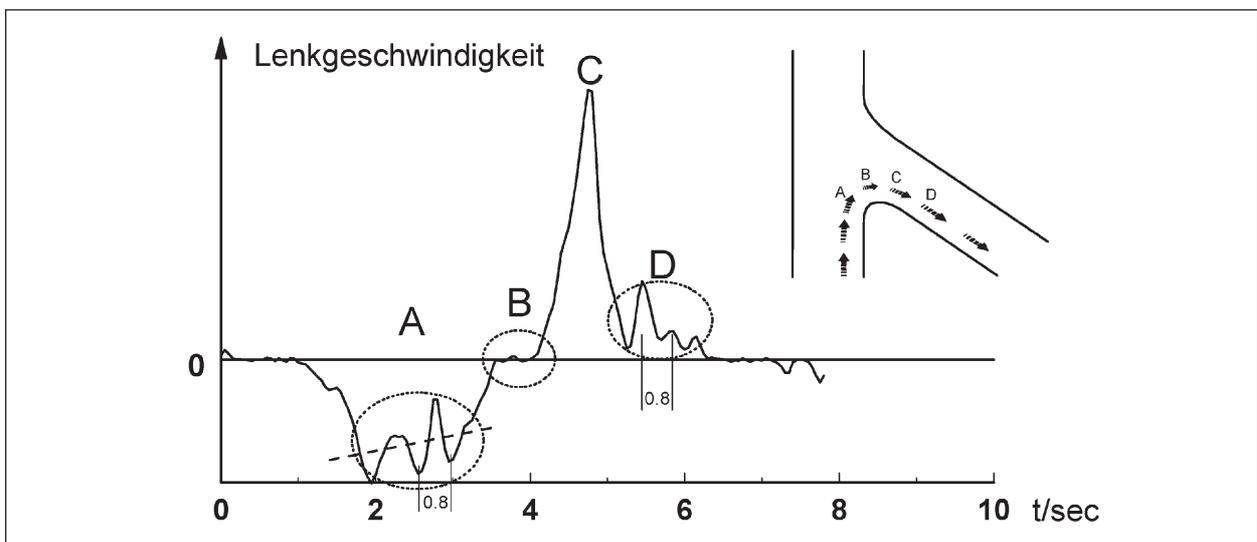


Bild 22: Verlauf der Lenkgeschwindigkeit eines erfahrenen Fahrers bei der Fahrt durch eine 135°-Kurve im normalen Stadtverkehr (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 86)

der Lenkwinkelgeschwindigkeit bei der Fahrt durch eine 135°-Kurve dargestellt. Die Korrekturimpulse der Lenkwinkelgeschwindigkeit haben einen Abstand von ca. 0,8 Sekunden und liegen damit in dem oben berichteten Bereich der Lenkwinkelkorrekturen von im Mittel 0,7 Sekunden. Im Lenkwinkelverlauf sind diese Korrekturen nur in kleineren Schwankungen einer sonst glatten Bewegung sichtbar. Im Kurs des Fahrzeugs sind wegen dreifacher Integration<sup>23</sup> keine Glätteschwankungen sichtbar.

Indikatoren für Automatisierung im Verhalten finden wir auch bei der Längsführung im Abstandsverhalten. In Bild 23 ist das typische Fahrzeugfolgeverhalten in einem Abstands-Differenzgeschwindigkeitsdiagramm dargestellt. Der Fahrer fährt stets mit konstanter Beschleunigung und handelt nur in diskreten Umschaltpunkten. Diese diskreten Handlungsentscheidungen sind zum größten Teil subbewusst, aber bewusstseinsfähig. Das Action Point Model wurde zuerst von TODOSIEV (1963) vorgestellt und findet sich in vielen Modellen des Fahrzeugfolgeverhaltens. Das Modell beschreibt typi-

sche, vom Fahrer selbst erzeugte, Abstandsschwankungen in Form von Grenzyklen mit parabelförmigen Teilstücken in der  $\Delta x$ - $\Delta \dot{x}$ -Ebene. Die Action Points sind dabei durch die Wahrnehmungsschwelle von Differenzgeschwindigkeiten definiert. Man kann mit dieser Modellvorstellung nicht nur die Parabelform der Grenzyklen erklären, sondern aus der Differenz der Wahrnehmbarkeit von positiven und negativen Relativgeschwindigkeiten auch die langsame Drift zu höheren Entfernungen, die vom Fahrer in einem überlagerten Entscheidungsprozess ausgeglichen wird. Der Fahrer handelt also zum größten Teil subbewusst und korrigiert diese subbewussten Entscheidungsvorgänge durch bewusste.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Charakteristika von Lenkbewegungen und teilweise von Bremsverläufen sowie das Verhalten in der Abstands-Differenzgeschwindigkeitsebene als Indikatoren des Übungsgrades und damit der Expertise herangezogen werden können. Allerdings gibt es sehr große interindividuelle Unterschiede (JÜRGENSOHN et al., 1997). Je nach motorischer Begabung/Fähigkeit können auch Anfänger Charakteristika erfahrener Fahrer zeigen. Deshalb können aus längsschnittlichen Untersuchungen nur differentialindividuelle Rückschlüsse abgeleitet werden.

<sup>23</sup> Die Querabweichung entspricht in etwa der dreifachen zeitlichen Integration der Lenkwinkelgeschwindigkeit.

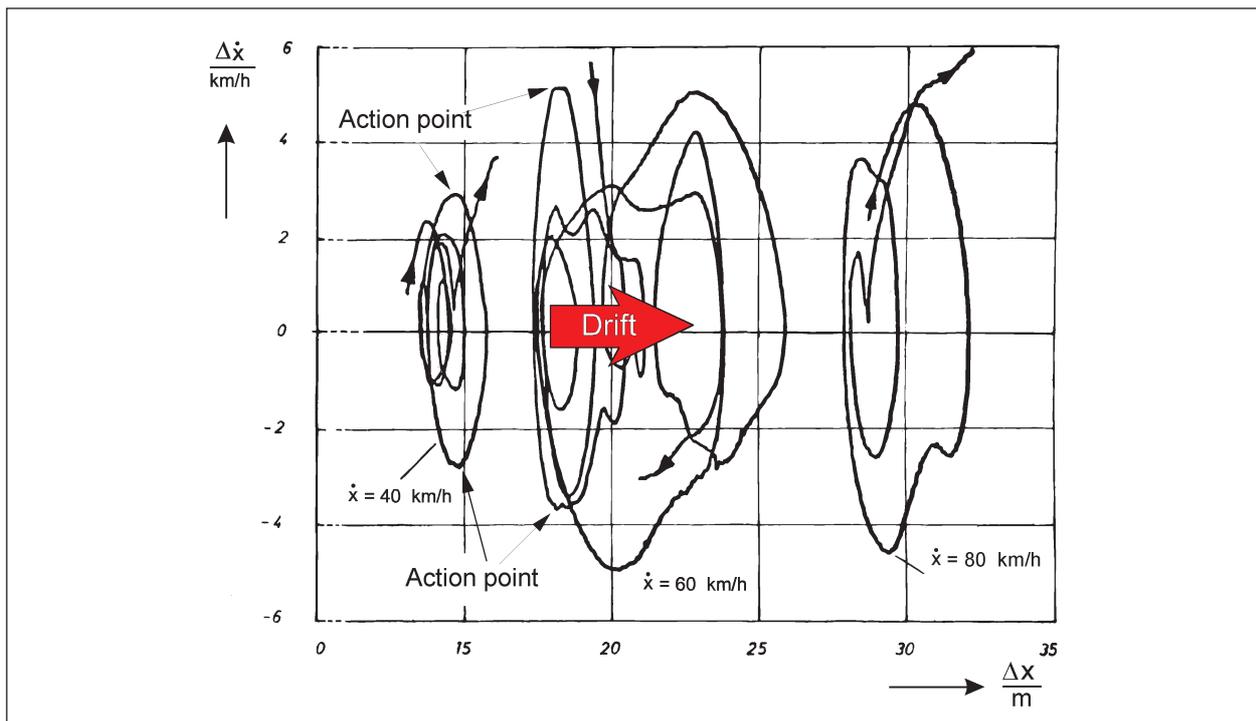


Bild 23: Grenzyklen der Fahrzeugfolgebewegung in der  $\Delta x$ - $\Delta \dot{x}$ -Ebene (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 141, nach HARTWICH, 1971)

## 4 Modelle

In der Verkehrssicherheitsforschung gibt es eine Reihe von Modellen, die sich auf die Fahraufgabe und das Fahrverhalten beziehen. Für die Konzipierung einer Längsschnittstudie ist die Kenntnis über diese Modelle deswegen von Bedeutung, weil sie ein methodisches Gerüst dazu liefern können, welche Variablen während der Studie durch Befragung oder Messung erfasst werden sollen.

Aus den Modellen lassen sich Wirkbeziehungen ableiten: Änderungen in den Faktoren tragen sich in die von ihnen kausal beeinflussten nachgelagerten Faktoren weiter. Damit bieten diese Modelle einen – je nach Modell mehr oder weniger konkreten und umfangreichen – Rahmen, Verhalten nicht nur zu beschreiben, sondern Ansatzpunkte für Interventionsmöglichkeiten zu formulieren und diese modellgeleitet empirisch zu überprüfen. Das finale Ziel einer hier in Planung vorgestellten Längsschnittstudie, nämlich die Maßnahmenentwicklung, müsste vor dem Hintergrund eines Modells gelöst werden können.

Grundlage der Fahrverhaltensmodelle ist oft eine teilweise hierarchische Strukturierung der Fahraufgabe in zwei oder mehr Ebenen. Es sollen deshalb exemplarisch drei 3-Ebenen-Modelle vorgestellt und diskutiert werden. Im Anschluss werden Modelle für die Fahrkompetenz und den Fahrkompetenzerwerb vorgestellt. Zum Ende dieses Kapitels werden eigene Modellvorstellungen präsentiert.

### 4.1 Ebenenmodelle der Fahraufgabe

Es existiert eine Reihe von 3-Ebenen-Modellen, die die Fahraufgabe als Hierarchie von Teilaufgaben betrachten. Diese beziehen bzw. berufen sich einerseits auf das 3-Ebenen-Modell von DONGES (1982), auf das 3-Ebenen-Modell von MICHON (1985) und teilweise auf Elemente des 3-Ebenen-Modells von RASMUSSEN (1983). Vielfach werden diese Modelle als wesentlich gleich angesehen, und es werden Rückschlüsse für Phänomene einer Ebene des einen Modells aus Merkmalen einer korrespondierenden Ebene des anderen Modells abgeleitet. Das ist aber nur bedingt richtig. Während das Modell von DONGES aus der Tradition der von Ingenieuren entwickelten, regelungstechnischen Fahrermodelle kommend eine Teilaufgabe der Autofahraufgabe, nämlich die Führungsaufgabe, beschreibt, beschreibt Rasmussen, ebenfalls Inge-

nieur, das Verhalten aus der Perspektive unterschiedlicher Verarbeitungsmodi (OEHME et al., 2014), und zwar für den Anwendungsfall der Bedienung und Kontrolle eines Kraftwerks. MICHON wiederum ist Psychologe und beschreibt das Autofahren als Problemlöseaufgabe.

Das Modell von DONGES (Bild 24) beschreibt die Fahrzeugführungsaufgabe als eine hierarchische kontinuierliche Regelung in mehreren Schleifen. Diese Denkweise entspringt einer aus den Ingenieurwissenschaften kommenden Tradition, die das Autofahren als Regelaufgabe auffasst (für einen Überblick siehe JÜRGENSOHN, 1997). Die eigentliche Regelung findet dabei in dem bei DONGES Stabilisierungsebene genannten Block statt<sup>24</sup>, in der die beiden Teilaufgaben Längs- und Querverführung bearbeitet werden. Die Bahnführungsebene

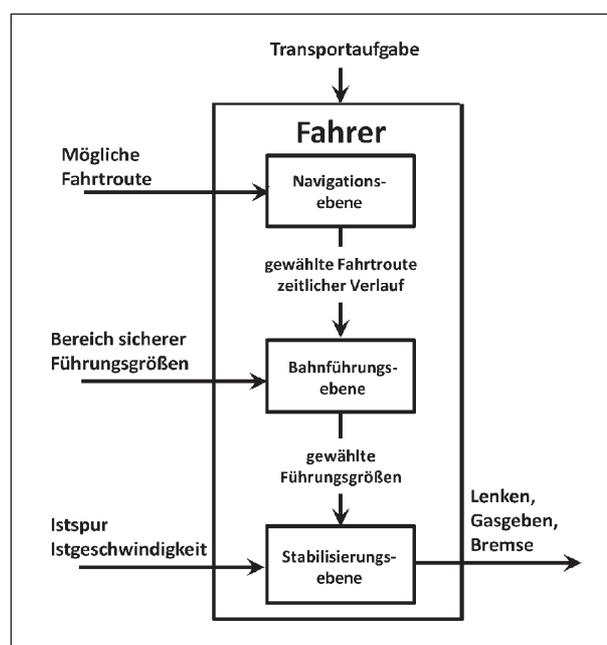


Bild 24: Hierarchische 3-Ebenen-Struktur der Fahrzeugführungsaufgabe (Grafik modifiziert nach DONGES, 1982)

<sup>24</sup> Der Begriff Stabilisierung ist aus den Anforderungen technischer Regelungen instabiler Systeme in der Luft- und Raumfahrt abgeleitet und beschreibt dort die Regelung der Lage und Flugrichtung. Stabilisierung bezeichnet in der Regelungstechnik die Beeinflussung eines instabilen Systems durch einen Regler so, dass dieses sich stabil verhält. Bezüglich der Querverführung kann man ein Auto durchaus als instabiles System auffassen, wenn man das Verlassen der Straße als Instabilität auffasst. Bezüglich der Längsdynamik ist das Fahrzeug stabil (ohne Eingriffe bleibt es irgendwann stehen, auch im bergigen Gelände). Für die Längsführung ist der Begriff Stabilisierung deshalb nicht sinnvoll. Unabhängig davon findet bei der Längsführung natürlich auch eine Regelung zur Vermeidung von Kollisionen statt.

besteht in der regelungstechnischen Vorstellung wiederum aus Reglern (jeweils einen für Querregelung und Längsregelung), die dafür sorgen, dass die eigentliche Regelung der Querdynamik und Längsdynamik eine zeitlich veränderliche Sollvorgabe bekommt. Diese wird benötigt, da die Straße ein zweidimensionales Band ist und unterschiedliche Wege auf der Straße möglich sind. Die Bahnführungsebene enthält aber nicht, wie manchmal vermutet, eine geometrische Spur auf der Straße sondern eine zeitlich veränderliche, eindimensionale Größe. Die Ebenen bei DONGES sind also Schachtelungen von Regelkreisen und dürfen nicht als Metaphern aufgefasst werden. Die Pfeile symbolisieren kontinuierliche Signalflüsse.

Bahnführungsebene und Stabilisierungsebene sind beides Prozesse, die kontinuierlich in der Zeit sind, quasi also im Millisekundenbereich liegen. Die Navigationsebene ist beim Modell von DONGES nicht näher ausgeführt und wahrscheinlich aus Gründen der Vollständigkeit hinzugefügt. Als dritte Reglerebene wäre dies technisch auch nicht durchführbar, da in den Sollgrößen dieser Ebene Größen enthalten sein müssten, die erst im Verlauf der Fahrt feststehen. Für die Längsführung ist solch eine Ebene nicht einmal definierbar. Zur Modellierung der Quer- und Längsführungsaufgabe reichen zwei Ebenen aus. Bis in die Mitte der 70er Jahre bestanden alle veröffentlichten dynamischen Modelle der Quer- und Längsführungsaufgabe nur aus zwei Ebenen, wobei die übergeordnete Ebene allein den Zwängen der regelungstechnischen Modellierung geschuldet ist. JÜRGENSOHN (1997) zeigt, dass die Befunde zum Verhalten von Autofahrern für die Querführung eher auf eine einzige Ebene hinweisen, die sich in modernen Konzepten zur Modellierung der Querführungsaufgabe unter dem Stichwort dynamische Bahnplanung (PROKOP, 2001) oder Anpassungsplanung (SCHÄFER, 2004) manifestieren (siehe auch JÜRGENSOHN & KUPSCHICK, 2008). Demnach besteht die Querführung beim Autofahren nicht aus einem Abfahren einer Sollspur, sondern in einem ganzheitlich aufzufassenden Prozess. Für die Längsführung ist diese zweite Ebene nicht notwendig. Vorgaben wie Wunschgeschwindigkeit oder Wunschabstand, die als Vorgabe einer Regelung notwendig sind, ändern sich dynamisch kaum und können als zeitveränderliche Parameter aufgefasst werden.

Die Erweiterung der 2-Ebenen-Modelle des Autofahrerverhaltens um eine übergeordnete Ebene taucht erst Mitte der 70er-Jahre in Veröffentlichun-

gen auf (JOHANNSEN, 1976; McRUER et al. 1977), wahrscheinlich ausgelöst durch Veröffentlichungen von BERNOTAT (1964). Letzterer bezieht sich wiederum auf RÖßGER et al. (1962), der die Hierarchie von technischen Regelkreisen bei der Raumfahrt beschreibt. Die Raumfahrzeugführung wird dabei in die drei hierarchischen Programm- und Reglerstrukturen Navigation, Lenkung und Flugregelung eingeteilt. Die Navigation enthält das Flugprogramm<sup>25</sup> mit der Sollflugbahn, die Lenkung sorgt dafür, dass die Sollflugbahn eingehalten wird und die Flugregelung regelt schließlich basale Größen wie Lage, Winkelgeschwindigkeit, Schubbeschleunigung, etc. Im Flugprogramm ist der gesamte Ablauf der Mission (z. B. der Flug zum Mond) gespeichert. Vergleicht man dies mit dem Modell von DONGES, dann entspricht die Navigationsebene der Raumfahrt der Bahnführungsebene von DONGES, die Lenkungsebene und der Flugregler entsprechen zusammen der Stabilisierungsebene von DONGES. Die Donges'sche Navigationsebene kommt in der Raumfahrt nicht vor, da es in der Raumfahrt keine Abzweigungen gibt.

BERNOTAT (1964) greift diese Modellvorstellung aus der Raumfahrt auf, um zu untersuchen, welche Rolle der Mensch in diesen verschachtelten technischen Regelkreisen in der Flugführung einnehmen kann. Allerdings geht es darin nicht um die Modellbildung eines Piloten, sondern um mögliche Schnittstellen zur Technik. Die hierarchische 3-Ebenen-Struktur geschachtelter Regelkreise (Navigation Controller, Guidance Controller, Stabilization Controller) wird dann von JOHANNSEN (1976) aufgegriffen und als allgemeines Schema der Fahrzeugkontrolle für alle möglichen Fahrzeuge mit dem Ziel der Lokomotion (Flugzeug, Schiff, Auto) bezeichnet. Die obersten Ebenen fungieren dabei immer als Führungsgrößen für die darunterliegenden Ebenen. Johannsen stellt fest, dass die Aufgabe entweder von einer Automatik oder einem Menschen ausgeführt werden kann. Falls die Fahrzeugführung von einem Menschen durchgeführt wird, wäre die unterste Ebene durch kontinuierliche sensumotorische Aktivitäten charakterisiert, während die darüber liegenden Ebenen zunehmend diskreter würden und Entscheidungs- und Planungsprozesse beinhalteten.

<sup>25</sup> Wobei die Planung des Flugprogramms vorher außerhalb des Raumfahrzeuges vorgenommen wurde.

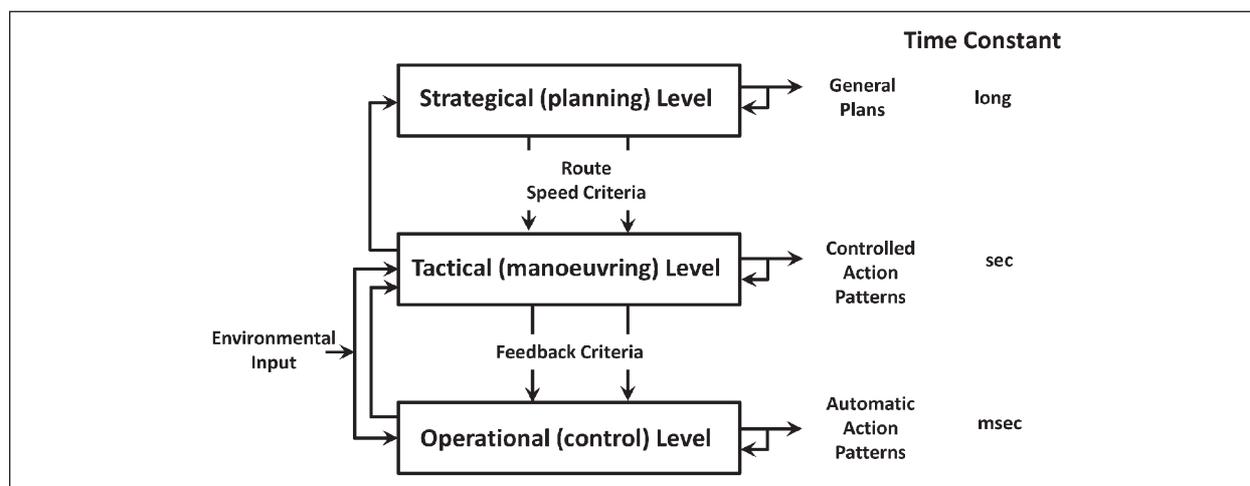


Bild 25: Hierarchische 3-Ebenen-Struktur der Aufgaben des Autofahrers (Grafik modifiziert nach MICHON, 1985)

Wesentlich abstrakter und allein auf die Beschreibung der Aufgaben des Autofahrens als eine Problemlöseaufgabe zugeschnitten, ist das in Bild 25 dargestellte Modell von MICHON (1985). Während DONGES sich von unten der Modellbildung der Fahraufgabe nähert und die eigentliche Handlung im Auge hat, nähert sich MICHON von oben, bei den kognitiven Aufgaben beginnend. In der strategischen Ebene werden Pläne erzeugt, die zwar auch die Routenplanung betreffen, aber darüber hinaus Planungen beinhalten, ob man nicht lieber mit der Bahn fahren sollte oder ob das Fahren bei Schnee nicht zu risikoreich sei, etc. Diese Pläne werden vor der Fahrt durchdacht, was unter Umständen länger dauert. Die so definierte strategische Ebene ist wesentlich abstrakter als die oben diskutierte Festlegung einer Sollflugbahn.

Die mittlere Ebene bezeichnet MICHON anders als in den Ansätzen von JOHANNSEN (Lenkungebene) und DONGES (Bahnführungsebene) mit taktischer Ebene und bringt zum ersten Mal den Begriff des Manövers in die Diskussion ein. Manöver können dabei alle Teilaufgaben der Fahraufgabe sein, die länger dauern als die automatisierten Handlungen im Millisekundenbereich auf der Operationsebene (Regelebene), aber im Gegensatz zu den langen Planungsvorgängen der strategischen Ebene stehen. Dies können reine Einschätzungsaufgaben sein aber auch Manöver wie das Überholen oder Abbiegen. Die taktische Ebene erzeugt kognitiv kontrollierte Handlungsmuster, die offensichtlich (folgt man der Grafik) die Motorik ansteuern. Die Ansteuerung der Motorik vollzieht auch die unterste Ebene, die Regelungsebene, allerdings mit automatisierten Handlungsmustern. Die Rolle der untersten Ebene wird nicht näher ausgeführt und ist

offensichtlich nur der Vollständigkeit halber eingefügt.

Insgesamt implizieren die vielen möglichen internen Schleifen, die entstehen, wenn man den Pfeilen folgt, dass der Autor im Gegensatz zu DONGES und JOHANNSEN offensichtlich nicht an eine strikte Hierarchie denkt, sondern an stark wechselwirkende Ebenen, die in ihrem Einzeleinfluss verschwimmen. Wesentlicher Unterschied in den Ebenen sind die unterschiedlichen Zeitkonstanten der Bearbeitung.

Die 3-Ebenen-Struktur von RASMUSSEN (1983, Bild 26) ist kein Modell der Fahrzeugführung, sondern beschreibt die Aufgaben eines Operators in einer hochautomatisierten Industrieanlage, wie z. B. einem Kraftwerk. Ziel der Modellbildung ist es, einen Rahmen für die Untersuchung von Fehlern zu finden. Die motorischen Aufgaben von Operateuren in Kraftwerken sind äußerst begrenzt. In der Regel müssen sie Knöpfe oder Schalter bedienen und allenfalls ein Ventil schließen. Rasmussen geht davon aus, dass diese Tätigkeiten kurze Handlungssequenzen sind, die hoch automatisiert sind und immer subbewusst ablaufen. Auf dieser subbewussten fertigkeitbasierten Ebene sind es Handlungsmuster, die zu motorischen Aktionen führen. In der Regel werden sie auf der sensorischen Seite durch einen kontinuierlichen Fluss mehrdimensionaler Informationen gespeist, die er als Signale bezeichnet. Sie werden zusätzlich aber auch durch diskrete Zeichen beeinflusst, die Ergebnis eines Merkmalsfilterprozesses sind und als Trigger einer Handlung fungieren – ein Beispiel wäre eine aufleuchtende Lampe, die das Ende eines Einstellvorgangs symbolisiert und den Aufforderungs-

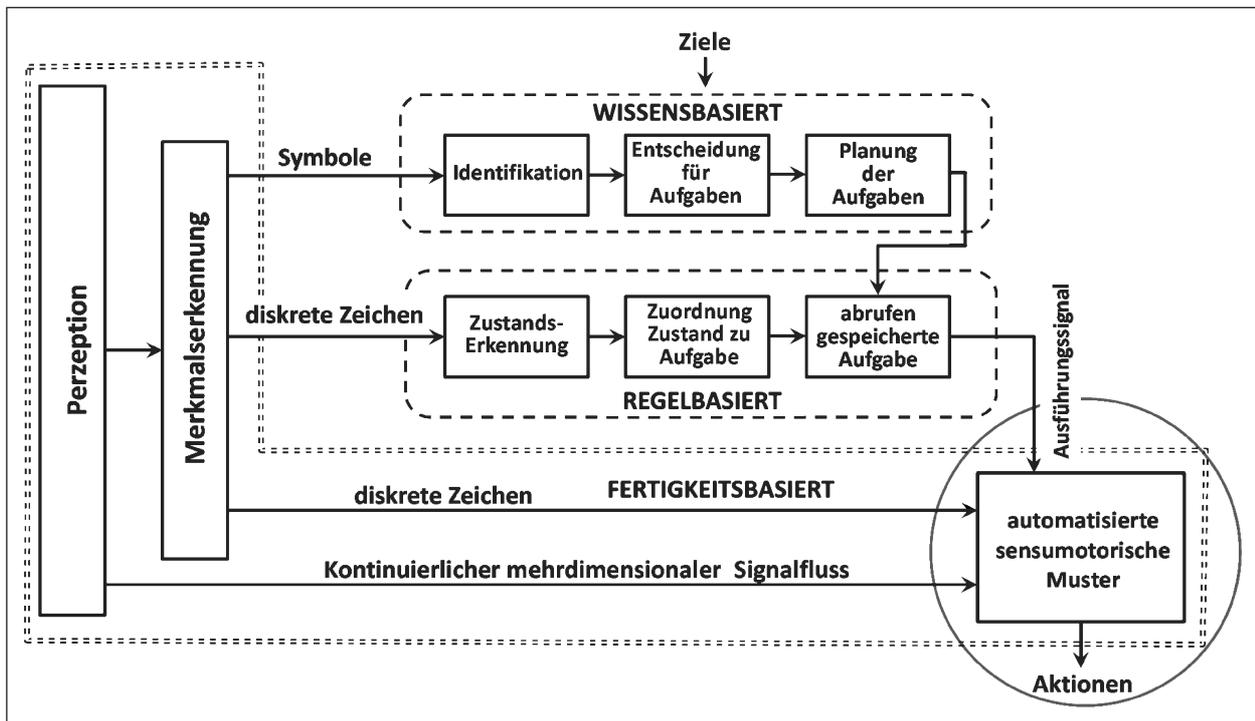


Bild 26: 3-Ebenen-Modell der Verhaltensebenen erfahrener menschlicher Operateure (Grafik modifiziert nach RASMUSSEN, 1983)

charakter des Aufhörens hat. Auch dies gehört zur subbewussten Ebene fertigkeitbasierter Tätigkeiten. RASMUSSEN gibt als Beispiel für eine Aufgabe, die vollständig fertigkeitbasiert mit einem kontinuierlichen Signalfluss ist, das Fahrradfahren an. Die Handlungen bestünden alle aus automatisierten Handlungen und das Bewusstsein moduliere diese.

Für motorische Handlungen des Knopfdrückens oder Schalterdrehens in Kraftwerken auf der fertigkeitbasierten Ebene kann weitgehende Fehlerfreiheit angenommen werden. Diese Ebene ist für RASMUSSEN deshalb wenig interessant. Die eigentlichen fehleranfälligen Handlungen finden auf der regelbasierten Ebene statt. Auf dieser Ebene finden selbst keine motorischen Aktionen statt, sondern es werden auf Basis der eben erwähnten Zeichen (jetzt allerdings mit bewusster Informationsverarbeitung) situationsangepasste Handlungssequenzen ausgewählt, die vorher trainiert wurden und dem Operateur als Repertoire von Handlungssequenzen im Gedächtnis zur Verfügung stehen. Zeichen haben bei Rasmussen keine Bedeutung, sondern dienen als auslösender Reiz von stereotypen Aktionen. Der Unterschied zu der subbewussten Beeinflussung von Handlungen durch Signale liegt in der regelbasierten Ebene darin, dass nur bewusst wahrnehmbare Randbedingungen hinzukommen, die nicht direkt im Signal liegen. Ein Bei-

spiel aus dem Verkehrsbereich sind Abbiegepeile an Ampeln, die eine andere Farbe haben als die Ampelsignale selbst. Während eine normale Ampel auch unmittelbaren Aufforderungscharakter eines Reizes hat und ohne bewusste Wahrnehmung befolgt werden kann, erfordert der grüne Pfeil kognitive Ressourcen. Wie wahrscheinlich jeder Autofahrer schon einmal selbst erfahren hat, werden die grünen Pfeile deshalb auch gerne einmal übersehen bzw. ignoriert.

Die Begründung für die Annahme einer regelbasierten Ebene liegt nach RASMUSSEN nicht nur darin, dass in hochautomatisierten Industrieanlagen Handlungen in der Regel durch Anweisungen in Handbüchern vorgeschrieben sind. Er bezieht sich auch auf die Tendenzen in der psychologischen Forschung, alle Informationsverarbeitungsprozesse als Problemlöseprozesse darzustellen und letztere über Systeme von Regeln (Produktionensysteme) zu modellieren (z. B. NEWEL & SIMON, 1972; NEWELL, 1973).

Die wissensbasierte Ebene wird nur dann benötigt, wenn Situationen auftreten, für die keine der gespeicherten Regeln passt. Dann müssen neue Regeln entwickelt werden. Das ist z. B. dann notwendig, wenn Störfälle auftreten, von denen nicht alle Aspekte vorhergesagt wurden. Der Prozess findet ebenfalls auf Bewusstseinssebene ab und dauert

im Sinne MICHONS (Bild 25) lang. Den Signaleingang in diese Ebene bezeichnet Rasmussen als Symbole, die im Gegensatz zu den Zeichen mit Bedeutung belegt sind.

Was ist nun von dieser Vorstellung RASMUSSENS zur Modellierung der Fahraufgabe übertragbar? RASMUSSEN beschreibt, wie gesagt, das Verhalten aus der Perspektive unterschiedlicher Verarbeitungsmodi und nicht der Aufgabe. Immerhin finden sich wie beim Modell von MICHON Planungsprozesse wieder. Die Aufgabe, sich beim Fahren vorzustellen, wann man abbiegen muss, ist mit dem wissensbasierten Problemlöseprozess allerdings nicht gemeint. Die Ebene wissensbasierten Verhaltens von RASMUSSEN kann man auch nicht mit der Navigationsebene gleichsetzen. Zwar kann man sich auch vorstellen, dass es beim Autofahren Situationen gibt, die völlig unbekannt sind und deshalb völlig neue Bearbeitung verlangen. In der Tat weiß man insbesondere von Fahranfängern, dass sie bei besonderen Situationen keine adäquate Handlung kennen und deshalb gar nichts tun. Allerdings sind die zeitlichen Anforderungen bei der Fahrzeugführung so hoch, das man wissensbasiertes Verhalten im Sinne Rasmussens mit langen Nachdenkzeiten, die mindestens im Minutenbereich liegen – außer bei sehr wenigen Situationen – ausschließen kann.

Bewusstes regelbasiertes Verhalten kann man sich allerdings auch im Straßenverkehr vorstellen. Das visuelle Abbild eines grünen Abbiegepfeils initiiert die Handlung, die Abbiegesequenz einzuleiten. Eine andere mögliche Regel ist die, die Handbremse anzuziehen, wenn man am Berg parkt. Alle Aufgaben bei der Fahrzeugführung, die als prädikatenlogische Implikation darstellbar sind, sind auch als regelbasiertes Verhalten denkbar. Beispielsweise wäre auch das bewusste Einschalten des Lichtes vor der Einfahrt in einen Tunnel solch ein regelbasiertes Verhalten. Wenn die Handlungen aber abgestuft (bzw. kontinuierlich) in Abhängigkeit kontinuierlich variabler Situationsmerkmale notwendig sind, ist dies durch Regeln nicht mehr darstellbar. Hier werden Handlungen im Sinne von funktionalen Handlungsrelationen benötigt. Das sind alle Handlungen, die kontinuierlich variable Stellgrößen haben, beim Auto das Lenken, Gasgeben und Bremsen. Wenn es bei der Handlung zusätzlich noch auf den zeitlichen Verlauf der Situationsmerkmale ankommt, sind die Handlungskonsequenzen nur als Differentialbeziehungen (z. B. als Differentialgleichungen) beschreibbar. Aus diesem Grunde

basieren die beiden unteren Ebenen von DONGES auf Differentialgleichungen.

Regelbasiertes Verhalten auf Handlungseben ist also beim Autofahren selten. Regelbasiertes Verhalten auf Vor-Handlungsebene gibt es beim Autofahren aber durchaus. Alle Verkehrsregeln sind natürlich Regeln und haben das Ziel der Handlungsbeeinflussung. Z. B. beeinflusst die Rechtsvor-Links-Regel durchaus das Verhalten des Fahrers. Das eigentliche Handeln ist dann aber nicht mehr regelbasiert, weil mit kontinuierlichen Handlungen in der Zeit verbunden.

Merkwürdig erscheint die Festlegung RASMUSSENS, dass Zeichen auf der regelbasierten Ebene keine Bedeutung haben. Dies kann man für das Autofahren ausschließen. Alle Objekte, die Grundlage einer Überführung in ein Zeichen sind, haben auch eine Bedeutung. Zwar kann man zweidimensionalen visuellen Musterelementen in der Wahrnehmung teilweise das Attribut der Bedeutungslosigkeit zuordnen. Die Verarbeitung dieser Muster würde man aber nicht der regelbasierten Ebene zuordnen. Insbesondere sind alle Verkehrszeichen, die typischerweise mit Regeln verbunden sind, mit Bedeutung verbunden. Nimmt man also das Modell von RASMUSSEN wörtlich, gibt es in seinem Sinne beim Autofahren keine regelbasierte Ebene. Insgesamt kann man sagen, dass das Autofahren zum überwiegenden Teil in Bezug auf das Modell von RASMUSSEN im eingekreisten Bereich von Bild 26 anzusiedeln ist, so wie es RASMUSSEN für das Fahrradfahren angenommen hat.

#### 4.1.1 Zusammenfassung: Ebenenmodelle der Fahraufgabe

Wir haben die 3-Ebenen-Modelle vorgestellt, weil sie häufig in anderen Modellen als Grundlage oder Bezugsrahmen eingesetzt werden – so auch in den im Weiteren vorgestellten Modellen der Fahrkompetenz. Wie gezeigt, verbindet diese Modelle, dass es eine unterste Ebene gibt, in der die Handlungen angesiedelt sind und eine oberste Ebene, die intellektuelle (kognitive) Planungs- oder Wissensverarbeitungsprozesse beinhaltet. Die Interpretation der mittleren Ebene und auch die Spezifikation der einzelnen Ebenen sind jeweils unterschiedlich. Während bei DONGES alle Prozesse kontinuierlich in der Zeit ablaufen, sind diese bei den anderen Modellen diskreter Natur mit teilweisen sehr langen Zeiten bis eine Handlung initiiert wird. Fasst man

die drei Modelle zusammen, ergibt sich sogar ein 5-Ebenen-Modell. Neben den vorgestellten Modellen gibt es noch eine Reihe ähnlicher 3-Ebenen-Modelle (z. B. HACKER, 1970; DORNHÖFER & PANNASCH, 2000), die sich insbesondere in der Definition der mittleren Ebene unterscheiden.

Generell haben alle diese 3-Ebenen-Modelle eine hohe intuitive Kraft und sind wahrscheinlich deshalb auch so beliebt. Die obigen Ausführungen haben aber gezeigt, dass die für konkrete Fälle ableitbaren Rückschlüsse für die Fahraufgabe über den Informationsgehalt „es gibt langsame Wissensprozesse und schnelle automatisierte Handlungen“ nicht hinausgehen.

Zudem birgt die hierarchische Darstellung der Ebenen die Gefahr einer Vorstellung der Fahraufgabe dahingehend, dass die Navigation die Lenkung (oder die Manöver) determiniert und diese wiederum die Motorik. Wir werden in einer Analyse der Fahraufgabe (Kapitel 4.3.1) die Navigation als eine Subaufgabe (Planungsaufgabe) eines speziellen Querführungs-Manövers (Abbiegen) definieren.

## 4.2 Modelle der Fahrkompetenz

### 4.2.1 Hierarchisches Fahrverhaltensmodell und GDE-Matrix

Zu einem der am besten etablierten Ansätze im Bereich der Fahrkompetenz gehören das Hierarchische Modell des Fahrverhaltens von KESKINEN et al. (1999) und die darauf aufbauende GDE-Matrix (General Driver Education Matrix), die im Rahmen des EU-Projekts GADGET (Guarding Automobile Drivers through Guidance Education and Technology) erstellt wurde (HATAKKA et al., 2002).

KESKINEN et al. (1999) unterscheiden in ihrem Modell zwischen vier Ebenen des Fahrverhaltens (Bild 27). Das Modell basiert im Wesentlichen auf dem im letzten Kapitel dargestellten Modell von MICHON (1985, Bild 25). Zusätzlich führen die Autoren eine weitere Stufe, nämlich Lebensziele und Lebensfertigkeiten ein.

Die einzelnen Ebenen des Fahrverhaltens beinhalten nach KESKINEN et al. (1999) folgende Aspekte:

- **Fahrzeughandhabung**  
Die unterste Ebene umfasst alle Aufgaben, die für das Steuern von Geschwindigkeit, Richtung und Position des Autos erforderlich sind. Diese Fähigkeiten werden im praktischen Teil der Fahrausbildung geübt. Ihre Beherrschung gilt in der Regel als Voraussetzung für die Zulassung zur praktischen Prüfung. Laut HALL und WEST (1996) sind diese Fertigkeiten relativ schnell erlernbar und werden durch Novizen bereits nach etwa 15 Fahrstunden beherrscht.
- **Bewältigung der Verkehrssituationen**  
Auf dieser Ebene erfolgt die Anpassung des Fahrverhaltens an die Anforderungen der aktuellen Fahrsituation, die beispielweise durch den Straßenzustand, die Verkehrsdichte sowie das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer beeinflusst wird. Um diese Aufgaben erfüllen zu können, werden laut MALONE et al. (2012) folgende Fähigkeiten und Fertigkeiten benötigt: Regelwissen, Gefahrenwahrnehmung und antizipation, metakognitive Fähigkeiten, Absuchen der Umwelt (scanning), Situationsbewusstsein und Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit. Einzig das Regelwissen wird in der Fahrausbildung explizit geübt.

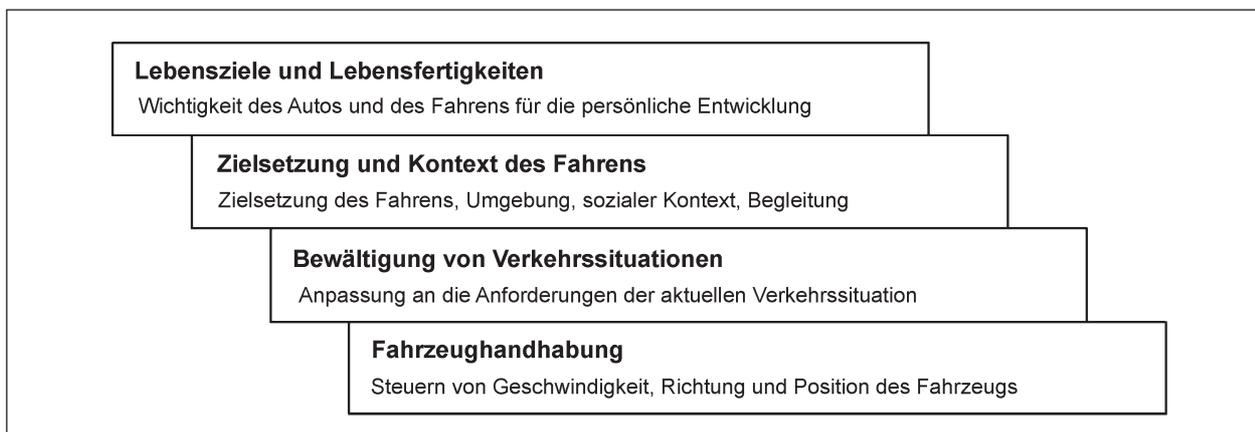


Bild 27: Hierarchisches Fahrverhaltensmodell nach KESKINEN et al. (1999; Grafik modifiziert nach MALONE et al., 2012)

- **Zielsetzung und Kontext des Fahrens**  
Auf dieser Ebene werden Entscheidungen über Fahrgründe, -ziele, -begleitung und -zeit getroffen. Dies umfasst die Stimmung (z. B. Stress), die Motive des Fahrers (z. B. zum Spaß fahren, zur Arbeit fahren) sowie die äußeren Zustände der Fahrt (HATAKKA et al., 2002; MALONE, 2012).
- **Lebensziele und Lebensfertigkeiten**  
Hierbei geht es um selbstregulative Prozesse und Lebensziele (allgemeine Fähigkeiten und Fertigkeiten, Persönlichkeitseigenschaften und Einstellungen), die zwar genereller Natur sind, aber auch auf das Fahrverhalten einwirken (HATAKKA et al., 2002).

Die GDE-Matrix nach HATAKKA et al. (2002, Tab. 1) erweitert das hierarchische Fahrverhaltensmodell um eine zweite Dimension: Lernziele und spezifische Lerninhalte. Die Lernziele werden in drei Kategorien unterteilt: Grundwissen und -fähigkeiten, Wissen und Fähigkeiten bezüglich der risikoe erhöhenden Faktoren sowie Fähigkeiten zur Selbsteinschätzung. Die Kompetenzen, die ein Fahrer erwirbt, sind separat für jede Fahrverhaltensebene

und jedes Lernziel benannt. Somit liefert die GDE-Matrix eine systematische Bestimmung von Kompetenzen, über die ein sicherer Fahrer verfügen sollte, und wird international als Grundlage für die Ableitung von Fahrausbildungszielen verwendet (HATAKKA et al., 2002).

Laut KESKINEN et al. (1999) steht beim Erwerb der Fahrkompetenz zuerst die Beherrschung der unteren Stufen des Fahrverhaltens (Fahrzeughandhabung und Bewältigung der Verkehrssituationen) im Vordergrund. Nachdem diese gelernt wurden, gewinnen die höheren Ebenen an Bedeutung für die Fahrsicherheit: Beispielsweise sind Lebensziele wichtig für Fahr motive des Fahrers, die sich wiederum auf die Gefahrenwahrnehmung in Verkehrssituationen und das Fahrverhalten auswirken. Für die Anwendung in der GDE-Matrix bedeutet das, den Kompetenzerwerb im unteren linken Bereich zu beginnen und im oberen rechten Bereich enden zu lassen. An dieser Stelle sollte erwähnt werden, dass das aktuelle deutsche Fahrausbildungskonzept laut HACKENFORT (2007) die unteren Bereiche thematisiert, die oberen Ebenen jedoch vernachlässigt werden.

|                                     | <b>Wissen &amp; Fähigkeiten und Fertigkeiten</b>   | <b>Risikoe erhöhende Faktoren</b>   | <b>Selbsteinschätzung</b>   |
|-------------------------------------|--|---|---|
| Lebensziele und Lebensfähigkeiten   | Wissen/Kontrolle darüber, wie Lebensziele und persönliche Tendenzen das Lenkverhalten beeinflussen:<br>Lebensstil und -umstände, Gruppennormen, Motive, Selbstkontrolle, persönliche Werte etc.                              | Risikante Tendenzen:<br>Akzeptanz von Risiko, Selbstwertgefühl, Sensationslust, Gruppendruck, Gebrauch von Alkohol und Drogen, Werte und Haltung gegenüber der Gesellschaft etc.  | Selbstbewertung/Bewusstsein:<br>von persönlicher Fähigkeit zur Kontrolle von Impulsen, riskanten Tendenzen, der Sicherheit zuwiderlaufenden Motiven etc.  |
| Ziele und Kontext des Fahrens       | Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten:<br>Notwendigkeit der Fahrt, Zusammenhang zwischen Qualität einer Fahrt und Fahrtzweck, Routenplanung, sozialer Druck im Auto etc.  | Risiken verbunden mit:<br>Zustand des Lenkers (Laune, Blutalkoholkonzentration etc.), Fahrumgebung (ländlich, urban), soziale Umstände und Gesellschaft, Extramotive (Wettkampf) etc.   | Selbstbewertung/Bewusstsein:<br>von persönlicher Fähigkeit zur Planung, von typischen Fahrabsichten, von typischen riskanten Fahrmotiven etc.   |
| Bewältigung der Verkehrssituationen | Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten:<br>Verkehrsregeln, Wahrnehmung/Beobachtung von Signalen, Antizipation des Situationsverlaufs, Geschwindigkeitsanpassung, Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern/Sicherheitsmargen etc. | Risiko verursacht durch:<br>falsche Erwartungen, risikoe erhöhenden Fahrstil (z. B. aggressiv), ungenügende Geschwindigkeitsanpassung, schwache Verkehrsteilnehmer, Nichtbefolgen von Regeln/unvorhersehbares Verhalten, Informationsüberflutung etc. | Selbstbewertung/Bewusstsein:<br>von Stärken und Schwächen des eigenen Fahrkönnens in Verkehrssituationen, persönlichem Fahrstil, persönlichen Sicherheitsmargen, Stärken und Schwächen in gefährlichen Situationen etc. |
| Fahrzeugbedienung                   | Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten:<br>Kontrolle der Richtung und Position, Reifenhaftung und Reibung, Fahrzeugeigenschaften, physikalische Phänomene etc.   | Risiko verbunden mit:<br>ungenügenden Automatismen/Fähigkeiten, unzureichender Geschwindigkeitsanpassung, schwierigen Bedingungen (geringe Reibung) etc.  | Bewusstsein von:<br>Stärken und Schwächen beim elementaren Fahrkönnen, Stärken und Schwächen in gefährlichen Situationen etc.   |

Tab. 1: Die GDE-Matrix (HATAKKA et al., 1999; Tabelle modifiziert nach HACKENFORT, 2007)

Der vorgestellte Ansatz bietet eine umfangreiche Struktur der Fahrkompetenz, die mehrere sich gegenseitig beeinflussende Teilaspekte beinhaltet. Sein wesentlicher Vorteil liegt darin, dass das Unfallrisiko junger Fahrer nicht nur mithilfe von Erfahrung, sondern auch mithilfe von personenbezogenen Eigenschaften erklärt wird. Defizite eines Pkw-Fahrers auf den beiden unteren Ebenen (Fahrzeughandhabung und Bewältigung der Verkehrssituationen) erhöhen das Anfängerrisiko und können mit steigender Fahrpraxis verbessert werden. Die auf den zwei oberen Steuerungsebenen angesiedelten Kompetenzen beeinflussen das Jugendlichkeitsrisiko (siehe Kapitel 2.2).

#### 4.2.2 Arbeitsmodell der Fahrkompetenz und dessen Erwerb von GRATTENTHALER, KRÜGER & SCHOCH (2009)

GRATTENTHALER et al. (2009) bieten in ihrem Modell eine inhaltlich-strukturelle Zusammenfassung von Komponenten bzw. Fertigkeiten der Fahrkompetenz, die als Handlungswissen angesehen wird (siehe Diskussion Kapitel 1.2.2). Zusätzlich wird der Lernprozess des Erwerbs der Fahrkompetenz thematisiert. Das Arbeitsmodell (Bild 28) unterscheidet die Fahrkompetenz in die drei Handlungsdimensionen Psychomotorik, Kognition und das Fahren, sowie die drei Wissensformen explizites Wissen, implizites Wissen und Prozesswissen. Die

einzelnen Wissensformen korrespondieren stark mit bestimmten Handlungskomponenten.

#### Kognition und explizites Wissen

Die Kognition ist mit explizitem Wissen (Faktenwissen; verbal übermittelbar und berichtbar) verbunden und beinhaltet das Begreifen der Verkehrssituation und das Erlernen einer angemessenen Fahrstrategie. Dies umfasst alle deklarativen Wissensinhalte, die sich auf die Fahrsituation beziehen (Regelwissen, Situationsverständnis, Situationsbewusstsein, Gefahrenwahrnehmung) und ist somit die Handlungsplanung. Dies ist ein Top-Down-Prozess, in dem Skripte und Handlungsprototypen essentiell sind: Die Fahrhandlung beginnt mit der Intention des Fahrers, woraufhin ein Plan erzeugt wird. Externe Gegebenheiten bestimmen die Erzeugung von Handlungsprototypen. Durch diese ist es möglich, die zahlreichen Wahrnehmungselemente je nach ihrer Relevanz zu selektieren und das aktuelle Geschehen einer Klasse der Fahrsituationen zuzuordnen. Als nächstes wird das Vorhandensein und die Ausprägung von Hinweisreizen, die für die Situationsbewältigung bedeutend sind, in der Außenwelt geprüft. Anhand der gewonnenen Informationen entsteht ein Skript für die folgende Handlungsausführung.

Der Erwerb von explizitem Wissen beginnt mit der Aneignung von Wissen um Verkehrsregeln und physikalische Sachverhalte. In einem weiteren

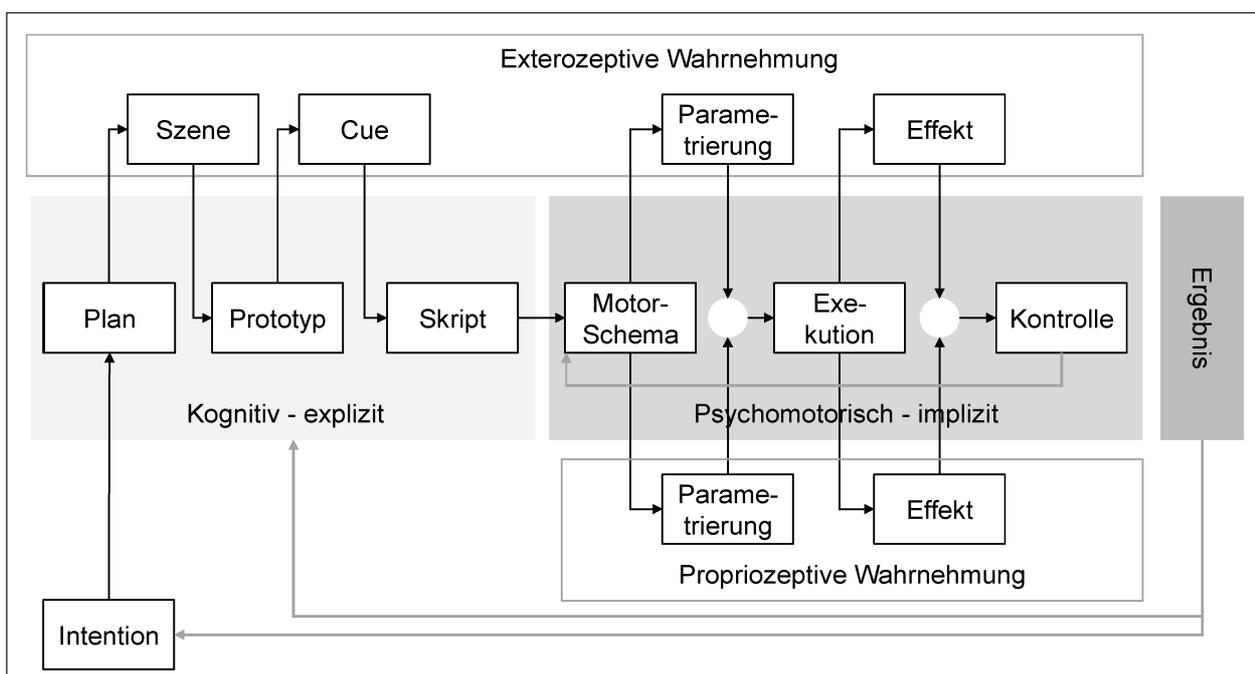


Bild 28: Das Arbeitsmodell der Fahrkompetenz (Grafik modifiziert nach GRATTENTHALER et al., 2009)

Schritt werden Prototypen (Katalog von Fahrsituationen) ausgebildet und Skripte (Drehbücher für die Handlungsausführung) erlernt. Alle diese Inhalte können sprachlich vermittelt werden. Die Kompetenzentwicklung erfolgt gemäß des Anderson'schen Modells des Lernfortschritts (ANDERSON, 2001): Das explizite Wissen wird zuerst auf dem kognitiven Niveau beherrscht (die einzelnen Handlungsschritte explizit, bewusst und berichtbar), mit zunehmender Erfahrung wird das assoziative Niveau erreicht, in dem die Handlungsabläufe (Zuordnung zu Prototypen und Skriptausswahl) prozeduralisiert werden und sich weitgehend unbewusst abspielen. Die letzte, autonome Lernphase charakterisiert die Entstehung eines Meta-Wissens, was die Selbstevaluation, die Verbindungen zu anderem Wissen und das Handeln in Analogien, ermöglicht (siehe Fahren und Prozesswissen).

### Psychomotorik und implizites Wissen

Die Psychomotorik als Handlungsausführung, d. h. die Steuerung des Fahrzeugs mithilfe der eigenen Motorik, ist beim Pkw-Fahren mit implizitem Wissen (verbal übermittelbar, aber nicht berichtbar) assoziiert. Nachdem ein Skript für die Handlungsplanung im kognitiven Bereich festgelegt wurde, wird ein angemessenes motorisches Schema ausgewählt, um das vorgesehene Handeln zu realisieren. Da jede Verkehrssituation einzigartig ist, erfolgt im nächsten Schritt eine Anpassung (Parametrisierung) des Schemas an die aktuelle Lage. Dies geschieht gemäß den Gegebenheiten der Umwelt und der körperlichen Ausgangslage (exterozeptive und propriozeptive Wahrnehmung). Beim Ausführen des Schemas wird ständig durch den Abgleich mit Informationen aus der Verkehrsumgebung kontrolliert, ob die Handlung entsprechend der Planung ausgeführt werden kann.

Das psychomotorische Wissen kann nur durch Übung erlernt werden und ist impliziter Natur. Zuerst wird gelernt, dass bestimmte motorische Aktionen bestimmte Fahrzeugreaktionen hervorrufen. Nachdem diese Wirkketten mehrmals wiederholt wurden, wird dieser Zusammenhang umgekehrt, d. h. bei einer Effektivornahme wird sofort das angemessene motorische Muster abgerufen und durchgeführt (Aktions-Effekt-Umkehr). Auf dieser Basis führt die weitere Übung zur Routinisierung einzelner Handlungsabläufe. In einem weiteren Schritt entstehen durch Chunking-Prozesse komplexere Automatismen, die mehrere Teilhandlungen in einer Einheit verknüpfen.

### Fahren und Prozesswissen

Das Fahren bedeutet die Integration von Kognition und Psychomotorik, also von explizitem und implizitem Wissen. Dies ist als parallel verarbeitender Prozess zu verstehen und wird in Bild 29 durch Rückkopplungsschleifen grafisch dargestellt. Die Planung und Ausführung einer Handlung beim Pkw-Fahren verlaufen nicht sequenziell, sondern weitgehend zeitgleich, was in einer Mehrfach-tätigkeit resultiert. Dadurch werden drei Aspekte des Prozessierens angesprochen: die Integration (von kognitiven und psychomotorischen Prozesse in einem Handlungsablauf), die Ressourcensteuerung und die Selbstevaluation. Die ersten beiden Aspekte beziehen sich auf die aus der parallelen Verarbeitung resultierende Beanspruchung und die begrenzte Verarbeitungskapazität des Fahrers, insbesondere des Novizen. Die Fähigkeit, das Ergebnis eigenen Handelns zu bewerten (Selbstevaluation), ist wiederum für die Modifikation des Fehlverhaltens, also für das Lernen, notwendig.

GRATTENTHALER et al. (2009) äußern sich kritisch zu der oft postulierten Annahme, dass der Erwerb von Fahrkompetenz stetig verläuft. Das würde bedeuten, dass sich komplexe Tätigkeiten aus Teiltätigkeiten zusammensetzen und das Leistungsniveau einer Teiltätigkeit, die in eine neue Kompetenz integriert wird, unverändert bleibt. GRATTENTHALER et al. (2009) gehen jedoch davon aus, dass das Niveau einer Teilkompetenz durch die Integration in eine höhere Kompetenz erheblich beeinflusst wird. Bei neuartigen Handlungsanforderungen kann es dazu kommen, dass Teilkompetenzen, die in anderen simpleren Situationen bereits vollkommen beherrscht werden, verbessert oder neu erlernt werden müssen. Dies wird

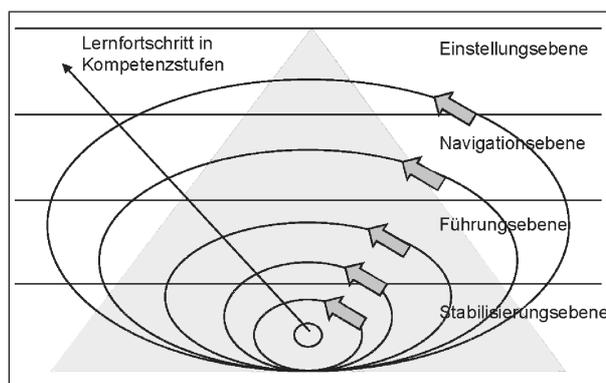


Bild 29: Spiralförmiges Modell des Fahrkompetenzerwerbs (Grafik modifiziert nach GRATTENTHALER et al., 2009)

durch folgendes Beispiel veranschaulicht: Ein Anfänger beherrscht die Spurhaltung und das Lenken auf einem abgesperrten Gelände. Sobald er aber eine komplexere Fahrsituation, die eine neue Fahraufgabe beinhaltet, meistern muss (z. B. einem anderen Wagen ausweichen), wird er sein Lenkverhalten an die Situation anpassen müssen, was zur einer sehr viel schlechteren Spurgenauigkeit führt. Das Lenken muss in dieser Situation eigentlich neu gelernt werden.

Die Autoren schlagen zur Beschreibung derartiger Lernverläufe ein spiralförmiges Fahrkompetenz-erwerbsmodell vor (Bild 29). Ursache ist der Lernprozess, der in Spiralförmigkeit verläuft. Das Erreichen einer höheren Ebene des Fahrens bedeutet, dass zumindest in Teilen auch ein erneutes Lernen von Fertigkeiten auf niedrigeren Ebenen notwendig ist.

**4.2.3 Fahrkompetenzstrukturmodell von STURZBECHER & WEIßE (2011)**

Das Fahrkompetenzstrukturmodell von STURZBECHER und WEIßE (2011) wurde im Rahmen der durch TÜV/Dekra arge tp 21 durchgeführten Arbeiten an der Weiterentwicklung des Fahrerlaubnisprüfungssystems entworfen. Die Autoren verwenden Elemente aus dem Fahrverhaltensmodell von DONGES (1982) (siehe 4.1) und dem Model von GRATTENTHALER et al. (2009). Für STURZBECHER und WEIßE (2011) unterteilt sich die Fahrkompetenz in verschiedene Dimensionen: Kompetenzkomponenten, Anforderungsebenen des Fahrverhaltens (links in Bild 30) und Verhalten zur Situationsbewältigung (rechts in Bild 30).

Es wird zwischen vier inhaltlichen Anforderungsebenen unterschieden: Stabilisierung (operational), Führung (fahraktisch), Navigation (fahrstrategisch) und Werte (übergreifend).

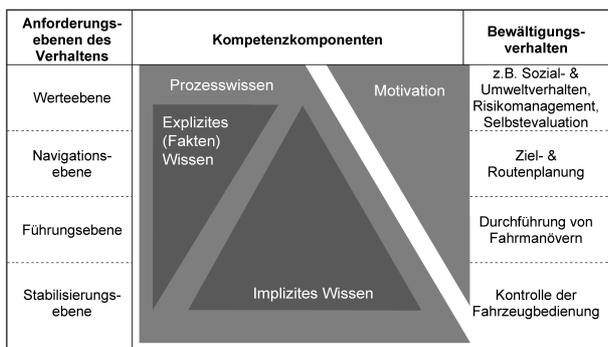


Bild 30: Strukturierung der inhaltlichen Anforderungen und psychischen Komponenten der Fahrkompetenz (Grafik modifiziert nach TÜV/DEKRA, 2011)

- Auf der Stabilisierungsebene kontrolliert der Fahrer das Fahrzeug. Er muss angemessene Eingriffe ausführen, um einen Kontrollverlust über das Auto zu vermeiden. Dafür muss er seine Reaktionen richtig auswählen und angemessen dosieren.
- Die Führungsebene bezieht sich auf die Durchführung von Fahrmanövern, was einige Teilkompetenzen erfordert: Fahrzeugbedienung, Verkehrsbeobachtung, Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern, Geschwindigkeitsregulation und Fahrzeugpositionierung in der Verkehrssituation.
- Die Navigationsebene beinhaltet die Planung von Fahrtzielen und Routen. Bei der Wahl der Strecke muss der Fahrer u. a. die zu erwartende Fahrtdauer, die abhängig von der Tageszeit unterschiedlich sein kann, den Fahrtzweck, eventuelle Zwischenziele und die Sicherheit einer Strecke berücksichtigen. Zusätzlich kann die Notwendigkeit entstehen (z. B. durch Stau), eine Alternativroute zu bestimmen, was eine Neuorientierung erfordert.
- In Bezug auf die Werteebene handelt es sich beim Fahren im öffentlichen Straßenverkehr um Sozial- und Umweltverhalten, Risikomanagement und Selbstevaluation.

Das Modell unterscheidet die Kompetenzkomponenten explizites Wissen, implizites Wissen, Prozesswissen (nach GRATTENTHALER et al., 2009) und Motivation. Explizites Wissen und Motivation sind v. a. für die Bewältigung der Aufgaben auf den höheren Anforderungsebenen von Bedeutung. Das implizite Wissen ist wiederum auf den unteren Ebenen relevant. Prozesswissen vereint implizite und explizite Wissensinhalte.

Durch die Zusammenstellung der vier inhaltlichen Anforderungsebenen des Fahrverhaltens und der drei Wissensarten der Fahrkompetenz ermöglicht das Fahrkompetenzstrukturmodell die Bestimmung und Zuordnung der inhaltlichen Komponenten der Fahrkompetenz (STURZBECHER & WEIßE, 2011; STURZBECHER et al., 2014). Die Frage, wie der Kompetenzerwerb verläuft, wird durch das Modell nicht beantwortet. Die aufgeführten Wissensformen deuten zwar auf eine Reihenfolge des Fahrkompetenzerwerbs hin, konkrete Aneignungsstufen bzw. Kompetenzniveaus werden aber nicht vorgeschlagen (STURZBECHER et al., 2014).

STURZBECHER und WEIßE (2011) vertreten die Meinung, dass sich der Erwerb der Fahrkompetenz mithilfe des dreistufigen Modells des Expertiserwerbs von ANDERSON (2001) beschreiben lässt. Demnach besteht der Prozess aus drei aufeinander folgenden Stadien: dem kognitiven, dem assoziativen und dem autonomen Stadium.

- Im kognitiven Stadium wird durch Instruktion oder Selbststudium internes, vorrangig deklaratives Wissen (Faktenwissen) darüber angeeignet, was bei der motorisierten Verkehrsteilnahme getan werden soll. Diese Basis ist erforderlich, um weitere Informationen aufzunehmen sowie in die individuellen Wissensstrukturen einzuordnen und weiter verarbeiten zu können.
- Im Anschluss folgt das assoziative Stadium. In dieser Lernphase wird das bisher gesammelte Wissen systematisch gesichtet sowie zu implizitem Wissen und danach zum Handlungswissen ausgebaut. Es wird die Fähigkeit entwickelt, das Wissen in vielfältigen Verkehrssituationen angemessen und effektiv im Handeln anzuwenden.
- Im Letzten, dem autonomen Stadium, wird ein ausdifferenziertes Repertoire von problem- und situationsbezogenen Handlungsmustern aufgebaut, woraus unmittelbar angemessenes Fahrverhalten abgerufen werden kann. Infolge dessen werden größere Schnelligkeit, Genauigkeit, sowie eine geringere Fehleranzahl und eine Verminderung der für die Fahraufgaben erforderlichen Aufmerksamkeits- und Arbeitsressourcen erreicht.

#### 4.2.4 Zusammenfassung: Fahrverhaltensmodelle, Modelle der Fahrkompetenz

Die vorgestellten Modellvorstellungen fassen in unterschiedlicher Weise Komponenten zusammen, die die Fahrkompetenz beeinflussen. KESKINEN et al. (1999) stellen ein Fahrverhaltensmodell vor, das sich in seiner Grundstruktur an dem vorgestellten Modell von MICHON (1985, Bild 25) orientiert. Wie bei MICHON werden die eigentlichen Handlungen beim Fahren nicht besonders differenziert betrachtet, sondern der Schwerpunkt liegt auf Aspekten, die mit dem Eingehen von Risiken, Motiven etc. zu tun haben. Durch die Addition einer Motivationsebene (Lebensziele und Lebensfähigkeiten) werden diese nicht auf das Fahren selbst bezogenen Komponenten in ihrer dargestellten Bedeutung noch

verstärkt. Diesen Fokus auf höhere Ebenen finden wir auch in der GDE-Matrix, die die Problematik aus Sicht der Fahrausbildung betrachtet. Der Schwerpunkt liegt aber auch hier in Planungsprozessen oder motivationalen Einflüssen. In der Beschreibung des Prozesses des Kompetenzerwerbs wird so der Eindruck vermittelt, als würde man relativ schnell Fahren lernen und würde dann durch Änderung der Motivstrukturen durch fortschreitendes Alter oder eigene Erfahrungen nach und nach sicher fahren können. Wie wir in den vorangehenden Kapiteln gezeigt haben, zeigen die Mehrzahl der Befunde, dass das nicht stimmen kann.

Das Fahrkompetenzstrukturmodell von STURZBECHER und WEIßE (2011) ist – wie der Name sagt – als grafische Metapher der Struktur von Komponenten, die mit Fahrkompetenz zu tun haben, aufzufassen. Die Dreiecke (Bild 30) symbolisieren, dass es eigentlich kontinuierliche Übergänge zwischen den auch bei STURZBECHER und WEIßE vorhandenen Ebenen gibt, die aus einer Mischung des 3-Ebenen-Modells von DONGES (Bild 19) bestehen, von dem die Nomenklatur übernommen wird, und dem Modell von MICHON (Bild 20), von dem das Wort Manöver übernommen wird. Das Modell ist sehr plakativ und zeigt im Wesentlichen, dass es beim Autofahren Planungsprozesse gibt, die ausgeführt werden, und dass die Ausführung mehr automatisiert (implizit) ist und weniger kognitiven Einfluss hat (ausgedrückt durch den Begriff implizites Wissen) als die Planung. Übergeordnet, und damit offenbar bestimmend, ist eine Werteebene.

Aus einer ganz anderen Sicht werden Elemente, die mit Fahrkompetenz in Verbindung stehen, von GRATTENTHALER et al. (2009) dargestellt. Die Autoren kommen aus der Tradition, mentale Prozesse als Informationsflussmodell gemäß der Computemetapher darzustellen (siehe Kapitel 1.2.4). Der Bezug zur Fahraufgabe fehlt in diesem Modell völlig. Deshalb kann man das Modell auch als allgemeines Modell des Informationsverarbeitungsprozesses bei Aufgaben mit hohem Anteil motorischer, automatisierbarer Tätigkeiten auffassen, bei denen Informationen aus der Umwelt die Handlungen stark bestimmen. Das trifft insbesondere auf alle Lokomotionsaufgaben zu. Das Modell der Autoren kann man deshalb auch sehr gut als Modell des Fahrradfahrens oder als Modell des Durch-einen-Wald-laufens (siehe Kapitel 4.3.2) heranziehen. Der Fokus im Modell liegt auf dem Zusammenspiel zwischen kognitiven und psychomotorischen Prozes-

sen. Die bei den anderen beiden Modellen stark thematisierten Motive oder Lebensstilkomponenten sind hier gar nicht bzw. nur rudimentär durch einen Block mit dem Namen Intention vertreten.

Die wesentliche Grundidee des Modells leitet sich aus dem Wissen über hochdynamische motorische Vorgänge ab, beschrieben über Grundkonzepte der kognitiven Psychologie: Hochdynamische motorische Vorgänge wie das Autofahren laufen in dem Wie der Ausführung zu einem großen Teil automatisch ab. Teilweise sind Komponenten nicht bewusstseinsfähig, also von der Kognition nicht einsehbar. Diese hochautomatisierten Prozesse benötigen sensorische Informationen. Gleichzeitig gibt es aber auch kognitive Prozesse, die Sensorinformationen benötigen. Die Frage ist, wie beide Prozesse miteinander kooperieren. Eine der weit verbreiteten Grundannahmen der kognitiven Psychologie ist, dass Planung immer kognitiv ist. Demzufolge werden in dem Modell der Autoren (ebd.) die Planungsprozesse im kognitiven Teil abgearbeitet. Dieser schickt dann Befehle an die Psychomotorik, welche wiederum als parametrisierte Programme unter dauernder Kontrolle abgearbeitet werden.

Damit sind alle wesentlichen Phänomene, die die Erzeugung der motorischen Handlungen beschreiben, durch das Modell abgebildet. Nicht problematisiert werden sehr kognitive Phänomene wie Gefahrenwahrnehmung, Routenplanung etc., die in den anderen Modellen im Vordergrund standen. Angesichts der Diskussion in Kapitel 1.2.4 über den Zeitbedarf kognitiver Informationsverarbeitung kann man sich auch darüber streiten, ob man Planungsvorgänge nicht auch subbewusst zulässt. Dass die Planung der Bewegungen parallel zu den Ausführungen stattfinden muss und dass die Ausführungen in zeitlich ausgedehnten Paketen stattfinden, lässt sich sehr gut an den Lenkmustern, wie in Kapitel 3.6 dargestellt, belegen. Wenn man die Planung dieser Muster der Kognition zuschlägt, kann dieser Teil allerdings nicht explizit (also verbalisierbar) sein, da es um ein Wie und nicht um ein Dass geht. Da auch hochgeübte Autofahrer diese Lenkmuster zeigen, ohne sich deren bewusst zu sein, spricht Vieles dafür, dass deren Planung Teil der Psychomotorik (Sensumotorik) ist.

Dem Modell des Fahrkompetenzerwerbs (Bild 29) der Autoren können wir leider nicht folgen. Diese Vorstellung basiert im Wesentlichen auf einem Befund einer Längsschnittstudie von ELLINGSTADT

et. al (1970), die finden, dass die Fahranfänger sich zunächst mit dem Lenkenlernen beschäftigen und dann erst zusätzlich die Längsführung angehen und dann ihre Spurhaltegüte geringer wird. GRATTENTHALER et al. (2009) schließen daraus, dass man das Lenkenlernen mit zusätzlichen Aufgaben neu lernen muss. Abgesehen davon, dass der Befund von ELLINGSTADT et. al (1970) auch dadurch erklärt werden kann, dass es Einbußen der Güte allein wegen der Doppeltätigkeit gibt, oder dadurch, dass die Spurhaltegüte kein gutes Maß für die Güte des Lenkenlernens ist, gehen GRATTENTHALER et al. (2009) offensichtlich davon aus, dass das Lenkenlernen eine eigene (motorische) Aufgabe ist, die man erlernt und dann mehr oder weniger gut beherrscht. Diese Grundauffassung schwingt auch in den anderen oben vorgestellten Modellen mit. Unseres Erachtens ist es jedoch so, dass die richtige Betätigung des Lenkrades wie auch des Gas- und Bremspedals eine situationsabhängige Aufgabe ist und es für jede Situation ein eigenes Fähigkeitssegment gibt, das entweder neu gelernt werden muss oder zumindest aus gelernten Fertigkeiten adaptiert werden muss (siehe eigene Modellvorstellung in Kapitel 4.3.4). Das Lenken mit 120 km/h auf einer Landstraßenallee muss erst gelernt werden, wenn man vorher in der Fahrschule nur in verkehrsberuhigten Zonen gefahren ist. Zusammenfassend kann man sagen, dass die Befunde durchaus auf Leistungseinbußen hinweisen, dass unserer Meinung nach diese aber nicht Ausdruck einer Verringerung der Fahrkompetenz sind. Man kann also u. U. durchaus einen spiralförmigen Leistungsverlauf in Teilkompetenzen beobachten, der aber auf Veränderung der Komplexität oder Schwierigkeit der Fahraufgabe und nicht auf Veränderungen der Fahrkompetenz zurückzuführen ist.

In das Modell sind auch die Befunde eingeflossen, die zeigen, dass rein kognitive Prozesse erst spät gelernt werden. Die Autoren (ebd.) greifen dafür in ihrem Modell ebenfalls auf das 3-Ebenen-Modell von DONGES zurück. Mit den Ausführungen von Kapitel 4.1 über das Modell von DONGES ist die Führungsebene zum Fahren unerlässlich und findet zeitgleich und kontinuierlich mit der Stabilisierung statt. Sie kann deshalb nicht erst später gelernt werden. Bezüglich dessen, was die Autoren mit ihrem Modell vermutlich ausdrücken wollten, bildet das 3-Ebenen-Modell von DONGES (wie oben gezeigt) unserer Meinung nach nur bedingt den richtigen Rahmen.

Generell kann man sich durchaus Stufen des Kompetenzerwerbs vorstellen, die durch bewusste Wahl

oder durch Zufall dazu führen, dass nicht alle Situationen gleich gut beherrscht werden. Es deutet aber nichts darauf hin, dass das Erlernete allein dadurch vergessen wird, dass etwas Neues dazu gelernt wird. Von motorischen Fertigkeiten weiß die persönliche Erfahrung, dass sie ohne Übung auch schlechter werden (vergessen werden). Die Befunde der Verkehrssicherheit von Kapitel 2 deuten darauf hin. Die Basisfertigkeit der Querführung wird aber beim Autofahren immer benötigt, sodass ein Fertikeitsverlust aus Gründen mangelnder Übung ausgeschlossen werden kann.

### 4.3 Eigene Modellvorstellungen

#### 4.3.1 Klassifikation der Fahraufgabe

Seit sich die Wissenschaft mit der Modellierung des Menschen als Autofahrer beschäftigt, wurden auch immer ein Stück weit Analysen der Fahraufgabe durchgeführt (z. B. McRUER & WEIR, 1969; ENKE, 1966), wobei hier der Fokus in der Regel auf die regelungstechnische Nachbildung des Lenkverhaltens in Abhängigkeit sehr weniger kinematischer Größen lag. Aus ganz anderem Blickwinkel klassifizieren GENSCROW und STURZBECHER (2014) aus der Fahrausbildung kommend folgende Teilaufgaben:

- Beobachten des Verkehrsraums,
- Lokalisieren und Identifizieren von Gefahren,
- Bewerten der Gefahren und der eigenen Handlungsfähigkeit,
- Abwägen des subjektiven Risikos,
- Treffen einer Handlungsentscheidung,
- Ausführen der gewählten Handlung.

Beim Modell von DONGES (Bild 24) gibt es nur die zwei Teilaufgaben Querführung und Längsführung. McKNIGHT und ADAMS (1970) bzw. McKNIGHT und HUNDT (1971) klassifizieren die Fahraufgabe in mehr als 1.700 hierarchisch strukturierte Unteraufgaben.

Diese kurze Aufzählung zeigt, dass es eine quasi unbegrenzte Anzahl von Möglichkeiten gibt, die Fahraufgabe in Teilaufgaben zu teilen. Wir werden deshalb in Vorbereitung unserer Vorstellungen zum Begriff Fahrkompetenz und zu Modellvorstellungen zu damit verbundenen kognitiven und sensumotori-

schen Phänomenen eine angepasste Darstellung der Fahraufgabe vorstellen.

#### 4.3.2 Aufgabenanalyse Fahraufgabe

Die Aufgabe des Autofahrers ist es, das Fahrzeug so zu bewegen, dass es zum einen entweder nur aus Gründen des Fahrens um des Fahrens willen ausgeführt wird oder eine Transportaufgabe (Bewegen von Personen oder Sachen in einer bestimmten Zeit mit einer bestimmten Geschwindigkeit) erfüllt wird und zum anderen nichts und niemand dabei geschädigt wird. Um dies zu erreichen, müssen einige Teilaufgaben bearbeitet werden, die teilweise zeitlich parallel ablaufen. Die Primäraufgaben des Autofahrens sind erstens die Querführung, realisiert über Lenkeingaben<sup>26</sup>, sodass das Fahrzeug auf der Straße bei gegebenen statischen oder dynamischen Objekten auf dem Fahrweg bleibt, und zweitens die Längsführung, realisiert über Gas- und Bremspedalbetätigung, beides motorische Tätigkeiten. Zu den basalen motorischen Tätigkeiten gehören auch das Kuppeln und die Betätigung von Knöpfen und Schaltern im Fahrzeug. Ohne Lösung der Primäraufgaben kann die Aufgabe des Autofahrens auf dem begrenzten Band einer Straße nicht gelöst werden. Neben diesen motorischen Hauptaufgaben gibt es noch eine rein kognitive Hauptaufgabe, die wir später unter dem Begriff Situationsbewusstseinsakquise fassen.

Die Querführungsaufgabe ist wesentlich dynamischer als die Längsführungsaufgabe. Die Kontrolle der Bewegung muss für ein stabiles Fahrverhalten quasikontinuierlich erfolgen, weil man sonst von der Fahrbahn abzukommen droht. Ähnliches gilt für den Bremsvorgang, der allerdings nur zu diskreten Zeitpunkten ausgeführt werden muss. Wenn man hingegen den Fuß vom Gaspedal nimmt, bleibt das Auto im schlimmsten Fall stehen. Wegen andauernder Störungen z. B. durch kleine Fahrbahnunebenheiten oder Wind muss der Fahrer den dadurch veränderten Bahnverlauf des Fahrzeuges permanent korrigieren (ausregeln). Der Mensch leistet dies durch kleine Korrekturimpulse mit einer zeitlichen Taktrate von üblicherweise ca. 1,5 Hz (Kapitel 1.2.4). Änderungen der Fußpedalstellung bzw. des

<sup>26</sup> Man kann auch mit Gas und Bremse die Querführung beeinflussen. Das ist beim Fahren auf Schnee von Bedeutung. Wir vernachlässigen diesen Sonderfall zunächst.

Fußpedaldrucks sind dagegen viel seltener. Da man auch durch Reduzierung der Gaspedalstellung langsamer werden kann, wird beispielsweise das Bremspedal auf der Autobahn über lange Strecken häufig gar nicht betätigt.

Das Autofahren unterscheidet sich bezüglich dieser Grundanforderungen aus der Lokomotionsaufgabe nicht vom Fahrradfahren, das über dieselben drei Beeinflussungsmöglichkeiten (Lenken, Beschleunigen, Bremsen) verfügt. Es unterscheidet sich auch nur bezüglich der Werkzeugtransformation vom Laufen. Bezüglich der Aufgabe, sich in einer eingrenzenden Umgebung Wege zu planen und durch eigene Bewegung diese Wegplanung einzuhalten, unterscheiden sich die basalen Aufgaben des Autofahrens nicht von anderen basalen Lokomotionsaufgaben wie z. B. das schnelle Laufen durch einen Wald auf der Flucht vor einem Bären oder das Eilen durch eine mit Passanten gefüllte Fußgängerzone. Das Laufen durch den Wald oder durch die Fußgängerzone ist ein fast vollständig sensumotorischer Prozess bestehend aus den visuellen, haptischen, propriozeptiven oder akustischen Informationen verknüpft und verarbeitet zu angepassten Muskelbewegungen. Diese sensumotorische Verknüpfung wird von Geburt an trainiert. Es nimmt deshalb nicht Wunder, dass Fahranfänger von der ersten Minute an, nachdem die Grundsätze der Werkzeugtransformation (Lenkrad drehen, Pedale drücken) begriffen wurden, die Primäraufgaben des Fahrens umsetzen können. Die Betätigungen im Auto sind dabei wesentlich intuitiver als beispielsweise die bei der Bedienung eines Baggers. Selbst dies kann man aber in Schnupperkursen in einem Tag erlernen. Die Fähigkeit Werkzeugtransformation schnell lernen zu können, ist eine der Besonderheiten des Menschen gegenüber Tieren. Diese können auch die Aufgabe der Flucht durch den Wald lösen, aber (wahrscheinlich) nicht Auto fahren. Immerhin gibt es im Zirkus Bären, die Fahrradfahren können. Wenn man davon ausgeht, dass Bären nicht über verbalisierbares Wissen verfügen, kann man schlussfolgern, dass Fahrradfahren bezüglich der Basisanforderungen kein verbalisierbares Wissen benötigt. Wegen der Gleichheit von Fahrradfahren und Autofahren bezüglich der Basisanforderungen benötigt man deshalb auch für das Autofahren (wie für das Laufen durch den Wald) kein verbalisierbares Wissen. Wir Menschen können dennoch einige Aspekte des Autofahrens verbalisieren. Wie wir die Quer- und Längsführung im Einzelnen durchführen, kann man allerdings nicht verbalisieren. Die Nicht-

verbalisierbarkeit betrifft nicht nur die Realisierung auf Muskelebene, sondern auch deren Ergebnis, also die Fahrtrajektorie in Raum und Zeit.

Die Hauptaufgaben der Querverführung sind die Sicherstellung, dass das Auto auf der Straße bleibt (auch bei kurvigem Straßenverlauf), das Umfahren von oder das Ausweichen vor Hindernissen, die Realisierung von Änderungen der gefahrenen Spur (entweder auf der Straße selbst oder bei Verzweigungen der Straße), das Hinterherfahren hinter einem anderen Fahrzeug oder die Bewegung auf Flächen (inkl. Einparken auf einer Straße). Diese Aufgaben haben teilweise Freiheitsgrade, die (bewusst oder unterbewusst) gewählt werden. Gewählt wird, auf welcher Spur man fährt, aber auch wo in der Spur, wie genau die Spur eingehalten werden soll, ob man überholt, wie man überholt, etc. Diese Parameter hängen wiederum vom Verkehrskontext (Geometrie der Welt, Fahrgeschwindigkeit, Verkehrskonstellation) ab. Diese Aufgaben wollen wir mit Wahl und Einhaltung der befahrbaren Straßenfläche zusammenfassen.

Die Hauptaufgaben der Längsführung sind das Einhalten oder Erzeugen von Abständen zu vorausfahrenden oder nachfolgenden Fahrzeugen (z. B. beim Einfädeln auf eine Autobahnspur), das Anhalten vor Objekten, Haltelinien, Ampeln, Querstraßen, etc. sowie die Regulation der Geschwindigkeit auf geraden Straßen und die Regulation der Geschwindigkeit auf kurvigen Straßen zur Einhaltung physikalisch sicherer Querbeschleunigung. Abstandsregulation<sup>27</sup> und Geschwindigkeitsregulation kommen in der Regel nicht gleichzeitig vor. Eine Geschwindigkeitsregulation ist nur dann möglich, wenn die Längsführung nicht durch vorausfahrende Fahrzeuge eingeschränkt ist. Ein besonderer Fall liegt dann vor, wenn man hinter einem Zeichen zur Auflösung einer Geschwindigkeitsbeschränkung auf seine Wunschgeschwindigkeit beschleunigen will und der Fahrer des Vorderfahrzeugs will das auch<sup>28</sup>. Auch hier gibt es zahlreiche Freiheitsgrade, die gewählt werden müssen oder sich zufällig ergeben. Das sind Wunschabstände, Abstandsgenauigkeit, Bremsdruckmuster (z. B. progressiv oder degres-

<sup>27</sup> Unter Regulation ist das Regeln auf eine Wunsch- oder Sollgröße sowie das transiente Einstellen zusammengefasst.

<sup>28</sup> Fast alle diese Anforderungen werden in ähnlicher Weise an die Lokomotion eines Fußgängers in einer Fußgängerzone gestellt.

siv), Wunschbeschleunigung, Wunschgeschwindigkeit, etc. Auch diese Parameter hängen wiederum vom Verkehrskontext ab. Die Aufgaben der Längsführung wollen wir unter den Bezeichnungen Wahl und Einhaltung von Geschwindigkeitsbedingungen sowie Wahl und Einhaltung von Abstandsbedingungen zusammenfassen.

In der Regel kann man Längsführung und Querführung als weitestgehend getrennte, aber gleichzeitig zu bearbeitende Aufgaben betrachten. In Sonder-situationen, bei denen die Haftreibung zwischen Reifen und Fahrbahn einen entscheidenden Einfluss auf die notwendigen Handlungen haben, beispielsweise beim Fahren auf Eis oder Schnee, sind die Querregulation und die Geschwindigkeitsregulation miteinander gekoppelt und müssen aufeinander abgestuft gelöst werden. In diesen Fällen kann man beispielsweise durch Gasgeben lenken. Da die Querbeschleunigung die verbindende dynamische Größe ist, wollen wir die Aufgaben unter der Bezeichnung Wahl und Einhaltung von Querbeschleunigungsbedingungen zusammenfassen.

Neben den mit motorischen Handlungen unmittelbar verbundenen Aufgaben gibt es rein kognitive Aufgaben, die parallel zu den motorischen ausgeführt werden. Dies sind z. B. die Gefahrenerkennung und die Erkennung von Umwelteigenschaften. In Anlehnung an das aufgabenorientierte Fahrermodell von VOLLRATH (2010) fassen wir diese Aufgaben unter der Bezeichnung Situationsbewusstseinsakquise zusammen. VOLLRATHS Modell (2010; Bild 31) dient der Darstellung wesentlicher Fahraufgaben und ihrer Zusammenhänge, die bei der Entstehung von Unfällen eine Rolle spielen.

Er unterscheidet zwischen Führungs- und Regelungsebene: In der Führungsebene werden Aktionen ausgeführt, die der Akquise des Situationsbewusstseins (z. B. aktive Suche nach Verkehrsteilnehmern) und der Planung (z. B. Position vorgeben) dienen. Von dort wurde auch die Unteraufgabe Erkennung der Handlungsrelevanz übernommen. Die Regelungsebene beschreibt die Ausführungsaufgaben, z. B. Abstand halten (und hierfür Bremsen). Bild 32 fasst die eben beschriebene Kategorisierung zusammen.

Die Teilaufgaben der Querführung und die der Längsführung kann man wiederum in zwei prinzipiell unterscheidbare Unteraufgaben teilen, nämlich die Regelung auf ein mehr oder weniger festes Ziel und die transienten Manöver. Transiente Manöver sind von vergleichsweise kurzer Dauer (ein paar

Sekunden bis zu ca. 1 Minute), während die Regelung auf ein mehr oder weniger festes Ziel eher andauernden Charakter hat – auch wenn die immer wieder vorkommenden Subhandlungen diskret und zeitlich begrenzt sind. In Anlehnung an OEHME et al. (2014) nennen wir diese Homöostase-Handlungen. Allerdings fassen wir den Begriff der Homöostase etwas anders auf und übernehmen deshalb nicht die Definition von Oehme und Kollegen. Den Begriff der Homöostase benutzen wir in der ursprünglich griechischen Bedeutung als Gleichstand, im Sinne einer Aufrechterhaltung eines Gleichgewichtszustandes. Manöver charakterisieren dagegen ein Heraustreten aus diesem Gleich-

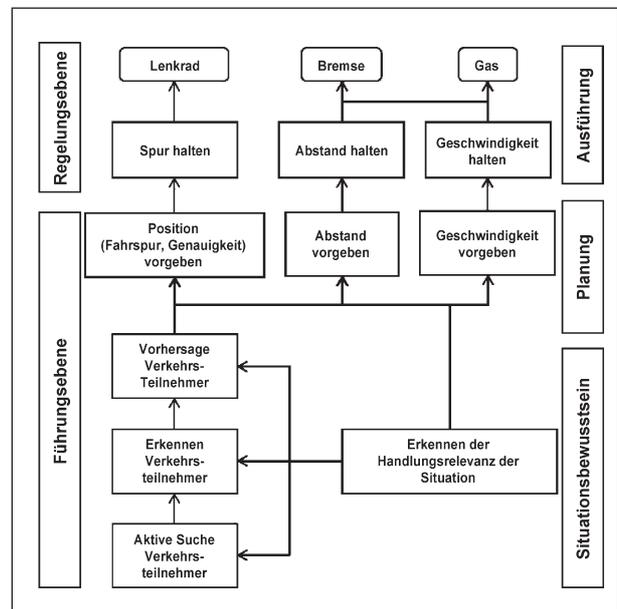


Bild 31: Aufgabenorientiertes Fahrermodell von VOLLRATH (2010, S. 32)

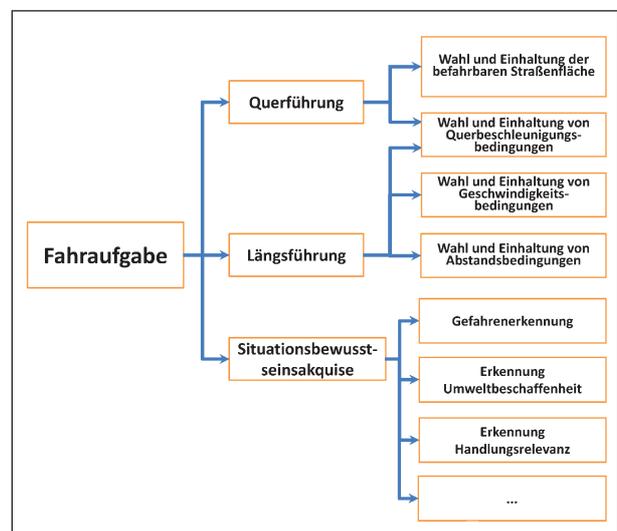


Bild 32: Strukturierung der Autofahraufgabe

gewichtszustandes. Während Homöostase-Handlungen Regelungsprozesse sind, können Manöver auch zum Teil oder vollständig aus gesteuerten Handlungen bestehen. Ein ruckartiges, sehr schnelles Ausweichmanöver ist beispielsweise ein völlig gesteuertes Manöver.

Unseren Ausführungen folgend, sind für die Querführung, die Abstandshaltung und die Geschwindigkeitshaltung jeweils eigene Homöostasen vorhanden, die bezüglich Quer- und Längsführung gleichzeitig auftreten können, aber nicht müssen. Die Quer-Homöostase findet wie mehrfach betont in einer Frequenz von ca. 1,5 Hz (Kapitel 1.2.4), in der Regel in Form von kurzen Korrektursequenzen, statt. In ihrer beobachtbaren Konsequenz der Fahrzeugbewegung ist dies ein kontinuierlicher Regelungsprozess. Dies nennen wir angelehnt an die 3-Ebenen-Modelle der Fahrzeugführung Stabilisierung.

Die Abstands-Homöostase kann beispielsweise durch das Action-Point-Modell beschrieben werden (Bild 23). Die Abstände der Handlungen hängen stark von den Bedingungen und dem Fahrer ab und liegen zwischen 1 Sekunde und mehreren Sekunden. Bei der Geschwindigkeits-Homöostase können die Korrekturingriffe noch weiter auseinanderliegen. Bei allen homöostatischen Handlungen sind alle handlungsbestimmenden Randbedingungen zwar veränderlich aber relativ konstant.

Bei den transienten Handlungen, den Manövern, gibt es hingegen plötzliche innere oder äußere

Bedingungsänderungen, die als Trigger einer zeitlich begrenzten Handlungssequenz dienen. Wir übernehmen die Definition von OEHME et al. (2014, S. 18) und definieren Manöver als:

„zeitnahe Reaktion auf eine Situationsänderung (möglicherweise auch Zieländerung) aufgrund extrinsischer oder intrinsischer Reize in Form eines motorischen Handlungsablaufes, der eine eigene Planung beinhalten kann“.

Manöver gibt es auf allen vier Unteraufgabenebenen von Bild 32. Sie können relativ selten auftreten, wenn man beispielsweise auf einem amerikanischen Highway fährt, sie können aber auch ununterbrochen aufeinander folgen, wenn man etwa in einem Stau oder im Berufsverkehr dauernd die Fahrspur wechselt, um schneller voranzukommen. Wir gehen davon aus, dass Manöver und Homöostase in einer der Hauptunteraufgaben Querführung und Längsführung nicht gleichzeitig auftreten, obwohl man z. B. bei einem Überholmanöver gleichzeitig die Aufgabe der Stabilisierung löst. Dies soll Teil der Erfüllung der Manöveraufgabe sein.

Merkmal der Homöostase gegenüber dem Manöver ist das Nichttransiente und die Gleichförmigkeit über einen längeren Zeitraum.

Die Manöver werden durch die drei determinierenden Faktoren Situation, Planung und Aktion bestimmt. In Anlehnung an VOLLRATH (2010) werden wir deshalb die jeweiligen Manöver wiederum durch die drei Unteraufgabenkategorien Situations-

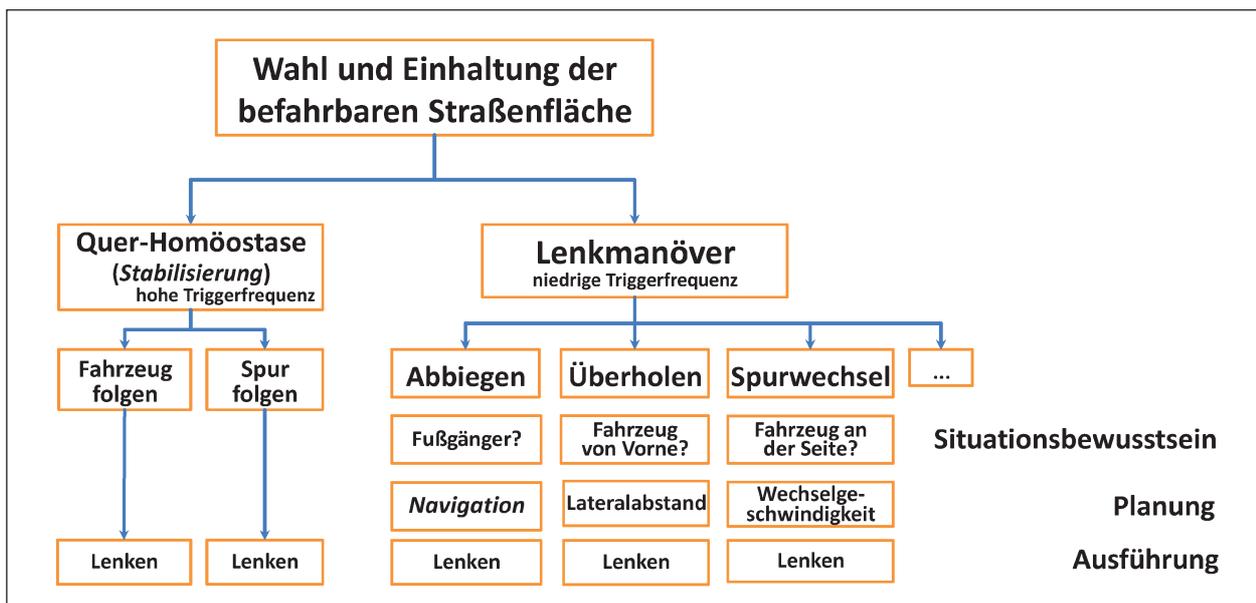


Bild 33: Strukturierung der Unteraufgabe der Querführung „Wahl und Einhaltung der befahrbaren Straßenfläche“ mit exemplarischen Unteraufgaben

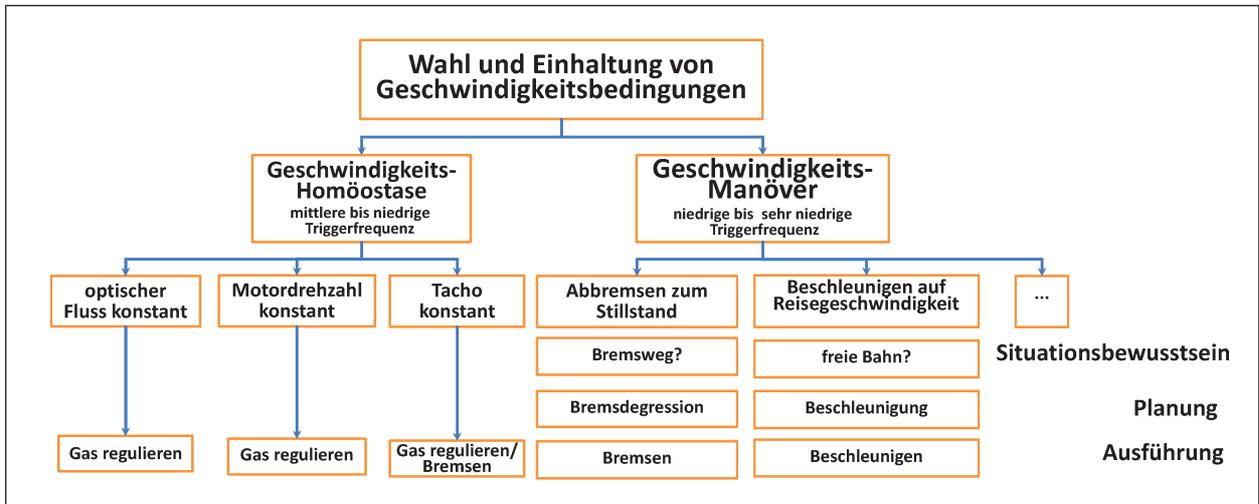


Bild 34: Strukturierung der Unteraufgabe der Längsführung „Wahl und Einhaltung der befahrbaren Straßenfläche“ mit exemplarischen Unteraufgaben

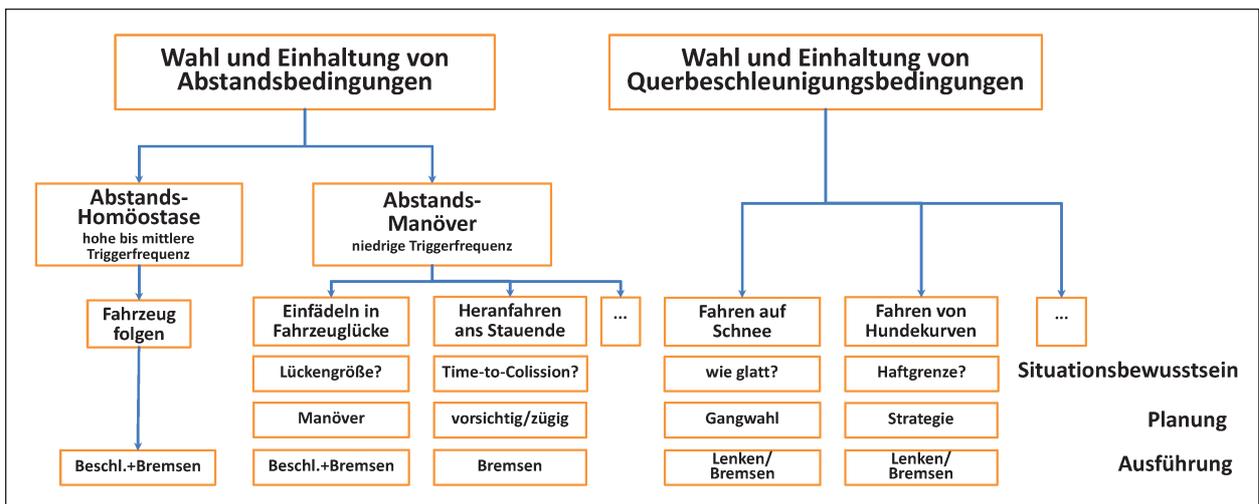


Bild 35: Strukturierung der Unteraufgaben „Wahl und Einhaltung von Abstandsbedingungen“ sowie „Wahl und Einhaltung von Querbeschleunigungsbedingungen“ mit exemplarischen Unteraufgaben

bewusstsein, Planung, Ausführung beschreiben. In Bild 33 sind die mit dieser Strukturierungsvorschrift klassifizierten Unteraufgaben der Subaufgabe Wahl und Einhaltung der befahrbaren Straßenfläche dargestellt. Die aus den Ebenenmodellen (Kapitel 4.1, S. 4) bekannten Begriffe Navigation, Manöver und Stabilisierung sind wieder enthalten, allerdings in einer etwas anderen Sortierung. So ist die Navigation der Planungsteil des Lenkmanövers Abbiegen.

In ähnlicher Weise können auch die anderen Unteraufgaben der Längs- und Querführung strukturiert werden (Bild 34, Bild 35).

Die eben in den Aufgabenhierarchien dargestellten Grundaufgaben der Quer- und Längsführung kann man auch, wie OEHME et al. (2014) zeigen, im Zeitbereich verdeutlichen (Bild 36). Die höherfrequen-

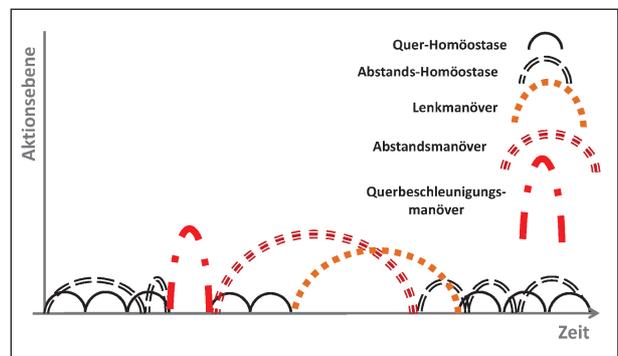


Bild 36: Abwechseln von Homöostase und Manöver im zeitlichen Verlauf

ten Handlungsabschnitte der Quer-Homöostase (Stabilisierung) in der Querführungsebene wechseln sich mit Lenkmanövern ab. Gleiches gilt für die Abstands-Homöostase und Abstandsmanöver in

der Längsführungsebene. Die beiden Sequenzen sind unabhängig voneinander<sup>29</sup>, außer bei den Querbeschleunigungsmanövern, bei denen Quer- und Längsführung gekoppelt sind.

Die Situationsbewusstseinsakquise kann nicht in derselben Art klassifiziert werden wie die mit Handlungen verbundenen Aufgaben. VOLLRATH (2010) klassifiziert seine Situationsbewusstseinssebene beispielsweise in Erkennung der Handlungsrelevanz der Situationen und diesem untergeordnet in aktive Suche Verkehrsteilnehmer, Erkennen Verkehrsteilnehmer und Vorhersage Verkehrsteilnehmer (Bild 31). Auch für die Unteraufgaben Gefahrenerkennung und Erkennung der Umweltbeschaffenheit (Bild 32) kann man sich zahlreiche Unteraufgaben vorstellen. Beispielsweise könnte die Beobachtung von Seitenwind, der möglicherweise beim Überholen eines Lkw problematisch sein könnte, oder auch die Erkennung vereister Platten in einer Mulde dazugehören.

#### 4.3.3 Definition Fahrkompetenz

Fahrkompetenz wurde in Kapitel 1.2.2 vorläufig definiert. Auf Basis der vorgestellten Erkenntnisse soll im Folgenden eine modifizierte Definition abgeleitet werden. Um die Argumentation herauszuarbeiten, wiederholen wir teilweise schon Gesagtes.

Die Fahraufgabe ist eine Lokomotionsaufgabe, die einen hohen Anteil an sensumotorischen Fertigkeiten und Fähigkeiten verlangt. Zwar ist für eine erfolgreiche Erfüllung der Aufgabe der Bedienung eines Kraftfahrzeuges noch eine Reihe von Handlungskompetenzen, wie die Kompetenz zum Starten des Motors, zum Tanken, zum Einsteigen, zum Sitzeinstellen, etc., (sekundäre Aufgaben) oder darüber hinaus auch zur Bedienung von elektronischen Systemen im Fahrzeug (tertiäre Aufgaben, GEISER, 1985), notwendig. Diese sind in der Regel aber für die Verkehrssicherheit nicht relevant und gemäß unserer vorläufigen Definition von Fahrkompetenz nicht Bestandteil des Fahrvermögens und der Fahrkompetenz. Aus demselben Grunde kann das Schalten und Kuppeln – obwohl manchmal schwer zu lernen – nicht zu den Fertig-

keiten dazugezählt werden, die die Fahrkompetenz determinieren<sup>30</sup>.

Die primären Teilaufgaben der Lokomotionsaufgabe auf einer Ebene sind die Quer- und die Längsführung. Diese unterscheiden sich in ihren Anforderungen im Besonderen, aber nicht im Prinzip vom Fahrradfahren. Kleine Kinder oder Bären können Fahrrad fahren.

Die wesentliche Besonderheit des Autofahrens gegenüber dem Fahrradfahren sind die höheren gefahrenen Geschwindigkeiten und die höhere Situationsdynamik durch andere Verkehrsteilnehmer. Entscheidend ist dabei, dass sich dieser Geschwindigkeitsbereich bedeutend vom natürlichen, unvermittelten erfahrenen Geschwindigkeitsraum bei der Lokomotionsaufgabe des Zufußgehens unterscheidet. Mit der Geschwindigkeit verändern sich aus physikalischen Gründen verhaltensrelevante Größen, die sicherheitsdeterminierend sind. Die Annäherungsgeschwindigkeit an den Seitenrand verändert sich bei gleicher Veränderung des Lenkwinkels linear und der Bremsweg sogar quadratisch mit der gefahrenen Geschwindigkeit. Letzteres gilt auch (jedenfalls im Prinzip) für die Wirkung bei Kollisionen. Die eben genannten physikalischen Gründe haben zur Folge, dass der Spielraum zur Korrektur von Handlungsfehlern bei gleichen geometrischen Randbedingungen der befahrenen Welt mit der Geschwindigkeit mindestens linear sinkt. Schon deshalb steigen die Anforderungen an das Fahrvermögen mit der Geschwindigkeit. Sinn des Rennsports ist es gerade, die Grenzen des Fahrvermögens in Bezug auf die Anforderungen der Geschwindigkeit auszuloten.

Besondere Anforderungen an das Fahrvermögen ergeben sich aber auch aus anderen Bedingungsvariationen. Fahren auf Schnee ist bei gleicher Geschwindigkeit schwieriger als auf trockener Fahrbahn, Fahren in der Nacht ist schwerer als am Tag, Fahren auf Kurven mit zunehmender Krümmung ist schwieriger als bei Kurven, die Kreisbahncharakteristik haben, Fahren zu Hauptverkehrszeiten in der Großstadt ist schwieriger als Fahren in einer Kleinstadt.

Sowohl höhere Geschwindigkeiten als auch besonders anspruchsvolle Verkehrssituationen können durch Willensakte vermieden werden. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit des Versagens des Fahrers reduziert. Der willentliche Akt zur Risikoreduzierung kann als Ausdruck einer verkehrssicherheitsrele-

<sup>29</sup> Geschwindigkeitsmanöver sind der Übersicht halber nicht eingezeichnet.

<sup>30</sup> Obwohl sie die Leistung in der Lokomotionsaufgabe beeinträchtigen können und deshalb Teil der Fahraufgabe sind.

vanten Kompetenz aufgefasst werden. Allerdings ist diese Kompetenz eher mit der Fahrvermeidung als mit dem Fahren verbunden. Man könnte Nichtfahren als Teil der Verkehrskompetenz bezeichnen. Dazu würde es z. B. auch gehören, wenn man vom Auto auf öffentliche Verkehrsmittel umsteigt. Dies würde beispielsweise das auf die Transportleistung bezogene Unfallrisiko drastisch reduzieren und müsste deshalb als Ausdruck erhöhter Verkehrskompetenz bezeichnet werden. Vor dem Hintergrund, Ursachen für hohe fahrleistungsbezogene Unfallkennziffern ermitteln zu wollen, werden wir aber Kompetenzen, die mit Fahrvermeidung steigen, nicht zur Fahrkompetenz dazuzählen. Fahrvermögen, das alle nichtmotivationalen Einflüsse beinhaltet, kann ohnehin nur leistungsbezogen definiert werden.

Daher muss bei der Erfassung des Fahrvermögens der Verkehrskontext mit erfasst werden. Verkehrskontext ist hier durch Zustand und Konstellation von Fahrzeug und dynamischer Umwelt festgelegt. Wegen der starken Unterschiede der Anforderungen unterschiedlicher Verkehrskontexte muss Fahrvermögen auf die Anforderungen des Kontextes bezogen sein. Da der Fahrer in seinem Leben nicht gleichzeitig in zwei gleiche Verkehrskontexte kommen kann, müssen diese im Rahmen einer Erfassung des Fahrvermögens klassifiziert werden. Zusammengefasst ist die Definition und Messung eines Maßes Fahrvermögen nur spezifisch bezogen auf eine Verkehrskontextklasse sinnvoll. Es kann durchaus sein, dass Fahrer hohes Fahrvermögen für die Kontextklasse<sup>31</sup> Stadtfahrt haben, aber ein geringes für die Kontextklasse Autobahnauffahren (BAHR, 2016). Für die Beurteilung des Fahrvermögens eines Fahranfängers ist sowohl die Kenntnis des verkehrskontextspezifischen Fahrvermögens als auch eines globalen Maßes sinnvoll, das Fahrvermögen summarisch festlegt. In Führerscheinprüfungen wird dies mit einem dichotomischen Maß praktiziert.

Wenn Fahrvermögen ein durch Verkehrssicherheitsaspekte definiertes Maß sein soll, dann muss dies in einer bekannten, berechenbaren oder zumindest schätzbaren Verbindung zur Verkehrssicherheit

stehen. Wenn also ein Maß zur Messung der Spurhaltefähigkeit als Indikator des Fahrvermögens im Kontext der Fahraufgabe Geradeausfahrt auf Landstraßenalleen herangezogen werden soll, muss es zumindest abschätzbar sein, wie sich Unterschiede in diesem Maß auf die Verkehrssicherheit auswirken. Für die summarische Zusammenfassung mehrerer solcher kontextspezifischer Fahrvermögensmaße zu einem globalen Maß müssen Wertungs- bzw. Wichtungsfaktoren sowie – im Falle nur qualitativer Bewertungen – Verrechnungshinweise zur Kombination der einzelnen Indikatoren definiert und festgelegt werden.

Neben dem Fahrvermögen wird Fahrkompetenz durch motivationale, volitionale und personenbezogene Faktoren bestimmt (siehe vorläufige Definition von Fahrkompetenz). In der Regel wirken diese auf die Kontextwahl. Sie können deshalb nicht auf den Verkehrskontext bezogen werden. Man kann sich zwar motivationale und volitionale Akte vorstellen, die die Sicherheit aber nicht den Verkehrskontext beeinflussen. Ein Beispiel wäre ein Fahrer, der sich prinzipiell bei Fahrten auf einer Landstraßenallee nicht unterhält. Aber schon die willentliche Wahl auf Landstraßen nur langsamer als die zulässige Höchstgeschwindigkeit zu fahren, wäre eine Kontextwahl. Motivationale und volitionale Einflüsse wirken deshalb nur auf die globale Fahrkompetenz. Dies bedeutet, dass sie in der summarischen Zusammenfassung der kontextspezifischen Fahrvermögensmaße als ein weiterer Faktor einfließen müssen, um daraus das globale Gesamtmaß der Fahrkompetenz abzuleiten. Wenn man hier nicht beliebig sein will, kann das nur vor dem Hintergrund von Norm-Volitionen geschehen. Wir hatten eben festgelegt, dass Kompetenzen der Fahrvermeidung nicht zur Fahrkompetenz dazu gehören sollen.

Nun kann man sich durchaus volitionale Akte vorstellen, die Ausdruck veränderter Fahrkompetenz sind, weil durch diese Akte die Fahrsicherheit reduziert ist oder gesteigert wird. Sicherheitsmindernd ist beispielsweise die Handybenutzung während der Fahrt, sicherheitssteigernd ist das Anlegen des Sicherheitsgurtes oder das Tragen eines Helmes. Wenn sich also bei einer Befragung oder Beobachtung herausstellt, dass ein Fahrer während der Fahrt das Handy benutzt, könnte man sich vorstellen, dass es bei der Ermittlung der globalen Fahrkompetenz mehr oder weniger große Punktabzüge gibt – je nach Häufigkeit und Intensität. Allerdings ist auch das Fahren bei Dunkelheit, Schneeglätte, Regen oder starken Winden mit

<sup>31</sup> Der Begriff Kontextklasse kann auch durch Fahraufgabe ersetzt werden. Man kann jede Kontextklasse als eine spezifische Fahraufgabe bezeichnen. Der Kontext selbst ist aber granularer gedacht, als zeitveränderliche Konstellation physikalisch messbarer zeitveränderlicher Größen.

höherem Risiko behaftet. Es erscheint merkwürdig, das Fahren unter diesen Bedingungen als Zeichen fehlender Fahrkompetenz zu bezeichnen. Im Gegenteil würde man die Fertigkeit Schneebedingungen zu meistern als hohes kontextspezifisches Fahrvermögen einschätzen. Anbieter von Sicherheitsfahrtrainings argumentieren genau mit einem Vermögenszuwachs bei schwierigen Situationen. In diesem Sinne wäre aber auch die Fertigkeit trotz Handybenutzung noch gut Auto fahren zu können ein Ausdruck einer spezifischen Kompetenz – obwohl diese Argumentation aus gesellschaftsethischer Sicht fragwürdig erscheint.

Die Diskussion zeigt, dass die Einbeziehung motivationaler und volitionaler Faktoren in die Fahrkompetenzbewertung nur auf Basis gesellschaftlicher Normvorstellungen in Abwägung des persönlichen Rechts auf Mobilität mit selbstgewählter Modalität in Bezug auf das öffentliche Interesse an Risikominimierung möglich ist. Vor diesem Hintergrund muss auch diskutiert werden, ob nächtliche Ausflüge zu Diskos auf dem Lande oder das Fahren mit Gleichaltrigen schon an sich als fahrkompetenzmindernder Fakt zu werten ist, oder ob dies nicht als Ausdruck spezifischer Mobilitätswünsche gesellschaftlich akzeptiert werden sollte und damit als Ausdruck fehlenden Fahrvermögens entfällt. Zusammenfassend kann man also sagen, dass man durchaus in einer Längsschnittstudie motivationale und volitionale Aspekte zur Vervollständigung des Gesamtbildes erfassen kann, dass die Wertung als Beitrag zur Bewertung individueller Fahrkompetenz aber kaum zu leisten ist.

Noch schwieriger wird dies bei der Bewertung von Persönlichkeitsfaktoren. Die verkehrspsychologische Forschung zeigt Zusammenhänge zwischen Persönlichkeitsmerkmalen oder Lebensstilgruppen zu verkehrssicherheitsbezogenen Daten auf. Im Ergebnis kann man zeigen, dass bestimmte Gruppen sicherer fahren als andere. Dies sagt aber nichts über eine individuelle Fahrkompetenz aus, um die es bei jeder Erfassung der Fahrkompetenz in einer Längsschnittstudie gehen muss. Individualkompetenz kann nicht über die Gruppenzugehörigkeit gemessen werden. Mit gleicher Argumentation können Faktoren wie die soziale Herkunft, das Einkommen, das Geschlecht, das Alter, das Alter bei Führerscheinerwerb, usw. nicht zur Bewertung individueller Fahrkompetenz herangezogen werden. Aus diesem Grund werden wir in der endgültigen Fassung der Definition von Fahrkompetenz die Per-

sönlichkeitsfaktoren aus der vorläufigen Fassung wieder entfernen.

Generell sind Fahrvermögen und Fahrkompetenz mindestens intervallskaliert messbar. Wenn man die Abnahmen von Unfallkennziffern von Fahranfängern wie in Bild 11 mit einem Zuwachs von Fahrkompetenz erklären möchte, wird eine hohe Messgranularität benötigt.

### **Definition Fahrkompetenz**

Fahrkompetenz ist ein mindestens intervallskaliert messbares Konstrukt, das Fahrern zugeordnet werden kann. Fahrkompetenz wird durch die Höhe des Vermögens, sich sicher im Straßenverkehr bewegen zu können, operationalisiert. Fahrkompetenz ist durch Fahrvermögen (Fähigkeiten, Fertigkeiten) und durch motivationale bzw. volitionale Faktoren bestimmt. Die Höhe des Vermögens einen Verkehrskontext bewältigen zu können ist das „kontextspezifische Fahrvermögen“. Das „globale Fahrvermögen“ ist die Höhe des Vermögens, den Anforderungen des motorisierten Straßenverkehrs allgemein gerecht zu werden. Es wird durch eine Zusammenfassung kontextspezifischer Fahrvermögen ermittelt. Die „globale Fahrkompetenz“ fasst globales Fahrvermögen und motivationale bzw. volitionale Faktoren zusammen.

Fahrvermögen sowie motivationale bzw. volitionale Faktoren, die sich im Lernprozess und durch andere Einflüsse (z. B. Alter) nur langsam ändern, werden durch das Attribut tonisch gekennzeichnet. Fahrvermögen sowie motivationale bzw. volitionale Faktoren, die sich durch physiologische oder psychologische Einflüsse reversibel schnell ändern, werden als phasisch bezeichnet. Mit Fahrvermögen und Fahrkompetenz ohne Attribut sind die tonischen Varianten gemeint.

#### **4.3.4 Informationsverarbeitungsprozess beim Autofahren und Prozesses der Fahrkompetenzerhöhung**

Diese Zusammenfassung fußt auf den theoretischen Überlegungen in Kapitel 1 sowie auf den Befunden über Fahranfänger und ist als ein Modell von der Erfüllung von Teilaufgaben des Autofahrens aufzufassen.

Autofahren benötigt eine so hohe Informationsverarbeitungsleistung (Information pro Zeit), dass dies nicht allein durch die stark ressourcenbeschränkte

kognitive Informationsverarbeitung geleistet werden kann. Es muss also eine nichtkognitive Informationsverarbeitung geben. Diese nennen wir sensumotorische Informationsverarbeitung. In der sensumotorischen Informationsverarbeitung ist die Verarbeitung mit dem Ergebnis motorischer Handlungen enthalten. Rein motorische Aspekte der Handlung auf physikalischer Ebene, wie beispielsweise Muskelschnellkraft oder maximale Muskelkraft spielen zwar beim Autofahren auch eine Rolle; diese betrachten wir im Weiteren aber nicht. Sensumotorische Prozesse sind spezialisierter als kognitive. Sensumotorische Prozesse sind aufgabenbezogen und müssen erlernt werden. Kognitive Informationsverarbeitung ist universeller und kann deshalb auch zur Erfüllung von Aufgaben herangezogen werden, die noch nicht sensumotorisch gelernt sind.

Aus dem eben gesagten folgt, dass das Erlernen des Fahrenkönnens wie bei allen Bewegungsaufgaben am Anfang des Lernprozesses einen höheren Anteil an kognitiven Ressourcen benötigt. Wegen der Anforderungen der Lokomotionsaufgabe Autofahren liegt allerdings schon bei Fahrnovizen der größere Anteil der Informationsverarbeitung, trotz des proportional höheren kognitiven Anteils, bei den sensumotorischen Prozessen. Sensumotorische Prozesse werden einerseits durch kognitive Willensakte gesteuert, andererseits ist die Kognition Lieferant von nicht direkt sensibler Information und hilft bei Ähnlichkeitserkennungen. Schließlich kann die Kognition sensumotorische Prozesse beobachten (monitoren). Diese bidirektionale Zusammenarbeit (kognitive Steuerung, kognitives Monitoring, sensumotorische Unterstützungsanfrage) nennen wir kognitiv-sensumotorische Prozesse. Das Zusammenspiel Kognition-Sensumotorik ist selbst eine Fähigkeit, die durch Übung verbessert werden kann und damit in eine Fertigkeit übergeht. Es gibt bestimmte Aspekte der sensumotorischen Informationsverarbeitung, auf die es keinen kognitiven Zugriff gibt. Die nennen wir rein sensumotorisch. Ebenso gibt es rein kognitive Vorgänge, in welchen keine direkte Sensorik involviert ist.

Kognitive Ressourcen (im Sinne von Denk-/Informationsverarbeitung pro Zeit) sind beschränkt. Auch die aufgabenbezogenen sensumotorischen Ressourcen sind beschränkt, können aber im Gegensatz zu den kognitiven Ressourcen, die durch aufgabenbezogenes Training nicht verändert werden können, mit Training wachsen. Sie können

durch fehlende Übung in der Aufgabe auch wieder schrumpfen. Das bedeutet aber nicht automatisch, dass sensumotorische Ressourcen für andere Aufgaben nicht parallel dazu steigen können: Man kann durch Nichtautofahren zwar das Autofahren verlernen aber dennoch sensumotorische Ressourcen für das Klavierspielen anreichern. Veränderungen in den maximal möglichen kognitiven Ressourcen sind auch möglich, aber eher gering. Steigerung sieht man beim Entwicklungsprozess des Kindes. Ressourcenmindernde Veränderungen sind im Rahmen von Altersprozessen beobachtbar.

Der Eingriff der Kognition in kognitiv-sensumotorische Prozesse ist mit einer Aufmerksamkeitssteuerung verbunden. Der Prozess der Aufmerksamkeitsfokussierung und des Aufmerksamkeitswechsels benötigt relativ viel Zeit. Dies führt bei zeitkritischen Aufgaben wie dem Autofahren, bei dem parallel mehrere zeitkritische Aufgaben ausgeführt werden müssen, dann zu Problemen, wenn die Teilaufgaben noch nicht so automatisiert sind, dass sie ohne kognitive Unterstützung ausgeführt werden können. Fahranfänger müssen sich deshalb notgedrungen auf die zum aktuellen Zeitpunkt wichtigste Aufgabe konzentrieren. Da dies in der meisten Zeit die Querführungsaufgabe ist, üben Fahranfänger diese mehr als andere Aufgaben und lernen sie z. B. gegenüber der Längsführungsaufgabe schneller (siehe Kapitel 3).

Neben dem aufmerksamkeitsgelenkten Eingriff der Kognition im Rahmen der kognitiv-sensumotorischen Zusammenarbeit gibt es das aufmerksamkeitsgelenkte kognitive Monitoring ohne Eingriff (fokussiertes Monitoring). Dies kann ein Monitoring eigener Bewegungen sein. Beispielsweise kann man bewusst beobachten, mit welcher Kraft man in einer Kurvenfahrt das Lenkrad am Zurückdrehen hindert, obwohl die Regelung der Kraft subbewusst rein sensumotorisch stattfindet. Der Fokus kann aber auch bei Objekten in der Umwelt liegen, wenn beispielsweise ein Fußgänger plötzlich die Straße betritt. Ein Aufmerksamkeitsfokus bindet Ressourcen. Neben der fokussierten gibt es die verteilte Aufmerksamkeit, die Vigilanz im Sinne von POSNER und ROTHBART (1992). Verteilte Aufmerksamkeitsprozesse warten auf bestimmte Zielreize und sind deshalb bezogen auf die Aufgabe der Detektion besonderer Merkmale wesentlich schneller als fokussierte Aufmerksamkeitsprozesse mit wechselndem (scannenden) Fokus. Verteilte Aufmerksamkeitsprozesse werden beim Autofahren benötigt, um mögliche Gefahren frühzeitig zu

erkennen oder in Bewegungssequenzen einzugreifen, ohne völlig neu planen zu müssen. Wenn fokussiert beobachtet wird, ist durch die Ressourcenbindung das verteilte Monitoring reduziert. Allerdings kann man das adäquate Ressourcensharing üben. Erfahrenen Fahrern stehen gegenüber Fahrern sowohl mehr kognitive Ressourcen für das Monitoring allgemein zur Verfügung, als auch haben sie effektive Techniken zum Ressourcensharing entwickelt. Die Fähigkeit des verteilten Monitorings entwickelt sich erst relativ spät im Autofahrerprozess (siehe Kapitel 3).

Die Leistung in den Fahraufgaben steigt in der Regel mit dem Einsatz kognitiver Ressourcen. Dies gilt für Novizen wie für Experten. Sie kann bei Experten bei hochautomatisierten, optimierten Prozessen wie beispielsweise dem Spurwechsel auch verschlechtert werden, weil ein optimaler Prozess modifiziert wird (kognitive Verschlimmbesserung). Im Lauf des Prozesses vom Anfänger zum Novizen werden immer mehr Aspekte der Aufgabe automatisiert, was synonym zu Reduzierung der Anforderung an kognitiver Zuwendung und Unterstützung ist. Automatisiert werden nicht nur Handlungen, sondern Wahrnehmungs-Handlungsgeflechte. Dies geht bis zur Automatisierung von Entscheidungs- und Planungsprozessen. Automatisiert wird auch die Zusammenarbeit von Kognition und Sensumotorik. Dies kann als eine eigene Fähigkeit (Fertigkeit) angesehen werden, die mit Übung steigt. Automatisierte Prozesse sind schneller als Prozesse unter hohem kognitivem Einfluss. Die Ausführung motorischer Bewegung wandelt sich dabei von regeltem zu gesteuertem Verhalten. In den motorischen Bewegungen, aber insbesondere in den resultierenden Bewegungen des Fahrzeugs wird dies einerseits darin sichtbar, dass die Bewegungen einem Optimierungskriterium gehorchen und andererseits, dass sie glatter sind. Dies wird beispielsweise an weniger Korrekturbewegungen deutlich.

Die Aufgaben der Fahrzeugführung im Verkehr erfordern eine bestimmte Mindestleistung. Die Mindestleistung steigt bei sonst gleichen Randbedingungen mit der Geschwindigkeit. Die Mindestleistung ist erfüllt, wenn es zu keinem fahrer verursachten Unfall kommt. Man kann noch einen weiteren Leistungsbegriff definieren, welcher die Fahrleistung mit einer (hypothetisch angenommenen) Wahrscheinlichkeit eines verursachten Unfalls verbindet. Experten erfüllen die gleiche Aufgabe mit gleicher Mindestleistung aber höherer Verkehrs-

sicherheitsleistung. Falls noch kognitive Ressourcen frei sind, kann man die Verkehrssicherheitsleistung durch kognitiven Einsatz (in der Regel Aufmerksamkeit, Monitoring) steigern. Umgekehrt verringert man durch Reduzierung des kognitiven Einsatzes (z. B. durch Sekundär- oder Tertiäraufgaben oder einfach durch intensives Nachdenken) die Verkehrssicherheitsleistung. Wegen der starken kognitiven Beanspruchung durch das Telefonieren ist die Verkehrssicherheitsleistung beim Telefonieren im Auto reduziert. Allerdings kann man ein adäquates Aufgabensharing üben und dadurch die Reduktion der Verkehrssicherheitsleistung abmildern.

Erfahrene Fahrer kompensieren eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheitsleistung durch Reduzierung der Aufgabenlast, in dem sie z. B. langsamer fahren. Ähnlich ist es einzuschätzen, wenn Fahrer beim Einparken oder bei der Suche nach Adressen, Straßennummern, etc. das Radio ausschalten. Erfahrene Fahrer fahren nicht immer unter der Maxime maximaler Verkehrssicherheitsleistung, sondern fahren so, dass sich der Aufwand, also die psychische Anstrengung, in einem bestimmten Verhältnis zur angenommenen Verkehrssicherheitsleistung verhält. Auch Novizen fahren so, können ihre Verkehrssicherheitsleistung aber nicht so gut einschätzen.

Da die Verkehrssicherheitsleistung als Zielgröße unbegrenzt ist, werden zu deren Maximierung die vollen kognitiven Ressourcen benötigt – unabhängig davon, wie stark automatisiert die Aufgabenbewältigung ist. Das erkennt man auch daran, dass Rennfahrern trotz Hochautomatisierung ihre kognitiven Ressourcen vollständig ausschöpfen (siehe Kapitel 1.2.4). Ähnliches sieht man bei Profi-Tischtennispielern, die ohne volle Konzentration nicht gewinnen können (Brand Eins, 2014). Die mit Übung verbundene Automatisierung der Aufgabenbewältigung bedeutet also nicht, dass es keine kognitiven Prozesse mehr gibt, sondern, dass bei gleicher Aufgabenschwere der Anteil kognitiver Ressourcen im kognitiv-sensumotorischen Prozess geringer wird. Es verbleiben dadurch Reste der begrenzten kognitiven Ressourcen, die zur Erhöhung der Verkehrssicherheitsleistung genutzt werden können. Während Fahranfänger alle kognitiven Ressourcen zur Erfüllung der aufgabenbezogenen Mindestleistung benötigen, können erfahrene Fahrer die kognitiven Ressourcen für Zwecke der frühzeitigen Gefahrenerkennung, des vorausschauenden Fahrens oder auch für Sekundär- oder Tertiäraufgaben nutzen.

Die individuelle momentane Verkehrssicherheitsleistung (objektive Sicherheit) ist ein hypothetisches Konstrukt, das für Fahrten in realen Umgebungen nicht gemessen werden kann. Sie ist deshalb auch nicht erfahrbare. Sie hängt zudem vom Fahrvermögen des Fahrers ab. Das weiß auch der Fahrer. Aus selbsterfahrenem Beinaheversagen, aus vielen erfolgreich absolvierten gleichartigen Situationen, aus der Beobachtung anderer Fahrer und schließlich aus deklarativem Wissen kann ein Experte aber eine subjektive Schätzung der Verkehrssicherheitsleistung (subjektive Sicherheit) ableiten. Ob die subjektive Schätzung richtig oder falsch ist, erfährt der Fahrer nur dann, wenn seine Schätzung offensichtlich falsch ist, was sich nur in Unfällen, Beinaheunfällen oder selbstverursachten kritischen Situationen äußert. Ein Fahrer benötigt deshalb selbst verursachte Fehler, um sein Fahrvermögen richtig einschätzen zu können. Frische Fahranfänger haben zunächst ein geringes Selbstvertrauen in das eigene Fahrkönnen. Mit zunehmender Fahrpraxis und erlebten Erfüllungen der Fahraufgabe steigen das Selbstvertrauen und damit das Vertrauen in das eigene Fahrvermögen. Mangels Vergleich interpretieren die Fahranfänger diesen Kompetenzzuwachs als Ausdruck individueller Überlegenheit.

Es gibt nicht zwei gleiche, sondern nur jeweils ähnliche Verkehrskontexte. Verkehrskontexte sind Prozesse in der Zeit und kontinuierlich zeitveränderlich. Deshalb müssen automatisierte Informationsverarbeitungsprozesse der Sensumotorik auf Ähnlichkeitsprozessen basieren, die für ähnliche Kontextzeitverläufe ähnliche motorische Aktionen erzeugen. Der Bereich der Ähnlichkeitserkennung ist für die automatisierten Prozesse in einem Bereich um erfahrene Situationen beschränkt. Kognitive Vorgänge sind stark mit Fähigkeiten des häufig unspezifischen und plastischen Assoziationskortex verbunden (Spektrum, 2016b) und können deshalb auch Verbindungen zwischen Situationen herstellen, die unähnlicher sind. Je mehr unterschiedliche Situationen erfahren wurden, desto geschlossener ist das Netz von sensumotorischen Automatismen. Da sensumotorische Automatismen mit wenig Kognition schneller von statten gehen als diejenigen, die viel Kognition benötigen, können erfahrene Fahrer auch auf plötzlich entstehende Situationen mit hohen Zeitanforderungen noch reagieren, während der Fahranfänger den kognitiven Problemlöseprozess starten muss, der so langsam ist, dass die Lösung nicht mehr rechtzeitig erarbeitet werden kann. Hinzu kommt, dass hochdynamische Reaktionen nicht allein rein kognitiv (deklarativ) geplant werden können,

sondern vorher immer ausprobiert werden müssen. Typisch für Fahranfänger ist deshalb, dass sie in kritischen, ungeübten Situationen oft überhaupt nicht agieren. Diese kritischen Situationen werden von den Fahranfängern oft selbst erzeugt, wenn sie bei schwierigen, aber noch beherrschbaren Situationen mit einer unangepassten Handlung (z. B. Verreißen des Lenkrades) eine noch schwierigere Situation erzeugen. Dies wird durch die in Kapitel 3 dargestellten Befunde bestätigt.

Aktionen der Quer- und Längsführung müssen in der Regel abgestuft sein. Bei gelernten Situations-Handlungs-Mustern bedeutet das, dass entweder in den Mustern die Abgestuftheit enthalten ist, oder in den Subhandlungssequenzen Anpassungsmechanismen enthalten sind, die eine Anpassung an die aktuelle Situation ermöglichen. Menschliche motorische Handlungen zeichnen sich generell durch Stufenhaftigkeit aus, allerdings werden die Regelprozesse mit zunehmendem Automatisierungsgrad auf die Ebenen höherer Ableitungen (Geschwindigkeiten, Beschleunigungen) verlagert (siehe Kapitel 3.6). Auf der Ebene der Hand- bzw. Fußbewegungen bewirken solche geschwindigkeitsgeregelten Handlungen einen glatten Verlauf.

Alle Teilaufgaben der Fahraufgabe (Kapitel 4.3.1), die mit motorischen Aktionen verbunden sind, verlangen abgestufte Reaktionen auf abgestufte, sensorisch wahrgenommene, Verkehrskontextbedingungen. Sie können deshalb nicht auf symbolischem Wissen basieren, und müssen deshalb dem Können zugeordnet werden. Sie sind deshalb auch nicht in seinem Verlauf verbalisierbar, sondern nur grob beschreibbar. Ebenso können alle Handlungen nicht aus verbaler Instruktion gelernt werden, sondern nur über praktische Übung. Dies gilt z. B. auch für Einschätzungsaufgaben, wie die Abschätzung von Annäherungsgeschwindigkeit und Abstand eines auf der geplanten Überholspur entgegenkommenden Fahrzeugs. Durch Erfahrung kann die mögliche Zeitlücke, repräsentiert in Handlungskonsequenzen, eingeschätzt werden. Dieses mit Handlungen verknüpfte Vermögen ist Teil des (impliziten) Könnens. Wegen der kontinuierlichwertigen Situationsbedingungen, die kontinuierlichwertige Reaktionen verlangen gibt es beim Autofahren auch nur wenig regelbasiertes Verhalten. Ausnahmen sind beispielsweise die in der Fahrschule gelernte Rechts-vor-Links-Regel die bei Fahranfängern im Falle der Erkennung einer passenden Situation (Kreuzung ohne Vorfahrt) handlungsleitend (aber nicht handlungsbestimmend) sind.

Beim Autofahren ist nur der geringste Teil der kognitiven Informationsverarbeitung symbolisch. Selbst Verkehrsschilder wirken nach Erfahrungsaufbau teilweise als einen Reiz erzeugende Objekte. Planung und Ausführung sind damit im hochautomatisierten Fall Teil des impliziten Könnens.

Die eben skizzierte Modellvorstellung des Informationsverarbeitungsprozess und der Arbeitsteilung von Kognition und Sensumotorik beim Autofahren lässt sich gut über die Pferde-Metapher plausibilisieren. Diese Vorstellung wurde ursprünglich zur Charakteristik einer bestimmten Zusammenarbeit zwischen dem Fahrer und intelligenten Assistenzsystemen, die das Fahrzeug selbstständig führen können, eingeführt (FLEMISCH et al., 2005). Die Gestaltung nach dieser Metapher belässt dem Fahrer einen direkten, kontinuierlichen Einfluss auf die ansonsten selbstständig fahrende Automatisierung<sup>32</sup>. Ähnlich kann man sich die Rollenverteilung von Kognition und Sensumotorik vorstellen. Pferd und Reiter bilden eine enge Einheit und lösen die Aufgaben der Parcoursbewältigung gemeinsam und gleichzeitig. Das Pferd ist stärker, aber der Reiter ist intelligenter. Das Pferd kann sich zwar alleine bewegen, aber Spezialaufgaben, wie sich den Weg des Parcours auf Basis einer Beschreibung zu merken, kann der Reiter besser. Analog dazu bilden Kognition und Sensumotorik bezüglich der Lokomotionsaufgabe des Autofahrens eine symbiotische Einheit, die Kognitions-Sensumotorik. Die Sensumotorik ist schneller, die Kognition flexibler – sie kann auch ohne sensorischen Input agieren. Ebenso wie der Reiter nicht alle Bewegungen seines Pferdes genau steuert, hat auch die Kognition nicht auf alle Elemente der Sensumotorik einen direkten Einfluss. Je trainierter das Pferd, desto weniger Hilfen braucht der Reiter zu geben. Vollautomatisierte Pferde schaffen die Parcoursaufgabe auch ohne Reiter – wenn nicht etwas Unvorhersehbares geschieht, das nicht trainiert wurde. Die Kognition kann auf zwei Pferden reiten, der Queraufgabenerfüllung und der Längsaufgabenerfüllung, und noch nebenbei die Navigationsaufgabe lösen.

Die Fahraufgabe erfordert (außer im Stand) eine ununterbrochene Einflussnahme der Stellgrößen Lenkrad, Gaspedal oder Bremspedal. Mit motorischen Bewegungen des Lenkrads wird die Quer-

führungsaufgabe mit Gas- und Bremspedalbetätigung die Längsführungsaufgabe gelöst. Die Querverführungs- und die Längsführungsaufgabe, sind Aufgaben, die durchgängig während des Autofahrens durchgeführt werden müssen. Die motorischen Handlungen geschehen entweder als unmittelbare andauernde Reaktion (theoretisch ohne begrenzte zeitliche Ausdehnung) auf den wahrgenommenen Kontext (Zustand) als geregeltes Verhalten oder als zeitlich begrenzte Reaktion auf einen Verlauf des wahrgenommenen Kontextes beschränkter Länge als gesteuertes Verhalten. Beides sind in der Regel entweder kognitiv-sensumotorische Prozesse oder rein sensumotorische Prozesse. In Ausnahmefällen können auch rein kognitive Wissensselemente beteiligt sein, wenn aus Wissen mehr Informationen zur Lösung der Fahraufgabe gewonnen werden kann, als im sensorischen Reiz stecken.

Bei erfahrenen Fahrern bestehen die Handlungen zum größten Teil aus subbewusst geplanten und subbewusst ausgeführten Steuersequenzen, die sich entweder in Homöostaseprozessen der Querregulation, Geschwindigkeitsregulation und Abstandsregulation oder in transienten Manövern äußern. Homöostaseprozesse bestehen zwar aus vielen aufeinanderfolgenden Einzelhandlungen, die summarische Wirkung ist aber die einer Regelung auf eine relativ konstante, äußerlich vorgegebene oder innerlich gewählte Vorgabe (Sollgröße). Transiente Manöver können auch subbewusst ablaufen, sind aber häufig auch bewusst und verlangen ein Situationswissen, eine Planung und eine Ausführung.

Die eben dargestellten Vorstellungen über den Prozess der Informationsverarbeitung beim Fahren und der Prozess der Expertisegewinnung kann nicht vollständig in einer grafischen Repräsentation dargestellt werden. Wir wollen dennoch den Ressourcenaspekt visualisieren.

In Bild 37 ist der aktuelle, für die Aufgabe benötigte Ressourcenbedarf für einen erfahrenen Fahrer unter zwei Bedingungen unterschiedlich schwieriger Aufgabenanforderungen dargestellt (leichter, schwieriger). Es gibt drei Verarbeitungsebenen: die rein kognitive (rot), die kognitiv-sensumotorische (rot bis blau) und die rein sensumotorische (blau). Die Doppellinien symbolisieren die maximal möglichen Ressourcen, die ausgefüllten Flächen die aktuell für die Aufgabe benötigten Ressourcen. Der Farbverlauf symbolisiert die Zusammenarbeit von Kognition und Sensumotorik. Die Doppelrolle der

<sup>32</sup> Eine alternative Metapher wäre die eines Kapitäns, der plant und Befehle der Ausführung gibt.

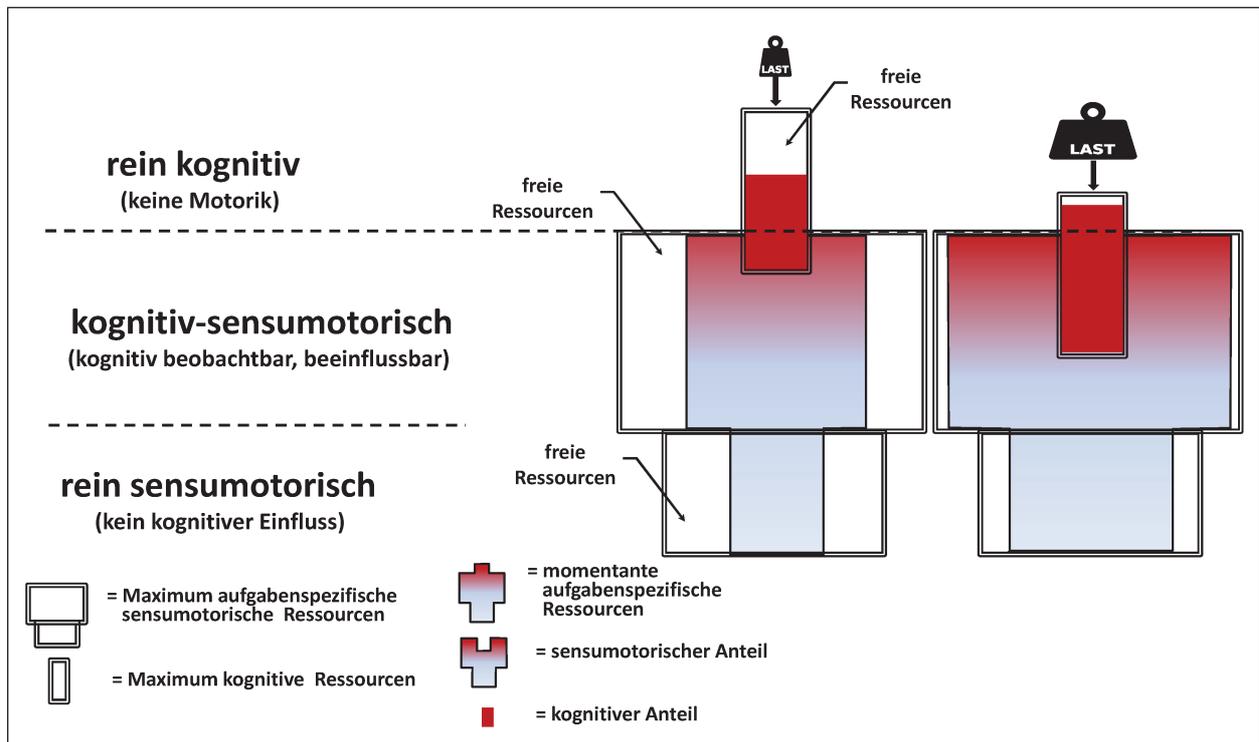


Bild 37: Ressourcenmodell der Informationsverarbeitung beim Autofahren

Kognition als Teil der kognitiv-sensumotorischen Informationsverarbeitung und als eigenständige Einheit wird durch das Eintauchen bzw. Verschmelzen in bzw. mit der Sensumotorik symbolisiert. Aufgabenspezifische kognitive Ressourcen in der rein kognitiven Ebene wären z. B. eine Navigationsplanung oder die Gefahrenwahrnehmung. Die maximalen kognitiven Ressourcen sind kleiner als die sensumotorischen. Die Höhe der Aufgabenschwierigkeit wird durch die Größe des Gewichtes symbolisiert. Weiße Flächen indizieren freie, für die Aufgabe nicht benötigte Ressourcen.

Unter geringer Last sind auf allen drei Ebenen der rein kognitiven, der kognitiv-sensumotorischen und der rein sensumotorischen Informationsverarbeitung freie Ressourcen vorhanden, die unter hoher Last fast vollständig verschwinden. Freie kognitive Ressourcen können noch für andere Aufgaben, wie für eine Unterhaltung genutzt werden. Freie sensumotorische Ressourcen sind zweckgebunden.

In Bild 38 sind die Verhältnisse des Ressourcenbedarfs der erfahrenen Fahrer denen von Fahranfängern gegenübergestellt. Bei gleicher kleiner Aufgabenlast benötigen die Fahranfänger im Gegensatz zu den erfahrenen Fahrern fast ihre vollen Ressourcen. Die maximal vorhandenen sensumotorischen Ressourcen sind (weil noch nicht so stark automatisiert) geringer als bei den erfahrenen Fahrern.

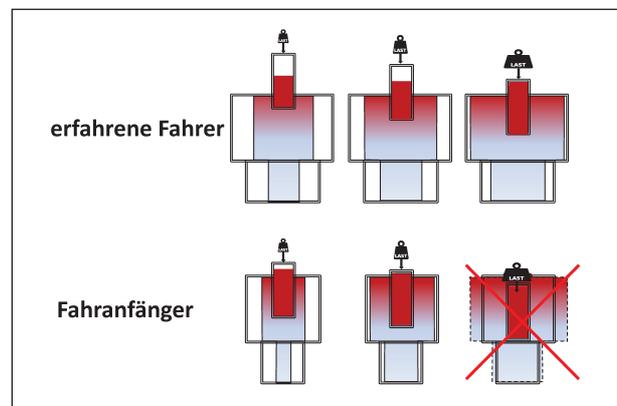


Bild 38: Vergleich Fahranfänger und erfahrene Fahrer im Ressourcenmodell der Informationsverarbeitung beim Autofahren

ren. Auch werden weniger Ressourcen eingesetzt, was geringere Leistung symbolisieren soll. Die maximalen kognitiven Ressourcen von Fahranfängern und erfahrenen Fahrern sind gleich. Die Fahranfänger benötigen aber fast alle kognitiven Ressourcen für die kognitiv-sensumotorische Ebene. Deshalb bleiben weniger kognitive Ressourcen für rein kognitive Teilaufgaben (z. B. Gefahrenwahrnehmung) übrig. Die Fahranfänger sind bei geringerer Last als die erfahrenen Fahrer schon an ihrem Limit und liefern noch dazu eine geringere Leistung. Die höchste Last kann von den Fahranfängern nicht mehr bewältigt werden.

Diese Ressourcenvorstellung kann man auch separat für Teilaufgaben der Fahrzeugführung (siehe Kapitel 4.3.4) anwenden. Dadurch kann deutlich gemacht werden, dass nicht alle Teilaufgaben gleiche Verteilung von kognitiven und sensumotorischen Ressourcen benötigen.

## 5 Möglichkeiten zur Messung des Fahrvermögens und der Fahrkompetenz

### 5.1 Überblick

In Kapitel 4.3.3 hatten wir Fahrvermögen und Fahrkompetenz als Konstrukte definiert, die direkt mit der individuellen Verkehrssicherheit auf einen Verkehrskontext bezogen verknüpft sind – je sicherer eine Fahrer in einem Verkehrskontext fährt, desto höher sind sein Fahrvermögen und seine Fahrkompetenz. Sicheres Fahren kann direkt, über die Zahl von Fehlern gemessen werden. Indirekt kann es über Indikatoren operationalisiert werden, von denen bekannt ist, dass sie Unterschiede zwischen erfahrenen, sicherer fahrenden Fahrern und Fahranfängern indizieren. Diese Unterschiede werden in starkem Maße im Automatisierungsgrad von Fahrhandlungen sichtbar. Der Prozess der Fahrkompetenzerhöhung von Fahranfängern kann also auf zwei Arten durch Messungen erfasst werden. Im direkten Zugang misst man die Veränderungen der individuellen Fahrsicherheit im Sinne verringerter Wahrscheinlichkeit, einen Unfall zu verursachen oder zu erleiden. Im indirekten Zugang misst man Veränderungen des Automatisierungsgrads (gemessen an freien kognitiven Ressourcen), von Motivstrukturen, der Form motorischer Handlungen, der Leistung von Teilaufgaben, des Vermögens der Gefahrenwahrnehmung sowie von Veränderungen der Blickbewegungsstrategien, etc.

Im direkten Zugang werden Fahrvermögen und Fahrkompetenz durch Erfassung von Größen geschätzt, die in direkter Verbindung zur Verkehrssicherheit stehen. Bei einer großen Anzahl von Versuchspersonen in einer Längsschnittstudie kann man dazu die Unfälle auswerten, die im Untersuchungszeitraum registriert wurden. Es können auch Beinaheunfälle oder kritische Situationen hinzugenommen werden. Letzteres erfordert die Mithilfe der Probanden über Registrierungen in Fahrtagebüchern oder elektronischen Hilfsmitteln. Kriti-

sche Situationen kann man in begrenztem Maße auch über die Auswertung fahrdynamischer Größen ableiten. Schließlich können auch über Beobachtung erfasste Fehler bei der Fahrzeugführung klassifiziert und gezählt werden (vgl. Fehlertaxonomie OEHME et al., 2014).

Eine zweite Möglichkeit, Änderungen in der personenbezogenen Verkehrssicherheit zu schätzen, liegt in einer strukturierten Expertenevaluation, wie sie beispielsweise in der HRA (Human Reliability Analysis) zur Quantifizierung menschlicher Zuverlässigkeit in Kernkraftwerken angewandt wird (z. B. GIESA & TIMPE, 2000). Dort werden über die Festlegung von HEPs (Human Error Probabilities) Fehlerwahrscheinlichkeiten für menschliche Fehler analog zu den Wahrscheinlichkeiten des Versagens technischer Komponenten festgelegt. Die dort angewandte Formalisierung ist für die Zuverlässigkeitsermittlung bei der Fahrzeugführung nicht realisierbar, weil das Autofahren nicht aus so strikt trennbaren Einzelprozeduren besteht. In einer weniger formalen Form ist eine Expertenevaluation der Sicherheit der Fahraufgabenbewältigung nach entsprechender Schulung der Beobachter aber durchaus sinnvoll. Diese Evaluation kann im Rahmen einer Fahrverhaltensbeobachtung in Realfeldversuchen oder im Fahrsimulator erfolgen.

Wie bei der HRA ist zu erwarten, dass es sehr große Unterschiede in den Expertenurteilen geben wird. Im Gegensatz zur Analyse in Kernkraftwerken, bei der eine vollständige Validierung bis hin zur Katastrophe prinzipiell unmöglich ist, erscheint bei der Expertenevaluation von Fahranfängern durch Vergleich mit Unfall- bzw. Beinaheunfalldaten eine Validierung bzw. Eichung aber möglich. Die Analyse von Unfällen oder Beinaheunfällen bzw. die Expertenevaluation können prinzipiell auch für die Bestimmung des kontextabhängigen Fahrvermögens herangezogen werden. Allerdings benötigt man dazu die Kontextinformationen. In der Regel sind diese bei einer Expertenevaluation leichter zu akquirieren, da der Experte gleichzeitig den Kontext einschätzen und die Fahrkompetenz erfassen kann.

Für den indirekten Zugang zur Erfassung der Fahrkompetenzerhöhung über die Messung der Veränderung notwendiger kognitiver Ressourcen eignet sich ein Zweitaufgabenparadigma (z. B. O'DONNELL & EGGEMEIER, 1986). Simulatoruntersuchungen mit standardisierten Hauptaufgaben liefern hier die reliabelsten Ergebnisse. Aber auch im Feld ist das Zweitaufgabenparadigma anwend-

bar und wird von Fahrlehrern auch als Testinstrument eingesetzt (BAHR, 2016). Wie in Kapitel 3.6 gezeigt, ändern sich Merkmale von Bewegungen mit dem Übungsgrad. Man kann deshalb erwarten, dass das Ansteigen der Fahrkompetenz mit diesen Merkmalsänderungen einhergeht. Zu deren Erfassung benötigt man allerdings ein messtechnisch ausgerüstetes Fahrzeug. Ob Änderungen im motorischen Verhalten im Simulator in gleicher Weise erkennbar sind wie im realen Fahrzeug, ist noch nicht bekannt.

Für die Erfassung motivationaler Faktoren existiert eine Reihe bewährter Ansätze (siehe Kapitel 3.3.3). Sie werden durch Befragungen und Fragebogen abgeleitet. Persönlichkeitsmerkmale werden ebenfalls durch Fragebogen oder Interviews erfasst. Auch wenn wir bei der Definition der individuellen Fahrkompetenz Persönlichkeitsmerkmale explizit ausgeschlossen und motivationale Faktoren auch nur in begrenztem Maße einbezogen haben, liefern diese Daten doch weitere wertvolle Informationen, die zur Bewertung von Messergebnissen herangezogen werden können. Außerdem sind sie relativ leicht zu erfassen.

Änderungen der Fähigkeiten zur Gefahrenwahrnehmung lassen sich am besten in standardisierten Tests mithilfe elektronischer Medien ermitteln (TÜV/DEKRA, 2011). Hier gibt es zahlreiche erprobte Verfahren. Die Änderungen der Fähigkeiten zur peripheren Informationsverarbeitung sind hingegen nur schwer zu erfassen. Mit Blickbewegungsmesssystemen kann peripheres Sehen nur schwer erfasst werden. Allerdings haben geänderte Fähigkeiten zur peripheren Informationsverarbeitung auch geändertes Blickverhalten zur Folge (siehe Kapitel 3.2). Dies kann man sich zunutze machen, um den Expertisezuwachs abzuschätzen. Die Fähigkeiten zur peripheren Informationsverarbeitung lassen sich auch indirekt über PDT-Aufgaben (Kapitel 5.7) messen.

In Kapitel 4.3.3 wurde gezeigt, dass die Fahrleistung eine entscheidende Größe im Verlauf der Fahrkompetenzerhöhung ist. Wesentlich in einer Längsschnittstudie ist deshalb die möglichst differenzierte Erfassung von Expositionsdaten unterschiedlicher Verkehrskontexte. Eine elektronische Fahrexpositionserfassung kann da sehr hilfreich sein. Wichtig sind aber auch Fahrtagebücher oder regelmäßige Befragungen nach erfahrenen Situationen, üblichen Verkehrskontexten, etc.

Gemäß der Erläuterungen von Kapitel 4.3.3 bedarf eine Bestimmung der Fahrkompetenz in jedem Fall

einer Bewertung durch Experten, die entweder aus erfassten Teilkompetenzen ein globales Maß ableiten oder direkt die globale Fahrkompetenz durch bewertende Beobachtung schätzen und – wenn möglich – die Erfassung von Unfall- oder Beinaheunfalldaten und ihre Klassifikation gemäß einer Taxonomie (siehe Kapitel 5.3.3).

## 5.2 Fahrverhaltensbeobachtung bei Real- und/oder Simulatorfahrten

Bei einer Fahrverhaltensanalyse über eine Fahrverhaltensbeobachtung wird über eine bestimmte Zeit beobachtet, wie sich ein Fahrer verhält. Über eine Fahrprobe im realen Verkehr oder eine Untersuchung im Simulator lassen sich Aspekte des Fahrvermögens ableiten.

In den folgenden Kapiteln wird diskutiert, welche Arten von Verhaltensbeobachtung möglich sind, wie man diese standardisieren kann, und welche physikalischen Maße Indikatoren bzw. Prädiktoren des Fahrvermögens sind. Weiterhin werden die Vor- und Nachteile von Analysen im Realverkehr gegenüber Analysen im Simulator diskutiert.

### 5.2.1 Arten der Verhaltensbeobachtung

Bei einer Fahrverhaltensanalyse mittels Fahrverhaltensbeobachtungen beurteilt ein menschlicher Beobachter das Fahrvermögen, indem er die beobachteten Handlungen in Bezug zu den Anforderungen der Verkehrssituationen setzt und bezüglich einer Normvorstellung bewertet. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, eine Fahrverhaltensbeobachtung zu realisieren:

- direkte Fahrverhaltensbeobachtung durch begleitenden Beobachter im Fahrzeug oder im Simulator,
- indirekte Fahrverhaltensbeobachtung durch Videobeobachtung,
- indirekte Fahrverhaltensbeobachtung durch Videobeobachtung ergänzt durch elektronische Messsysteme.

Bei der direkten Beobachtung wird der Proband von einem Beobachter im Auto oder im Simulator beobachtet. Der Beobachter ist in der Regel geschult und protokolliert und bewertet das Verhalten des Fahrers. Der Prüfungscharakter, den direkte Beob-

achtungen mit sich bringen, führt oft zu Verzerrungen in den Verhaltensweisen der Fahrer i. S. einer wechselseitigen Beeinflussung von Beobachter und Beobachtetem und einer Erwartungskonformität ähnlich der sozialen Erwünschtheit beim Fahrer: Der Fahrer fährt in bestimmten Situationen so wie er glaubt, dass es von ihm erwartet wird, und nicht, wie er in diesen Situationen üblicherweise fahren würde (z. B. wenn er sich in der Fahrprobe stets exakt an die Geschwindigkeitsbegrenzungen hält, diese aber ansonsten ignoriert). Hier gibt es unter Umständen Unterschiede zwischen Realfahrten im Verkehr und im Simulator, da die artifizielle Situation des Simulators von vornherein feststeht.

Bei der indirekten Beobachtung über Kameras werden sowohl die Verkehrssituationen als auch das Verhalten des Fahrers aufgezeichnet. Dies ist insbesondere bei Realfahrten relevant. Es ermöglicht eine beurteilende Beobachtung zu einem späteren Zeitpunkt. Der Zeitdruck verringert sich und die Aufzeichnungen können mehrmals betrachtet werden. Auch wird ein eventueller Einsatz mehrerer Beobachter damit weniger kompliziert (HAUTZINGER et al., 2012; BORTZ & DÖRING, 1995). Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Fahrer im Realverkehr relativ schnell die Tatsache der Videobeobachtung verdrängen und dadurch natürlicher und ungezwungener fahren (KOLREP et al., 2004). Nachteilig ist, dass sich der Beobachter nicht so ein umfassendes Bild der gesamten Situation verschaffen kann, wie es bei der direkten Beobachtung möglich ist (BORTZ & DÖRING, 1995). Ein erhöhter Aufwand entsteht ferner dadurch, dass bei der Verwendung von Videomaterial aus dem Realverkehr zusätzlich datenschutzrechtliche und Verkehrssicherheitsaspekte geklärt werden müssen (HAUTZINGER et al., 2012).

Zur Verringerung von Subjektivitätseinflüssen der Beobachter sollten direkte und indirekte Verhaltensbeobachtungen im Idealfall parallel von verschiedenen Beobachtern durchgeführt werden (BORTZ & DÖRING, 1995). Bei begleiteten Realfahrten müssen demnach mindestens zwei Begleiter eingesetzt werden. Im Falle der Auswertung von Videomaterial könnten die Beobachter zeitlich und räumlich unabhängig voneinander agieren. Sowohl bei direkter als auch bei indirekter Verhaltensbeobachtung mit mehreren Beobachtern müssen die Beobachter wie bei standardisierten Verfahren zur Schätzung von Müdigkeit aus Videos (MOHS et al., 2011) geschult werden, insbesondere wenn es um die Ableitung von Einschätzungsmaßen geht (ENGIN, 2010). Dennoch

wird es einerseits wegen der Varianz in den Situationen – insbesondere bei Realfahrten – und andererseits wegen inter- und intraindividuelle Unterschiede und Schwankungen der Tagesform der Beobachter Unterschiede zu einem theoretischen, wahren Maß geben (STURZBECHER et al., 2010). Das heißt aber nicht, dass eine aus menschlicher Beobachtung abgeleitete Bewertung von Teilaspekten des Fahrvermögens oder des Gesamtfahrvermögens nicht das Beste aller möglichen Maße liefert. Auch bei der Eichung von Müdigkeitwarn-Assistenzsystemen werden heute überwiegend aus Videodaten abgeleitete Maße eingesetzt, die von Experten bewertet werden (PLATHO et al., 2013).

Eine weitere Möglichkeit, das Fahrverhalten zu beobachten, sind elektronische Fahrverhaltensmesssysteme mit einer Aufzeichnung von Fahrdaten, wie sie auch in Naturalistic Driving Studies eingesetzt werden (z. B. KLAUER et al. 2006). Hier muss man allerdings zwischen Systemen mit und ohne Videobeobachtung unterscheiden. Systeme, die nur Fahrdaten aufzeichnen, sind für eine valide Beurteilung des Fahrvermögens nur bedingt geeignet (KOTSCH et al., 2015). Der Schwerpunkt von elektronischen Fahrverhaltensmesssystemen, wie sie in Naturalistic Driving Studies eingesetzt werden, liegt in der Analyse kritischer Situationen bei Langzeituntersuchungen. Hier dienen die Daten dazu, die Videoaufzeichnung zu triggern. Fahrverhaltensbeobachtungen zur Bewertung der Fahrkompetenz dagegen haben in der Regel nur eine Dauer von wenigen Stunden – extreme Situationen sind daher sehr selten. Wenn zusätzlich zu den Videoaufzeichnungen Fahrdaten vorhanden sind, könnten sich die Beurteiler u. U. im Nachhinein noch ein differenzierteres Bild machen. Allerdings erhöht sich der Aufwand enorm und steht möglicherweise in keinem Verhältnis zum Nutzen.

## 5.2.2 Fahrverhaltensprotokolle

Eine Beurteilung des Fahrvermögens mittels menschlicher Beobachter und Bewerter bedarf eines standardisierten Verfahrens, mit dessen Hilfe ein ein- oder mehrdimensionales Maß des Fahrkönnens abgeleitet wird. Dazu ist im Beobachtungsplan genau festgelegt, was (nicht) zu beobachten ist, ob und wie das Beobachtete bewertet werden darf, Ort und Zeit der Beobachtung sowie die Art der Protokollierung. Idealerweise ist das Beobachterprotokoll so weit ausgearbeitet, dass der Beobachter es mit nur wenigen Notizen (Buchstaben, Zei-

chen, Kreuzen, Zahlen u. ä.) ausfüllen kann (BORTZ & DÖRING, 1995).

In der Fahrausbildung sind Fahrverhaltensprotokolle erprobte Mittel zur Erfassung der Fahrkompetenz. Der Fahraufgabenkatalog von STURZBECHER, MÖRL und KALTENBAEK (2014) stellt aus methodischer Sicht eine kompetenzdiagnostische Fahrprobe dar und wurde im Rahmen der Optimierung der praktischen Fahrerlaubnisprüfung entwickelt. Der Prüfer bewertet dabei den Fahrer bei der Ausführung verschiedener Fahraufgaben hinsichtlich definierter Fahrkompetenzkomponenten. Das Verfahren erfasst fünf Fahrkompetenzkomponenten: Verkehrsbeobachtung, Fahrzeugpositionierung, Geschwindigkeitsanpassung, Kommunikation und Fahrzeugbedienung/umweltbewusste Fahrweise.

STURZBECHER et al. (2014) geben für jede zu absolvierende Fahraufgabe Beurteilungskriterien an. Diese können als Grundlage für die Durchführungsvorbereitung der Expertenbewertung innerhalb von Längsschnittstudien dienen. Das Verfahren ist stark auf die Fahrausbildung zugeschnitten und müsste deshalb als Instrument zur Erfassung der Fahrkompetenz in dem hier definierten Sinne angepasst werden. So ist sicher eine umweltbewusste Fahrweise ein Merkmal von Verkehrskompetenz (siehe Diskussion Kapitel 1.2.1), sie ist aber nicht verkehrssicherheitsrelevant. Anpassungen müssen eventuell auch aus Gründen der für eine Studie zur Verfügung stehenden Zeit vorgenommen werden.

Zur Erstellung eines Fahrverhaltensprotokolls eignen sich auch Fehlerkataloge, wie sie beispielsweise in einer in Großbritannien durchgeführten Kohortenstudie (UK Cohort I study, FORSYTH, 1992a; FORSYTH, 1992b; FORSYTH et al., 1995; MAYCOCK & FORSYTH, 1997) eingesetzt wurden. Führerscheinprüflinge wurden hier u. a. hinsichtlich ihrer Fähigkeiten zum Zeitpunkt der Fahrprüfung untersucht. Das Fahrverhalten wurde mittels Verhaltensbeobachtung durch Fahrprüfer der englischen Driving Standards Agency anhand eines Katalogs mit 46 Fehlertypen und der zusätzlichen Klassifizierung des Fehlers als leicht, ernst oder gefährlich bewertet (FORSYTH, 1992a).

Zwar auf die Beurteilung älterer Autofahrer zugeschnitten, aber nach Modifikationen auch zur Erfassung der Fahrkompetenz von Fahranfängern geeignet, sind die Beurteilungsverfahren, die von Fastenmeier und Kollegen entwickelt wurden. Mit einem

Beobachtungsbogen wird die Fahrfähigkeit durch den Versuchsleiter in verschiedenen Situationen während der Fahrt bewertet, in welchen in einschlägigen Fahruntersuchungen mit Fahrerhaltensbeobachtung bereits eine Häufung von Fahrfehlern beobachtet wurde. Dies sind beispielsweise Kreuzungen/Abbiegesituationen (vgl. FASTENMEIER & GSTALTER, 2008; WELLER & SCHLAG, 2013), Auf- und Abfahren Stadtautobahn (vgl. SCHLAG, 1994), Spurwechsel, Nutzung von Fahrzeuglücken bei Vorrangstraßen, Interaktion mit Fahrradfahrern und Fußgängern (vgl. ELLINGHAUS, SCHLAG & STEINBRECHER, 1990; ENGIN et al., 2010), etc. Es werden insbesondere Verhaltensindikatoren operationalisiert, die in der Literatur als die Fahrfähigkeit beeinträchtigendes Verhalten berichtet werden, u. a.:

- Geschwindigkeit (vgl. FASTENMEIER et al., 2014),
- Bremsverhalten,
- Abstand zum Vorderfahrzeug,
- Spurwechsel,
- Überholvorgang,
- Gap acceptance,
- Verhalten an Ampeln (ENGIN et al., 2010),
- Verhalten bei Vorfahrtspflicht und Stoppschildern (vgl. BURGARD, 2005),
- Verhalten in Bezug auf Radfahrer und Fußgänger,
- Verhalten bei Abbiegevorgängen,
- Kompensationsverhalten,
- Ängstlichkeit.

### 5.2.3 Registrierung physikalischer Maße

Neben den zwar durch Normierung objektivierten, aber dennoch subjektiven Bewertungen geschulter Beobachter können objektive physikalische Messgrößen zur Abbildung von Fahrvermögen herangezogen werden. Dies ist allerdings häufig mit sehr hohem operativem Aufwand verbunden. In Längsschnittstudien müssen entweder alle Privatfahrzeuge der Probanden mit Messtechnik ausgestattet werden oder alle Fahrten werden mit einem oder wenigen messtechnisch ausgerüsteten Fahrzeugen durchgeführt. Letzteres würde bei der Zahl der für

Längsschnittstudien notwendigen Probanden von mehreren Hundert und der durch die raschen Veränderungen bei den Fahranfängern (siehe Bild 11) bedingten kurzen Abstände von Fahr- oder Simulatorversuchen viele messtechnisch ausgerüstete Fahrzeuge verlangen, was aus Aufwandsgründen wahrscheinlich nicht möglich ist. Denkbar wäre eine Ausrüstung der Privatfahrzeuge mit einfacher Messtechnik. Allerdings sind dann allenfalls Daten wie Längs- und Querbefleunigung oder gefahrene Geschwindigkeiten möglich (siehe KOTSCH et al., 2015), die nur in geringem Maße die Fahrkompetenz widerspiegeln. Immerhin ist der Einsatz von Blickbewegungsmessungen (siehe Kapitel 5.7) auch im Realfahrzeug mittlerweile relativ gut möglich.

Im Simulator sind komplexe Maße leichter zu erfassen, wenn ein entsprechender Zugang in der Simulatorsoftware vorhanden ist. Die Anzahl der ableitbaren Maße ist dann prinzipiell unbegrenzt. KNAPPE et al. (2006) untersuchen allein für die Bestimmung der Spurhaltegüte im Kontext der Fahrsimulation die Maße:

- mittlere laterale Position,
- Time to Line Crossing,
- Spurüberschreitungen,
- Standardabweichung des Lenkwinkels,
- Nulldurchgänge des Lenkwinkels,
- Steering Wheel Reversal Rate,
- Hochfrequenzkomponentenanteil des Lenkwinkels.

Andere Maße, die sinnvoll zur Erfassung von Fahrerverhalten sind, könnten sein:

- Lenkbewegungen in Kurven,
- Rucke beim Lenken,
- Lenkverhalten bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten,
- Geschwindigkeitswahl,
- Bremsdruckmuster,
- Reaktionsfähigkeit,
- Abstandsverhalten zu anderen Fahrzeugen.

In Kapitel 3.6 wurde gezeigt, dass sich mit Übung das motorische Verhalten, insbesondere das Lenk-

verhalten durch zunehmende Automatisierung von geregelt auf gesteuert ändert. Um dies erfassen zu können, muss mindestens der zeitliche Lenkwinkelverlauf aufgezeichnet werden. Die Ausrüstung von Privatfahrzeugen mit einer entsprechenden Messtechnik erscheint schwierig. Im Fahrsimulator sind Lenkwinkeldaten immer vorhanden. Allerdings ist nicht bekannt, wie stark sich die geschilderten Charakteristika der Lenkwinkelverläufe auch im Simulator korrekt widerspiegeln. In gewissem Maße können aber auch erfahrene Beobachter die Glattheit der Lenkbewegungen einschätzen.

In der amerikanischen Naturalistic Teenage Driving Study (SIMONS-MORTON et al., 2015) wurde die Entwicklung der Fahrkompetenz von Fahranfängern und deren Risiko im Straßenverkehr untersucht. Dazu wurden die Fahranfänger hinsichtlich des Fahrverhaltens u. a. mittels Videoaufzeichnungen und Daten von Beschleunigungssensoren im Fahrzeug beobachtet. Anhand dieser Daten konnten Unfälle, Beinahe-Unfälle und Ereignisse mit erhöhten Beschleunigungen (kinematic risky driving, KR) identifiziert werden. Als Maß für die Fahrkompetenz wurden diese Parameter (neben Blickbewegungen und der Beschäftigung mit Sekundäraufgaben) von Experten zu einem kombinierten Index für unsicheres Fahren zusammengeführt (PRADHAN et al., 2011).

#### 5.2.4 Real- oder Simulatorfahrten?

Die Vorteile von Untersuchungen im Simulator wurden eben schon angedeutet: Indikatoren, die auf physikalisch messbaren Größen basieren, sind im Simulator wesentlich leichter ableitbar. Das betrifft insbesondere Größen, die die Relation zur Straße und zum Verkehr abbilden. Einige Größen, die Relationen zu Fahrzeugen betreffen, die nicht in unmittelbarer Umgebung des Versuchsfahrzeugs sind, lassen sich praktisch nur im Simulator ermitteln. Zudem eröffnet der Simulator Möglichkeiten für Tests, die im Feld nicht oder nur mit erheblichem Aufwand durchgeführt werden können. Dazu gehören Reaktionszeiten-Tests oder Gap-Acceptance-Tests (ENGIN et al., 2010; OEHME et al., 2014). Zudem kann die Fahrkompetenz auch unter extremen Anforderungssituationen, wie z. B. mögliche Unfälle oder Fahrbahnquerungen eines Fußgängers, ohne eine Selbst- oder Fremdgefährdung zu riskieren, untersucht werden.

Der größte Vorteil des Simulators liegt aber in der Reproduzierbarkeit von Situationen. In Realfahrten

kann man zwar durch Kontrolle von Randbedingungen, wie Wetter, Verkehrslage, etc. versuchen, die Varianz in den durchfahrenen Situationen zu minimieren. Völlig gleich sind die Bedingungen zwischen zwei Versuchsfahrten aber nie. Im Simulator hingegen kann genau bestimmt werden, zu welchem Zeitpunkt welche Verkehrssituation auftritt und welche Reize die Verkehrsumgebung enthält. Durch diese Möglichkeit der experimentellen Manipulation und der Konstanzhaltung von Störvariablen ist in Laborstudien grundsätzlich eine deutlich höhere interne Validität als in Feldstudien zu erreichen (BORTZ & SCHUSTER, 2010). Es können viele Versuche durchgeführt werden, die völlig identisch sind. Insbesondere in Kombination mit einem längsschnittlichen Studiendesign können dadurch in Laboruntersuchungen auch kausale Aussagen zum Einfluss der unterschiedlichen Teilkompetenzen der Fahrkompetenz und deren Entwicklung getroffen werden.

Der Nachteil von Simulatoruntersuchungen ist, dass die Ergebnisse nur bedingt auf das reale Fahrverhalten übertragen werden können, da sich der gesamte Fahrkontext im Simulator sowohl hinsichtlich der physikalischen Umgebung (z. B. Fahrzeugverhalten, Darstellung der Verkehrsumgebung) als auch bezüglich der Einstellungen der Studienteilnehmer von Realfahrtuntersuchungen unterscheiden kann. Prinzipiell lassen sich kognitiv-sensumotorische Fähigkeiten sowohl in Realfeldversuchen als auch im Simulator untersuchen. Allerdings fehlen im Simulator die Kräfte auf den Körper entweder völlig oder sind allenfalls angenähert bei großen (und teuren) Simulatoren vorhanden. Diese Kräfte stellen aber eine sehr wichtige Informationsquelle vor allem für die Querführung dar (REICHELT, 1990). Insbesondere bei sehr hohen Geschwindigkeiten sind es wegen der extrem kleinen Lenkwinkel weniger die visuellen als die haptischen und kinästhetischen Informationen, die erst eine gute Querregelung ermöglichen.

Aber nicht nur die haptischen und kinästhetischen Informationen sind im Simulator anderes als in Realität, sondern auch die visuellen. CHAN et al. (2010) bezweifeln beispielsweise, dass die Wahrnehmung (und damit die Blickbewegung) auf Leinwänden beziehungsweise Bildschirmen im Simulator den gleichen Prinzipien folgt wie die dreidimensionale Wahrnehmung im Realverkehr. Auch bezüglich der Messung von Aufmerksamkeit gibt es Hinweise auf Inkonsistenzen zwischen Simulator- und Realverkehrsstudien (CHAN et al., 2010). Außerdem ist die Motivlage in Simulatoren eine

andere als im Realverkehr. Im Realverkehr herrscht ein ungleich höherer Zwang zur Vermeidung von Unfällen oder gefährlichen Situationen (ENGSTRÖM et al., 2005). ROSE (2006) zeigt, dass sich physiologische Indikatoren von Müdigkeit im Simulator nicht nur in der Ausprägung, sondern prinzipiell anders in Relation zur wahren Müdigkeit verhalten als in der realen Welt. KRÖSKE und TEICHERT (2015) konstatieren, dass Simulationsstudien-ergebnisse nicht ohne weiteres Rückschlüsse auf das alltägliche Fahrverhalten zulassen.

Ein weiterer Nachteil von Simulatoruntersuchungen liegt in der mitunter hohen Anzahl von Abbrüchen wegen Simulatorkrankheit (Kinestose). So berichten NEUKUM und GRATTENTHALER (2006) von Abbrüchen von Tests im Simulator bei bis zu knapp 50 % der Probanden. Hohe Abbruchraten ergeben sich insbesondere bei Testszenarien, die Stadtfahrtelemente enthalten. Für eine Längsschnittstudie, bei der Probanden mehrmals untersucht werden und es darauf ankommt, für möglichst viele Probanden Daten über alle geplanten Untersuchungszeiträume zu erhalten, stellen solch hohe Ausfallraten ein großes Problem dar.

Die Entscheidung für oder gegen eine Untersuchung im Simulator oder im Feld ist kaum objektiv zu lösen. Ist es höher zu bewerten, dass in Untersuchungen möglicherweise höhere Effektstärken erzielbar sind oder ist es höher zu bewerten, dass im Feld das Richtige gemessen wird? Die Aufwände sind vergleichbar: Untersuchungen in großen Simulatoren mit aufwendigen Bewegungsplattformen sind oft teurer als Versuche im realen Feld, Untersuchungen in einfacheren Simulatoren sind hingegen günstiger als Realversuche mit messtechnisch ausgestatteten Fahrzeugen.

Letztendlich ist eine Entscheidung zwischen Reliabilität und (externer) Validität der Messung zu fällen: Verfechter von Simulatoruntersuchungen argumentieren, dass die ökologische Validität der Fahrversuche nichts nutzt, wenn keine eindeutigen Ergebnisse erzielt werden. Die Verfechter von Realfeldversuchen argumentieren, dass ein reliables Ergebnis sinnlos ist, wenn es nichts über die Verhältnisse im realen Leben aussagt. Die Entscheidung in die eine oder andere Richtung ist mitunter keine wissenschaftliche, sondern eher eine glaubensgelenkte.

Wir werden einen Vorschlag machen, um die Vorteile beider Vorgehen zu kombinieren. Wenn es um eine ganzheitliche Einschätzung der Fahrkompetenz und von Basisfertigkeiten geht, bei denen Kräfte

te auf den Körper eine entscheidende Rolle spielen, erscheinen Realfeldversuche geeigneter. Wenn es um die Erfassung spezifischer Kompetenzen geht, die stark kognitiv geprägt sind, wie z. B. die Gefahrenwahrnehmung, erscheinen der Simulator oder andere computerbasierte Methoden geeigneter.

### 5.3 Fahrtagebücher zur Erfassung von Unfällen sowie Fahr- und Verkehrskontext

#### 5.3.1 Fahrtagebücher

Eine relativ kostengünstige Möglichkeit, Fahranfänger über einen längeren Zeitraum auch ohne technische Ausrüstung eines Fahrzeugs begleiten zu können, sind Fahrtagebücher. Sie stellen eine verkehrsspezifische Form einer Befragung in Form eines kurzen Fragebogens dar. Üblicherweise notiert der Fahrer nach jeder Fahrt Merkmale zur betreffenden Fahrt. Beispiele zu registrierender Größen sind (vgl. GROEGER & BRADY, 2004; HARRISON, 1999):

- Datum,
- Länge der Fahrt (Zeit und Entfernung),
- Zweck der Fahrt,
- genutzte Straßentypen,
- Wetterverhältnisse,
- Lichtverhältnisse,
- Begleiter (i. S. von Überwachung, z. B. eingetragener Beifahrer beim Begleiteten Fahren BF17) und Mitfahrer (andere Fahrzeuginsassen),
- Rückmeldungen von Begleiter und Mitfahrer,
- Probleme während der Fahrt oder spezifische Fahrfähigkeiten, die während der Fahrt gezeigt werden mussten,
- Vertrauen in sich selbst,
- Fehler: eigene und die anderer Verkehrsteilnehmer,
- Unfälle, Beinaheunfälle oder Verkehrsverstöße,
- erfahrene Situationen,
- erfahrene Verkehrsdichten.

Für viele der Merkmale sollten im Sinne eines effizienten Ausfüllens Antwortalternativen vorgegeben

werden, für andere sollten freie Texteingaben möglich sein (z. B. Feedback von Begleitern, Beinaheunfälle, Unfälle). Die Dokumentation sollte am Ende jeder Fahrt erfolgen. Es sind Papier- oder Elektronikversionen möglich. Wird die Papierform gewählt, muss dafür gesorgt werden, dass die Mitschriften regelmäßig an den Versuchsleiter geschickt werden. Die elektronische Version ist in Form einer App für Smartphone oder Tablet denkbar. Ein Fahrtagebuch in Form einer Smartphone-Applikation hätte den Vorteil, dass die eingetragenen Daten automatisch an den Versuchsleiter geschickt werden können und sich Fehler in der Dateneingabe, wie sie beim händischen Abtippen von einem Paper-Pencil-Verfahren in eine Datenbank entstehen können, vermeiden ließen. Wird das Smartphone auch als Datenmesssystem (Beschleunigungen, Geschwindigkeiten, gefahrene Strecken, siehe KOTSCH et al., 2015) benutzt, können auch quantitative Daten des Fahrverhaltens von Fahranfängern erhoben werden. Solch eine elektronische Registrierung auf einem Smartphone kann dann gleichzeitig als Eingabemedium für den Probanden genutzt werden. Mit einer entsprechend gestalteten Benutzeroberfläche können u. U. auch Probanden zu mehr aktiver Mitarbeit geführt werden, die ansonsten die Mühen des Ausfüllens eines Fahrtagebuchs scheuen.

#### 5.3.2 Unfälle und Beinaheunfälle

Wie in Kapitel 2.2 berichtet, zeigt sich bei Fahrneulingen eine gegenüber erfahrenen Fahrern stark erhöhte Wahrscheinlichkeit in einen Unfall zu geraten bzw. ihn zu verursachen. Da Fahrvermögen und Fahrkompetenz auf die Verkehrssicherheit bezogen sind (siehe Definition in Kapitel 4.3.3) liegt es nahe, Merkmale von Unfällen auszuwerten, um auf Defizite in der Fahrkompetenz zu schließen. Allerdings ist die Unfallwahrscheinlichkeit vergleichsweise gering. Nimmt man die Unfallwahrscheinlichkeit von Bild 3 an, gibt es in einem Jahr bei 50 Fahranfängern nur einen Unfall. In einer Längsschnittstudie mit realitätsnahe Aufwand (siehe Kapitel 6) kann man deshalb nur eine Anzahl von Unfällen im niedrigen zweistelligen Bereich erwarten, die in ganz unterschiedlichen Fahrkontexten möglich sind. Das reicht nicht für differenzierte statistische Auswertungen.

Unfälle sind wegen ihrer Seltenheit relativ leicht über Befragungen zu erfassen. Man kann sich u. U. auch vorstellen, dass man jeden Unfall mit

einer gesonderten Befragung begleitet. Es gibt bewährte Fragebogen, die eingesetzt werden können (z. B. Driver Behaviour Questionnaire, REASON et al., 1990; Quimby hazard awareness scale, QUIMBY et al., 1999). Die Probanden würden bei einer Längsschnittstudie entsprechend geschult, um eine adäquate Unfallregistrierung zu gewährleisten. Am praktikabelsten erscheint allerdings eine Registrierung über ein Fahrtagebuch (Kapitel 5.3.1).

Häufiger als Unfälle kommen Beinaheunfälle vor, also kritische Situationen, die im Sinne des Schweizer-Käse-Modells von REASON (1990) viele hintereinander liegende Löcher aufweisen, aber doch noch eine funktionierende Sicherheitsbarriere, z. B. eine schnelle adäquate Reaktion enthalten (OEHME et al., 2014). Beinaheunfälle werden am besten vom Probanden selbst erfasst – mit allen damit verbundenen Problemen möglicher fehlender Objektivität und Standardisierung. Auch hier bietet sich eine Registrierung über ein Fahrtagebuch, insbesondere in elektronischer Form, an. Eine mögliche Auswertung von Videodaten wie in Naturalistic Driving Studies ist ebenfalls möglich, erfordert aber für jeden Probanden ein messtechnisch ausgerüstetes Fahrzeug.

Zu einem gewissen Teil können besondere Situationen auch über einfachere elektronische Systeme gemessen werden, wie sie in realistic driving studies verwendet werden (siehe Kapitel 5.2.1) oder mit anderen integrierten Messsystemen (GLASER et al. 2013). Voraussetzung ist, dass der Beinaheunfall mit starken Beschleunigungen (Quer oder Längs) einhergeht. Zwar werden heute in der Automobilindustrie schon Assistenzsysteme entwickelt, die auch andersgeartete risikobehaftete Situationen erkennen können. Diese können aber heute noch nicht für wissenschaftliche Untersuchungen eingesetzt werden. Fremdbeobachtung fällt aus Aufwandgründen aus.

Wegen der leichten Zugänglichkeit werden auch Verkehrsverstöße gerne als Ersatzgrößen für Verkehrssicherheit herangezogen. Allerdings müssen diese nach Sicherheitsrelevanz gefiltert werden.

### 5.3.3 Klassifikation der Fehler

Basierend auf Aspekten des menschlichen Informationsverarbeitungsprozesses (Info-Aufnahme-Verarbeitung-Ausführung) sowie den Fehlertypen von RASMUSSEN (1982, 1983) entwickelten OEHME

et al. (2014) eine Taxonomie zur Klassifikation von fehlerbehaftetem Verhalten bei der Fahrzeugführung. Als Bestimmungsstücke für die Klassifikation beinhaltet die Taxonomie Fehlertypen (regel-/wissens-/fertigkeitsbasiert) und Entscheidungsknoten mit Fragen, deren Beantwortung den Analysten zum jeweiligen Fehler führt. Regelbasierte Fehler sind hierbei Wahrnehmungsfehler, die sich in Fehler bei der Informationsaufnahme und Fehler bei der Informationsverarbeitung unterteilen. Wissensbasierte Fehler beschreiben Planungsfehler und schließen das Nutzen des erlernten Wissens für ähnliche Situationen ein. Fertigkeitsbasierte Fehler beziehen sich auf die Umsetzung der Pläne oder Kurzschlussreaktionen (z. B. eine falsche Reaktion oder auch das Ausbleiben einer Reaktion, wie es bei Fahranfängern in unbekanntem, sicherheitskritischen Situationen vorkommen kann). Die Taxonomie kann für die Klassifikation von Fahrfehlern und fehlerfreiem Verhalten bei Manövern, kritischen Situationen bis hin zu Beinaheunfällen oder Unfällen eingesetzt werden und kann z. B. die Harmonisierung der (Video)Auswertung von Field-Operational-Tests- und Naturalistic-Driving-Study-Datensätzen oder In-Depth-Unfallerhebungen unterstützen.

Mithilfe der Taxonomie lassen sich die Unfälle und Beinaheunfälle der Fahranfänger klassifizieren und daraus mehrere Indikatoren für das Fahrvermögen ableiten.

### 5.3.4 Erfassung des Fahrkontextes und des Verkehrskontextes

Der Verkehrskontext ist in der Regel während einer Fahrt stark veränderlich. Daneben gibt es noch zeitlich stabile Kategorien von Merkmalen, die den Fahrkontext ausmachen (siehe HOLTE, 2012):

- Rahmenbedingungen: Dazu gehören z. B. Gesetze, Normen, Sanktionen und Ausbildungsergänzungsangebote. Sie gelten für alle Fahrer bzw. eine bestimmte Zielgruppe (z. B. Teilnehmer am Begleiteten Fahren BF17).
- Fahrzeugmerkmale: Zu den Fahrzeugmerkmalen zählen z. B. die PS-Stärke, Sicherheitseinrichtungen, Fahrerassistenzsysteme und technische Mängel. Sie sind während einer Fahrt immer stabil.
- Bezugspersonen: Das sind Personen, die Einfluss auf das Fahrerverhalten nehmen können, wie die Eltern, Lehrer oder Peergroups.

Verkehrskontexte sind in der Regel zeitlich variabel, wobei sie (z. B. auf Autobahnfahrten) auch über längere Zeit relativ gleichförmig bleiben können. Die Zahl der Verkehrskontextklassen ist im Prinzip unbeschränkt. Vor einer Erfassung des verkehrskontextspezifischen Fahrvermögens sollte deshalb eine Klassifikation vorgenommen werden. Eine Möglichkeit ist eine Einordnung in Verkehrssituationen wie in Kapitel 5.2.2 dargestellt, eventuell differenziert in verschiedene Geschwindigkeitsbereiche oder Bedingungen der Verkehrsdynamik und erweitert um weitere Manöver.

Zeitlich stabile Fahrkontexte sind leicht durch Befragungen erfassbar. Die zeitlich variablen Fahrkontexte bzw. Fahrkontextklassen werden entweder aus einer elektronischen Registrierung kategorialer Bedingungen (z. B. momentane Verkehrsdichte), Registrierung eines beobachtenden Beifahrers (Kapitel 5.2) oder aus der Selbstbeobachtung des Probanden mit Online-Registrierung oder Erfassung im Nachhinein aufgenommen. Für letzteres bietet sich wiederum ein Fahrtagebuch an (Kapitel 5.3.1).

## 5.4 Mehrfachaufgabenparadigma

Gemäß unserer Modellvorstellung (Kapitel 4.3.4) ist der Prozess der Erhöhung des Fahrvermögens stark von Automatisierungsvorgängen geprägt, was sich einerseits in höheren Sicherheiten der Aufgabenbewältigung und andererseits an einem geringeren Bedarf an kognitiven Ressourcen zeigt. Über die Messung von kognitiven Restressourcen bei definierter Aufgabenlast (siehe Bild 38) kann auf den Automatisierungsgrad und damit indirekt auf den Kompetenzgrad geschlossen werden. Das Mehrfachaufgabenparadigma ist ein methodischer Ansatz, mithilfe dessen die kognitive Beanspruchung des Fahrers durch die Fahraufgabe getestet werden kann. Zumeist wird die Messung in Form von Doppelaufgaben durchgeführt (O'DONNELL & EGGEMEIER, 1986). Die Fahrtätigkeit gilt als Hauptaufgabe, die in der Nebenaufgabe erbrachte Leistung ist proportional zu den Restressourcen (HERING, 1999).

Das Doppelaufgabenparadigma wurde bereits zur Untersuchung der kognitiven Beanspruchung von Fahrnovizen und Fahrexperten erfolgreich angewendet (z. B. BARTMANN, 1995). Das Doppelaufgabenparadigma kann prinzipiell sowohl bei Simulator- als auch bei Feldversuchen realisiert wer-

den. Wie geschildert (5.2) kann das Mehrfachaufgabenparadigma in einem Fahrverhaltenstest in einer Realfahrt von einem Experten durch erzwungene Kommunikation (KRÜGER und VOLLRATH, 1996) realisiert werden. Im Simulator bieten sich vielfältige Möglichkeiten, Nebenaufgaben zu implementieren.

## 5.5 Befragungen

Befragungen sind relativ leicht durchführbar und dürfen deshalb in keiner verkehrspsychologischen Untersuchung fehlen. Außerdem kann man eine Vielzahl von Merkmalen nicht aus dem Verhalten ableiten. Generell können die Befragungen entweder mündlich über Interviews oder schriftlich erfolgen.

Bereits in Kapitel 3 wurden einige wichtige zu erfassende Größen beschrieben. Erfasst werden können z. B.:

- **Soziodemografische Merkmale**  
Geschlecht, Alter, berufliche Aspekte (Schulbildung, Berufstätigkeit), sozioökonomischer Status.
- **Persönlichkeitsmerkmale**  
Temperament (Aufmerksamkeit, Ablenkbarkeit, Emotionalität, Impulsivität, Impulskontrolle und Inhibition/Aktivität) und Selbstwertgefühl.  
  
Ersteres kann anhand des ADHS-Screenings für Erwachsene (SCHMIDT & PETERMANN, 2009) erfasst werden. Wegen der anderen Merkmale siehe HOLTE (2012).
- **Lebensstil**  
Alkoholkonsum (Häufigkeit, Alkoholmenge), Drogen- und Medikamentenkonsum.
- **Verkehrsdemografische Merkmale**  
Führerscheinbesitz (Pkw, Motorrad), Art der Fahrausbildung, Regelmäßigkeit der Kraftfahrzeugnutzung, Jahresfahrleistung (km), Auto-besitz, Marke und Typ des gefahrenen Autos, Punkte im Verkehrszentralregister, Verkehrsunfallbeteiligung (ja/nein und Häufigkeit) sowie verursachte Verkehrsunfälle.
- **Verkehrssicherheitsrelevante Merkmale**  
Einstellung zu Geschwindigkeit, Handlungskompetenzerwartung, Einstellung zu Alkohol und

Fahren, Fahren unter Alkohol-/Drogen-/Medikamentenkonsum, Gründe für oder gegen das begleitete Fahren sowie Einstellung gegenüber diesem Ausbildungskonzept, wahrgenommene Ähnlichkeit des Fahrstils von Freunden, Emotionen, subjektive Aufgabenschwierigkeit und Sicherheit.

Einstellungen zu riskantem Fahrverhalten können zudem über die Attitudes to Driving Violations Scale (ADVS, WEST & HALL, 1997) erfasst werden, die beispielsweise bereits in der G1219-Studie zur Fahrkompetenz von Fahranfängern (ROWE et al., 2013) Anwendung fand.

Eine kostengünstige und besonders für die Befragung homogener Gruppen geeignete Form der Befragung sind Fragebogen. Sie sind in Papierform oder elektronisch durchführbar (z. B. per E-Dokument oder via E-Mail, Browser oder App). Gerade die elektronische Form macht den Fragebogen noch effizienter, da die Daten automatisch in eine Datenbank übertragen werden können. Ein Fragebogen kann völlig frei (offene Antworten) bis hochstandardisiert (vorgegebene Antwortalternativen) aufgebaut sein. Er eignet sich v. a. für hochstrukturierbare Befragungsinhalte (Persönlichkeitsmerkmale, Einstellungen, konkrete Verhaltensweisen, Zustände oder Sachverhalte) und ist durch die Vorgabe von Antwortalternativen standardisierbar.

Interviews sind eine mündliche Form der Befragung. Auch sie gibt es in den unterschiedlichsten Formen: frei, halbstandardisiert oder vollstandardisiert. Sie sind persönlich (face-to-face) oder telefonisch und theoretisch auch elektronisch (Chat, Email) möglich. Interviews bieten sich vor allem bei Befragungsinhalten an, die nicht gut strukturierbar sind (keine Antwortalternativen) oder wenn es inhaltliche Fragen zu bestimmten Sachverhalten gibt, die dann ein offenes Antwortformat erfordern. Der Interviewer sollte angehalten sein, die Begleitumstände so gut wie möglich zu standardisieren, dennoch ist der Interviewablauf nie exakt vorhersehbar (z. B. Verständnisfragen des Interviewten). Interviews sind zeitlich und finanziell allerdings aufwendiger.

Die eben genannten Merkmale sind mit Fragebogen im Rahmen einer Längsschnittstudie relativ leicht erfassbar. Teilweise müssen sie nur einmal zu Beginn einer Längsschnittstudie oder in kleinerer Frequenz als beispielsweise die Fahrbeobachtungen erfasst werden.

## 5.6 Tests zur Gefahrenwahrnehmung

In Kapitel 3.4.1 wurde erörtert, dass sich das Vermögen, Gefahren schnell und frühzeitig zu erkennen, erst spät im Laufe des Expertiseaufbaus entwickelt. Komplexe Situationen mit vielen dynamischen Partnern im Verkehr oder seltene Situationen sind für Fahranfänger schwer zu bewältigen. Die Fähigkeit, potenziell gefährliche Situationen zu erkennen und darauf angemessen zu reagieren, ist ein wichtiger Indikator für die Fahrkompetenz von Fahranfängern. Verkehrswahrnehmungstests messen, inwieweit ein Fahrer potenziell gefährliche Situationen erkennen und darauf angemessen reagieren kann. Dazu werden zumeist Fotografien oder Videosequenzen von potenziell gefährlichen Situationen genutzt, auf die der Proband reagieren muss (z. B. Bremsen). Verkehrswahrnehmungstests sind an einem PC oder in einem Simulator durchführbar.

MALONE (2012) untersuchte die Validität von computerbasierten Tests zur Messung der Gefahrenwahrnehmung bei Fahranfängern und erfahrenen Fahrern. Hierzu wurden zunächst in einer Laboruntersuchung die Aufgabenformate zur Messung der Gefahrenwahrnehmung variiert. Den Studienteilnehmern wurden Reaktionszeitaufgaben und Mehrfachwahlaufgaben präsentiert, die Verkehrssituationen enthielten, von denen die einen als Film (dynamisch) und die anderen als statisches Bild dargeboten wurden. Anschließend wurde geprüft, welches dieser Testformate am besten zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern differenzieren kann. Es zeigte sich, dass Reaktionszeitaufgaben dazu besser geeignet sind als Mehrfachwahlaufgaben (wie sie in der Führerscheinprüfung abgefragt werden). Die Aufgabenpräsentation (dynamisch oder statisch) spielte dagegen keine eindeutige Rolle für die Validität des Tests zur Gefahrenwahrnehmung.

Für Verkehrswahrnehmungstests gibt es ein breites Spektrum der methodischen Gestaltung (z. B. unterschiedliche Instruktions- und Antwortformate, Darstellungsformen). Mit ihnen lassen sich verschiedene implizite Wissensinhalte von wichtigen Fahraufgaben messen: die Identifikation von Gefahrenreizen, die Interpretation der Situation (und damit die gezielte Informationssuche unter Zeitdruck) und die Handlungsentscheidung sowie der Zeitpunkt ihrer Ausführung. Leistungsparameter sind u. a. die Reaktionszeit, die Treffer-/Fehlerhäufigkeiten und die Verhaltensentscheidung. Es gibt eine Reihe standardisierter Hazard Perception

Tests, die in unterschiedlichen Ländern der Welt Teil der Fahrerlaubnisprüfung sind (TÜV/DEKRA, 2011):

- Großbritannien: Auf 14 jeweils einminütigen Videosequenzen, in denen eine Fahrt aus der Fahrerperspektive gezeigt wird, muss der Fahrer eine Gefahrensituation per Mausklick anzeigen. Erfasst wird seine Reaktionsgeschwindigkeit.
- Niederlande: Es werden Fotografien von Verkehrssituationen aus der Fahrerperspektive sowie Informationen aus den Spiegeln, zur Fahrtrichtung und zur Geschwindigkeit gezeigt. Der Fahrer muss sich jeweils für eine von drei Verhaltensoptionen entscheiden: Bremsen, Gas wegnehmen oder nichts tun.
- Queensland (Australien): In einem Online-Test werden verschiedene Situationen, die zu Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern führen können, gezeigt. Der Fahrer kann den Unfall durch Verlangsamung oder Fahrtrichtungsänderung vermeiden. Erfasst wird, ob die gefährliche Situation erkannt wurde sowie die Reaktionszeit.
- New South Wales (Australien): Die Fahrerlaubnisbewerber müssen zwei Verkehrswahrnehmungstests absolvieren, die das Einhalten des Sicherheitsabstandes nach Vorne, die Wahl der Sicherheitsabstände beim Abbiegen, Kreuzen oder Spurwechseln sowie die Identifikation von Gefahren vor, hinter oder neben dem eigenen Fahrzeug, zum Inhalt haben. Es werden reale Filmsequenzen aus der Fahrerperspektive gezeigt. In den Tests muss der Bewerber anzeigen, ob er eine bestimmte Handlung sicher auszuführen glaubt (z. B. „Sie fahren auf einer zweispurigen Straße mit einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 60 km/h und möchten weiter geradeaus fahren. Berühren Sie den Bildschirm, wenn sie verlangsamen würden.“).

Bewährte Maße in Tests zur Gefahrenwahrnehmung sind also Treffer- bzw. Fehlerhäufigkeiten und/oder die Reaktionszeit der Fahrer. Ob diese Tests für die mehrfache Messwiederholung in Längsschnittstudien geeignet sind, muss im Einzelnen geprüft werden. Bei unzureichender Anzahl der Testversionen ist mit unerwünschten Lerneffekten zu rechnen. Um dies zu vermeiden, wäre eine Erweiterung des Testmaterials bzw. Erstellung eines neuen Tests notwendig. Der Erhebungsauf-

wand solcher Verfahren ist als moderat einzustufen. Allerdings ist der Aufwand zur Erstellung und Validierung neuer Tests sehr hoch.

Bei der Überprüfung der Gefahrenwahrnehmung spielt foveale Informationsaufnahme – im Gegensatz zu der peripheren Informationsaufnahme zur Erfüllung der Querführungsaufgabe – eine große Rolle. Es ist deshalb sinnvoll, auch Blickbewegungsmerkmale zu erfassen (siehe Kapitel 5.7). Beispielsweise sind geringe Blickreaktionszeiten Ausdruck gut geübter Gefahrenwahrnehmung.

## 5.7 Blickbewegungsmessung

Obwohl wie oben erwähnt ein großer Anteil der visuellen Informationsverarbeitung bei der Fahrzeugführung aus peripherem Sehen besteht, was sich nur indirekt in Blickbewegungen niederschlägt, gibt es – wie eben geschildert – auch foveale Informationsaufnahme. Foveale Informationsaufnahme lässt sich über die Messung von Blickbewegungen erfassen. Blickbewegungsmesssysteme, die im Auto oder Simulator eingesetzt werden können, gibt es heute in den unterschiedlichsten Ausführungen, mittlerweile sogar in Brillenform. Erfasst werden in der Regel Fixationen und daraus abgeleitete Parameter (Fixationshäufigkeit und -dauer auf bestimmte Objekte, Sakkaden). Bei der Auswertung von Fixationsdauern wird oft vorausgesetzt, dass in dem Objekt, das fixiert wird, auch die Information liegt, die verarbeitet wird. Die Zeit der Fixationen auf dieses Objekt wäre demnach ein Maß für die Verarbeitungszeit von Informationen (RÖTTING, 1999). Wie wir in Kapitel 3.2 gezeigt haben, gibt es aber auch die Fixationen, die allein der Bildstabilisierung dienen und eher Ausdruck peripherer Informationsverarbeitung sind. Eine Auswertung der Blickfixationen bedarf deshalb immer der sorgfältigen Situationsanalyse. Dies ist in der Regel mit sehr hohem personellen Aufwand verbunden.

Wie in Kapitel 3.2 erwähnt, unterscheiden sich Fahranfänger und erfahrene Fahrer in der Varianz der Blickbewegungen. Die Varianz der Blickbewegungen ist deshalb ein geeigneter Parameter, um Fahrkompetenzerhöhung zu messen. Noch allgemeiner ist die Auswertung von Blickmustern, anhand derer ebenfalls eine Einordnung in erfahrenes/unerfahrenes Blickverhalten möglich ist (CRUNDALL & UNDERWOOD, 1998). Wegen der starken Kontextabhängigkeit von Blicken und

Blickstrategien ist die Auswertung allerdings sehr aufwendig. Das einfache Zählen von Fixationen beispielsweise wird nach unseren Erfahrungen keine aussagekräftigen Ergebnisse liefern.

Während Blickbewegungsmesssysteme kaum geeignet sind, Mechanismen peripheren Sehens zu erfassen, ist dies aber indirekt über Untersuchungen mit Detektionsaufgaben wie dem Peripheral Detection Tasks (van WINSUM et al., 1999; JAHN et al., 2005) möglich. Der Proband muss dabei auf Objekte reagieren, die nur in seinem peripheren Sichtfeld dargestellt werden. Leistungsmaße können Treffer- und Fehlerhäufigkeiten sowie Reaktionszeiten sein.

## 5.8 Zusammenfassung: Möglichkeiten zur Messung der Fahrkompetenz

Neben der Erfassung von Daten über Befragungen sind es vor allem Verhaltensbeobachtungen im Realverkehr (siehe Kapitel 5.2) sowie Simulatorversuche, aus denen auf Veränderung im Fahrvermögen und in der Fahrkompetenz geschlossen werden kann.

Der große Vorteil von Realversuchen liegt in der ökologischen Validität. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Beurteiler im Sinne einer globalen Beurteilung die Höhe der Fahrkompetenz unmittelbar einschätzen kann. Die in den Realfahrten zu durchfahrenen Strecken und Situationen sollten dabei zur besseren Vergleichbarkeit so weit wie möglich standardisiert sein. Gleiches gilt für die Protokolle der Bewerter sowie deren Einschätzungen, um eine höchstmögliche Objektivität und Reproduzierbarkeit zu gewährleisten. Es sollten weiterhin – in Abwägung der finanziellen Mittel – zwei Beurteiler gleichzeitig eingesetzt werden. Dies ist mithilfe von Videobeobachtungen im Vergleich zu direkten Beobachtungen einfacher durchzuführen. Die Nachteile der Videobeobachtung (geringe Kenntnis der Gesamtsituation) sollten bei einem möglichen Einsatz abgewogen werden. Die Erhebung objektiver Daten erfordert die Ausstattung des für die Fahrversuche benutzten Fahrzeugs mit entsprechenden Sensoren zur Messung kinematischer Daten, was allerdings vergleichsweise hohe Kosten für die Untersuchung bedeutet. Eine Alternative dazu bieten elektronische Fahrverhaltensmesssysteme, basierend auf Smartphone-Applikationen, mit denen jedoch nur ein kleiner Teil an fahrrelevanten Daten erhoben werden kann.

Simulationsversuche sind dann einzusetzen, wenn Reproduzierbarkeit der Situationen, Möglichkeit der experimentellen Manipulation und Konstanzhaltung von Störvariablen angestrebt werden. Simulationsversuche ermöglichen auch eine relativ einfache Erfassung fahrrelevanter Größen. Es ist eine deutlich höhere interne Validität als in Feldstudien zu erreichen. Problematisch sind Simulatoruntersuchungen, wenn es um die Erfassung von Verhalten geht, das stark von physikalischen Kräften determiniert ist. Simulationsversuche bieten sich deshalb insbesondere für die Untersuchung kognitiver Fähigkeiten bzgl. der Identifikation von Gefahrenreizen, die Interpretation der Situation und der Handlungsentscheidung sowie den Zeitpunkt ihrer Ausführung an. Dafür gibt es erprobte Gefahrenwahrnehmungstests (Kapitel 5.6). Zu beachten ist, dass Ergebnisse aus Simulatoruntersuchungen oder anderen computerbasierten Untersuchungsmethoden nur bedingt und mit Vorsicht auf reale Fahrbedingungen übertragen werden können.

Der Bedarf an kognitiven Ressourcen und damit der Grad der Automatisierung lassen sich mithilfe von Mehrfachaufgaben untersuchen (Kapitel 5.4). Auch mit Blickbewegungsmessungen (Kapitel 5.7) lassen sich Veränderungen im Informationsverarbeitungsprozess im Laufe der Fahrkompetenzerhöhung erfassen. Blickbewegungsmessungen wie auch Mehrfachaufgaben sind sowohl im Feld als auch im Simulator möglich.

Durch unterschiedliche Befragungsmethoden (Interview, Fragebogen, Fahrtagebuch), wie sie in den Kapiteln 5.3 und 5.5 vorgestellt wurden, ist die Erfassung mutmaßlicher Einflussfaktoren (Personenmerkmale, Fahrkontext, Verkehrskontext) und von Beinahe-/Unfällen (Kapitel 5.3.2) möglich.

## 6 Konzeptionierung von Längsschnittstudien zur Erfassung von Fahrvermögen und Fahrkompetenz von Fahranfängern in Abhängigkeit unterschiedlicher Budgetierungen

In einer Längsschnittstudie zur Erfassung von intra-individuellen Veränderungen im Zuge einer Expertiseentwicklung werden von Teilnehmern einer Stichprobe an mehreren Erhebungspunkten jeweils gleichartige Daten messtechnisch erho-

ben. In diesen sogenannten Panelstudien werden Probanden über einen gewissen Zeitraum messtechnisch begleitet und Veränderungen registriert. In Kapitel 5 wurde ein Überblick über sinnvolle Erhebungsmethoden zur Erfassung von Messgrößen und möglichen Indikatoren gegeben, die Merkmale von Fahrvermögen und Fahrkompetenz widerspiegeln. Für die konkrete Ausgestaltung einer Längsschnittstudie muss allerdings entschieden werden, welche dieser Methoden, mit welcher Intensität angewandt werden. Neben den Messgrößen gibt es weitere Variablen, die das Studienkonzept festlegen. Das sind z. B. die Anzahl der Versuchspersonen, das Anfangsalter der Versuchspersonen oder die Anzahl und die Verteilung sowie die Kriterien der Verteilung der Erhebungspunkte. Weitere Größen, die bei der Konzeptionierung der Studien beachtet werden müssen, sind z. B. der Zeitaufwand für jede Teiluntersuchung, die Ressourcenverfügbarkeit (z. B. Anzahl Messfahrzeuge, Anzahl Simulatoren, zeitliche Verfügbarkeiten, Blickbewegungsmesssysteme), die maximale Untersuchungszeit, die Probanden für Untersuchungen zugemutet werden kann, der Probandenschwund pro Untersuchungspunkt, Maßnahmen der Probandenpflege, Repräsentativität der Stichprobe bezüglich definierter Merkmale, etc.

Generell muss jede Planung von Längsschnittstudien zur Erfassung der Expertiseentwicklung von Fahranfängern vor dem Hintergrund möglicher Budgetierungen stattfinden. Aus rein wissenschaftlicher Sicht wünscht man sich möglichst viele Probanden mit möglichst vielen unterschiedlichen Tests und möglichst vielen Untersuchungspunkten für jeden Probanden. Insbesondere die in Kapitel 5 erörterte Notwendigkeit, die erhobenen Indikatoren für ein Globalurteil mit Daten in Verbindung bringen zu müssen, die direkt die Verkehrssicherheit abbilden, führt zu der Forderung nach einer relativ großen Stichprobe. Die Stichprobengröße wird ferner von der Zahl der Indikatoren determiniert, die man für eine mathematische Zusammenführung zu einem resultierenden globalen Maß (von) Fahrkompetenz heranzieht. Hier gibt es z. B. für Strukturgleichungsmodelle Erfahrungswerte für eine Mindestzahl von Probanden.

Gleichzeitig sind Untersuchungen, die in Realfahrtversuchen oder im Simulator stattfinden (Kapitel 5.2), immer mit hohem personellem und finanziellem Aufwand verbunden. Wie die Analyse im ersten Teil dieses Berichtes gezeigt hat, wird die Fahrkom-

petenz aber zu einem erheblichen Teil durch die Fähigkeiten, sehr viele unterschiedlicher Fahr- und Verkehrskontexte sicher bewältigen zu können, determiniert. Es gilt also, diese multiplen Fahrfertigkeiten ein Stück weit abzu prüfen, was nur über Fahrversuche möglich ist. Mit hohem Aufwand sind beispielweise auch Blickbewegungsmessungen verbunden. Der Aufwand liegt dabei nicht so sehr in der Messung selbst – hier gibt es inzwischen sehr gute und komfortabel zu bedienende Blickbewegungsmesssysteme. Der Aufwand liegt vor allem in der Auswertung und Interpretation, die händisch von Experten durchgeführt werden müssen, da wie in Kapitel 3.2 geschildert stark das periphere Blickverhalten interessiert. Dieses kann nur indirekt aus den Fixationen geschlossen werden, weil entschieden werden muss, ob in dem fixierten Objekt möglicherweise Informationen liegen, die für das Fahren wichtig sind, oder ob das fixierte Objekt nur als Anker dient.

Es werden also sowohl eine hohe Versuchspersonenzahl als auch teure Untersuchungen benötigt, was im Produkt hohe Kosten bedeutet. Die Problematik wird dadurch noch verschärft, dass Änderungen im Fahrvermögen einerseits in der ersten Zeit des selbstständigen Fahrens relativ groß sind aber andererseits auch noch nach vielen Jahren in Unfallkennziffern sichtbar werden (siehe Kapitel 2.2 und Diskussion am Ende von Kapitel 3.5). Im Rahmen der vorliegenden Studie interessieren insbesondere die ersten Jahre der selbstständigen Fahrpraxis, in denen protektive Regelungen möglich sind. Ein Vergleich mit der Situation in anderen Ländern zeigt, dass die Zeiträume von protektiven Regelungen typisch zwei bis drei Jahre, in Ausnahmefällen aber bis zu fünf Jahren umfassen können (GENSCHOW et al., 2013, S. 30). Aus wissenschaftlicher Sicht wäre aber auch die Untersuchung des weiteren Verlaufs des Expertiseerwerbs, z. B. bis zu 20 Jahre nach Fahrerlaubniswerb interessant.

Der schnelle anfängliche Lernfortschritt bedeutet, dass zu Beginn der untersuchten selbstständigen Fahrpraxis für jeden Probanden viele Untersuchungen in kurzem Abstand durchgeführt werden müssen, gleichzeitig die Probanden aber (je nach Untersuchungsziel) über viele Jahre begleitet werden sollten. Schlussfolgerung ist, dass man u. U. sehr viele Untersuchungspunkte benötigt.

Diese eben skizzierten wissenschaftlichen Forderungen lassen sich vor dem Hintergrund in der

Regel mehr oder weniger stark begrenzter Budgets nicht alle erfüllen. Die eigentliche Frage nach einer optimalen Konzeptionierung von Längsschnittstudien zur Erfassung von Fahrvermögen und Fahrkompetenz von Fahranfängern lautet also nicht: Was ist wissenschaftlich sinnvoll, sondern was ist das bei gegebenem Budget angemessenste Untersuchungsdesign? Es muss also diskutiert werden, welche Messungen unbedingt notwendig und welche eher optional sind, was ohne großen Aufwand hinzugenommen werden kann und was aufwendig ist, aber nur geringe Erkenntnisse liefert. Diese Abwägungen gelten im Übrigen für jedes Budgetlevel.

Die in Kapitel 5 vorgestellten möglichen Messmethoden zur Ableitung von Indikatoren von Fahrvermögen und Fahrkompetenz sollen bezüglich ihrer Bedeutung und ihrer Praktikabilität hier nochmals kurz zusammengefasst werden, bevor darauf folgend auf mögliche Studiendesigns konkreter eingegangen wird.

### **Erfassung des Fahr- und Verkehrskontextes sowie von Unfällen und Beinaheunfällen**

Die Diskussion in den Kapiteln 2.2 und 3.5 sowie die aus den Befunden abgeleitete eigene Modellvorstellung (Kapitel 4.3.4) machen deutlich, dass die Fahrexpositionen, differenziert nach unterschiedlichen Verkehrskontexten, eine der wichtigsten Determinanten von Fahrvermögen sind. Je genauer diese erfasst werden, desto differenzierter können Unterschiede zwischen unterschiedlichen Gruppen innerhalb der Probanden und Veränderungen in erfassten Indikatoren erklärt werden. Wir haben die Gesamtexpositionsleistung später auch als Entscheidungskriterium für die Festlegung der Untersuchungspunkte gewählt.

Die Gesamtexposition ist relativ leicht unter Mitwirkung der Probanden erfassbar, indem sie regelmäßig Stände der Kilometeranzeige im selbst gefahrenen Fahrzeug melden oder ein Fahrtenbuch führen. Schwieriger ist die Erfassung verkehrskontextspezifischer Expositionen. Hier werden ein differenziertes Fahrtenbuch oder elektronische Hilfen benötigt (Kapitel 5.3.4). Der Erfassung des Fahr- und Verkehrskontextes sollte unseres Erachtens nach eine hohe Priorität gegeben und ein angemessener Budgetanteil zugeordnet werden, sei es für Anreizsysteme, die Probanden zur aktiven Mitarbeit motivieren oder für die Entwicklung elektronischer Erfassungshilfsmittel.

Die Unfallereignisse sind ebenfalls relativ leicht zu erfassen (siehe Kapitel 5.3.2). Für eine aussagekräftige Erfassung von Beinaheunfällen ist eine gewisse Schulung bzw. Einweisung der Probanden vorausgesetzt. Ebenfalls benötigt man eine erhöhte Bereitschaft der Probanden zu Mitwirkung. Sinnvoll ist deshalb eine Kopplung mit der eben beschriebenen Erfassung des Verkehrskontextes in differenzierenden Fahrtagebucheinträgen, eventuell unter Einbeziehung elektronischer Hilfsmittel. Der Erfassung von Unfällen und Beinaheunfällen sollte ebenfalls eine hohe Priorität zugeschrieben werden.

### **Fahrverhaltensbeobachtung**

Die Fahrverhaltensbeobachtung und Bewertung durch Experten (siehe Kapitel 5.2) ist die einzige Möglichkeit, die globale verkehrssicherheitsbezogene Fahrkompetenz direkt zu schätzen. Über eine Fahrverhaltensbeobachtung ist die notwendige Verbindung zur Verkehrssicherheit auch bei kleinen Versuchspersonenzahlen oder vielen Subgruppen möglich, von denen ansonsten nicht genügend Unfall- bzw. Beinaheunfalldaten vorhanden wären. Die Experten können die Bewältigungsgüte einzelner Teilaufgaben separat bewerten und zusätzlich ein summarisches Gesamturteil abgeben, das – bei entsprechender Schulung – das verkehrssicherheitsbezogene Fahrvermögen widerspiegelt. Die Versuche können auch gleichzeitig zur Erfassung des Bedarfs an kognitiven Ressourcen über ein Mehrfachaufgabenparadigma (Kapitel 5.4) genutzt werden. Dazu würden in einem Teil der Versuche Nebenaufgaben gelöst werden müssen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass ein mitfahrender Versuchsbegleiter durch Kommunikationsaufforderungen die kognitive Belastung variiert (KRÜGER & VOLLRATH, 1996; MACIEJ, 2012).

Die Frage, ob Fahrverhaltensbeobachtung eher im Simulator oder im realen Feld durchgeführt werden sollen, ist – wie in Kapitel 5.2.4 dargelegt – nicht endgültig entscheidbar. Wir schließen uns der Meinung von FASTENMEIER und GSTALTER (2014), BURGARD und KISS (2008) sowie POSCHADEL et al. (2012b) an, die die Fahrverhaltensbeobachtung im Feld mit Hinweis auf eigene Untersuchungen als Königsweg oder gold standard bezeichnen: „Mittlerweile besteht Einigkeit in der Ansicht, die Fahrverhaltensbeobachtung sei die valideste Methode zur Beschreibung und Bewertung des individuellen Fahrverhaltens“ (FASTENMEIER & GSTALTER, 2014, S. 52).

Für diese Untersuchungen im Feld mit Expertenbeurteilung benötigt man keine spezielle Messtechnik – die Probanden können mit ihren eigenen Fahrzeugen fahren. Natürlich kann in so einem Fahrtstest nur eine begrenzte Anzahl von Verkehrskontexten erlebt werden. Beispielsweise wird man keine Fahrten auf Schnee planen können. Man kann aber davon ausgehen, dass die Experten Kraft ihrer Erfahrung aus der Beobachtung von Fahrern in einer breiten Palette von Verkehrskontexten auf das Fahrvermögen der Probanden auch in angrenzenden bzw. ähnlichen Verkehrskontexten schließen können. Für das Abtesten von Sondersituationen können dann flankierend weitergehende Fahrten im Simulator durchgeführt werden. Hier könnten dann beispielsweise kritische Situationen getestet werden.

Obwohl wir der Fahrverhaltensbeobachtung im Feld den Vorzug gegenüber Untersuchungen im Simulator geben, können Rahmenbedingungen in der Institution, die die Studie durchführt, eher für Simulatoruntersuchungen sprechen. Die Kosten bei der Benutzung eher kleinerer Simulatoren liegen in vergleichbarer Höhe zu Realfahrten. Zu Bedenken ist allerdings, dass bei der hohen Dichte von Untersuchungszeiträumen und üblichen Versuchspersonenanzahlen (siehe Kapitel 6.1.2) wahrscheinlich aus organisatorischen Gründen mindestens zwei Simulatoren benötigt werden<sup>33</sup>. Zu bedenken ist auch, dass mit höheren Ausfallraten wegen Simulatorkrankheit zu rechnen ist (siehe Diskussion Kapitel 5.2.4).

Insgesamt erscheinen Fahrverhaltensbeobachtungen – sei es auf einer realen Straße oder im Simulator – eine Grundvoraussetzung für Längsschnittstudien zur Erfassung von Fahrvermögen und Fahrkompetenz von Fahranfängern.

### **Befragungen, Fragebogen**

Die Erfassung von Daten über Fragebogenerhebungen ist ein (in der Ausführung) relativ unaufwendiges Mittel zur Datenerfassung und sollte deshalb in keiner Längsschnittstudie fehlen. Zur Messung zeitlich stabiler Fahrkontext- und Personenmerkmale sowie motivationaler Faktoren können Fragebogen eingesetzt werden (vgl. Kapitel 5.5). Weil der Aufwand relativ gering ist, werden Befragungen

immer ein Bestandteil eines Längsschnittstudien-Designs sein.

### **Gefahrenwahrnehmung**

Die Fähigkeiten zur Gefahrenwahrnehmung lassen sich während Fahrverhaltensbeobachtungen im realen Feld kaum erfassen, weil gefährliche Situationen relativ selten sind. Während einer Fahrverhaltensbeobachtung im Simulator wäre es durchaus möglich, auch gefährliche Situationen zu erleben, wenn diese als Fahrscenario eingebunden sind. Allerdings erscheint es günstig, den Test der kognitiv-sensumotorischen Fertigkeiten von dem Test der rein kognitiven Fähigkeiten zur Gefahrenwahrnehmung zu trennen. Wenn Tests von Gefahrenwahrnehmungen durchgeführt werden sollen, müssen die Probanden also neben der (gesetzten) Fahrverhaltensbeobachtung eine zweite Untersuchung absolvieren. Wegen des geringeren Aufwands und weil dann u. U. Simulatorressourcen geschont werden können, bieten sich dazu computerbasierte Tests oder Videotests an (Kapitel 5.6). Diese würde man sinnvollerweise auch für den Test der Gefahrenwahrnehmung einsetzen, wenn die Fahrverhaltensbeobachtung im realen Verkehr durchgeführt wird. Um die Probanden nicht zweimal zu einem Test einladen zu müssen, bieten sich eher kurze Tests im Anschluss oder vor den Fahrverhaltensbeobachtungsterminen an.

### **Blickbewegungsanalysen**

Die Befunde von Kapitel 3.2 haben gezeigt, dass sich aus der Analyse von Blickbewegungen durchaus Hinweise auf den Expertisegrad von Fahranfängern ableiten lassen. Wie wir in Kapitel 5.7 erörtert haben, ist die Auswertung der Blickdaten allerdings mit hohem Aufwand verbunden, da eine automatisierte Auswertung praktisch ausfällt. In Simulatoruntersuchungen ist das u. U. noch eher realisierbar als in Realfahrtversuchen. Wenn die Möglichkeit einer kostengünstigen Erfassung und Auswertung durch technische oder organisatorische Maßnahmen gegeben ist, ist Blickbewegungsregistrierung durchaus empfehlenswert. Ansonsten würde man sie zugunsten anderer Inhalte der Studie eher vernachlässigen.

### **Analysen motorischer Handlungsmuster**

In Kapitel 3.6 haben wir gezeigt, dass in zeitlichen Merkmalen des Lenkwinkels und zum Teil der Bremspedalbetätigung der Übungsgrad und damit

<sup>33</sup> Drei Untersuchungen pro Proband im ersten Jahr, 300 Versuchspersonen.

die Höhe der Expertise von Fahranfängern sichtbar wird. Um dies sichtbar zu machen, benötigt man allerdings eine Registrierungsmöglichkeit. Bei Fahr-simulatoruntersuchungen ist diese vorhanden und die Daten sollten ausgewertet werden. Bei Real-fahrtversuchen würde ein Messfahrzeug benötigt. Vieles spricht dafür, dass Realfahrten eher mit dem eigenen Fahrzeug der Probanden durchgeführt werden sollten. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass auch Versuche mit messtechnisch ausgestat-ten Fahrzeugen für eine Längsschnittstudie zur Erfassung des Fahrvermögens eingesetzt werden können. Wäre das der Fall, wäre die Erfassung von Lenkwinkel- und Bremspedalverläufen sehr lohnenswert.

### Schlussfolgerung

Die Erörterung von Vor- und Nachteilen unter-schiedlicher Herangehensweisen zur Erfassung von Größen, die Veränderungen im Fahrvermögen und in der Fahrkompetenz abbilden, zeigt, dass einerseits eine Planung eines Längsschnittstudien-designs sinnvoll nur bei Kenntnis eines finanziellen Rahmens möglich ist, und dass sie auch entschei-dend von den technischen Möglichkeiten und Per-sonalressourcen der durchführenden Institution abhängt. Ein wesentlich determinierender Faktor ist auch die zeitliche Ausdehnung der Studie, die vor allem von den Forschungsfragen in Zusammen-hang mit der Budgetierung bestimmt sind. Man kann deshalb schlussfolgern, dass es ein allge-meingültiges Längsschnittstudien-design nicht geben kann. Wir werden im Folgenden zwei Varianten eines möglichen Designs vorstellen, die sich im Auf-wand unterscheiden. Wir gehen dabei davon aus, dass der Rahmen für die zeitliche Dauer der Studie durch die oben erwähnten möglichen Zeiträume protektiver Regelungen während der ersten Zeit der selbstständigen Fahrpraxis festgelegt ist.

Nachdem wir mögliche Messgrößen erörtert haben, werden wir im Folgenden auf empirische Rahmen-bedingungen (Messzeitpunkte, Stichprobe u. Ä.) eingehen.

## 6.1 Empirische Rahmenbedingungen

### 6.1.1 Grundsätzliches Versuchsdesign

Längsschnittstudien mit den geschilderten Ziel-setzungen sind Panelstudien im Within-Subject-Design, bei der von den Teilnehmern an mehreren

Erhebungspunkten jeweils gleichartige Daten messtechnisch erhoben werden. Um mögliche Ver-änderungen bei den Versuchspersonen, die durch die Messungen selbst erzeugt werden, rechnerisch eliminieren zu können, sollte eine Kontrollgruppe im Versuchsdesign vorgesehen werden. Sinnvoll sind dazu Fahrer in einer Altersgruppe, bei denen die Änderungen in der Fahrkompetenz nicht mehr so schnell stattfinden, wie bei Fahranfängern (siehe Kapitel 6.1.2). Dies sind Fahrer und Fahrerinnen zwischen 30 und 45 Jahren mit entsprechender Fahrerfahrung (also keine Fahranfänger).

### 6.1.2 Stichprobe

Probanden der zu entwickelnden Längsschnittstudie sollten junge Fahranfänger (18 bis 19 Jahre alt) sein. Bei genügend hohem Budget wäre auch eine Teil-stichprobe mit etwas älteren Fahranfängern (z. B. Führerschein mit 20-22 Jahren) zur Untersuchung des Jugendlichkeitsrisikos interessant (siehe Diskus-sion Kapitel 2.2). In Vorbereitung der Durchführung der Studie könnten Fahrschulen gefunden werden, mit denen die jeweilige Versuchsleitung während der gesamten Studiendurchführung kooperiert. Über die Fahrschulen können auch die Probanden akquiriert werden. Im Sinne der Repräsentativität wäre es eigent-lich wünschenswert, dass die Probanden mög-lichst aus unterschiedlichen Besiedlungsgebieten Deutschlands stammen (Großstadt, Stadt, Land). Er-fahrungsgemäß werden Längsschnittstudienteilneh-mer, die während der Studie auch an Versuchen teil-nehmen müssen, zur Vermeidung extrem hoher Rei-sekosten und wegen der leichteren Probandenpflege jedoch aus dem lokalen Umfeld der untersuchenden Institution rekrutiert (z. B. BALTES et al., 1996). Voraussetzung zur Studienteilnahme sollte zudem sein, dass der Proband nach Erhalt der Fahrerlaub-nis Zugang zu einem Pkw hat und diesen auch regel-mäßig nutzt.

Es ist von einem Stichprobenschwund (Probanden-mortalität) über die Zeit der Untersuchung auszuge-hen. Dieser hängt stark von der Intensität der Pro-bandenbetreuung ab. Eine Abschätzung für das Ausmaß dieses Schrumpfens der Stichprobe ist schwierig. In der Literatur werden Beispiele von Panelmortalitäten bei nur zwei Erhebungszeitpunk-ten im Abstand von 6 Monaten von über 30 % und von drei Erhebungszeitpunkten im Abstand von einem Jahr von über 60 % berichtet (ENGEL & REINECKE, 1994, S. 256). Mit intensiver Betreu-

ung kann nach eigenen Erfahrungen von einem Probandenverlust von 5 % bis 8 % bei jedem Untersuchungszeitpunkt ausgegangen werden.

Will man für die Berechnung der Fahrkompetenz Strukturgleichungsmodelle einsetzen, ist eine gewisse Versuchspersonenanzahl erforderlich, die von der Anzahl der Indikatoren und von den Effektstärken abhängen. Als Faustregel gilt für mittlere bis geringe Effektstärken eine Stichprobengröße von  $N \geq 200-300$  (STRACK, 2016). Andere Berechnungen schließen die Anzahl der Modellparameter mit ein:  $N \geq 5 \cdot x$  ( $x$  = Anzahl der zu schätzenden Parameter) (z. B. SCHUMACKER & LOMAX, 1996). Geht man von mindestens 25 Modellparametern sowie einem großen Probandenschwund über die lange Erhebungsdauer aus, sollte es das Ziel sein, in etwa 300-350 Studienteilnehmer zu akquirieren.

Ein Faktor, der die Fahrkompetenz stark beeinflussen könnte, ist die Art der Fahrausbildung (als Personenmerkmal). Da es seit einigen Jahren die Option des Begleiteten Fahrens BF17 gibt ([www.bf17.de](http://www.bf17.de)), sollten eine angemessene Anzahl von Probanden BF17-Teilnehmer sein.

Wie oben erwähnt, ist eine Kontrollgruppe in der Altersgruppe 30 bis 45 sinnvoll. Vor dem Hintergrund des erörterten Zwangs zu einem sparsamen Untersuchungsdesign und wegen der wesentlich schwierigeren Akquise der in der Regel berufstätigen Probanden schätzen wir den Anteil der Kontrollgruppe an der Gesamtstichprobe auf 10 % bis 20 % (ca. 30 bis 60 Fahrer).

### 6.1.3 Erhebungspunkte

Da die Erhöhung des Fahrvermögens weniger von der Zeit als von der Fahrpraxis abhängt (Kapitel 3.5), ist es sinnvoll die Abstände der Erhebungspunkte an den von den Probanden absolvierten Kilometerleistungen festzumachen. Wir gehen davon aus, dass die Verbesserung der Fahrkompetenz bereits mit Beginn der praktischen Fahrausbildung beginnt. Für den ersten Messzeitpunkt wäre der Beginn der praktischen Fahrausbildung (nach ca. 5 Stunden praktischen Unterrichts) denkbar. Wenn es um die Entscheidung geht, Messzeitpunkte aus untersuchungsökonomischen Gründen auszulassen, würde man diesen Messzeitpunkt auslassen, da es gemäß unserer übergeordneten Zielsetzung (Kapitel 1.1) in erster Linie um Maßnahmen zur Unterstützung des Fahrkompetenzerwerbs in der ersten Phase des selbstständigen Fahrens geht.

Eine sinnvolle Regel für die Abstände der Erhebungspunkte ist eine definierte Änderung des Kompetenzzuwachses. Wie mehrfach erwähnt, gehorcht dieser in etwa dem inversen Gesetz der Reduktion der fahrleistungsbezogenen Unfallwahrscheinlichkeit. Es erscheint deshalb sinnvoll die Messpunkte so zu wählen, dass die erwartete fahrleistungsbezogene Unfallwahrscheinlichkeit z. B. um  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{3}{4}$  im Vergleich zum Beginn der selbstständigen Fahrpraxis abgesunken ist. Der Kompetenzzuwachs zwischen Erhebungszeitpunkten wäre dann in der Erwartung immer gleich.

Nimmt man das Potenzgesetz der Unfallreduktion von VLAKVELD (2011, Bild 12) und approximiert mit einer doppelten e-Funktion (Gleichung 1, mit  $x$  = gefahrene Jahre), dann lassen sich die Zeitpunkte nach selbstständigen Fahrpraxiserwerb, an denen die Unfallraten auf um  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{3}{4}$  abgesunken sind, zu 3,8 Monate, 9,8 Monate und 25,6 Monate berechnen.

$$48,7 \cdot e^{-1,3^x} + 19,4 \cdot e^{-0,15^x} \quad (\text{Gl. 1})$$

Die so berechnete Halbwertszeit liegt fast exakt in der Mitte des erwarteten Bereichs von 9 bis 11 Monaten (siehe Kapitel 2.2).

Die zu diesen Zeitpunkten absolvierten Kilometerleistungen lassen sich aus MiD2008 (2010) ableiten, Auf Basis der Daten lassen sich nach Alter differenzierte Fahrleistungen berechnen. Aus den MiD 2008-Daten (2010) mit Korrektur durch erhobene Fahrleistungsdaten von Fahranfängern (siehe Kapitel 2.2) lässt sich die akkumulierte Fahrleistung in Abhängigkeit des Alters für die ersten 5-6 Jahre nach Fahrerlaubnis erwerb gemäß Gleichung 2 abschätzen (Männer und Frauen gemittelt).

$$\text{Fahrleistung} = 6775 \cdot (x + 0,2 \cdot x^2) \quad (\text{Gl. 2})$$

$x$  = gefahrene Jahre

Setzt man die oben errechneten Zeitpunkte ein, ergeben sich die Erhebungspunkte: 2.280 km, 6.430 km und 20.620 km. Das Verhältnis zwischen aufeinanderfolgenden Erhebungspunkten ist ca. 3, sodass man den nächsten Erhebungspunkt nach ca. 60.000 km Fahrleistung (nach ca. 55 Monaten fahren erreicht) ansetzen könnte.

Für eine sehr ausführliche Studie ergäben sich folgende 6 Erhebungspunkte (EP):

- EP 0: nach ca. 5 Stunden praktischer Unterricht,
- EP 1: Beginn des selbstständigen Fahrens,

- EP 2: ca. 2.280 km Fahrleistung,
- EP 3: ca. 6.430 km Fahrleistung,
- EP 4: ca. 20.620 km Fahrleistung,
- EP 5: ca. 60.000 km Fahrleistung.

Die Verteilung der Erhebungspunkte kann allerdings auch nach anderen Gesichtspunkten erfolgen, die beispielsweise von der zur Verfügung stehenden Zeit für die Gesamtstudie abhängen.

## 6.2 Zusammenfassung der Konzeptionierung

In Kapitel 5.2 wurde über mögliche Indikatoren referiert, die aus den Messgrößen abgeleitet werden könnten. Tabelle 2 gibt eine Zusammenfassung aller identifizierten Indikatoren und Prädiktoren der Fahrkompetenz von Fahranfängern. Die Auflistung beinhaltet ebenfalls die Auswahl geeigneter Messmethoden sowie eine Abschätzung des jeweiligen Aufwandes.

| Kategorie                                    | Merkmal                |  | Indikator   | Erhebungsart                                | Erhebungshäufigkeit | Erhebungsaufwand   |
|--|------------------------|--|---|---|---------------------|--|
| kognitiv-sensu-<br>motorische<br>Fähigkeiten | Querführung            | Spurhaltung                                | Überfahren der<br>Fahrbegrenzungslinie  | Experten-<br>bewertung                      | mehrmals            | Real: groß   |
|  |                        |  | Ruckhäufigkeit  |   |                     |  |
|  |                        |  | Lenkbewegungen<br>in Kurven   |   |                     |  |
|  |                        |  | Steuer- versus<br>Regelanteil   |   |                     |  |
|  |                        | Spurhalte-<br>güte                         |   |   |                     |  |
|  | Manöver-<br>ausführung | Lenkverhalten                              |   |   |                     |  |
|  | Längsführung           |  | Geschwindigkeitswahl  |   |                     |  |
|  |                        |  | Abstandswahl  |   |                     |  |
|  |                        |  | Wahl der<br>Annäherungs-<br>geschwindigkeit   |   |                     |  |
|  |                        |  | Bremsstrategien   |   |                     |  |
|  |                        |  |   |   |                     |  |
| rein kognitive<br>Fähigkeiten                | Gefahrenwahrnehmung    |  | Treffer- und Fehler-<br>häufigkeiten  | Hazard<br>Perception Test                   | mehrmals            | PC: mittel   |
|  |                        |  | Reaktionszeit   | Experten-<br>bewertung                      | mehrmals            | Real: groß   |
|  | Blickverhalten         | visuelle<br>Aufmerksam-<br>keitsverteilung | fixierte Objekte<br>Fixationshäufigkeiten<br>Fixationsdauer<br>Varianz der Fixationen | Probandentest                               | mehrmals            | Simulator: groß<br>Real: groß  |
|  |                        | Sicherungs-<br>verhalten                   | Registrierung<br>von Blickmustern   | Probandentest                               | mehrmals            | Simulator: groß<br>Real: groß  |
| weitere<br>Fähigkeiten                       | Peripheres Sehen       |  | Untersuchung bzgl.<br>peripheres Sehfeld  | Simulator-test                              | mehrmalig           | groß   |
| Unfall                                       | Beinahe-/Unfälle       |  | Häufigkeit Verlauf  | Fahrtagebuch                                | mehrmals            | für Versuchs-<br>leiter gering, für<br>Proband groß  |
|  | Verkehrsverstöße       |  |   |   |                     |  |
| Fahrerfahrung                                | Mobilitätsgewohnheiten |  | Jahre<br>Führerscheinbesitz   | Fahrtagebuch<br>Fahrbeobach-<br>tungssystem | mehrmals            | Fahrtagebuch:<br>für Versuchs-<br>leiter gering, für<br>Proband groß<br>Fahrbeobach-<br>tungssystem:<br>mittel |
|  |                        |  | jährliche Fahrleistung  |   |                     |  |
|  |                        |  | Fahrhäufigkeit  |   |                     |  |
|  |                        |  | Situationsvielfalt:<br>Straßentypen,<br>Geschwindigkeiten,<br>Verkehrsdichte          |   |                     |  |

Tab. 2: Übersicht über alle Indikatoren und Prädiktoren der Fahrkompetenz, ihrer Messung sowie ihres Erhebungsaufwandes

| Kategorie                                | Merkmal                                |   | Indikator                   | Erhebungsart                   | Erhebungshäufigkeit                             | Erhebungsaufwand                                |        |
|--|--|---|-----------------------------|--------------------------------|---|---|--------|
| Personenmerkmale                         | Soziodemografische Merkmale            |   | Alter                       | Fragebogen                     | einmalig  | gering  |        |
|  |  |   | Geschlecht                  |                                |   |   |        |
|  | Motive und Einstellungen               | Riskantes Fahrverhalten   | Fragebogen zu Einstellungen |                                | mehrmalig                                       | gering  |        |
|  |  | Einstellung zu Geschwindigkeit, Auto (fahren) und anderen Autofahrern |                             |                                | mehrmalig                                       | gering  |        |
|  |  | Selbstwirksamkeitserwartung   |                             |                                |   |   |        |
|  |  | Selbstwertgefühl  |                             |                                |   |   |        |
|  | Persönlichkeitsmerkmale                | Big Five  | Gewissenhaftigkeit          |                                | NEO-FFI-Inventar                                | einmalig  | mittel |
|  |  | Sensation Seeking   |                             |                                | Fragebogen                                      | mehrmalig                                       | gering |
| Fahrausbildung                           | BF17 vs. „normale“ Fahrschulausbildung |   | Fragebogen                  | einmalig                       | gering  |   |        |
| Fahrtüchtigkeit                          | Alkohol und Drogen                     |   | Fahrtagebuch                | mehrmalig bzw. bei jeder Fahrt | gering  |   |        |
|  | Stress                                 |   | Fragebogen                  |                                |   |   |        |
| weitere Personenmerkmale                 | Emotionen und Befindlichkeiten         |   | Fragebogen, Fahrtagebuch    | mehrmalig bzw. bei jeder Fahrt | gering  |   |        |
|  | subjektive Sicherheit                  |   |                             |                                |   |   |        |
|  | subjektive Aufgabenschwierigkeit       |   |                             |                                |   |   |        |
| Merkmale des Fahr- und Verkehrskontextes | Gestaltungsmerkmale der Umgebung       | zulässige Höchstgeschwindigkeiten                                     |                             | Fahrtagebuch                   | bei jeder Fahrt                                 | für Versuchsleiter: gering<br>für Proband: hoch |        |
|  |  | Straßenzustand  |                             |                                |   |   |        |
|  | Fahrzeugmerkmale                       | PS-Stärke   |                             |                                | einmalig pro Fahrzeug                           |   |        |
|  |  | Sicherheitseinrichtungen  |                             |                                |   |   |        |
|  |  | Assistenzsystem   |                             |                                |   |   |        |
|  |  | Defekte   |                             |                                |   |   |        |
|  | Verkehrssituation                      | Verkehrsdichte  |                             |                                | bei Auftreten                                   |   |        |
| Verkehrsumgebung                         | Mitfahrer                              | Anzahl  | Fragebogen                  | mehrmalig                      | für Versuchsleiter: gering<br>für Proband: hoch |   |        |
|  |  | Alter   |                             |                                |   |   |        |
| Verkehrskontexte                         | Anzahl risikobereiter Freunde          |   | Fragebogen                  | mehrmalig                      |   |   |        |
| Verkehrskontexte                         | Erlebte Situationen                    |   | Fahrtagebuch                | bei jeder Fahrt                |   |   |        |

Tab. 2: Fortsetzung

### 6.3 Aufwandsschätzung

In die Kalkulation des Aufwands einer Längsschnittstudie gehen die Studienphasen der Vorbereitung, der Durchführung und der Auswertung der Untersuchung ein. Die Schätzungen des Budgets werden in Personenmonaten (PM) angegeben<sup>34</sup>. In Tabelle 3 werden Aufwandsschätzungen der in Kapitel 5 vorgestellten Methoden, jeweils getrennt für die drei Studienphasen, vorgenommen.

Für die Untersuchung der kognitiv-sensumotorischen Fähigkeiten erscheinen wie geschildert Expertenbewertungen in Realfahrten als Mittel der

<sup>34</sup> Alle genannten Aufwandsschätzungen in diesem Kapitel gehen von Erfahrungen der Autoren von ähnlich gelagerten Forschungsprojekten aus. Im Einzelfall hängen sie aber von den Kalkulationen eines Durchführenden der Studie ab und können deshalb unterschiedlich ausfallen.

Wahl. Die Vorbereitung und Durchführung von Realfahrtstudien sind sehr aufwendig und damit kostenintensiv. Es sollten geeignete kooperierende Experten, idealerweise Fahrlehrer, gefunden werden, über diese die Akquise der Versuchspersonen (VP) erfolgen kann. Der Aufwand für die Probanden- und Expertenakquise wird mit etwa 1 PM geschätzt. In Vorbereitung von Realfahrten müsste die Expertenbewertung entwickelt werden. Dies beinhaltet die Erstellung eines geeigneten Beobachtungsprotokolls und die, ggf. mehrfache Schulung, der Experten. Dies wird mit etwa 2,5 PM geschätzt (siehe Tabelle 3). Für die Durchführung von Realfahrten gehen wir von einem Aufwand von etwa 18 PM für die Untersuchungsdurchführung mit 350 VP aus. Darin enthalten sind beispielsweise organisatorische und terminliche Absprachen mit dem Probanden, die Vorbereitung der Materialien für den Experten sowie Kosten des Versuchsfahrzeugs (Benzin u. Ä.). Die Kosten gelten für jeweils einen Erhebungszeitpunkt. Hinzu kommen Zusatzkosten, beispielsweise für Material oder die Akquise und Aufwandsentschädigungen von Probanden und Experten. An dieser Stelle sei angemerkt, dass versicherungstechnische Fragen bzgl. der Versuchsfahrzeuge (z. B.: Was passiert bei einem Unfall während der Versuchsfahrt?) in Vorbereitung der Studiendurchführung zu klären sind. Für die Auswertung von Realfahrtuntersuchungen werden 1,5 PM kalkuliert.

Für Simulationsversuche muss im Vorhinein eine geeignete Simulatorumgebung entwickelt bzw. angepasst werden, auf deren Grundlage verschiedene Untersuchungen, wie z. B. der peripheren Wahrnehmung, erstellt werden können. Die Entwicklung bzw. Anpassung der Simulationsumgebung (ca. 2 PM) ist damit in der Berechnung von der Entwicklung der Mehrfachaufgaben, des Peripheral Detection Tasks und des Hazard Perception Tests (jeweils ca. 1 PM) zu trennen (siehe Tabelle 3). Die Durchführung einer Simulationsuntersuchung mit 350 VP wird auf ca. 18 PM geschätzt. Darin enthalten sind die Terminorganisation, die Kosten für die Durchführung (Strom etc.) sowie die Versuchsleitervergütung. Wir gehen davon aus, dass die Anzahl der für den Probanden zu absolvierenden Aufgaben wenig Einfluss auf die Kosten der Untersuchungsdurchführung hat. Die Auswertung von Real- und Simulationsfahrten ist, unabhängig von der Versuchspersonenanzahl, mit jeweils etwa 1,5 PM anzusetzen. Das beinhaltet die Vorbereitung der Auswertung, eine evtl. Bereinigung des Datensatzes, die Berechnung sowie die Aufbereitung der Ergebnisse.

Basierend auf den interessierenden Forschungsfragen, den oben erläuterten theoretischen Zusammenhängen sowie dem Budgetrahmen des zu planenden Forschungsvorhabens, sollte zunächst ein Wirkmodell erstellt werden, welches den methodischen Rahmen und die Datenauswertung leitet. Zur

|   | Aufwandsschätzung [PM] |                              |            |
|---|------------------------|------------------------------|------------|
|   | Methodenentwicklung    | Durchführung<br>[bei 350 VP] | Auswertung |
| Realfahrtuntersuchung<br>Expertenbewertung                                    | 2,5                    | 17,5                         | 1,5        |
| Simulatoruntersuchung   |                        | 17,5                         | 1,5        |
| Entwicklung bzw. Anpassung der<br>Simulatorumgebung                           | 2                      |                              |            |
| Mehrfachaufgabe   | 1                      |                              |            |
| HPT   | 1                      |                              |            |
| PDT   | 1                      |                              |            |
| Blickbewegungsmessung   |                        |                              |            |
| Elektronisches Fahrtagebuch   | 2                      | 0                            | 0,5        |
| Elektronische Fahrverhaltensmessung   | 1                      | 0                            | 0,5        |
| Interview & Fragebogen  | 1,5                    | 22 (je 11)                   | 0,5        |
| Zusatzkosten<br>(Probanden-/Expertenakquise,<br>Probandengeld, Material etc.) | 1                      | 10                           |            |
| Wirkmodell  | 2                      |                              |            |

Tab. 3: Schätzung des Aufwandes für Vorbereitung, Durchführung und Auswertung unterschiedlicher Erhebungsmethoden sowie Zusatzkosten

Auswertung der Längsschnittstudie können Strukturgleichungsmodelle angewandt werden.

Die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Befragungen (Interviews, Fragebogen) sind weitaus weniger aufwendig. Die Zusammenstellung geeigneter Interviewfragen sowie des Fragebogens wird auf etwa 1,5 PM geschätzt. Die Durchführung ist mit je ca. 11 PM bei 350 VP bzw. die Auswertung mit etwa 0,5 PM kalkuliert (siehe Tabelle 3). Die Entwicklung des elektronischen Fahrtagebuchs und der elektronischen Fahrverhaltensmessung ist in der Methodenentwicklung mit gesamt ca. 3 PM, wie in Tabelle 3 ersichtlich, etwas höher als die anderen Befragungsmethoden. Es müsste eine Fahrtagebuchversion entwickelt werden, die möglichst intuitiv bedienbar ist. Dazu müssen geeignete Nutzerabläufe sowie das Design der Benutzeroberfläche entwickelt und umgesetzt werden. Der Einsatz dieser beiden Methoden verursacht jedoch in der Durchführung keine Kosten für den Versuchsleiter. Die Auswertung wird mit etwa 1 PM geschätzt.

Die Erarbeitung eines präzisen Modells und möglicher Wirkkomponenten wird auf etwa 2 PM geschätzt.

In den folgenden Kapiteln werden zwei Vorschläge für Längsschnittstudienkonzepte mit unterschied-

lichem Budgetrahmen erarbeitet: Eine Basisuntersuchung mittels Expertenbewertung sowie Expertenbewertung und Simulationsversuche über zwei Jahre Fahrpraxis.

## 6.4 Vorschlag 1: Basisuntersuchung mittels Expertenbewertung

### 6.4.1 Ansatz

Kognitiv-sensumotorische und rein kognitive Fähigkeiten von Fahranfängern werden in diesem Studienvorschlag mittels Expertenbewertung auf den ersten 6.430 selbstständig gefahrenen Kilometern erhoben. Daneben werden Befragungen zur Erfassung der Fahrerfahrung, von Personen- und Verkehrskontexten sowie zu etwaigen Beinahe-/Unfällen eingesetzt.

### 6.4.2 Messmethodik

Wie in Bild 39 dargestellt, werden sensumotorische und kognitive Fähigkeiten mittels Expertenbewertung bei Realfahrten zu vier Messzeitpunkten untersucht:

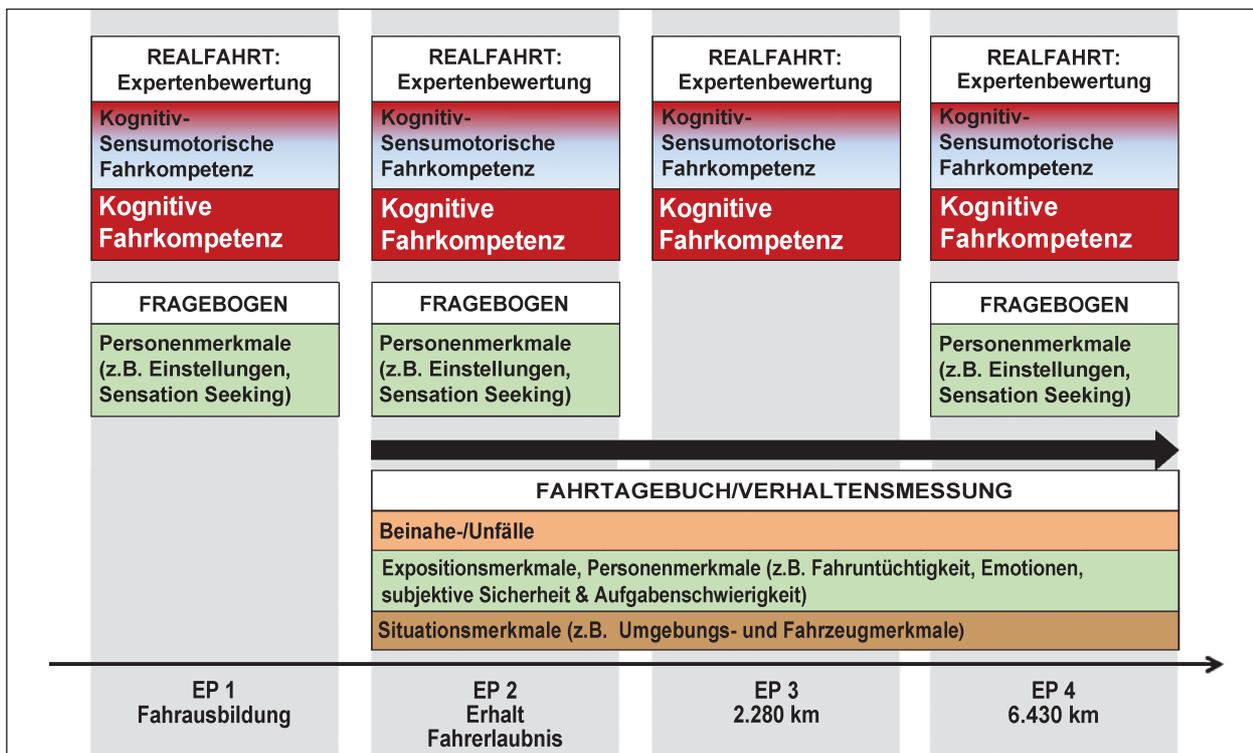


Bild 39: Versuchsdesign von Studienvorschlag 1 (rot-blau: kognitiv-sensumotorische Fahrkompetenz, rot: kognitive Fahrkompetenz & Blickbewegungen, orange: Beinahe-/Unfälle, grün: Personenmerkmale, braun: Situationsmerkmale)

1. innerhalb der praktischen Fahrausbildung (nach ca. 5 Unterrichtsstunden),
2. zum Zeitpunkt des Fahrerlaubniserhalts,
3. nach ca. 2.280 km selbstständigen Fahrens und
4. nach 6.430 km selbstständigen Fahrens.

Grundlage der Expertenbewertung bei Realfahrten muss ein geeignetes und sehr detailliertes Bewertungsprotokoll sein, das erlaubt die Fähigkeiten genau zu dokumentieren. Essentiell ist daneben die detaillierte Definition und Auswahl der Strecken. Die Fahraufgaben sollten so ausgewählt werden, dass die Erfassung der kognitiv-sensumotorischen Fähigkeiten sichergestellt ist. Des Weiteren sollten die Fahraufgaben zwischen den Probanden vergleichbar sein, um aussagekräftige Ergebnisse erhalten zu können (z. B. Linksabbiegen an einer vielbefahrenen Kreuzung mit bestimmten

Merkmale). Um Übungseffekte vermeiden zu können, sollten sich die Fahrtstrecken über die Versuchsfahrten hinweg unterscheiden. Auch hier ist auf die Absolvierung vergleichbarer Fahraufgaben zu achten.

### 6.4.3 Fragestellungen

Mit den o. g. Erhebungsmethoden können die Fragestellungen in Tabelle 4 untersucht werden.

### 6.4.4 Ablauf und Ressourcenplan

In Tabelle 5 wird ein Überblick über den groben Ablauf dieser Studie, in Form von Arbeitspaketen (AP), sowie der damit verbundenen Aufwandschätzung in PM gegeben.

Es ergibt sich ein Gesamtaufwand von ca. 91 PM.

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| Expertenbewertung                   | Welche kognitiv-sensumotorischen und kognitiven Fähigkeiten werden während der ersten 6.430 selbstständig gefahrenen Kilometer gelernt? Wie lange dauert das?<br>Wie verändern sich diese Fähigkeiten innerhalb der ersten 6.430 selbstständig gefahrenen Kilometer?<br>Gibt es Phasen innerhalb dieser Zeit, in denen sich eine der Fähigkeiten schneller oder langsamer entwickelt als die andere?<br>Welche Aspekte der Fahraufgabe werden in dieser Zeit automatisiert? Wann werden sie automatisiert? |
| elektronische Fahrverhaltensmessung | Welche Verkehrskontexte beeinflussen den Kompetenzerwerb? Gibt es Mobilitätsmerkmale, die stärkeren Einfluss nehmen als andere? Verändert sich der Einfluss auf den ersten 6.430 selbstständig gefahrenen Kilometern und wenn ja, wie?   |
| Fragebogen + Fahrtagebuch           | Wie beeinflussen die erfassten Personen- und Situationsmerkmale Teilkompetenzen der Fahrkompetenz? Gibt es Merkmale, die stärkeren Einfluss nehmen als andere? Wie wirken sich die Merkmale auf den ersten 6.430 selbstständig gefahrenen Kilometern aus?  |

Tab. 4: Fragestellungen von Studienvorschlag 1

|   | Aufwandsschätzung [PM] | Häufigkeit | Gesamtaufwand [PM] |
|---|------------------------|------------|--------------------|
| AP 1: Vorbereitung der Untersuchungen           | 10                     | 1          | 10                 |
| Wirkmodell                                      | 2                      |            |                    |
| Expertenbewertung                               | 2,5                    |            |                    |
| Fragebogen                                      | 1,5                    |            |                    |
| Fahrtagebuch, Fahrverhaltensmessung             | 3                      |            |                    |
| Zusatzkosten (z. B. Experten-/Probandenakquise) | 1                      |            |                    |
| AP 2-5: Durchführung der Untersuchung zu 4 EP   | 19,5                   | 4          | 78                 |
| Realfahrt (Expertenbewertung)                   | 17,5                   |            |                    |
| Fragebogen                                      | 1                      |            |                    |
| Fahrtagebuch, Fahrverhaltensmessung             | 0                      |            |                    |
| Zusatzkosten (Material, Aufwandsentschädigung)  | 1                      |            |                    |
| AP 6: Auswertung                                | 3                      | 1          | 3                  |
| Realfahrt                                       | 1,5                    |            |                    |
| Fragebogen, Fahrtagebuch, Fahrverhaltensmessung | 1,5                    |            |                    |

Tab. 5: Übersicht über Ablauf und Aufwandsschätzung von Studienvorschlag 1

## 6.5 Vorschlag 2: Expertenbewertung und Simulationsversuche über 2 Jahre Fahrpraxis

### 6.5.1 Ansatz

Grundgedanke dieses Vorschlags ist es, die Untersuchung aller identifizierten Teilkompetenzen der Fahrkompetenz auf den ersten 20.620 selbstständig gefahrenen Kilometern zu ermöglichen.

### 6.5.2 Messmethodik

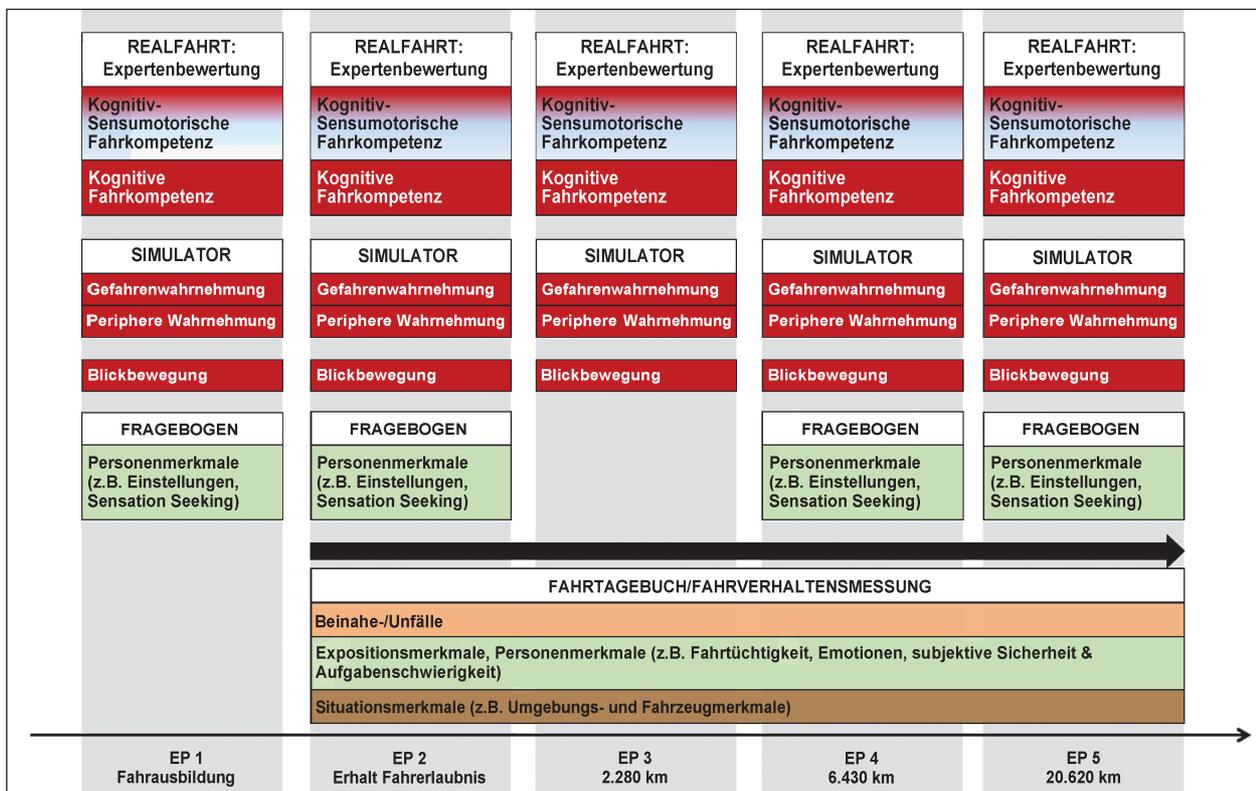
Es werden kognitiv-sensumotorische Fähigkeiten über Expertenbewertung in Realfahrten gemessen, und es werden Blickbewegungen zur Erfassung rein kognitiver Informationsverarbeitung (z. B. zur Gefahrenwahrnehmung) erfasst. In Simulatoruntersuchungen (oder anderen computerbasierten Methoden) werden die Gefahrenwahrnehmung (HDT) und die periphere Wahrnehmung (PDT) erhoben. Zusätzlich wird zur Untersuchung kognitiver Informationsverarbeitung Blickbewegungsmessung eingesetzt. Personen- und Situationsmerk-

male werden über Fragebogen und ein Fahrverhaltenstagebuch erfragt. Das Fahrtagebuch wird während der gesamten selbstständig gefahrenen Kilometer geführt. Expositionsdaten und fahrrelevante Maße werden über ein elektronisches Fahrverhaltensmesssystem und über das Fahrtagebuch erfasst.

Es ergeben sich fünf Erhebungspunkte:

1. innerhalb der praktischen Fahrausbildung (nach ca. 5 Unterrichtsstunden),
2. zum Zeitpunkt des Fahrerlaubniserhalts,
3. nach ca. 2.280 km selbstständigen Fahrens,
4. nach 6.430 km selbstständigen Fahrens und
5. nach 20.620 km selbstständigen Fahrens.

Bild 40 stellt das Studienkonzept für diesen Studienvorschlag grafisch dar.



**Bild 40:** Versuchsdesign von Studienvorschlag 2 (rot-blau: kognitiv-sensumotorische Fahrkompetenz, rot: kognitive Fahrkompetenz & Blickbewegungen, orange: Beinahe-/Unfälle, grün: Personenmerkmale, braun: Situationsmerkmale)

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Expertenbewertung                   | Welche kognitiv-sensumotorischen und kognitiven Fähigkeiten werden innerhalb der ersten 20.620 selbstständig gefahrenen Kilometer gelernt? Wie lange dauert das?<br>Wie verändern sich diese Fähigkeiten innerhalb der ersten 20.620 selbstständig gefahrenen Kilometer?<br>Gibt es Phasen innerhalb dieser Zeit, in denen sich eine der Fähigkeiten schneller oder langsamer entwickelt als die andere?<br>Welche Aspekte der Fahraufgabe werden in dieser Zeit automatisiert? Wann werden sie automatisiert?                    |
| Simulatoruntersuchung               | Wann werden die Gefahrenwahrnehmung und die periphere Wahrnehmung gelernt? Wie lange dauert das? Wie verändern sich die Fähigkeiten auf den ersten 20.620 selbstständig gefahrenen Kilometern?<br>Welche Aspekte der Fahraufgabe werden innerhalb dieser Zeit automatisiert? Wann werden sie automatisiert?<br>Wie verändert sich das Management der Ressourcen auf den ersten 20.620 selbstständig gefahrenen Kilometern? Gibt es Phasen, in denen sich die Fähigkeit stärker verändert? Wie ist der Lernprozess zu beschreiben? |
| Allgemein                           | Gibt es Phasen, in denen sich eine der Fähigkeiten schneller oder langsamer entwickelt als andere?<br>In welchem Zusammenhang stehen die Veränderungen der Teilkompetenzen der Fahrkompetenz untereinander?   |
| elektronische Fahrverhaltensmessung | Welche Expositionsdaten beeinflussen den Kompetenzerwerb? Gibt es Mobilitätsmerkmale, die stärkeren Einfluss nehmen als andere? Wie wirken sich die Merkmale auf den ersten 20.620 selbstständig gefahrenen Kilometern aus?   |
| Fragebogen + Fahrtagebuch           | Wie beeinflussen die erfassten Personen- und Situationsmerkmale Teilkompetenzen der Fahrkompetenz? Gibt es Merkmale, die stärkeren Einfluss nehmen als andere? Verändert sich der Einfluss auf den ersten 20.620 selbstständig gefahrenen Kilometern und wenn ja, wie?  |

Tab. 6: Fragestellungen von Studienvorschlag 2

### 6.5.3 Fragestellungen

Mit den o. g. Erhebungsmethoden können die Fragestellungen<sup>35</sup>, in Tabelle 6 aufgeführt, untersucht werden.

### 6.5.4 Ablauf und Ressourcenplan

In Tabelle 7 wird ein Überblick über den groben Ablauf dieser Studie, in Form von Arbeitspaketen (AP), sowie der damit verbundenen Aufwandschätzung in PM gegeben.

Wir erwarten für das vorliegende Konzept in der Summe einen Aufwand von 214,5 PM.

## 6.6 Zusammenfassung Längsschnittstudienkonzepte

In diesem Kapitel wurden zwei Konzeptvorschläge zur Untersuchung der Fahrkompetenz von Fahranfängern mit unterschiedlichem Budget und Messme-

thoden vorgestellt. Mit ihnen können verschiedene Fragestellungen bzgl. der Fahrkompetenzentwicklung untersucht werden. Alle Konzepte gehen von einer Versuchspersonenanzahl von ca. 350 aus. Hinzukommen etwa 50 erfahrene Fahrer im Alter von 30 bis 45 Jahren. Diese Kontrollgruppe ermöglicht die Erfassung des Einflusses der Testverfahren auf die Probanden sowie den Kompetenzaufbau durch sich wiederholende Praxis- und Zeiteffekte. Die Messungen beginnen jeweils in der Fahrschul Ausbildung, da erwartet wird, dass die Fahrkompetenzentwicklung bereits zu diesem Zeitpunkt beginnt.

Kognitiv-sensumotorische Fähigkeiten werden am validesten durch Expertenbewertungen in Realfahrten gemessen. Die Methode ist aufwendig und kostenintensiv. Mit ihr können auch einige Indikatoren der kognitiven Fahrkompetenz erhoben werden. Eine exakte Messung unter Laborbedingungen mit objektiven Daten ist aber nur im Simulator möglich. Auch dieses Vorgehen ist aufwendig und kostenintensiv. Es bietet sich daher eine kombinierte Messung der kognitiven Fähigkeiten (Gefahrenwahrnehmung und periphere Wahrnehmung) im Simulator oder mithilfe anderer computerbasierter Verfahren an. Eine Blickbewegungsmessung kann die Untersuchungen im Realfeld und Simulator ergänzen. Mit Befragungsmethoden wie Interviews, Fragebö-

<sup>35</sup> Grau hinterlegten Fragestellungen können bereits mit Studienvorschlag 1 untersucht werden.

| Arbeitspaket                                    | Aufwandsschätzung [PM] | Häufigkeit | Gesamtaufwand [PM] |
|---|------------------------|------------|--------------------|
| AP 1: Vorbereitung der Untersuchungen           | 15,5                   | 1          | 15,5               |
| Wirkmodell                                      | 2                      |            |                    |
| Expertenbewertung                               | 2,5                    |            |                    |
| Simulationsumgebung                             | 2                      |            |                    |
| PDT, HPT  | 3                      |            |                    |
| Blickbewegungsmessung                           | 0,5                    |            |                    |
| Fragebogen                                      | 1,5                    |            |                    |
| Fahrtagebuch, Fahrverhaltensmessung             | 3                      |            |                    |
| Zusatzkosten (z. B. Experten-/Probandenakquise) | 1                      |            |                    |
| AP 2-6: Durchführung der Untersuchung zu 5 EP   | 38                     | 5          | 190                |
| Realfahrt (Expertenbewertung)                   | 17,5                   |            |                    |
| Simulatoruntersuchung                           | 17,5                   |            |                    |
| Blickbewegungsmessung                           | 1                      |            |                    |
| Fragebogen                                      | 1                      |            |                    |
| Fahrtagebuch, Fahrverhaltensmessung             | 0                      |            |                    |
| Zusatzkosten (Material, Aufwandsentschädigung)  | 1                      |            |                    |
| AP 6: Auswertung                                | 9                      | 1          | 9                  |
| Realfahrt                                       | 1,5                    |            |                    |
| Simulatoruntersuchung                           | 1,5                    |            |                    |
| Blickbewegungsmessung                           | 4,5                    |            |                    |
| Fragebogen, Fahrtagebuch, Fahrverhaltensmessung | 1,5                    |            |                    |

Tab. 7: Übersicht über Ablauf und Aufwandsschätzung von Studienvorschlag 2

gen und einem elektronischen Fahrtagebuch ist die Erfassung von Personenmerkmalen und Merkmalen des Verkehrskontextes möglich. Ein elektronisches Fahrverhaltensmesssystem ermöglicht die automatische Erfassung von Expositionsdaten der Versuchsteilnehmer. Der Aufwand für diese Methoden ist im Vergleich zu Realfahrt- und Simulatoruntersuchungen niedriger.

In Abhängigkeit des Durchführungsaufwandes der verschiedenen vorgeschlagenen Erhebungsmethoden (operationalisiert in PM) wurden zwei Studienvorschläge erarbeitet.

In einer Basisstudie, Vorschlag 1, werden sowohl kognitiv-sensumotorische als auch rein kognitive Fähigkeiten über Expertenurteile in Realfahrten erhoben. Dazu müssen geeignete Skalen recherchiert bzw. entwickelt werden, die die diesbezüglichen Indikatoren erfassen. Weiterhin ist auf die genaue Definition und Auswahl von Fahraufgaben und Fahrstrecken zu achten. Sie müssen die Vergleichbarkeit zwischen den Probanden sowie zwischen den Messungen gewährleisten. Fragebogen erfassen zeitlich stabile Personenmerkmale und Merkmale des Verkehrskontextes. Im Fahrtagebuch

machen die Probanden Angaben zu variablen Merkmalen des Verkehrskontextes und zu Personenmerkmalen nach jeder Fahrt. Eine Fahrverhaltensmessung, die an das Fahrtagebuch angeschlossen werden kann, misst automatisch die fahrzeugbezogenen Mobilitätsgewohnheiten des Probanden. Der Gesamtaufwand für dieses Studienkonzept beläuft sich auf etwa 91 PM.

Der zweite Studienvorschlag, Vorschlag 2, baut auf dem ersten auf und erweitert diesen um die Erfassungen in einer Simulatorumgebung. Außerdem wird der Untersuchungszeitraum auf etwas mehr als zwei Jahre erweitert ( $\approx 20.620$  km) und eine fünfte Erhebung durchgeführt. Wird der Aufwand für Entwicklung und Durchführung einer Simulatoruntersuchung betrieben, bietet es sich an, gleichzeitig kognitive Fahrkompetenzen unter Laborbedingungen zu messen. Konfundierende Drittvariablen, wie sie in der Erfassung der kognitiven Fähigkeiten durch die Expertenbewertung in Realfahrten bestehen, können unter Laborbedingungen weitgehend ausgeschlossen werden. Zusätzliche Kosten ergeben sich nur für die Vorbereitung. Kognitiv-sensumotorische Fähigkeiten werden durch Expertenbewertung gemessen. Blickbewegungs-

analysen werden durchgeführt. Fragebogen, ein Fahrtagebuch und eine Fahrverhaltensmessung erfassen Personenmerkmale und Merkmale des Verkehrskontextes sowie Expositionsdaten. Der Aufwand für dieses Studienkonzept wird auf etwa 214,5 PM geschätzt.

## 7 Zusammenfassung

Im ersten Teil dieses Berichtes wurde auf Basis theoretischer Überlegungen (Kapitel 1.2) und vor dem Hintergrund veröffentlichter Befunde zur Verkehrssicherheit von jungen Fahrern und Fahranfängern sowie deren Unterschieden zu erfahrenen Fahrern (Kapitel 2 und 3) ein theoretisches Gerüst zu Fahrvermögen, Fahrkompetenz und deren Erhöhung durch Übung und Erfahrung abgeleitet. Die wichtigsten Befunde sind: Fahranfänger fahren zu Beginn des selbstständigen Fahrens zunächst relativ wenig und eher vorsichtig, beginnen dann aber nach wenigen tausend Kilometern Vertrauen in ihre eigenen Fähigkeiten zu entwickeln und mehr zu fahren. Das daraus resultierende Selbstvertrauen führt zu höheren gefahrenen Geschwindigkeiten und teilweise erhöhter Risikoakzeptanz. Dabei gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede: So bevorzugen junge Männer häufig höhermotorisierte Autos und fahren mit diesen um des Autofahrens willen. Sie fallen zudem mit Alleinunfällen mit überproportional hohem Anteil tödlicher Ausgänge auf. Dahingegen benutzen die jungen Frauen das Auto vornehmlich als Transportmittel und bevorzugen auch sicherere Autos. Die im Vergleich zu älteren Fahrern und Fahrerinnen andere Wahl von Fahranlass und Fahrkontext deutet auf besondere, jugendspezifische Motivstrukturen hin. Typisch für jüngere Fahrer (vornehmlich bei Männern) ist der höhere Anteil von Fahrmotiven wie Sensationslust, die Suche nach besonderen Erfahrungen und nach Abenteuer (Kapitel 3).

Fahranfänger lernen relativ schnell (nach wenigen Übungsstunden), das Fahrzeug so auf der Straße zu bewegen, dass sie im Verkehr mitfahren können und dabei nicht mit anderen Objekten kollidieren, wobei der Fokus häufig zunächst der Querführung und dann der Längsführungsaufgabe gilt. Sie zeigen dabei ein, insbesondere für das Lenken, ruckartiges Bewegungsbild, das mit Erfahrung immer glatter wird (siehe auch Kapitel 3.6). Obwohl Fahranfänger sehr schnell die Bedienelemente des Autos so beherrschen, dass sie sich mit ihm bewe-

gen können, dauert es sehr lange, bis dies auch mit der Sicherheit eines erfahrenen Fahrers möglich ist. Die auf die Fahrleistung bezogenen Unfallkennziffern folgen einem Exponential- bzw. Potenzgesetz mit abfallenden Raten vom ersten Tag der selbstständigen Fahrpraxis an (Kapitel 2.2). Bei Fahranfängern, die zum gesetzlich frühestmöglichen Zeitpunkt ihren Führerschein gemacht haben, sind die Unfallraten in vielen Ländern nach ca. neun bis elf Monaten Fahrpraxis auf die Hälfte gefallen. Bei Fahranfängern, die erst später den Führerschein erwerben, sind die Halbwertszeiten wesentlich höher. Gleichzeitig ist aber auch die Anfangshöhe der Unfallkennziffern geringer. Worauf diese Unterschiede zwischen den Gruppen mit unterschiedlichem Alter bei Führerscheinerwerb zurückzuführen sind, ist noch nicht erforscht. Ursachen könnten Selbstselektionsprozesse oder altersbezogene Veränderung sein, die ihren Grund in entwicklungsbedingten Veränderungen von Motivstrukturen, von Lernfähigkeit, von Gehirnstrukturen, etc. haben.

Weiterhin wurden die Begriffe Fahrvermögen und Fahrkompetenz definiert (Kapitel 4.3.3). Beide wurden dabei als messbare Konstrukte definiert, die an die Verkehrssicherheit gekoppelt sind. Ein Fahrer mit höherem Fahrvermögen oder höherer Fahrkompetenz würde demnach sicherer fahren. Das Konstrukt der Fahrkompetenz ist dabei die Erweiterung des Fahrvermögens um verkehrssicherheitsrelevante motivationale und volitionale Faktoren. Das Konstrukt Fahrkompetenz ist dabei an das Fahren gekoppelt. Motivationale Einflüsse mit der Wirkung der Fahrvermeidung trotz normativ gesellschaftlicher Akzeptanz des Fahrkontextes haben wir aus dem Konstrukt Fahrkompetenz ausgeschlossen.

Wie sich der zeitliche Verlauf der verkehrssicherheitsbezogenen Güte individuell entwickelt, ist nicht bekannt. Insbesondere ist nicht bekannt, wann und ob dieser Prozess überhaupt abgeschlossen ist. Es ist durchaus anzunehmen, dass individuelle Lernbiografien, die sich insbesondere dadurch unterscheiden, dass Fahrkontexte unterschiedlich oft erfahren und bewältigt wurden und unterschiedliche Erfahrungen individuelle Motivstrukturen verändern, einen Zuwachs an Fahrkompetenz in Stufen zeigen. Im statistischen Durchschnitt von Unfallstatistiken werden diese Stufen aber herausgemittelt.

Folgt man diesen Unfallstatistiken und nimmt an, dass Unfallstatistiken Fahrkompetenz widerspiegeln, schreibt sich das eben erwähnte Exponential- bzw. Potenzgesetz noch mindestens 25 Jahre fort

(Bild 12). Wie groß der Anteil des Einflusses motivationaler und volitionaler Faktoren und wie groß der des Fahrvermögens auf den Sicherheitszuwachs ist, ist nicht bekannt. Ebenso ist nicht bekannt, wie groß der Einfluss qualitativer Expositionsveränderungen (beispielsweise mit dem Alter zunehmender Anteil sicherer Autobahnfahrten) oder der Einfluss der Übung (Fahrpraxis) ist. Der Vergleich von Männern und Frauen wie auch Wenig- und Vielfahrern sowie die Befunde zu Fahranfängern lassen aber stark vermuten, dass es insbesondere die Fahrpraxis ist, die den größten Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat (Kapitel 2.1). Fahrer und Fahrerinnen, die häufiger fahren, fahren auf die Exposition bezogen sicherer. Das bedeutet, dass ein einmal erreichter Expertisegrad durch fehlende Übung auch wieder verringert werden kann.

Fahranfänger fangen naturgemäß ohne Übung an. Im Laufe des Expertiseerwerbs ändern sich die Prozesse der Verarbeitung von Umweltreizen mit dem Ziel, die Fahraufgabe zu lösen, in prinzipieller Art: Am Anfang werden noch viele kognitive Ressourcen zur Erfüllung der Basisfertigkeiten benötigt, die dann mit Übung und Erfahrung automatisiert werden. Dadurch steigt der Anteil sensumotorischer Informationsverarbeitung und es können Basisfertigkeiten sicherer und schneller ausgeführt werden. Der höhere Anteil automatisierter sensumotorischer Informationsverarbeitung erschließt dem erfahrenen Fahrer die Möglichkeit, auch in völlig neuen, zeitkritischen Situationen eine adäquate Handlungsauswahl zu treffen, während Fahranfänger auf langsame kognitive Informationsverarbeitung zurückgreifen müssen und deshalb häufig nicht rechtzeitig oder falsch reagieren. Autofahren ist ein fast ausschließlich nichtsymbolischer Prozess und kann deshalb überwiegend nur aus Erfahrung gelernt werden. Um zeitkritische Situationen automatisiert ausführen zu können, müssen deshalb ähnliche Situationen vorher mehrmals erlebt worden sein. Der Prozess kann durch symbolisches Wissen zwar unterstützt oder beschleunigt werden. Die Automatisierung hin zu sensumotorischen Prozessen bedarf aber der Erfahrung. Je dichter das Netz erfahrener Situationen ist, desto sicherer ist die Übertragung auf noch nicht erlebte Konstellationen. Dabei unterscheiden sich ansonsten geometrisch gleiche Situationen bereits, wenn sie bei unterschiedlichen gefahrenen Geschwindigkeiten erlebt werden.

Der Übergang von einer Informationsverarbeitung, die große kognitive Anteile hat, hin zu einer die

mehr und mehr rein sensumotorischer Natur ist, erhöht das Fahrvermögen also einerseits, weil sicherheitskritische Anforderungen, die in der Regel hochdynamisch sind, schneller und präziser ausgeführt werden können. Er erhöht es aber andererseits auch durch Freisetzen von kognitiven Ressourcen, die dann für vorausschauendes Fahren und für das frühzeitige Erkennen von potenziellen Gefahren mit dem Effekt der erhöhten Verkehrssicherheit eingesetzt werden können. Im Laufe dieses Prozesses lernt der Fahrer, potenzielle Gefahren rasch zu erkennen. Dies äußert sich u. a. an effektiven Blickstrategien, die sowohl erfahrungsgelernt aktiv sind als auch reizgeleitet passiv mit Nutzung des peripheren Sichtfeldes. Auch Fahranfänger nutzen das periphere Gesichtsfeld, verwenden die Informationen aber vornehmlich für die Querführungsaufgabe (Kapitel 3.2). Sie fixieren dorthin, wo die zur Querführungsaufgabe notwendige periphere Informationsaufnahme am leichtesten möglich ist. Mit zunehmender Expertise benötigen die Fahrer weniger eindeutige Informationen für die Querführungsaufgabe, was die Freiheit für andere Fixationspunkte und damit zur Erkennung von potenziellen Gefahren eröffnet.

Aus den eben geschilderten Erkenntnissen wurde eine Modellvorstellung auf Basis einer Ressourcenbetrachtung unter dem Gesichtspunkt der Informationsverarbeitung erarbeitet (Kapitel 4.3.4). Ressource ist dabei als Informationsgeschwindigkeit aufgefasst (Informationen pro Zeit). Demnach gibt es drei verschiedene Informationsverarbeitungsebenen: die rein kognitive, die kognitiv-sensumotorische und die rein sensumotorische. In der kognitiven Ebene werden Aufgaben bearbeitet, die keine direkte Verbindung zu motorischen Aktionen haben. Als Beispiel wäre die Navigation oder das Beobachten zur Gefahrenerkennung zu nennen. In der kognitiv-sensumotorischen Ebene arbeiten Kognition und Sensumotorik zur Erfüllung der primären Fahraufgaben der Quer- und Längsführung dauernd und kontinuierlich Hand in Hand. Auf der rein sensumotorischen Ebene hat die Kognition keinen Einfluss. Sensumotorische Ressourcen sind aufgabenbezogen und können durch Übung gesteigert werden, kognitive nicht. Kognitive Ressourcen sind wesentlich kleiner als sensumotorische. Fahranfänger benötigen mehr Kognition zur Befriedigung der kognitiv-sensumotorischen Anforderungen der Fahraufgabe als erfahrene Fahrer, die dadurch mehr kognitive Ressourcen zur Erfüllung der rein kognitiven Aufgabenanforderungen oder für andere Aufgaben haben.

Diese Modellvorstellung kann als Reiter-Pferd-Metapher verdeutlicht werden. In diesem Bild sind die Kognition der Reiter und die Sensumotorik das Pferd. Das Pferd ist größer, stärker und schneller, aber nicht so intelligent wie der Reiter. Beide agieren als symbiotische Einheit. Mit zunehmendem Training kann das Pferd die Aufgaben weitgehend selbstständig durchführen.

Auf Basis der erarbeiteten Modellvorstellungen wurden im zweiten Teil des Berichtes Bedingungen an Längsschnittstudien erarbeitet (Kapitel 5 und Kapitel 6). Dabei mussten im Wesentlichen vier Hauptfragen beantwortet werden: Wieviele Probanden werden benötigt, wie oft und wann sollen Messgrößen erfasst werden, was soll gemessen werden und wie soll gemessen werden?

Im Bericht wurde ausgearbeitet, dass der Kern der Untersuchung durch die Erfassung von Befragungsdaten, durch Verhaltensbeobachtungen im Realverkehr sowie durch Simulatorversuche definiert ist (Kapitel 5). Bei einer Fahrverhaltensanalyse über eine Fahrverhaltensbeobachtung wird über eine bestimmte Zeit beobachtet, wie sich ein Fahrer verhält. Über eine Fahrprobe im realen Verkehr oder eine Untersuchung im Simulator lassen sich Aspekte des Fahrvermögens ableiten. Der große Vorteil von Realversuchen liegt in der ökologischen Validität. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Beurteiler im Sinne einer globalen Beurteilung die Höhe der Fahrkompetenz unmittelbar einschätzen kann. Simulationsversuche sind dann einzusetzen, wenn Reproduzierbarkeit der Situationen, Möglichkeit der experimentellen Manipulation und Konstanzhaltung von Störvariablen angestrebt werden. Simulationsversuche ermöglichen auch eine relativ einfache Erfassung fahrrelevanter Größen. Es ist eine deutlich höhere interne Validität als in Feldstudien zu erreichen (siehe Kapitel 5.2.4).

Der Bedarf an kognitiven Ressourcen und damit der Grad der Automatisierung lassen sich mithilfe von Mehrfachaufgaben untersuchen (Kapitel 5.4). Auch mit Blickbewegungsmessungen lassen sich Veränderungen im Informationsverarbeitungsprozess im Laufe der Fahrkompetenzerhöhung erfassen (Kapitel 5.7). Blickbewegungsmessungen wie auch Mehrfachaufgaben sind sowohl im Feld als auch im Simulator möglich. Durch unterschiedliche Befragungsmethoden (Interview, Fragebogen, Fahrtagebuch) ist die Erfassung mutmaßlicher Einflussfaktoren (Personenmerkmale, Fahrkontext, Verkehrskon-

text) und von Beinahe-/Unfällen möglich (Kapitel 5.3).

Im Bericht wurde gezeigt, dass die Fahrleistung eine entscheidende Größe im Verlauf der Fahrkompetenzerhöhung ist. Wesentlich in einer Längsschnittstudie ist deshalb die möglichst differenzierte Erfassung von Expositionsdaten unterschiedlicher Verkehrskontexte. Eine elektronische Fahrexpositionserfassung kann da sehr hilfreich sein. Wichtig sind aber auch Fahrtagebücher oder regelmäßige Befragungen nach erfahrenen Situationen, üblichen Verkehrskontexten.

Auf Basis der ausgearbeiteten Möglichkeiten zur Messung von Größen, die zur Erfassung der Fahrkompetenz notwendig sind (Kapitel 5), wurden im Bericht zwei unterschiedlich komplexe Designs für Längsschnittstudien mit Fahranfängern erarbeitet (Kapitel 6). Die Konzepte gehen von einer Versuchspersonenanzahl von ca. 350 aus (Kapitel 6.1.2). Hinzukommen etwa 50 erfahrene Fahrer im Alter von 30 bis 45 Jahren. Diese Kontrollgruppe ermöglicht die Erfassung des Einflusses der Testverfahren auf die Probanden sowie den Kompetenzaufbau durch sich wiederholende Praxis- und Zeiteffekte. Die Messungen beginnen jeweils in der Fahrschulung, da erwartet wird, dass die Fahrkompetenzentwicklung bereits zu diesem Zeitpunkt beginnt. Der Abstand der Messungen wird durch die erwarteten Änderungen der Fahrkompetenz definiert, die wiederum stark an die Fahrpraxis gekoppelt sind. Bei Annahme einer jeweiligen Halbierung der durch fehlende Fahrkompetenz verursachten Unfallwahrscheinlichkeit resultieren daraus Erhebungspunkte, die auf ca. 2.280 km, ca. 6.430 km und ca. 20.620 km Fahrleistung nach Beginn des selbstständigen Fahrens angesetzt wurden (Kapitel 6.1.3). Hinzu kommt ein Erhebungspunkt während der Fahrausbildung.

In einem Konzept für eine Basisstudie (Kapitel 6.4) werden in vier Erfassungspunkten sowohl kognitiv-sensumotorische als auch rein kognitive Fähigkeiten über Expertenurteile in Realfahrten erhoben. Fragebogen erfassen zeitlich stabile Personenmerkmale und Merkmale des Verkehrskontextes. Im Fahrtagebuch machen die Probanden Angaben zu variablen Merkmalen des Verkehrskontextes und zu Personenmerkmalen nach jeder Fahrt. Eine Fahrverhaltensmessung, die an das Fahrtagebuch angeschlossen werden kann, misst automatisch die fahrzeugbezogenen Mobilitätsgewohnheiten des Probanden.

Der zweite Studienvorschlag (Kapitel 6.5) baut auf dem ersten auf und erweitert diesen um die Erfassungen in einer Simulatorumgebung. Außerdem wird der Untersuchungszeitraum um einen Erfassungspunkt erweitert. Wird der Aufwand für Entwicklung und Durchführung einer Simulatoruntersuchung betrieben, bietet es sich an, gleichzeitig kognitive Fahrkompetenzen unter Laborbedingungen zu messen. Konfundierende Drittvariablen, wie sie in der Erfassung der kognitiven Fähigkeiten durch die Expertenbewertung in Realfahrten bestehen, können unter Laborbedingungen weitgehend ausgeschlossen werden. Kognitiv-sensumotorische Fähigkeiten werden durch Expertenbewertung gemessen. Blickbewegungsanalysen werden durchgeführt. Fragebogen, ein Fahrtagebuch und eine Fahrverhaltensmessung erfassen Personenmerkmale und Merkmale des Verkehrskontextes sowie Expositionsdaten.

## Literatur

- ADAC (2016): Vergleich des Unfallgeschehens nach Straßenarten. Verfügbar unter [https://www.adac.de/\\_mmm/pdf/statistik\\_4\\_5\\_unfallgeschehen\\_strassenarten\\_42780.pdf](https://www.adac.de/_mmm/pdf/statistik_4_5_unfallgeschehen_strassenarten_42780.pdf). (Letzter Zugriff am 5.12.2016)
- ANDERSON, J. R. (2001): Kognitive Psychologie. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
- ASENDORPF, J. B. & NEYER, F. J. (2012): Psychologie der Persönlichkeit. Berlin: Springer
- ATKINSON, R. C. & SHIFFRIN, R. M. (1969): Storage and retrieval processes in short-term memory. *Psychological Review*, 76, pp.179-193
- BAHR, M. (2016): Persönliche Kommunikation, Oktober 2016
- BALTES, P. B.; MAYER, K. U.; HELMCHEN, H. & STEINHAGEN-THIESSEN, E. (1996): Die Berliner Altersstudie BASE: Überblick Einführung. In: K. U. MAYER & P. B. BALTES (Hrsg.). Die Berliner Altersstudie (S. 21-54). Berlin: Akademie Verlag
- BANDURA, A. (1991): Self-regulation of motivation through anticipatory and self-regulatory mechanisms. In: R. A. DIENSTBIER (Hrsg.): Perspectives on motivation. Nebraska symposium on motivation (Vol. 38, pp. 69-164). Lincoln: University of Nebraska Press
- BARTMANN, A. (1995): Zur Erfassung von kognitiver Beanspruchung beim Führen von Kraftfahrzeugen. Eine Feldstudie. Dissertation, Aachen: Shaker
- BATES, L. J.; DAVEY, J.; WATSON, B.; KING, M. J. & ARMSTRONG, K. (2014): Factors contributing to crashes among young drivers. *Sultan Qaboos university medical journal*, 14(3), pp. 297-305
- BENES, F. M.; TURTLE, M.; KHAN, Y. & FAROL, P. (1994): Myelination of a key zone in the hippocampal formation occurs in the human brain during childhood, adolescence, and adulthood. *Archives of General Psychiatry*, 51, pp. 477-484
- BERNOTAT, R. (1964): Der Mensch als Element des Flugführungssystems. *Luftfahrttechnik, Raumfahrttechnik*, 10(3), S. 66-68
- BERNOTAT, R. (1970): Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, 13, S. 353-377
- BIZZI, E. (1980): Central and Peripheral Mechanisms in Motor Control. In: E. G. STELMACH & J. REQUIN (Hrsg.): *Tutorials in Motor Behavior* (S. 131-137). Amsterdam: North-Holland Publishing
- BORTZ, J. & DÖRING, N. (1995): Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler. (2. Aufl.). Berlin: Springer
- BORTZ, J. & SCHUSTER, C. (2010): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Berlin: Springer
- Brand Eins (2014): Timo Boll im Porträt. Der Mann, der das Spiel liest. Ausgabe 04/2014 – Schwerpunkt Konzentration. Hamburg: brand eins Verlag
- Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur – BMVI (2011): Verkehrssicherheitsprogramm 2011. Hausdruckerei des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur
- BROWN, I. D. & GROEGER, J. A. (1988): Risk perception and decision taking during the transition between novice and experienced driver status. *Ergonomics*, 31, S. 585-597
- BURGARD, E. (2005): Fahrkompetenz im Alter. Die Aussagekraft diagnostischer Instrumente bei Senioren und neurologischen Patienten. Disser-

- tation. Digitale Hochschulschriften der Ludwig-Maximilians-Universität München
- BURGARD, E. & KISS, M. (2008): Messung fahrrelevanter Kompetenzen im Alter – die Aussagekraft testpsychologischer Untersuchungen für das Autofahren. In: B. SCHLAG (Hrsg.): Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter (S. 301-322). Schriftenreihe Mobilität und Alter der Eugen-Otto Butz- Stiftung, Band 03. Köln: TÜV-Media Verlag
- CASEY, B. J.; GETZ, S. & GALVAN, A. (2008): The adolescent brain. *Developmental Review*, 28, pp. 62-77
- CHAN, E.; PRADHAN, A. K.; POLLATSEK, A.; KNODLER, M. A. & FISHER, D. L. (2010): Are driving simulators effective tools for evaluating novice drivers' hazard anticipation, speed management, and attention maintenance skills? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 13(5), pp. 343-353
- COSTA, P. T. & McCRAE, R. R. (1992): Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI-R) and NEO Five Factor Inventory (NEO-FF-I). Professional Manual. Odessa: Psychological Assessment Resources Inc.
- CRUNDALL, D. E. & UNDERWOOD, G. (1998): Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 41(4), pp. 448-458
- CURRY, A. E.; PFEIFFER, M. R.; DURBIN, D. R.; ELLIOTT, M. R. & KIM, K. H. (2014): Young Driver Crash Rates in New Jersey by Driving Experience, Age, and License Phase. AAA Washington, D.C.: Foundation for Traffic Safety
- DAUGS, R. (1993): Motorische Kontrolle als Informationsverarbeitung: Vom Auf- und Niedergang eines Paradigmas. In: P. BLASER, K. WITTE & C. STUCKE (Hrsg.): Steuer- und Regelvorgänge der menschlichen Motorik (S. 13-37). Sankt Augustin: Academia Verlag
- DEERY, H. A. (1999): Hazard and risk perception among young novice drivers. *Journal of Safety Research*, 30(4), pp. 225-236
- DONGES, E. (1982): Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie*, 2, S. 183-190
- DONGES, E. (2009): Fahrerhaltensmodelle. In: H. WINNER, S. HAKULI & G. WOLF (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort (S. 15-23). Wiesbaden: Vieweg & Teubner
- DORNHÖFER, S. & PANNASCH, S. (2000): Risky Business: Der Gefahr ins Auge geblickt! Verfügbar unter <https://tu-dresden.de/mn/psychologie/applied-cognition/ressourcen/dateien/publikationen/pdf/dornhoefer2000?lang=de> (Letzter Zugriff am 5.12.2016)
- DVW (2015): Begleitetes Fahren ab 17. Verfügbar unter <http://www.deutsche-verkehrswacht.de/home/angebote/junge-fahrer/begleitetes-fahren-ab-17.html>. (Letzter Zugriff am 17.7.2015)
- ELLINGHAUS, D.; SCHLAG, B. & STEINBRECHER, J. (1990): Leistungsfähigkeit und Fahrverhalten älterer Kraftfahrer. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 80. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- EMBERGER, G. & PRINZ, A. (2013): Rennfahrer Training. Körperliche und mentale Optimierung im Motorsport. Königswinter: Heel
- ENGEL, U. & REINECKE, J. (1994): Panelanalyse: Grundlagen, Techniken, Beispiele. Berlin: Walter de Gruyter
- ENGELN, A. & SCHLAG, B. (2008): Kompensationsstrategien im Alter. In: B. SCHLAG (Hrsg.): Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter (Vol. 3, S. 255-273). Köln: TÜV Media
- ENGIN, T.; KOCHERSCHIED, K.; FELDMANN, M. & RUDINGER, G. (2010): Entwicklung und Evaluation eines Screening-Tests zur Erfassung der Fahrkompetenz älterer Kraftfahrer (SCREEMO). Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 210. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- ENGSTRÖM, J.; JOHANSSON, E. & ÖSTLUND, J. (2005): Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), pp. 97-120
- ENKE, K. (1966): Überlegungen zum Zusammenwirken von Fahrzeuglenker und Automobil. *Automobil-Industrie*, 1, S. 37-44

- FASTENMEIER, W. (1995): Autofahrer und Verkehrssituation – Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH
- FASTENMEIER, W. & GSTALTER, H. (2008): Anforderungsgerechtes Autofahren im Alter. In: B. SCHLAG (Hrsg.): Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter (Vol. 3, S. 37-64). Köln: TÜV Media
- FASTENMEIER, W. & GSTALTER, H. (2014): Fahreignung älterer Kraftfahrer im internationalen Vergleich. Literaturrecherche, Analyse und Bewertung. Forschungsbericht 25. Berlin: Unfallforschung der Versicherer UDV
- FISHER, J. A. & GALER, I. A. R. (1984): The effects of decreasing the radius of curvature of convex external rear view mirrors upon drivers' judgements of vehicles approaching in the rearward visual field. *Ergonomics*, 27, pp. 1209-1224
- FLANAGAN, M. J. & SIVAK, M. (2006): Distance cues and fields of view in rear vision systems. SAE Technical Paper, Series No. 2006-01-947. Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers
- FLEMISCH, F. O.; SCHOMERUS, J.; KELSCH, J. & SCHMUNTZSCH, U. (2005): Vom Fahrer zum Reiter? Zwischenbericht 2005 auf dem Weg von der H-Metapher zum H-Mode für Bodenfahrzeuge. In: VDI-Berichte. Fahrer im 21. Jahrhundert (Vol. 1919, S. 63-74). Braunschweig: VDI-Verlag GmbH
- FORSYTH, E. (1992a): Cohort study of learner and novice drivers. Part 2: Attitudes, opinions and the development of driving skills in the first 2 years. TRL Report Nr. 372. Wokingham, Berkshire: Transport Research Laboratory
- FORSYTH, E. (1992b): Cohort study of learner and novice drivers. Part 1: Learning to drive and performance in the driving test. TRL Report Nr. 338. Wokingham, Berkshire: Transport Research Laboratory
- FORSYTH, E.; MAYCOCK, G. & SEXTON, B. (1995): Cohort study of learner and novice drivers. Part 3: Accidents, offences and driving experience in the first three years of driving. TRL Report Nr. 111. Wokingham, Berkshire: Transport Research Laboratory
- FULLER, R. (2005): Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 37, pp. 461-472
- FUNK, W.; SCHNEIDER, A.; ZIMMERMANN, R. & GRÜNINGER, M. (2012): Mobilitätsstudie Fahranfänger. Entwicklung der Fahrleistung und Autobenutzung am Anfang der Fahrkarriere. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 220. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- GARDNER, M. & STEINBERG, L. (2005): Peer influence on risk taking, risk preference, and risky decision making in adolescence and adulthood: an experimental study. *Developmental Psychology*, 41, pp. 625-35
- GEISER, G. (1985): Mensch-Maschine-Kommunikation im Kraftfahrzeug. *ATZ Automobiltechnische Zeitschrift*, 87(2), S. 77-84
- GENSCHOW, J. & STURZBECHER, D. (2014): Verkehrssinn – das „Missing Link“ einer sicherheitswirksamen Fahranfängervorbereitung? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 60(4), S. 207-213
- GENSCHOW, J.; STURZBECHER, D. & WILLMESLENZ, G. (2013): Fahranfängervorbereitung im internationalen Vergleich. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 234. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- GIESA, H. G. & TIMPE, K.-P. (2000): Technisches Versagen und menschliche Zuverlässigkeit: Bewertung der Verlässlichkeit in Mensch-Maschine-Systemen. In: K.-P. TIMPE, T. JÜRGENSOHN & H. KOLREP (Hrsg.). Mensch-Maschine-Systemtechnik (S. 63-106). Düsseldorf: Gabler-Verlag
- GLASER, W. R.; WASCHULEWSKI, H.; GLASER, M. O. & SCHMID, D. (2013): Ein Verfahren zur Messung der Fahrsicherheit im Realverkehr entwickelt am Begleiteten Fahren. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 235. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- GLENDON, A. I. (2011): Neuroscience and young drivers. *Handbook of traffic psychology*, pp. 109-125
- GLITSCH, E.; BORNEWASSER, M.; STURZBECHER, D.; BREDOW, J.; KALTENBAEK, J. & BUETTNER, M. (2013): Intervention für punkte-

- auffällige Fahrer – Konzeptgrundlagen des Fahr-  
eignungsseminars. Teile 1 bis 3. Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 241.  
Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- GRATTENTHALER, H.; KRÜGER, H.-P. &  
SCHOCH, S. (2009): Bedeutung der Fahrpraxis  
für den Kompetenzerwerb beim Fahrenlernen.  
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen,  
Heft M 201. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- GRAYSON, G. B.; MAYCOCK, G.; GROEGER, J.  
A.; HAMMOND, S. M. & FIELD, D. T. (2003):  
Risk, Hazard Perception and Perceived Control.  
TRL Report Nr. 560. Crowthorne, Berkshire:  
Transport Research Laboratory
- GROEGER, J. A. & BRADY, S. J. (2004): Differen-  
tial effects of formal and informal driver training.  
Road Safety Research Report Nr. 42. London:  
Department for Transport
- HACKENFORT, M. (2007): Entwicklung und Evalua-  
tion eines zielgruppenspezifischen Präventions-  
programms zur Verringerung von Weegeunfällen.  
Dissertation, Universität Duisburg-Essen
- HACKER, W. (1970): Allgemeine Arbeits- und Inge-  
nieurspsychologie. Berlin: VEB Deutscher Ver-  
lag der Wissenschaften
- HALL, J. & WEST, R. (1996): The role of formal  
instruction and informal practice in learning to  
drive. *Ergonomics*, 39, pp. 693-706
- HARRISON, W. A. (1999): The role of experience in  
learning to drive: a theoretical discussion and  
investigation of the experiences of learner  
drivers over a two-year period. Report General  
Report Nr. 156. Clayton, Victoria: Monash  
University
- HARTWICH, E. (1971): Längsdynamik und Folge-  
bewegung des Straßenfahrzeugs und ihr Einfluß  
auf das Verhalten der Fahrzeugschlange. Dis-  
sertation, TH Darmstadt
- HATAKKA, M.; BAUGHAN, E.; GOLDENBELD, C.;  
GREGERSEN, C.; GROOT, N. P.; SIEGRIST, H.  
& WILLMES-LENZ, S. (Hrsg.) (2004): BASIC  
driver training: new models. EU project, Final  
report. Turku: University of Turku, Department of  
Psychology
- HATAKKA, M.; KESKINEN, E.; GREGERSEN, N.  
P.; GLAD, A. & HERNETKOSKI, K. (2002): From  
control of the vehicle to personal self-control;  
broadening the perspectives to driver education.  
*Transportation Research Part F: Traffic  
Psychology and Behaviour*, 5(3), pp. 201-215
- HAUTZINGER, H.; PFEIFFER, M. & SCHMIDT, J.  
(2012): Entwicklung eines methodischen Rah-  
menkonzepts für Verhaltensbeobachtung im flie-  
ßenden Verkehr. Berichte der Bundesanstalt für  
Straßenwesen Heft M 227. Bremerhaven: Wirt-  
schaftsverlag NW
- HERING, K. (1999): Situationsabhängiges Verfah-  
ren zur standardisierten Messung der kognitiven  
Beanspruchung im Straßenverkehr. Disserta-  
tion, Aachen: Shaker
- HEUER, H. (2016): Psychomotorik. Online-  
Lexikon der Psychologie. Verfügbar unter  
<http://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/>  
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.  
(Letzter Zugriff am 10.12.2016)
- HOLTE, H. (2006): Unfälle per 1 Million Kilometer.  
Was ein fahrleistungsbezogener Risikowert  
besagt (und was nicht). *Zeitschrift für Verkehrs-  
sicherheit*, 52, pp. 115-116
- HOLTE, H. (2012): Einflussfaktoren auf das Fahr-  
verhalten und das Unfallrisiko junger Fahrer-  
innen und Fahrer. Berichte der Bundesanstalt für  
Straßenwesen, Heft M 229. Bremerhaven: Wirt-  
schaftsverlag NW
- IVERS, R. Q.; BLOWS, S. J.; STEVENSON, M. R.;  
NORTON, R. N.; WILLIAMSON, A.; EISEN-  
BRUCH, M. & WANG, J. (2006): A cohort study  
of 20,822 young drivers: the DRIVE study  
methods and population. *Injury Prevention*,  
12(6), pp. 385-389
- JAHN, G.; OEHME, A.; KREMS, J. F. & GELAU, C.  
(2005): Peripheral detection as a workload mea-  
sure in driving: Effects of traffic complexity and  
route guidance system use in a driving study.  
*Transportation Research Part F* 8, pp. 255-275
- JOHANNSEN, G. (1976): Preview on Man-Vehicle  
Control Session. In: T. B. SHERIDAN & G.  
JOHANNSEN (Hrsg.): *Monitoring Behavior and  
Supervisory Control* (S. 3-12). New York: Plenum  
Press
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983): *Mental models*.  
Cambridge: Cambridge University Press

- JUNG, R. (1998): Exploratorische Untersuchung der Identifizierbarkeit menschlichen Bremsverhaltens. Die „Handschrift“ des Bremsens. Diplomarbeit, Institut für Fahrzeugtechnik, Technische Universität Berlin
- JÜRGENSOHN, T. (1997): Hybride Fahrermodelle. Dissertation, Sinzheim: Pro Universitate
- JÜRGENSOHN, T. (2007): Control Theory Models of the Driver. In: P.C. CACCIABUE (Hrsg.): Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments (pp. 272-292). London: Springer
- JÜRGENSOHN, T. & ALMS, R. (Hrsg.) (2015): Fahrermodellierung in Wissenschaft und Wirtschaft. 5. Berliner Fachtagung Fahrermodellierung, 11. Juni 2015. Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 (Mensch-Maschine-Systeme), Düsseldorf: VDI Verlag
- JÜRGENSOHN, T.; JUNG, R. & WILLUMEIT, H.-P. (1997): Die „Handschrift“ des Lenkens. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 4, S. 216-219
- JÜRGENSOHN, T. & KUPSCHICK, S. (2008): Parametergeregelte Fahrermodelle für Standardmanöver. In: T. JÜRGENSOHN & H. KOLREP (Hrsg.): Fahrermodellierung in Wissenschaft und Wirtschaft (S. 15-34). Düsseldorf: VDI-Verlag
- JÜRGENSOHN, T.; NECULAU, M. & WILLUMEIT, H.-P. (1991): Visual scanning pattern in curve negotiation. In: A. G. GALE (Hrsg.): Vision in Vehicles III (S. 171-178). Amsterdam: Elsevier
- KERR, G. K. (1992): Visuomotor Control in Goal-Directed Movements. In: J. J. SUMMERS (Hrsg.): Approaches to the Study of Motor Control and Learning (S. 253-287). Amsterdam: Elsevier
- KESKINEN, E.; HATAKKA, M.; KATILA, A.; LAAPOTTI, S. & PERÄÄHO, M. (1999): Driver training in Finland. IATSS Research, 23(1), pp. 78-84
- KLAUER, S. G.; DINGUS, T. A.; NEALE, V. L.; SUDWEEKS, J. D. & RAMSEY, D. J. (2006): The impact of driver inattention on near-crash/crash risk: An analysis using the 100-car naturalistic driving study data. Washington, D.C.: National Highway Traffic Safety Administration
- KLEBELSBERG, D. (1982): Verkehrspsychologie. Berlin: Springer
- KNAPPE, G.; KEINATH, A. & MEINECKE, C. (2006): Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegüte im Kontext der Fahrsimulation. MMI-Interaktiv, 11, S. 3-13
- KOLREP, H.; JÜRGENSOHN, T.; OEHME, A. & ROSE, A. (2004): Untersuchung über Langzeitveränderung des Blick- und Fahrverhalten bei Benutzung von SWA und LDW in Abhängigkeit des Straßentyps und des Fahreralters. Unveröffentlichter Forschungsbericht für die AUDI AG
- KONRAD, K.; FIRK, C. & UHLHAAS, P. J. (2013): Hirnentwicklung in der Adoleszenz. Deutsches Ärzteblatt International, 110(25), S. 425-431
- KOTSCH, P.; JÜRGENSOHN, T. & PLATHO, C. (2015): Elektronischer Begleiter für Fahranfänger. Bericht im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unveröffentlichtes Manuskript
- KRAMER, U. & ROHR, G. (1982): A Model of Driver Behaviour, Ergonomics, 25(10), pp. 891-907
- KROMER, M. (2007): Veränderungen von Gedächtnisrepräsentationen im motorischen Lernprozess: Theoretische Überlegungen und eine Pilotstudie zum Konzept impliziter Bewegungsrepräsentation. Dissertation, Deutsche Sporthochschule Köln
- KRÖSKE, B. & TEICHERT, C. (2015): Befunde zur Sicherheitswirksamkeit von Fahrsicherheitstrainings. Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 61(2), S. 75-82
- KRÜGER, H.-P. & VOLLRATH, M. (1996): Temporal analysis of speech patterns in the real world using the Logoport. In: J. FAHRENBERG & M. MYRTEK (Hrsg.): Ambulatory Assessment (pp. 101-113). Seattle: Hogrefe & Huber
- KUBITZKI, J. (2014): Jung und urban. Sicherheit und Mobilität 18-24-Jähriger im motorisierten Straßenverkehr. München: Allianz Deutschland AG
- LANGFORD, J.; METHORST, R. & HAKAMIES-BLOMQUIST, L. (2006): Older drivers do not have a high crash risk. A replication of low mileage bias. Accident Analysis & Prevention, 38(3), pp. 574-578
- LANGWIEDER, K. (1999): Das Unfallrisiko junger Fahrer – Defizite des Fahrverhaltens und Beeinflussung durch das Fahrzeug. 3. Verkehrssicherheitskonferenz, 18./19. August 1999, Potsdam

- LAUER, M. (2016): Persönliche Kommunikation. Dezember 2016
- LEHRL, S. & FISCHER, B. (1988): The basic parameters of human information processing: their role in the determination of intelligence. *Personality and Individual Differences*, 9, pp. 883-896
- LEHRL, S.; ZIPP, A.; SCHWARZFISCHER, C. & EISSING, G. (2016): Kurztest für allgemeine Intelligenz (KAI). In: G. EISSING (Hrsg.): *Arbeitsberichte der Professur Gesundheitsförderung und Verbraucherbildung*, Nr. 24/2016, Technische Universität Dortmund
- LEUTNER, D.; BRÜNKEN, R. & WILLMES-LENZ, G. (2009): Fahren lernen und Fahrausbildung. In: H.-P. KRÜGER (Hrsg.): *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D: Praxisgebiete, Serie VI Verkehrspsychologie, Bd. 2 Anwendungsfelder der Verkehrspsychologie* (S. 1-79). Göttingen: Hogrefe
- MACIEJ, J. (2012): Ablenkung durch verbale Kommunikation beim Fahren in seinen verschiedenen Variationen. Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
- MALONE, S. (2012): Computerbasierte Messung von Teilaspekten der Fahrkompetenz: Besonderheiten des Expertiseerwerbs beim Autofahren. Dissertation, Universität des Saarlandes, Saarbrücken
- MALONE, S.; BIERMANN, A.; BRÜNKEN, R. & BUCH, S. (2012): Neue Aufgabenformate in der Theoretischen Fahrerlaubnisprüfung. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*, Heft M 222. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- MAYCOCK, G. & FORSYTH, E. (1997): Cohort study of learner and novice drivers. Part 4. Novice driver accident in relation to methods of learning to drive, performance in the driving test and self assessed driving ability and behavior. *TRL Report Nr. 275*. Wokingham, Berkshire: Transport Research Laboratory
- MAYHEW, D. R.; DONELSON, A. C.; BEIRNESS, D. J. & SIMPSON, H. M. (1986): Youth, alcohol and relative risk of crash involvement. *Accident Analysis & Prevention*, 18(4), pp. 273-287
- MCCARTT, A. T.; SHABANOVA, V. I. & LEAF, W. A. (2003): Driving experience, crashes and traffic citations of teenage beginning drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), pp. 311-320
- McKNIGHT, A. J. & ADAMS, B. B. (1970): Driver education task analysis Volume I-II, task descriptions, task analysis methods. Final Report DOT-HS-800-367, Human Resources Research Organization, Alexandria, Virginia, USA
- McKNIGHT, A. J. & HUNDT, A. G. (1971): Driver education task analysis Volume III, instructional objectives. Final Report DOT-HS-800-368. Human Resources Research Organization, Alexandria, Virginia, USA
- McRUER, D. T. & WEIR, D. H. (1969): Theory of Manual Vehicular Control. *IEEE Transactions on man-machine systems MMS*, 10, pp. 257-291
- McRUER, D. T.; WEIR, D. H. & KLEIN, R. H. (1977): New Results in Driver Steering Control Models. *Human Factors*, 19(4), pp. 381-397
- MECHLING, H. & MUNZERT, J. (Hrsg.) (2003): *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre*. Schorndorf: Hofmann
- MEINEL, K. & SCHNABEL, G. (1998): *Bewegungslehre – Sportmotorik*. Berlin: Sportverlag
- 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 (Ed.): *Human Behavior and Traffic Safety* (pp. 485-524). New York: Plenum Press
- MiD 2008: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2010): *Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends*. Bonn, Berlin
- MiD 2008-Daten (2010): Datenteil, infas/DLR *Mobilität in Deutschland 2008*
- MILLAR, M. G. & TESSER, A. (1986): Effects of affective and cognitive focus on the attitude behavior relation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51(2), pp. 270-276
- MOEBIUS, J. (1986): Untersuchungen zur Spurführung eines Fahrzeugs auf Grundlage der Auswertung des Fahrerdisplays. Dissertation, Technische Universität Berlin
- MÖLLERS, J. (2015): *Psychomotorische Förderung in der Heilpädagogik: Hilfe durch Bewegung*. Stuttgart: Kohlhammer Verlag

- MONÁRREZ-ESPINO, J.; HASSELBERG, M. & LAFLAMME, L. (2006): First year as a licensed car driver: Gender differences in crash experience. *Safety Science*, 44, pp. 75-85
- MOURANT, R. R. & ROCKWELL, T. H. (1972): Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors*, 14(4), pp. 325-335
- MOHS, C.; PLATHO, C.; KOLREP-ROMETSCH, H. & JÜRGENSOHN, T. (2011): Integrative Skala für die Selbsteinschätzung und Expertenbewertung von Fahrerzuständen zur Auslegung von Müdigkeits-Warnsystemen. In: S. SCHMID, M. ELEPFANDT, J. ADENAUER & A. LICHTENSTEIN (Hrsg.): Reflexionen und Visionen der Mensch-Maschine-Interaktion – Aus der Vergangenheit lernen, Zukunft gestalten. 9. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin, 5.-7. Oktober 2011. Fortschritt-Berichte VDI, Düsseldorf: VDI Verlag, S. 56-57
- MUNZERT, J. (1989): Flexibilität des Handelns. Theoretische Überlegungen und experimentelle Untersuchungen zum Konzept des Motorikschemas. Dissertation, Köln: bsp-Verlag
- NÄÄTANEN, R. & SUMMALA, H. (1976): Road user behavior and traffic accidents. Amsterdam: North-Holland
- NECULAU, M.; JÜRGENSOHN, T. & WILLUMEIT, H.-P. (1990): Model of the driver lateral control behaviour and scanning pattern. Proceedings of the 9<sup>th</sup> European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control, Varese, pp. 275-282
- NEUBAUER, A. (2013): Intelligenz und Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung. Heidelberg: Springer-Verlag
- NEUKUM, A. & GRATTENTHALER, H. (2006): Kinetose in der Fahrsimulation (Projekt: Simulation von Einsatzfahrten im Auftrag des Präsidiums der Bayerischen Bereitschaftspolizei, Abschlussbericht – Teil II). Würzburg: Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg
- NEWELL, A. (1973): Production Systems: Models of Control Structure. In: W.G. CHASE (Hrsg.): Visual Information Processing (pp. 463-526), New York: Academic Press
- NEWELL, A. & SIMON, H. A. (1972): Human Problem Solving. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Inc.
- NOBLE, C. E. (1968): The learning of psychomotor skills. *Annual review of psychology*, 19(1), pp. 203-250
- O'DONNELL, R. D. & EGGEMEIER, F. T. (1986): Workload Assessment Methodology. In: K. BOFF, L. KAUFMAN & J. THOMAS (Hrsg.): Handbook of Perception and Human Performance, Vol. II: Cognitive Processes and Performance (pp. 42/1-42/9). New York: Wiley Interscience
- OEHME, A.; KOLREP, H.; PERSON, F. & BYL, C. (2014): Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 95. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- PASHLER, H. (1992): Attentional limitations in doing two tasks at the same time. *Current Directions in Psychological Science*, 2, pp. 44-48
- PEW, R. W. (1974): Human perceptual motor performance. In: B. H. KANTOWITZ (Hrsg.): Human information processing: Tutorials in performance and cognition (pp. 1-39). Hillsdale: Erlbaum
- POLANYI, M. (1966): The Tacit Dimension. Chicago: University of Chicago Press
- POSCHADEL, S.; BOENKE, D.; BLÖBAUM, A. & RABCZINSKI, S. (2012a): Ältere Autofahrer: Erhalt, Verbesserung und Verlängerung der Fahrkompetenz durch Training. Schriftenreihe Mobilität und Alter der Eugen-Otto Butz-Stiftung, Band 06. Köln: TÜV Media GmbH
- POSCHADEL, S.; FALKENSTEIN, M.; RINKENAUER, G.; MENDZHERITSKIY, G.; FIMM, B.; WORRINGER, B.; ENGIN, T.; KLEINEMAS, U. & RUDINGER, G. (2012b): Verkehrssicherheitsrelevante Leistungspotenziale, Defizite und Kompensationsmöglichkeiten älterer Autofahrer. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 231. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- POSNER, M. I. & PETERSEN, S. E. (1990): The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, pp. 25-42

- POSNER, M. I. & ROTHBART, M. K. (1992): Attentional mechanisms and conscious experience. In: A. D. MILNER & M. D. RUGG (Hrsg.): *The neuropsychology of consciousness* (pp. 91-111). New York: Academic Press
- PRADHAN, A.; SIMONS-MORTON, B.; LEE, S. & KLAUER, S. (2011): Hazard perception and distraction in novice drivers: effects of 12 months driving experience. *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, 27.-30.06.2011. Lake Tahoe, California
- PREUSSER, D. F. (2002): BAC and fatal crash risk. In: D. R. MAYHEW & C. DUSSAULT (Hrsg.): *Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety*, 04.-09.08.2002, Montreal, Canada
- PROKOP, G. (2001): Modeling human vehicle driving by model predictive online optimization. *Vehicle System Dynamics*, 35(1), pp. 19-53
- QUIMBY, A. R.; MAYCOCK, G.; PALMER, C. & BUTTRESS, S. (1999): The factors that influence a driver's choice of speed: a questionnaire study. *TRL Report Nr. 325*. Wokingham, Berkshire: Transport Research Laboratory
- RASMUSSEN, J. (1982): Human errors: A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4, pp. 311-33
- RASMUSSEN, J. (1983): Skills, rules, knowledge – signal, signs and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 13(3), pp. 257-267
- REASON, J. T. (1990): *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press
- REASON, J., MANSTEAD, A., STRADLING, S., BAXTER, J., & CAMPBELL, K. (1990): Errors and violations on the roads: a real distinction? *Ergonomics*, 33(10-11), pp. 1315-1332
- REICHELT, W. (1990): Ein adaptives Fahrermodell zur Bewertung der Fahrdynamik von PKW in kritischen Situationen. Dissertation, Technische Universität Braunschweig
- ROSE, A. (2006): Unterschiede physiologischer Indikatoren des Fahrerzustandes zwischen Real- und Simulatorfahrt. Dissertation, Düsseldorf: VDI-Verlag
- RÖßGER, E.; ZEHLE, H. & WERNICKE, J. (1962): Vorgang und Terminologie der Raumfahrzeugführung. *Luffahrttechnik*, 8, S. 208
- ROTH, K. & SAHRE, E. (1990): Der Innenaspekt: Die prozeßorientierte Betrachtungsweise. In: P. RÖTHIG & S. GRÖSSING (Hrsg.): *Bewegungslehre: Kursbuch für die Sporttheorie* (S. 15-29). Wiesbaden: Limpert
- RÖTTING, M. (1999): Typen und Parameter von Augenbewegungen. In: M. RÖTTING & K. SEIFERT (Hrsg.): *Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik* (S. 1-19). Sinzheim: Pro universitate Verlag
- ROWE, R.; MAUGHAN, B.; GREGORY, A. M. & ELEY, T. C. (2013): The development of risky attitudes from pre-driving to fully-qualified driving. *Injury Prevention*, 19(4), pp. 244-249
- SAGBERG, F. (2000): Unfallrisiko junger Fahrer: Wirkung einer 16-Jahresgrenze für den Fahrpraxiserwerb mit Pkw (auf norwegisch). *TØI-Bericht 498/2000*, Oslo: Transportøkonomisk institutt
- SCHACK, T. (2002): *Kognitive Architektur von Bewegungshandlungen*. Habilitationsschrift, Köln
- SCHADE, F.-D. (2001): Daten zur Verkehrsbewährung von Fahranfängern. Reanalyse von Rohdaten der Untersuchung von Hansjosten, E., & Schade, F.-D. (1997): *Legalbewährung von Fahranfängern*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 71. Flensburg: Kraftfahrt-bundesamt
- SCHADE, F.-D., & HEINZMANN, H.-J. (2011): Sicherheitswirksamkeit des Begleiteten Fahrens ab 17. Summative Evaluation. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 218*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- SCHÄFER, F. R. (2004): Generalized feedback control and application to vehicle path following control. Dissertation, Technische Universität Berlin
- SCHLAG, B. (1994): Fahrverhalten älterer Autofahrer/innen. In: U. TRÄNKLE (Hrsg.): *Autofahren im Alter* (S. 161-172). Köln: Verlag TÜV Rheinland.

- SCHLAG, B.; ELLINGHAUS, D. & STEINBRECHER, J. (1986): Risikobereitschaft junger Fahrer. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft M 58, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- SCHLICK, C. M.; BRUDER, R. & LUCZAK, H. (2010): Arbeitswissenschaft. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer
- SCHMENK, B. A. (2003): Räumliche Aufmerksamkeitsausrichtung und Alertness: Interaktion zweier Aufmerksamkeitsnetzwerke? Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
- SCHMIDT, R. A. (1975): A schema theory of discrete motor-skill learning. *Psychological Review*, 82, pp. 225-260
- SCHMIDT, R. A. (1988): Motor control and learning. Illinois: Human Kinetics Publishers
- SCHMIDT, S. & PETERMANN, F. (2009): ADHS-Screening für Erwachsene (ADHS-E). Frankfurt: Pearson Assessment
- SCHULZE, H. (1999): Lebensstil, Freizeitstil und Verkehrsverhalten 18- bis 34-jähriger Verkehrsteilnehmer. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 103. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- SCHUMACKER, R. E. & LOMAX, R. G. (1996): A beginner's guide to structural equation modeling. New York: Routledge
- SIMONS-MORTON, B. G.; KLAUER, S. G.; OUIOMET, M. C.; GUO, F.; ALBERT, P. S.; LEE, S. E. & DINGUS, T. A. (2015): Naturalistic teenage driving study: Findings and lessons learned. *Journal of Safety Research*, 54, 41-44
- SPEKTRUM (2016): Assoziationscortex. Online-Lexikon der Neurowissenschaft. Verfügbar unter <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/kognition>. (Letzter Zugriff am 10.12.2016)
- SPEKTRUM (2016): Kognition. Online-Lexikon der Neurowissenschaft. Verfügbar unter <http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/kognition>. (Letzter Zugriff am 10.12.2016)
- Statistisches Bundesamt (2010): Verkehrsunfälle 2009, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- Statistisches Bundesamt (2016): Verkehrsunfälle 2014, Fachserie 8 Reihe 7, Wiesbaden: Statistisches Bundesamt
- STIENSMEIER-PELSTER, J. (2007): Begleitetes Fahren mit 17. Abschlussbericht zum Niedersächsischen Modellversuch. Universität Gießen
- STRACK, M. (2016): Einführung in die Experimental- & Evaluationsmethodik der Wirtschafts- & Sozialpsychologie. Skript SS 2016 Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Georg-August-Universität Göttingen
- STROHNER, H. (1995): Kognitive Systeme. Opladen: Westdeutscher Verlag
- STURZBECHER, D.; BÖNNINGER, J. & RÜDEL, M. (2010) (Hrsg.): Praktische Fahrerlaubnisprüfung – Grundlagen und Optimierungsmöglichkeiten. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 215. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- STURZBECHER, D.; MÖRL, S. & KALTENBAEK, J. (2014): Optimierung der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Nr. M 243. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- STURZBECHER, D. & WEIßE, B. (2011): Möglichkeiten zur Modellierung und Messung von Fahrkompetenz. In: TÜV/DEKRA ARGE TP 21 (Hrsg.). Das Fahrerlaubnisprüfungssystem und seine Entwicklungspotenziale – Innovationsbericht 2009/2010. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 239. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- SWOV (2016): 18- to 24-year-olds: young drivers. SWOV fact sheets. Den Haag: Institute for Road Safety Research
- TIMPE, K.-P. (1969): Systemtheoretische Analysen sensumotorischer Koordinationsvorgänge. Dissertation, Humboldt Universität zu Berlin
- TODOSIEV, E. P. (1963): The Action-Point Model of the Driver-Vehicle System. Dissertation, Ohio State University
- TÜV/DEKRA ARGE TP 21 (Hrsg.) (2011): Das Fahrerlaubnisprüfungssystem und seine Entwicklungspotenziale – Innovationsbericht 2009/2010. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 239, Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag NW

- VAA, T. (2007): Modelling driver behaviour on basis of emotions and feelings: Intelligent transport systems and behavioural adaptations. In: P. CACCIABUE (Hrsg.): Modelling driver behaviour in automotive environments (pp. 208-232). London: Springer
- van SELST, M.; RUTHRUFF, E. & JOHNSTON, J. C. (1999): Can practice eliminate the psychological refractory period effect? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(5), pp. 1268-1283
- VEDDER, N. (1990): Ein Verfahren zur Abschätzung der Kraffahrerbelastung. Dissertation, Universität Paderborn
- VLAKVELD, W. P. (2005): Jonge beginnende automobilisten, hun ongevalsrisico en maatregelen om dit terug te dringen. Institute for Road Safety Research SWOV, Leidschendam
- VLAKVELD, W. P. (2011): Hazard Anticipation of Young Novice Drivers. Assessing and Enhancing the Capabilities of Young Novice Drivers to Anticipate Latent Hazards in Road and Traffic Situations. SWOV-Dissertatiereeks, Leidschendam, Nederland
- VOLLRATH, M. (2010): Welche Fehler führen zu Unfällen? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 56(3), S. 31-36
- VOLPERT, W. (1969): Untersuchung über den Einsatz des mentalen Trainings beim Erwerb einer sensumotorischen Fertigkeit. Dissertation, Universität Köln
- VOLPERT, W. (1981): *Sensumotorisches Lernen*. Frankfurt: Fachbuchhandlung für Psychologie
- WARREN, W. H.; MESTRE, D. R.; BLACKWELL, A. W. & MORRIS, M. W. (1991): Perception of Circular Heading from Optical Flow. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(3,) pp. 28-43
- WEINERT, F. E. (2001): Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: F. E. WEINERT (Hrsg.): *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 17-31). Weinheim und Basel: Beltz Verlag
- WEIßBECKER-KLAUS, X. (2014): Multitasking und Auswirkungen auf die Fehlerverarbeitung Psychophysiologische Untersuchung zur Analyse von Informationsverarbeitungsprozessen. Projekt F 2247, Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
- WELLER, G. & SCHLAG, B. (2013): Fahrversuche mit älteren Pkw-Fahrern. Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV), Dresden: TU Dresden
- WELLS, P.; TONG, S.; SEXTON, B.; GRAYSON, G. & JONES, E. (2008): Cohort II: a study of learner and new drivers. volume 1 – main report. Road Safety Research Report Nr. 81. London: Department for Transport
- WEST, R. & HALL, J. (1997): The role of personality and attitudes in traffic accident risk. *Applied Psychology*, 46(3), pp. 253-264
- WILDE, G. J. S. (1982): Critical issues in risk homeostasis theory. *Risk Analysis*, 2, pp. 249-258
- WILLIAMS, A. F. (2003): Teenage drivers: patterns of risk. *Journal of Safety Research*, 34, pp. 5-15
- WILLMES-LENZ (2012): Unfallgefährdung von Fahranfängern – Anforderungen an eine verbesserte Vorbereitung. Parlamentarisches Adventsfrühstück, 13.12.2012, Berlin
- WINSUM, W. V.; MARTENS, M. H. & HERLAND, L. (1999): The effects of speech versus tactile driver support messages on workload, driver behaviour and user acceptance. Report Nr. TM-99-C043. Soesterberg, Netherlands: TNO Human Factors

## Bilder

- Bild 1: Die von Hauptverursachenden Pkw-Fahrern/Fahrerinnen in Unfällen zu verantwortende Zahl Getöteter nach Altersgruppe. Daten von 2014 (Statistisches Bundesamt, 2016)
- Bild 2: Die von hauptverursachenden Pkw-Fahrern/Fahrerinnen in Unfällen zu verantwortende Zahl Getöteter nach Altersgruppe, bezogen auf die Fahrleistung. Eigene Berechnung aus Daten von 2008/2009 (Statistisches Bundesamt, 2010 und MID 2008-DATEN, 2010)
- Bild 3: Auf die Fahrleistung bezogene Anzahl verunglückter Pkw-Fahrer und -Fahrerinnen. Eigene Berechnung aus Daten von 2008/2009 (Statistisches Bundesamt, 2010) und MID 2008-DATEN (2010)
- Bild 4: Auf die Fahrleistung bezogene Anzahl der Hauptverursacher bei Unfällen mit Personenschaden. Eigene Berechnung aus Daten von 2008/2009 (Statistisches Bundesamt, 2010) und MID 2008-DATEN (2010)
- Bild 5: Auf die Fahrleistung bezogene Anzahl schwerwiegender Unfälle, differenziert nach Alter und Geschlecht (von VLAKVELD 2011 aggregierte Daten von 2004 bis 2009 aus den Niederlanden (VLAKVELD 2011, S. 15))
- Bild 6: Jährliche Fahrleistung aller Pkw-Fahrer und -Fahrerinnen einer Altersklasse (Fünfjahresraster). Eigene Berechnung aus MID 2008-DATEN (2010)
- Bild 7: Abhängigkeit der fahrleistungsbezogenen Unfallrate von Alter und Fahrleistung (Daten aus den Niederlanden, Grafik modifiziert nach LANGFORD et al., 2006)
- Bild 8: Verhältnis der Schwerverletztenzahlen innerorts zu den Schwerverletztenzahlen auf Autobahnen. Eigene Berechnungen aus Daten von 2014 (Statistisches Bundesamt, 2016)
- Bild 9: Verhältnis der Altersklassengesamtjahresfahrleistung Pkw von Tagfahrt (5:00 Uhr bis 21:59 Uhr) zu Nachtfahrt (22:00 Uhr bis 4:59 Uhr). Eigene Berechnungen aus MID 2008-DATEN (2010)
- Bild 10: Auf die Fahrleistung bezogene Anzahl verunfallter Fahranfänger unterschiedlichen Alters bei Fahrerlaubniserwerb in den ersten Monaten der selbstständigen Fahrpraxis. Befragungsstudie mit 10.300 Befragten (Grafik modifiziert nach SAGBERG, 2000)
- Bild 11: Auf die Fahrleistung bezogene Rate von Eintragungen von Unfällen pro Quartal mit Einträgen in das Verkehrszentralregister weiblicher (unten) und männlicher (oben) Fahranfänger der Führerscheinklasse 3 aus dem Jahr 1987. 5.205 Männer und 6.095 Frauen (aus SCHADE 2001, S. 4)
- Bild 12: Unfallrate bezogen auf Fahrkilometer. Modifizierte Grafik aus Berechnungen von VLAKVELD (2011) auf Basis von Daten aus VLAKVELD (2005)
- Bild 13: Einfluss von Alter und Fahrerfahrung auf die Unfallgefährdung (aus SWOV, 2016, S. 2, Quelle: periodische Straßensicherheitsberichte 1990-2001 in den Niederlanden verarbeitet in VLAKVELD, 2005). Dargestellt sind nicht die Daten, sondern Approximationskurven
- Bild 14: Einfluss von Alter und Fahrerfahrung auf die Unfallgefährdung (eigene Berechnung, abgeleitet aus der Grafik von Bild 13)
- Bild 15: Einfluss von Alter und Fahrerfahrung auf die Unfallgefährdung während der ersten Zeit des restringierten Fahrerlaubniserwerbs in New Jersey, USA. Unfallrate pro 10.000 Fahrer und Monat. Datengrundlage: N = 410.230 Fahranfänger in den Jahren 2006 bis 2009 (CURRY et al. 2014, S. 9)
- Bild 16: Selbstauskunft über gefahrene Geschwindigkeiten bei einer angenommenen Geschwindigkeitsbegrenzung von 120 km/h bei gutem Wetter ohne beeinflussenden

- Verkehr. Daten aus den Niederlanden, N = ca. 60.000 aus den Jahren 1990 bis 2005 (aus VLAKVELD 2011, S. 65)
- Bild 17: Aus Sicht des Fahrers. Links: Veränderung der Querabweichung im Schwerpunkt. Rechts: Veränderung des Gierwinkelfehlers
- Bild 18: Aus Sicht des Fahrers. Links: Fahrt auf Kurve parallel zur Mittellinie. Rechts: Fahrt rechts in den Graben
- Bild 19: Geschwindigkeiten von Unterarmbewegungen in unterschiedlichen Stadien der Übung (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 80 nach KERR 1992)
- Bild 20: Bewegungsverlauf und Ableitungen eines Trackingexperimentes mit Instruktion zur Optimalität (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 103)
- Bild 21: Bewegungsverlauf und Ableitungen eines Trackingexperimentes mit Instruktion zur Optimalität während des Trainings und vor Erreichen des höchsten Expertisegrades (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 102)
- Bild 22: Verlauf der Lenkgeschwindigkeit eines erfahrenen Fahrers bei der Fahrt durch eine 135°-Kurve im normalen Stadtverkehr (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 86)
- Bild 23: Grenzyklen der Fahrzeugfolgebewegung in der  $\Delta x$ - $\Delta x$ -Ebene (aus JÜRGENSOHN, 1997, S. 141, nach HARTWICH, 1971)
- Bild 24: Hierarchische 3-Ebenen-Struktur der Fahrzeugführungsaufgabe (Grafik modifiziert nach DONGES, 1982)
- Bild 25: Hierarchische 3-Ebenen-Struktur der Aufgaben des Autofahrers (Grafik modifiziert nach MICHON, 1985)
- Bild 26: 3-Ebenen-Modell der Verhaltensebenen erfahrener menschlicher Operateure (Grafik modifiziert nach RASMUSSEN, 1983)
- Bild 27: Hierarchisches Fahrverhaltensmodell nach KESKINEN et al. (1999; Grafik modifiziert nach MALONE et al., 2012)
- Bild 28: Das Arbeitsmodell der Fahrkompetenz (Grafik modifiziert nach GRATTENTHALER et al., 2009)
- Bild 29: Spiralförmiges Modell des Fahrkompetenzerwerbs (Grafik modifiziert nach GRATTENTHALER et al., 2009)
- Bild 31: Aufgabenorientiertes Fahrermodell von VOLLRATH (2010, S. 32)
- Bild 32: Strukturierung der Autofahraufgabe
- Bild 33: Strukturierung der Unteraufgabe der Querführung „Wahl und Einhaltung der befahrbaren Straßenfläche“ mit exemplarischen Unteraufgaben
- Bild 34: Strukturierung der Unteraufgabe der Längsführung „Wahl und Einhaltung der befahrbaren Straßenfläche“ mit exemplarischen Unteraufgaben
- Bild 35: Strukturierung der Unteraufgaben „Wahl und Einhaltung von Abstandsbedingungen“ sowie „Wahl und Einhaltung von Querbeseleunigungsbedingungen“ mit exemplarischen Unteraufgaben
- Bild 36: Abwechseln von Homöostase und Manöver im zeitlichen Verlauf
- Bild 37: Ressourcenmodell der Informationsverarbeitung beim Autofahren
- Bild 38: Vergleich Fahranfänger und erfahrene Fahrer im Ressourcenmodell der Informationsverarbeitung beim Autofahren
- Bild 39: Versuchsdesign von Studienvorschlag 1 (rot-blau: kognitiv-sensumotorische Fahrkompetenz, rot: kognitive Fahrkompetenz & Blickbewegungen, orange: Beinahe-/Unfälle, grün: Personenmerkmale, braun: Situationsmerkmale)
- Bild 40: Versuchsdesign von Studienvorschlag 2 (rot-blau: kognitiv-sensumotorische Fahrkompetenz, rot: kognitive Fahrkompetenz & Blickbewegungen, orange: Beinahe-/Unfälle, grün: Personenmerkmale, braun: Situationsmerkmale)

## Tabellen

Tab. 1: Die GDE-Matrix (HATAKKA et al., 1999; Tabelle modifiziert nach HACKENFORT, 2007)

Tab. 2: Übersicht über alle Indikatoren und Prädiktoren der Fahrkompetenz, ihrer Messung sowie ihres Erhebungsaufwandes

Tab. 3: Schätzung des Aufwandes für Vorbereitung, Durchführung und Auswertung unterschiedlicher Erhebungsmethoden sowie Zusatzkosten

Tab. 4: Fragestellungen von Studienvorschlag 1

Tab. 5: Übersicht über Ablauf und Aufwandsschätzung von Studienvorschlag 1

Tab. 6: Fragestellungen von Studienvorschlag 2

Tab. 7: Übersicht über Ablauf und Aufwandsschätzung von Studienvorschlag 2

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Mensch und Sicherheit“

## 2012

M 224: Entwicklung der Verkehrssicherheit und ihrer Rahmenbedingungen bis 2015/2020

Maier, Ahrens, Aurich, Bartz, Schiller, Winkler, Wittwer € 17,00

M 225: Ablenkung durch fahrfremde Tätigkeiten – Machbarkeitsstudie

Huemer, Vollrath € 17,50

M 226: Rehabilitationsverlauf verkehrsauffälliger Kraftfahrer

Glitsch, Bornewasser, Dünkel € 14,00

M 227: Entwicklung eines methodischen Rahmenkonzeptes für Verhaltensbeobachtung im fließenden Verkehr

Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 16,00

M 228: Profile von Senioren mit Autounfällen (PROSA)

Pottgießer, Kleinemas, Dohmes, Spiegel, Schädlich, Rudinger € 17,50

M 229: Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten und das Unfallrisiko junger Fahrerinnen und Fahrer

Holte € 25,50

M 230: Entwicklung, Verbreitung und Anwendung von Schulwegplänen

Gerlach, Leven, Leven, Neumann, Jansen € 21,00

M 231: Verkehrssicherheitsrelevante Leistungspotenziale, Defizite und Kompensationsmöglichkeiten älterer Kraftfahrer

Poschadel, Falkenstein, Rinkenauer, Mendzheritskiy, Fimm, Worringer, Engin, Kleinemas, Rudinger € 19,00

M 232: Kinderunfallatlas – Regionale Verteilung von Kinderverkehrsunfällen in Deutschland

Neumann-Opitz, Bartz, Leipnitz € 18,00

## 2013

M 233: 8. ADAC/BAST-Symposium 2012 – Sicher fahren in Europa CD-ROM / kostenpflichtiger Download € 18,00

M 234: Fahranfängervorbereitung im internationalen Vergleich

Genschow, Sturzbecher, Willmes-Lenz € 23,00

M 235: Ein Verfahren zur Messung der Fahrsicherheit im Realverkehr entwickelt am Begleiteten Fahren

Glaser, Waschulewski, Glaser, Schmid € 15,00

M 236: Unfallbeteiligung von Wohnmobilen 2000 bis 2010

Pöppel-Decker, Langner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 237: Schwer erreichbare Zielgruppen – Handlungsansätze für eine neue Verkehrssicherheitsarbeit in Deutschland

Funk, Faßmann € 18,00

M 238: Verkehrserziehung in Kindergärten und Grundschulen

Funk, Hecht, Nebel, Stumpf € 24,50

M 239: Das Fahrerlaubnisprüfungssystem und seine Entwicklungspotenziale – Innovationsbericht 2009/2010 € 16,00

M 240: Alternative Antriebstechnologien – Marktdurchdringung und Konsequenzen – Berichtsjahr 2011 – Abschlussbericht

Küter, Holdik, Pöppel-Decker, Ulitzsch  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 241: Intervention für punkteauffällige Fahrer – Konzeptgrundlagen des Fahreignungsseminars

Glitsch, Bornewasser, Sturzbecher, Bredow, Kaltenbaek, Büttner € 25,50

M 242: Zahlungsbereitschaft für Verkehrssicherheit – Vorstudie

Bahamonde-Birke, Link, Kunert € 14,00

## 2014

M 243: Optimierung der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung

Sturzbecher, Mörl, Kaltenbaek € 25,50

M 244: Innovative Konzepte zur Begleitung von Fahranfängern durch E-Kommunikation

Funk, Lang, Held, Hallmeier € 18,50

M 245: Psychische Folgen von Verkehrsunfällen

Auerbach € 20,00

M 246: Prozessevaluation der Kampagnenfortsetzung 2011-2012 „Runter vom Gas!“

Klimmt, Maurer, Baumann € 14,50

### AKTUALISIERTE NEUAUFLAGE VON:

M 115: Begutachtungsleitlinien zur Kraftfahreignung – gültig ab 1. Mai 2014

Gräcsmann, Albrecht € 17,50

M 247: Psychologische Aspekte des Unfallrisikos für Motorradfahrerinnen und -fahrer

von Below, Holte € 19,50

M 248: Erkenntnisstand zu Verkehrssicherheitsmaßnahmen für ältere Verkehrsteilnehmer

Falkenstein, Joiko, Poschadel € 15,00

M 249: Wirkungsvolle Risikokommunikation für junge Fahrerinnen und Fahrer

Holte, Klimmt, Baumann, Geber € 20,00

M 250: Ausdehnung der Kostentragungspflicht des § 25a StVG auf den fließenden Verkehr

Müller € 15,50

M 251: Alkohol-Interlocks für alkoholauffällige Kraftfahrer

Hauser, Merz, Pauls, Schnabel, Aydeniz, Blume, Bogus, Nitzsche, Stengl-Herrmann, Klipp, Buchstaller, DeVol, Laub, Müller, Veltgens, Ziegler € 15,50

M 252 Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw

Glaser, Glaser, Schmid, Waschulewski  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor, ist interaktiv und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2015

M 253: Simulatorstudien zur Ablenkungswirkung fahrfremder Tätigkeiten

Schömg, Schoch, Neukum, Schumacher, Wandtner € 18,50

M 254: Kompensationsstrategien von älteren Verkehrsteilnehmern nach einer VZR-Auffälligkeit

Karthauss, Willemsen, Joiko, Falkenstein € 17,00

M 255: Demenz und Verkehrssicherheit

Fimm, Blankenheim, Poschadel € 17,00

- M 256: Verkehrsbezogene Eckdaten und verkehrssicherheitsrelevante Gesundheitsdaten älterer Verkehrsteilnehmer  
Rudinger, Haverkamp, Mehliß, Falkenstein, Hahn, Willemssen € 20,00
- M 257: Projektgruppe MPU-Reform  
Albrecht, Evers, Klipp, Schulze € 14,00
- M 258: Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen  
Follmer, Geis, Gruschwitz, Hölscher, Raudszus, Zlocki € 14,00
- M 259: Alkoholkonsum und Verkehrsunfallgefahren bei Jugendlichen  
Hoppe, Tekaat € 16,50
- M 260: Leistungen des Rettungsdienstes 2012/13  
Schmiedel, Behrendt € 16,50
- M 261: Stand der Radfahrausbildung an Schulen und motorische Voraussetzungen bei Kindern  
Günther, Kraft € 18,50
- M 262: Qualität in Fahreignungsberatung und fahreignungsfördernden Maßnahmen  
Klipp, Bischof, Born, DeVol, Dreyer, Ehlert, Hofstätter, Kalwitzki, Schattschneider, Veltgens € 13,50
- M 263: Nachweis alkoholbedingter Leistungsveränderungen mit einer Fahrverhaltensprobe im Fahrsimulator der BAST  
Schumacher  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2016

- M 264: Verkehrssicherheit von Radfahrern – Analyse sicherheitsrelevanter Motive, Einstellungen und Verhaltensweisen von Below € 17,50
- M 265: Legalbewährung verkehrsauffälliger Kraftfahrer nach Neuerteilung der Fahrerlaubnis  
Kühne, Hundertmark € 15,00
- M 266: Die Wirkung von Verkehrssicherheitsbotschaften im Fahrsimulator – eine Machbarkeitsstudie  
Wandtner  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 267: Wahrnehmungspsychologische Analyse der Radfahraufgabe  
Platho, Paulenz, Kolrep € 16,50
- M 268: Revision zur optimierten Praktischen Fahrerlaubnisprüfung  
Sturzbecher, Luniak, Mörl € 20,50
- M 269: Ansätze zur Optimierung der Fahrschulausbildung in Deutschland  
Sturzbecher, Luniak, Mörl € 21,50
- M 270: Alternative Antriebstechnologien – Marktdurchdringung und Konsequenzen  
Schleh, Bierbach, Piasecki, Pöppel-Decker, Ulitzsch  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

## 2017

- M 271: Evaluation der Kampagnenfortsetzung 2013/2014 „Runter vom Gas!“  
Klimmt, Geber, Maurer, Oschatz, Süßlow € 14,50
- M 272: Marktdurchdringung von Fahrzeugsicherheitssystemen 2015  
Gruschwitz, Hölscher, Raudszus, Zlocki € 15,00

M273: Verkehrswahrnehmung und Gefahrenvermeidung – Grundlagen und Umsetzungsmöglichkeiten in der Fahranfängervorbereitung  
TÜV | DEKRA arge tp 21 € 22,00

M 273b: Traffic perception and hazard avoidance – Foundations and possibilities for implementation in novice driver preparation  
Bredow, Brünken, Dressler, Friedel, Genschow, Kaufmann, Malone, Mörl, Rüdell, Schubert, Sturzbecher, Teichert, Wagner, Weiße  
Dieser Bericht ist die englische Fassung von M 273 und liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 274: Fahrschulüberwachung in Deutschland – Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen  
Sturzbecher, Bredow  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 275: Reform der Fahrlehrerausbildung  
Teil 1: Weiterentwicklung der Fahrlehrerausbildung in Deutschland  
Teil 2: Kompetenzorientierte Neugestaltung der Qualifizierung von Inhabern/verantwortlichen Leitern von Ausbildungsfahrschulen und Ausbildungsfahrlehrern  
Brünken, Leutner, Sturzbecher  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

M 276: Zeitreihenmodelle mit meteorologischen Variablen zur Prognose von Unfallzahlen  
Martensen, Diependaele € 14,50

## 2018

- M 277: Unfallgeschehen schwerer Güterkraftfahrzeuge  
Panwinkler € 18,50
- M 278: Alternative Antriebstechnologien: Marktdurchdringung und Konsequenzen für die Straßenverkehrssicherheit  
Schleh, Bierbach, Piasecki, Pöppel-Decker, Schönebeck  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 279: Psychologische Aspekte des Einsatzes von Lang-Lkw Zweite Erhebungsphase  
Glaser, Glaser, Schmid, Waschulewski  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- M 280: Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung  
Jürgensohn, Böhm, Gardas, Stephani € 19,50

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Carl Ed. Schünemann KG  
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen  
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)