

# Fahrerassistenz auf der Grundlage von Umgebungs- und Fahrervariablen

Susanne Buld<sup>\*</sup>, Sonja Hoffman<sup>†</sup> und Hans-Peter Krüger<sup>1</sup>

**Zusammenfassung:** Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Beschreibung von manuellem Auffahren auf Autobahnen. In der Würzburger Fahrsimulation wurde zu diesem Thema eine Studie mit N=44 Fahrern durchgeführt. Als unabhängige Variable gehen die Dynamik des Verhaltens der anderen Verkehrsteilnehmer sowie die Fahrerfahrung der Probanden in die Untersuchung ein. Kern der Auswertung ist die Analyse von Fahrverhalten und Fahrfehlern der Probanden. Die Darstellung von Diskrepanzen zwischen objektiven und subjektiven Auftretenshäufigkeiten von Fahrfehlern ist ein zweiter Schwerpunkt. Die Möglichkeiten der Umsetzung erfolgreicher Fahrstrategien der Probanden in Fahrerassistenz wird diskutiert.

**Schlüsselwörter:** Autobahnauffahrt, Bedarfsanalyse, Fahrerfahrung, Fahrfehler, Fahrverhalten

## 1 Hintergrund

Autofahren wird üblicherweise als wenig beanspruchend beurteilt. Autobahnauffahrten stellen jedoch eine Ausnahmesituation dar. Eine unbekannte Autobahnauffahrt bei mittlerer Verkehrsdichte wird bereits als mittel beanspruchend bezeichnet (Befragung am IZVW N=44 [1]). Da darüber hinaus aufgrund der hohen Geschwindigkeiten Autobahnunfälle häufig mit besonders hohen Kosten verbunden sind, besteht ein hohes Unterstützungspotenzial. Der vorliegende Beitrag stellt eine im Rahmen des von der Helmholtz-Gemeinschaft geförderten Virtuellen Institut „Humane Automation im Verkehr“ erstellte Fahrsimulatoruntersuchung des IZVW Würzburg dar [2]. Er beschäftigt sich zunächst mit der Beschreibung von Fahrverhalten, Fahrfehlern und Fahrerbeanspruchung beim manuellen Auffahren auf Autobahnen. Dabei wird besonders betrachtet, inwieweit die Dynamik des umgebenden Verkehrs das Fahrverhalten beeinflusst bzw. inwieweit sich erfahrene von unerfahrenen Fahrern in ihrer Fahrstrategie unterscheiden. Die Definition möglicher

---

<sup>\*</sup> Dr. Susanne Buld, Universität Würzburg / IZVW, Raiffeisenstraße 17, 97209 Veitshöchheim (buld@psychologie.uni-wuerzburg.de).

<sup>†</sup> Dipl.-Psych. Sonja Hoffmann, Universität Würzburg / IZVW, Raiffeisenstraße 17, 97209 Veitshöchheim (sonja.hoffmann@psychologie.uni-wuerzburg.de).

<sup>1</sup> Prof. Dr. Hans-Peter Krüger, Universität Würzburg / IZVW, Raiffeisenstraße 17, 97209 Veitshöchheim (krueger@psychologie.uni-wuerzburg.de).

Diskrepanzen zwischen objektiver und subjektiven Situationsbewertung (z.B. fehlende Wahrnehmung eigener Fehler) gibt weitere Anhaltspunkte für die Identifikation von Fehlerquellen. Auf der Basis der Ergebnisse wird eine Bedarfsanalyse von Fahrerassistenz beim Auffahren auf die Autobahn vorgenommen.

## 2 Methode

### 2.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen  $N=44$  Fahrer an der Untersuchung teil,  $n=22$  Fahrer mit weniger als 2000 km Autobahnfahrten im Jahr und  $n=22$  Fahrer mit mehr als 5000 km Autobahnfahrten im Jahr. Außerdem handelt es sich jeweils um 11 Männer und 11 Frauen im Alter von 23 bis 77 Jahren ( $m=48$  Jahre;  $sd=16.6$  Jahre). Alle Fahrer sind im Umgang mit dem Fahrsimulator höchst geschult.

### 2.2 Streckengestaltung

Abbildung 1 zeigt die Gestaltung der Autobahnauffahrt in der Fahrsimulation.

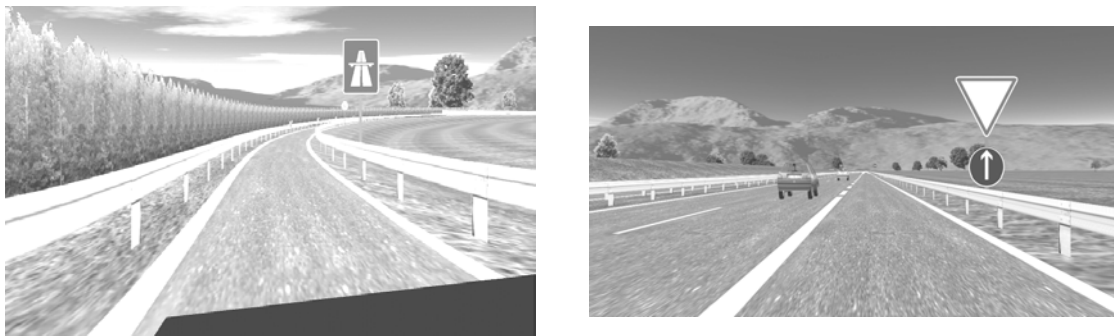


Abbildung 1: Umsetzung der Autobahnauffahrt in der Fahrsimulation; links: Teil 1 Anfahrstrecke, rechts: Teil 2 Auffahrstück.

Der erste Teil des Szenarios ist eine Anfahrstrecke, Spurbreite 3.75m mit Leitplanken rechts und links. Ein Heckenband versperrt die Sicht auf die Autobahn, so dass der Fahrer die Verkehrsdichte des Fließverkehrs erst einsehen kann, wenn er die Autobahn erreicht hat. Der zweite Teil besteht aus dem eigentlichen Auffahrstück. Die Auffahrt geht in den Beschleunigungstreifen über. Der Fahrer muss jetzt auf eine zweispurige Autobahn (Spurbreite je 3.75m) auffahren und sich in den Verkehr (verschiedene Verkehrsdichten von frei fließend zu gestaut) einordnen.

Jede Autobahnauffahrt gibt es in zwei Variationen der Verkehrsdynamik. Im einen Fall verhalten die anderen Verkehrsteilnehmer sich bei gleichbleibender Anzahl wenig dynamisch und bleiben auf der einmal gewählten Spur. Im anderen Fall verhalten sich die Fahrzeuge sehr dynamisch. Hier nehmen die Verkehrsteilnehmer viele Spurwechsel vor, fahren dichter auf oder drängen sich in vom Probanden ausgesuchte Lücken hinein, ohne auf das Ego-Fahrzeug Rücksicht zu nehmen. Die Variation der Verkehrsdynamik zeigt sich unter anderem in der Längsbeschleunigung der dem Ego-Fahrzeug vorausfahrenden

Fahrzeuge. Während die Standardabweichung der Längsbeschleunigung im Fall niedriger Verkehrsdynamik durchschnittlich bei  $1.79\text{m/s}^2$  ( $\text{sd}= 2.75\text{m/s}^2$ ) liegt, erreicht sie bei hoher Verkehrsdynamik einen mittleren Wert von  $5.58\text{ m/s}^2$  ( $\text{sd}= 2.42\text{m/s}^2$ ). Dieser Unterschied ist höchst signifikant ( $p=.000^{**}$ ).

### 2.3 Versuchsablauf

Die Versuchsteilnehmer absolvierten zunächst eine Eingewöhnungsfahrt zum Kennen lernen der Autobahnauffahrten und Üben der Befragung. In der eigentlichen Versuchsfahrt hatte jeder Fahrer 7 Autobahnauffahrten mit unterschiedlich hoher Verkehrsdichte in 2 Ausgestaltungsvarianten zu absolvieren. Bei 44 Fahrern ergibt das eine Datenbasis von 616 Autobahnauffahrten. Die Fahrer wurden instruiert, die Situation zügig zu durchfahren und dabei die Fahrspur zu wählen, die am günstigsten erscheint. Nach jeder Autobahnauffahrt wurden die Fahrer außerdem gefragt, wie viel sie in der jeweiligen Fahrsituation aufpassen mussten. Als Antwortgrundlage dient die sog. Kategorienunterteilungsskala (vgl. Abbildung).

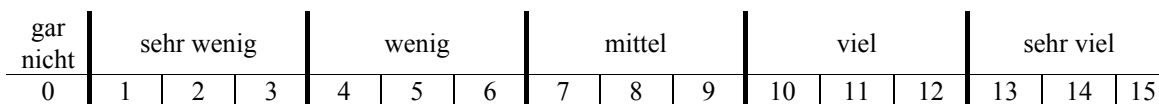


Abbildung 2: Die Kategorienunterteilungsskala.

### 2.4 Auswertung

Die Auswertung erfolgt auf den Datenebenen Fehlerbeobachtung, Fahrdatenanalyse und Befragung. Die Fehlerbeobachtung erfolgt in Anlehnung an die von Brenner & Hartmann empfohlene Fehlerkategorisierung [3]. Auf der Grundlage einer Aufgabenanalyse zum korrekten Verhalten werden Fahrfehler und Unsicherheiten zu Geschwindigkeit, Abstand, Fahrbahnbenutzung, Sichern, Gefährdung anderer und Kommunikationsverhalten notiert. Im Gegensatz zur Fehlerbeobachtung wird in der Fahrdatenanalyse nicht nach Fehlern gesucht, sondern die Fahrweise nach den Experimentalvarianten vergleichend dargestellt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Verkehrsdynamik und Autobahnerfahrung

Insgesamt unterlaufen den Fahrern in der Bedingung mit hoher Verkehrsdynamik mehr Fehler. Dabei unterschieden sich die Gruppen der Viel- und Wenig-AB-Fahrer nicht signifikant. Die Fehlerbeobachtung zeigt jedoch, dass in der Gruppe der Testfahrer mit viel AB-Erfahrung mehr Fälle mit besonders hohen Fehlerzahlen auftreten (vgl. Abbildung 3).

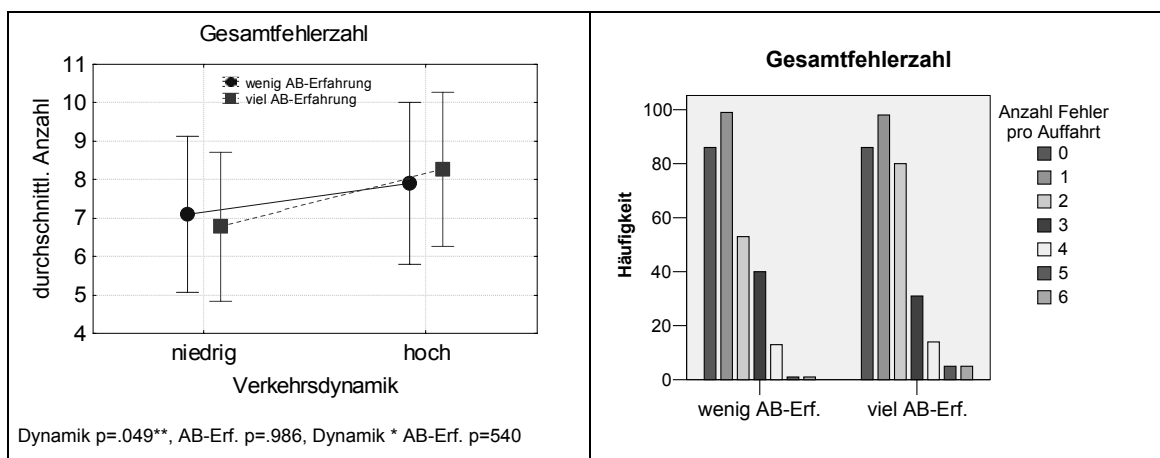


Abbildung 3: Gesamtfehlerzahl aus der Expertenbeobachtung (Übertretung der StVO und Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer).

Betrachtet man die Untergruppe der Fahrer mit viel AB-Erfahrung genauer, so zeigt sich, dass diese Fahrer häufiger in der Zufahrt zu schnell bzw. zu schnell in die Fahrsituation einfahren. Angefangene Spurwechsel müssen häufiger abgebrochen werden (ohne Abbildung).

Die Analyse der Fahrdaten ergibt einen deutlichen Anstieg der Standardabweichung von Längs- und Querschleunigung in der Bedingung mit hoher Verkehrsdynamik (vgl. Abbildung 4). Der Effekt tritt immer dann besonders auf, wenn sich die Geschwindigkeit des auf der Autobahn bereits befindlichen Verkehrs deutlich von der des Ego-Fahrzeugs in der Zufahrt unterscheidet. Darüber hinaus zeigt sich ebenfalls ein Anstieg dieses Parameters mit der Anzahl der umliegenden Fahrzeuge (ohne Abbildung).

In diesem Zusammenhang sinken die minimalen Abstände zu umliegenden Fahrzeugen und die vom Fahrer erlebte Beanspruchung nimmt bei höherer Verkehrsdynamik zu (vgl. Abbildung 4).

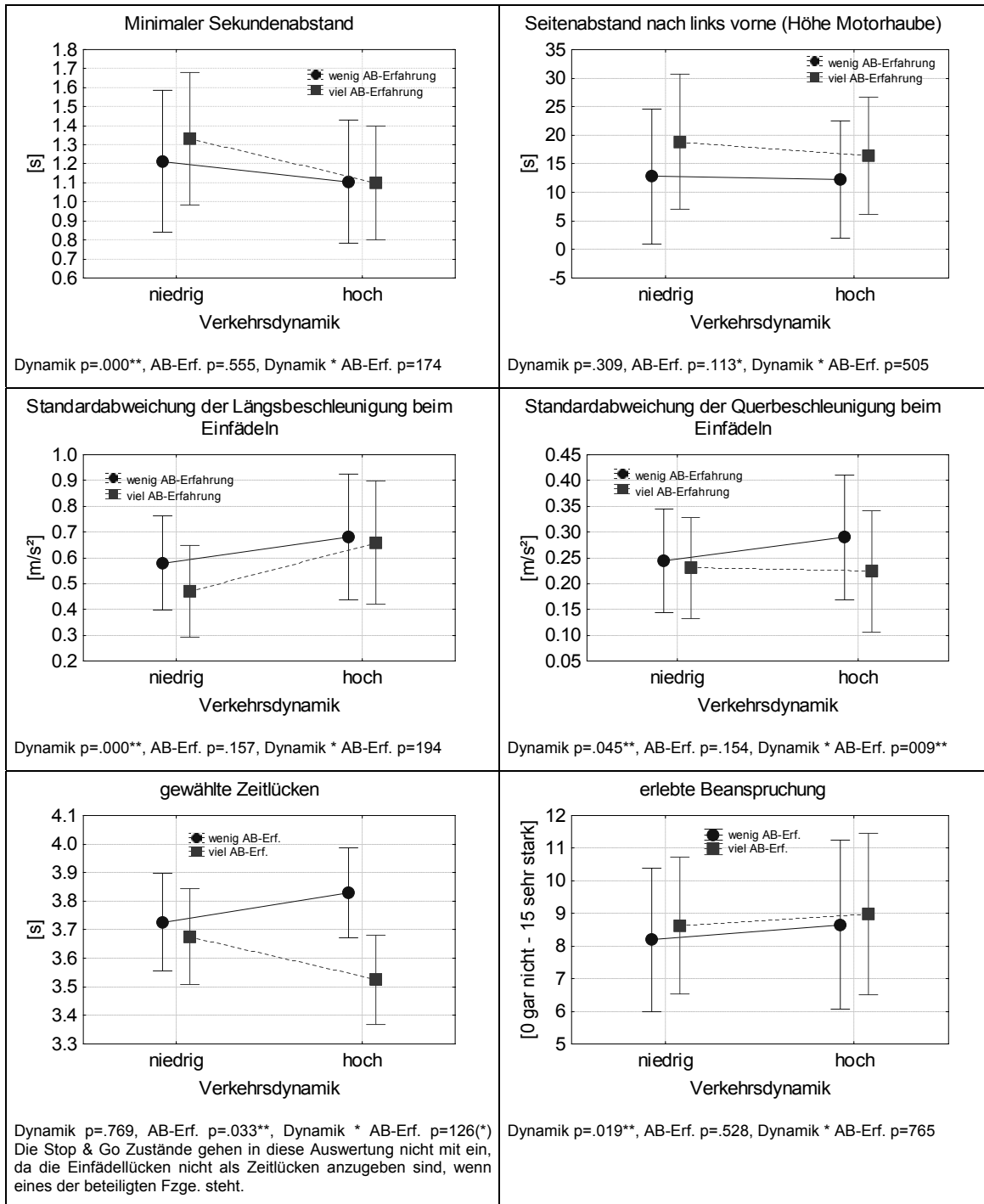


Abbildung 4: Ergebnisse aus der Analyse der Fahrdaten und der Befragung zur erlebten Beanspruchung. Darstellung der Variation von Verkehrsbewegungen sowie AB-Erfahrung.

Betrachtet man die Variation der AB-Erfahrung, so zeigt sich deutlich, dass in der Gruppe mit viel Erfahrung größere minimale Abstände gehalten werden. Dennoch werden gerade in der Bedingung mit höherer Verkehrsdynamik von den Probanden mit viel AB-

Erfahrung auch kleinere Zeitlücken zum Einfädeln gewählt. Die Längsregelung weist beim Einfädeln deutlich weniger Variation auf. Vor allem bei hoher Verkehrsdynamik wird zudem eine niedrigere Standardabweichung der Querschleunigung gefahren (vgl. Abbildung 4). Insgesamt zeigen die AB-Erfahrenen somit eine ruhigere Fahrweise.

### 3.2 Objektive und subjektive Fahrfehlerbewertung

Die Auswertung der Beobachtungsprotokolle ergibt, dass die Fehlerarten aus Tabelle 1 der Mehrzahl der Fahrer unterliefen.

Tabelle 1: Durchschnittliche Fehlerzahl pro AB-Auffahrt.

Fehlerart	Mittelwert	Median	Minimum	Maximum	Stabw.
Befahren des Standstreifens, rechts überholen, Überfahren durchgezogener Linien	2.33	2.00	0	11.0	2.24
In der Zufahrt schneller als zugelassene Höchstgeschwindigkeit	3.77	1.00	0	13.0	4.52
Hinterfahrzeug zum Abbremsen zwingen	1.36	1.00	0	7.0	1.41
Seitenabstand zu gering	1.12	1.00	0	4.0	1.18
unangepasste Beschleunigung, Verlangsamung zu spät (beim Einfädeln)	0.74	0.00	0	5.0	1.07
Längsabstand beim Einfädeln zu gering	0.42	0.00	0	3.0	0.76

Neben Regelverstößen wie der Nutzung des Standstreifens als Fahrspur oder Geschwindigkeitsübertretungen zählt auch die Gefährdung der umliegenden Fahrzeuge zu den Fehlern, die objektiv am häufigsten gemacht wurden.

Auf die Nachbefragung „Sind Ihnen während des Versuchs beim Auffahren auf die Autobahn Fehler unterlaufen? Wenn ja welche?“ wurden folgende Fehlerarten genannt: „Ich bin zu schnell gefahren.“, „Ich bin über den Standstreifen gefahren.“, „Ich bin zu dicht aufgefahren.“, „Ich habe das Hinterfahrzeug gefährdet.“, „Ich habe das Seitenfahrzeug gefährdet.“

Die Ergebnisse zeigen keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den objektiv beobachteten und der subjektiv erlebten Auftretenshäufigkeit von Fahrfehlern. Die Fahrer können nach der Fahrt kaum korrekte Angaben über die ihnen unterlaufenen Fahrfehler machen. In der Regel werden die Fehler aber deutlich häufiger gemacht als vom Fahrer berichtet. Das Gefährden anderer Verkehrsteilnehmer seitlich bzw. Ausbremsen des Hinterfahrzeugs wird in vielen Fällen gar nicht bemerkt. Das Befahren des Standstreifens bzw. Überfahren durchgezogener Linien wird von vielen Fahrern analog objektiver Auftretenshäufigkeit wahrgenommen und angegeben. Fehlerarten aus der Fehlerbeobachtung, die die Fahrweise betreffen, wie z.B. Spurverschwenkungen oder zu späte Beschleunigung, werden von den Fahrern nicht als Fehler genannt. Die Autobahnerfahrung hatte keinen Einfluss auf die Selbstwahrnehmung der Fehler.

Darüber hinaus zeigen Kommentare, dass die Fahrer selbst eine Gewichtung verschiedener Fehler vornehmen. So werden Regelverstöße bewusst unternommen („Zu schnell fahren ist doch nicht so schlimm, oder?“). Gerät man in eine kritische Fahrsituation, werden vor allem von den AB-erfahrenen Probanden verschiedene Sollverhaltensweisen gegeneinander abgewogen und das Verhalten gewählt, das andere Verkehrsteilnehmer scheinbar weniger gefährdet (Bsp. Befahren des Standstreifens wird in Kauf genommen, wenn keine Lücke auffindbar. Gewichtung: weniger schlimm als Nebenfahrzeug zu behindern).

## 4 Diskussion

Die Variabilität der Parameter der Längsführung und die gewählter Abstände zum Zeitpunkt des Befahrens des Beschleunigungsstreifens zeigen, dass Schwierigkeiten vorwiegend im Zusammenhang mit dem Auffinden einer geeigneten Einfädellücke auftreten. Die Fehlerbeobachtung bestätigt dieses Phänomen.

Mit erhöhten Verkehrsbewegungen treten Fehler, unruhigeres Fahren und niedrigere Abstände signifikant häufiger auf. Dies kann bereits einen Verkehrszustand mit nur einem relevanten Fahrzeug betreffen, das dem Ego-Fahrzeug das Einfädeln erschwert, da es beispielsweise die rechte Spur nicht frei gibt. Mehr Dynamik im umgebenden Verkehr führt also zu kritischerem Verhalten. Verkehrsbewegungen werden auch in der Beurteilung als beanspruchender beurteilt.

Für Probanden mit viel AB-Erfahrung gelten diese Ergebnisse nur eingeschränkt. Erst in der Bedingung höherer Verkehrsdynamik macht sich die größere Fahrerfahrung bemerkbar. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass sich diese Fahrer einen besseren Gesamtüberblick über die gegebene Situation verschaffen. Trotz höherer Verkehrsdynamik steigt die Variation der Längsbeschleunigung wenig, die der Querbeschleunigung gar nicht an. Offensichtlich wird schneller eine Einfädellücke gewählt. Dabei kommen für diese Fahrer bei hoher Verkehrsdynamik auch kleinere Zeitlücken in Frage als in der Gruppe der wenig Erfahrenen. In der Nachbefragung zeigt sich zudem, dass sie Fahrfehler teilweise ganz bewusst gewichten. Die Gefährdung anderer wird zulasten von Regelübertretungen vermieden. Da die Viel-Fahrer keine geringere erlebte Beanspruchung angeben als die Wenig-Fahrer, ist davon auszugehen, dass sie sich der Schwierigkeit des Fahrszenarios durchaus bewusst sind.

Für die Gestaltung von Fahrerassistenz lassen sich aus diesen Ergebnissen verschiedene Hinweise ableiten. Da es sich bei Autobahnauffahrten um ein komplexes Fahrszenario handelt, muss eine Assistenzfunktion entsprechend selbsterklärend und einfach gestaltet sein. Sie darf keinerlei Ressourcen vom Fahrer fordern, da gerade bei wenig AB-Erfahrenen die komplette Aufmerksamkeit zur Überblicksgewinnung über das Fahrszenario benötigt wird.

Die Assistenzfunktion sollte ihr Augenmerk auf die Verkehrsszenarios richten, die vom Fahrer unterschätzt werden, bzw. die von Dynamik geprägt sind. Das tritt vor allem dann auf, wenn sich die Geschwindigkeit des Fließverkehrs von der des auffahrenden Fahr-

zeugs deutlich unterscheidet, bzw. aufgrund höherer Verkehrsdichten, die zur Verfügung stehenden Zeitlücken immer kleiner werden.

Eine besondere Gefahr stellt die Missachtung von seitlichen Fahrzeugen und Fahrzeugen im Rückraum dar. Die Gefährdung dieser Fahrzeuge wurde häufig nicht einmal bemerkt. Hier können Tote-Winkel-Warner bzw. Spurwechselassistenten gute Dienste leisten, wenn sie nicht fehleranfällig sind. Als Warnstrategien würden hier Vibrationsalarm in Blinker oder Sitz empfohlen, da der Fahrer bei diesen Warnmodi den Blick nicht von der Straße ab und auf ein wie auch immer gestaltetes Display richten muss.

Hilfreich ist sicherlich eine Assistenz zur Einschätzung geeigneter Einfädellücken. Das System sollte aus vorhandenen Sensordaten eine Lücke vermessen und einen Empfehlung abgeben. Bei fortschreitender Sensortechnik sollte dem Fahrer die Information über die gegebenen Lücken ähnlich einer Parkassistenten unbedingt zugänglich gemacht werden.

Übernahme eine Assistenzfunktion den Einfädelvorgang komplett, so wäre unbedingt eine Hierarchie von Soll-Verhalten zu berücksichtigen. Ähnlich wie die AB-erfahrenen Probanden, sollten solche Systeme Verstöße gegen die StVO erlauben, wenn damit in einem bestimmten Fahrscenario die Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer vermieden werden kann. Die Überprüfung zur Wirksamkeit der genannten Assistenzfunktionen steht für weitere Untersuchungen offen.

## Literatur

- [1] Buld, S.; Hoffmann, S.; Totzke, I. & Krüger, H.-P. „Autobahnauffahrten in Abhängigkeit von Verkehrsdichte und –bewegung: Studie durchgeführt im Rahmen des Virtuellen Instituts „Humane Automation“. Interner Bericht, IZVW Würzburg, 2006.
- [2] Vollrath, M., „Humane Automation im Verkehr - ein virtuelles Institut.“ In ika (Ed.), 13. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentchnik, Aachen: ika/VKA , S. 1541-1550, 2004.
- [3] Brenner-Hartmann, J., „Durchführung standardisierter Verhaltensbeobachtungen im Rahmen der medizinisch-psychologischen Untersuchung (MPU).“ 38. BDP Kongress für Verkehrspsychologie, Regensburg, 2002.  
[http://bdp-verkehr.de/backstage2/ver/documentpool/kongress/brenner\\_01.pdf](http://bdp-verkehr.de/backstage2/ver/documentpool/kongress/brenner_01.pdf)  
(14.07.2006)