

Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 303



bast

Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer

von

Christian Scotti
Dirk Kemper
Markus Oeser

Institut für Straßenwesen Aachen
RWTH Aachen

Max Haberstroh
Florian Welter
Sabina Jeschke

Lehrstuhl für Informationsmanagement im Maschinenbau
RWTH Aachen

Eva-Maria Skottke
CBM Aachen

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 303

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 Ed. Schünemann KG, 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 01.0182/2013
Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf den Verkehrsteilnehmer

Fachbetreuung
Andreas Medack

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 NW 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

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-373-2

Bergisch Gladbach, Juli 2018

Kurzfassung – Abstract

Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer

In diesem Forschungsvorhaben sollten die psychologischen Wirkungen der Gestaltung, der Länge und der Staffelung von Arbeitsstellen längerer Dauer auf Bundesautobahnen empirisch untersucht werden. Trotz einiger Studien wurde bisher der Einfluss von Arbeitsstellen sowohl aus verkehrstechnischer als auch aus psychologischer Sicht sowie der dichten Arbeitsstellenfolge auf den Verkehrsteilnehmer nicht hinreichend untersucht. Ziel des Projekts ist es daher, diesen Einfluss auf verschiedenen Ebenen und in unterschiedlichen Kontexten zu messen und Empfehlungen für die praktische Umsetzung abzuleiten.

Da für die Konzeption und Durchführung der Studie sowie für die zielgerichtete Umsetzung der Ergebnisse sowohl fundierte Kenntnisse der Verkehrspsychologie als auch der Verkehrstechnik benötigt werden, ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachbereiche Psychologie, Soziologie und Verkehrsingenieurwesen unumgänglich.

Das Ergebnis der vorliegenden Studie ist, dass einige Regelungen beim Einrichten von Arbeitsstellen zumindest überdacht werden sollten.

So kann einem Verkehrsteilnehmer nach vorliegenden Ergebnissen eine Arbeitsstellenlänge von 15-20 Kilometern zugemutet werden, sofern die Fahrstreifen eine ausreichende Breite aufweisen. Erst danach konnten in dieser Untersuchung Auffälligkeiten bezüglich der Geschwindigkeitswahl festgestellt werden.

Unter psychologischen Gesichtspunkten sind nach Analyse der Daten zum Fahrverhalten der Probanden im Fahrsimulator keine signifikanten Unterschiede zwischen einer überlangen Arbeitsstelle und gestaffelten Arbeitsstellen nachweisbar. Allerdings ist zu beachten, dass Überleitungen und Verschwenkungen für die Verkehrsteilnehmer grundsätzlich mental beanspruchend sind und bei Arbeitsstellenstaffelungen entsprechend häufiger auftreten. Aus Sicht der Verkehrssicherheit sollte daher die Anzahl der Verschwenkungen möglichst gering gehalten werden.

Auch können die Beruhigungsstrecken einen Großteil der Aggression und des Frustes der Verkehr-

steilnehmer kompensieren, indem sie dem Verkehrsteilnehmer immer wieder eine Pause bieten. Zudem können durch längere Beruhigungsstrecken zum Ende der Staffelung die Geschwindigkeiten harmonisiert und somit der Verkehrsfluss stabilisiert werden.

Die Einrichtung von langen Arbeitsstellen oder Arbeitsstellenstaffelungen muss im Einzelfall, je nach örtlichen Randbedingungen, Bauablaufplanung und Einrichtungsdauern, entschieden werden.

Bei den im Simulator untersuchten Geschwindigkeitstrichtern konnte gezeigt werden, dass alle zulässigen Geschwindigkeiten gut eingehalten wurden. Der Grund einer Geschwindigkeitsreduktion sollte erkennbar sein und kommuniziert werden.

Dem Verkehrsteilnehmer sollten mehr Informationen zum Baufortschritt und der aktuellen Situation zur Verfügung gestellt werden. Hierdurch fühlt er sich in den Prozess der Arbeitsstelle integriert und bewertet die Maßnahme besser. Dies führt zu einer entspannteren Fahrt durch die Arbeitsstelle.

Bezogen auf die Möglichkeit einer geänderten farblichen Gestaltung der Mitteltrennung mit der linken Markierung des linken Behelfsfahrstreifens auf der Mitteltrennung ist das Ergebnis der Fahrsimulatorstudie, dass diese Variante den Verkehrsteilnehmer eher dazu verleitet, sich mehr nach links denn nach rechts zu orientieren. Der Verkehrsteilnehmer sieht die Gefahr nicht im ihm entgegenkommenden Verkehr sondern eher bei dem Verkehr der in gleicher Richtung fährt.

Der Rückschluss von der Fahrsimulatorstudie auf die Realität sollte eher vorsichtig vollzogen werden. Die Empfehlungen sollten alle zunächst in Realversuchen getestet und evaluiert werden.

Psychological effects of work-zone length, design and staggered alignment thereof on traffic participants

This research project aims at empirically analysing psychological effects of longer-term construction sites on German highways on traffic participants with regard to the length, design, and arrangement of work-zones. Despite previously conducted

studies, the influences of work-zone lengths and succession on traffic participants have not been analysed sufficiently from both, traffic engineering and psychological perspective. The objective of this project is to measure the effects on various levels and in different contexts to derive recommendations for implementations in practice.

The concept and conducting of the study as well as implementing attained results necessitate a solid foundation on traffic psychology as well as traffic engineering. Therefore an interdisciplinary approach, involving the cooperation with psychologists, sociologists and traffic engineers is indispensable for the analyses

The result of this research project is the realisation that certain rules for designing work-zones ought to be reconsidered.

The results indicate that lengths of 15-20 kilometres are acceptable, provided that the lane width is sufficient. Only for work-zones exceeding this length the conducted investigations showed a tendency in car drivers to travel at higher speeds.

One cannot generally state that a long work-zone is favourable over staggered work-zones. In this case no notable behavioural changes were observed. Merely the numerous deviations and changed traffic routings can be seen as mentally demanding characteristics. Thus, too many work-zones in close succession should be avoided. Furthermore, longer reassurance route between the staggered work-zones may compensate a large proportion of aggression and frustration by repeatedly offering breaks from stressful driving within work-zones. According to the study's results speed limits should be implemented here as not to force the traffic participant to decelerate excessively before entering the next work-zone segment. In addition, long reassurance routes towards the end of a series of work-zones can harmonise the velocities and thereby stabilise the traffic flow.

At all investigated simulation studies to reduce the speed before a work-zone, good compliance with the speed limit was observed. Merely information on the reason for a reduced speed limit should be made visible to traffic participants.

In general, information on the construction progress and the current situation should be made available to traffic participants. This gives traffic participants a feeling of inclusion with regard to the processes in

the work-zone leading to more positive perceptions thereof. A more relaxed driving experience in work-zones is another result enforced by this state of mind.

With regard to the possibility of changing the colour design of the median divider with the left demarcation of the auxiliary lane the simulation study resulted in the following finding: The colour design of the median divider tends to lead the traffic participant to use the left side to orientate him/herself rather than the right side. The test persons perceive the right lane to be more of a hazard than oncoming traffic on the other side of the dividing elements.

Conclusions drawn from simulator studies must always be viewed critically and with much caution. All recommendations should be tested under real conditions and evaluated once more.

Summary

Psychological effects of work-zone length, design and staggered alignment thereof on traffic participants

1. Initial situation, problem definition and objective

Work zones will undoubtedly be part of the streetscape of Federal motorways in Germany in the future and thus interfere with traffic operations. Currently, 850 work-zones of extended periods of time with an average length of 3.3 kilometres and an average duration of 106 days are in place throughout Germany [STEINAUER et al., 2011]. Also, around 100,000 work-zones of short periods of time are added every year [KEMPER, 2010]. Particularly work-zones of extended periods of time demand increased attentiveness and lead to a more challenging driving task. This is a result of narrower auxiliary lanes which exhibit an altered traffic routing and may even be shifted onto the oncoming lane. The generally increasing traffic volume and the reduced performance in and around work-zones lead to traffic in excess of the road capacity which may lead to an immense impairment of traffic flow. The individual traffic participant's scope for making decisions (i.e. speed, lane or safety distance) is also influenced by increased traffic volumes. The aforementioned issue is amplified due to the increase of vehicle widths; especially with regard to narrow auxiliary lanes in work-zones of extended periods of time.

Taking into consideration these aspects, innovative concepts and planning approaches are being developed in order to decrease the construction period (duration which work-zones are in place) and thus ensure minimal interferences with free flowing traffic. Two of these concepts have a direct impact on the construction field length and the density of work-zones. On the one hand, the period that a work-zone is in place depends on its length because longer construction fields allow for the optimisation of processes. On the other hand, new financing models for motorway construction, such as Public-Private-Partnerships (PPP), are gaining popularity. In this case, reduced construction durations can be achieved by conducting measures on motorway sections in a concentrated manner with numerous

work-zones of extended durations in close succession.

Significantly reduced construction periods and consequentially reduced influences on traffic quality and safety lead to novel situations for traffic participants. At present no adequate information on the results of these concepts is available.

Changes in driving behaviour of traffic participants in work-zones as opposed to on open roads have already been studied with regard to traffic engineering in recent research projects and can be described with the driver's choice of speed, lane or safety distance.¹ The question if and to what degree the obtained results apply to very long work-zones or series of work-zones requires more research under newly defined focal points.

2. Literature study

Analyses by DINER, 2011 reveal that characteristic factors of the distinct work-zones, such as narrow auxiliary lanes, high traffic loads or work-zone facilities are to be assessed more critically with regard to their influence on the individual's way of driving than the actual series of work-zones. However, investigations on the psychological effects of staggered work-zones on traffic participants were not included.

With regard to traffic psychology it is generally expected that any interference with regulated and planned traffic flow often lead to annoyance and anger in traffic participants. This is particularly pronounced when numerous interferences (work-zones in this case) are in close succession. The consequential emotional state of the traffic participant may in turn have a negative effect on the driving behaviour. Aggressive driving (tailgating or tracking manoeuvres with aggressive intensions) and compensatory behaviour (excessive speeds after work-zones) are examples for these negative effects.

Currently, only traffic related aspects are used in the development of standards and specifications whilst psychological aspects are disregarded in the process.

According to the control loop of Echterhoff roads and humans are two of the three factors that influence one

¹ Vgl. z.B. BAIER et al, 2006; VOLKENHOFF/KEMPER/STEINAUER, 2011; SÜMMERMANN, 2012

another. A human's behaviour is a factor that must be included in the design of roads since the road dictates the driving behaviour in turn (ECHTERHOFF, 1991).

When designing the passage through work-zones on roads further factors must be taken into consideration, which arise from external constraints. This leads to even more limitations when designing the work-zone road than one would encounter under normal conditions. Some critical factors are given in the following:

- The economic feasibility of machinery, which determines the length and the succession of work-zones.
- The traffic volume, which influences the number of auxiliary lanes.
- The width of the original road and the effective width, which define the number and the width of auxiliary lanes.

Up to date only few studies have focused on the psychological effects of work-zones.

A study by MAAG et al, 2003 on aggression in traffic derived the conditions for, and the frequency of the emergence of aggressive behaviour on federal motorways; however the aspect of work-zones is not explicitly included in the analyses.

An overview of causes for aggressive behaviour in traffic can be found in SHINAR, 1999. According to that a frustrating situation, such as an extended time of travel as is often the case in work-zones, is often a necessary origin for the emergence of aggression. The driver's personality as well as various environmental factors govern how likely a situation is to lead to aggressive behaviour. In practice, tailgating or insulting other traffic participants are defined as directly expressed aggression. MAAG et al, 2003 interpret notoriously driving on the left lane as a form of aggressive behaviour.

A study by CALVERT/WALKER, 2013 on modelling driving behaviour in work-zones focused on two main points: On the one hand the psychology of queuing was analysed and on the other hand early vs. late merging of traffic in a lane were observed. Aggravation and discontent in work-zones often result from insufficient information of the public („Unexplained waits are longer than explained waits“; MAISTER, 2005). A mature traffic information system may reduce the severity of these emotional states. The second observed point is the merging strategy. According to CALVERT/WALKER, 2013

drivers are more likely to adopt an “early merge” strategy to avoid irritation.

FREEMAN et al, 2000 analysed causes for accidents in work-zones. On the driver's side high speeds often lead to the respective situation. Further, tailgating, aggressive driving as well as inconsiderate driving are also seen as causes. Road related risk zones are: „approaches to lane closures, diverging lanes, entry slips and contra-flows“.

The research project “Psychological effects of work-zones on traffic participants” commissioned by the BASt [PETZOLDT et al, 2016] included an empirical investigation of the psychological effects a work-zone has on traffic participants. These were analysed by making use of groups of experts, focus groups of users, surveys at motorway service areas and online as well as a study in a driving simulator. The lane width was identified as being of significant influence. The length of work-zones and the altered traffic routing of auxiliary lanes were also deemed to be of importance. The use of “smiley-signs”, used in some states to indicate the remaining length of a work-zone received a positive evaluation, whilst the informative signs were described as in need of improvements.

It is necessary to note that despite the abovementioned studies, the influences of work-zone lengths and staggered alignments of work-zones on traffic participants have not been analysed sufficiently from both, traffic engineering and psychological perspective. The objective of this project is to measure the effects on various levels and in different contexts to derive recommendations for implementations in practice.

3. Field study

The objective of the field study is to analyse the effect of select work-zones on traffic participants. For this purpose surveys are conducted at work-zones of prolonged duration which exhibit different characteristics. Data is collected with measurement gear attached to test persons who drive through a selection of work-zones. The test-person's behaviour is recorded and analysed. In addition, interviews are conducted with test persons as well as other traffic participants. A questionnaire that is applicable for various target groups was developed for this purpose.

All test persons are interviewed immediately after measurements are taken. To properly assess the test persons with regard to the total traffic volume interviews are conducted with other traffic participants at suitable parking spaces immediately after each analysed work-zone. By doing this the data collected from test persons on the respective day (thereby considering conditions such as weather, time of year and holiday situation, ...) can be classified within the total traffic volume. Further measures to classify these two groups within the total traffic volume online questionnaires were published on homepages relevant to this project.

The purpose of the online questionnaire and on-site interviews is to consider a larger number of test persons and to allow for generalised conclusions with regard to traffic participants.

In the scope of the data analysis distinctive situations were identified, during which the traffic participant is exposed to high mental demands, leading to stress. Based on these results the relationship between mental demands and their possible origins (work-zone design and characteristics) as well as the surrounding traffic is analysed.

Ultimately, the analyses shall be used to derive hypotheses which allow for a more precise analysis in the driving simulator. This shall clarify if, and to what extent work-zones on federal motorways with various properties affect traffic participants.

4. Hypotheses

In general the results of the field study conclude that there is a notable adaptation period when passing through a work-zone, whereby the absolute length of a work-zone did not seem to have any recognisable effects on the adaptation period on the investigated stretches.

With regard to a staggered alignment of work-zones no notable differences were identified between the respective work-zones. All work-zones in a staggered alignment (i.e. in close succession) are traversed in a nearly identical manner.

With regard to the speeding behaviour these work-zones exhibited decreased velocities whereas traffic participants tend to allow their vehicles to continue coasting in the case of other work-zones.

In addition, the test person is exposed to higher stress levels due to increased rerouting and deviations in work-zones with staggered alignment.

The conducted investigations on work-zones allow for a better understanding of the work-zone design and the influence of traffic routing as well as the lane width.

In this sense, the design of the traffic lane boundary/dividing elements of the left lane influences the traffic participant's visual behaviour. With a regular traffic routing the focus during overtaking is primarily the guardrail whereas, in the case of deviated lanes, oncoming traffic becomes a focal point more frequently. In and directly following deviations the visual behaviour was shown to be more unsteady as the focal points change in short intervals.

The width of lanes also has an effect on visual behaviour. A traffic participant's gaze tends to wander off more often on wide lanes as opposed to narrow lanes. Furthermore, narrow lanes coupled with high traffic volumes lead to increased lateral distances between vehicles.

In the transverse direction traffic participants on narrow lanes tend to maintain smaller distances to the left side than to the right whilst simultaneously reducing the speed.

In such situations the test persons perceive the right lane to be more of a hazard than oncoming traffic on the other side of the dividing elements. This also manifests itself in the distances between vehicles during overtaking, which are kept smaller on wider lanes than on narrow lanes.

Further insight could be gained with regard to the acceptance. In this sense the individual's acceptance tended to be higher as the level of knowledge on the length and purpose of the work-zone increased.

Another influential aspect is the speed limit. A speed limit of 80 km/h is more likely to be complied with in the work-zone if the speed limit is reduced to 60 km/h in the deviation at the beginning of the work-zone. However, in the case of continuous speed limitations, a speed limit of 60 km/h is exceeded significantly whilst a speed limit of 80 km/h is exceeded often.

Based on the insight gained from the empirical investigations hypotheses are derived which shall be used as the basis for the driving simulation study. The most relevant findings for the hypotheses with

regard to work-zone length, design and staggered alignment thereof are summarised in the following.

1. The length of work-zones has an effect on the driving behaviour particularly in the case of long work-zones.
2. Based on the driving behaviour alone, a staggered alignment (many work-zones in close succession) is not to be favoured over a single long work-zone.
3. The length of the reassurance route between staggered work-zones influences the driving behaviour in the respective work-zone segments in staggered alignment
4. Imposing a speed limit of 60 km/h at the beginning of a work-zone results in more calm traffic within the work-zone.
5. A continuous speed limit of 60 km/h encourages the driver to exceed the speed limit more severely than a continuous speed limit of 80 km/h.
6. A colour designed median divider induces a greater safety distance to the left of the lane demarcation as opposed to with no colour design.

A summarising assessment of real and simulated test drives are used to identify and describe relevant characteristics of work-zones as well as their effect on traffic participants.

5. Simulator study

The objective of the driving simulation study is the verification of the hypotheses derived and defined in chapter 5. Assuming a large sample and consistent boundary conditions the driving simulator allows for the verification of characteristics deemed as being relevant for the test person with regard to the length and staggered alignment of work-zones.

The simulation study is conducted in the driving simulation lab of the Institute for Highway Engineering, Aachen (isac) which has previously been used and is still in use in impact analyses of traffic equipment. The simulator enables various designs of work-zones and the variation of factors such as traffic routing, lane width, safety elements or information boards, as well as the measurement of suggested variables of the driving behaviour.

6. Conclusions

The presented research project aimed at gaining insight into the psychological effects of work-zones on traffic participants and deriving recommendations for the future design of work-zones with regard to the length and design of work-zones and staggered alignment thereof.

The interdisciplinary approach, involving the cooperation with psychologists, sociologists and traffic engineers allows for a broad analysis under consideration of new aspects for all involved parties, resulting in the realisation that certain rules for designing work-zones ought to be reconsidered.

Relevant rules and regulations state that a traffic participant may be exposed to work-zones of merely 12 kilometres, whereas new test results indicate that lengths of 15-20 kilometres are acceptable, provided that the lane width is sufficient. Only work-zones exceeding this length exhibited distinctive features concerning the tendency to travel at higher speeds.

One cannot generally state that a long work-zone is favourable over staggered work-zones. In this case no notable behavioural changes were observed. Merely the numerous deviations and changed traffic routings can be seen as mentally demanding characteristics.

Thus, too many work-zones in close succession should be avoided. Furthermore, reassurance routes between staggered work-zones may compensate a large proportion of aggression and frustration by repeatedly offering breaks from stressful driving within work-zones. According to the study's results speed limits should be implemented here as not to force the traffic participant to decelerate excessively before entering the next work-zone segment.

In addition, long reassurance routes towards the end of a series of work-zones can harmonise the velocities and thereby stabilise the traffic flow.

At all investigated simulation studies to reduce the speed before a work-zone, good compliance with the speed limit was observed. Merely information on the reason for a reduced speed limit should be made visible to traffic participants.

In general information on the construction progress and the current situation should be made available to traffic participants. This gives traffic participants a

feeling of inclusion with regard to the processes in the work-zone leading to more positive perceptions thereof. A more relaxed driving experience in work-zones is another result enforced by this state of mind.

With regard to the possibility of changing the colour design of the median divider with the left demarcation of the auxiliary lane the simulation study resulted in the following finding: The colour design of the median divider tends to lead the traffic participant to use the left side to orientate him-/herself rather than the right side. The test persons perceive the right lane to be more of a hazard than oncoming traffic on the other side of the dividing elements. This matter still necessitates more precise analyses to derive recommendations on if and how demarcations should be placed.

Concerning the results of the driving simulator study one must note that, with regard to ways to reduce the speed and colour design, the sample was very small as the main focus of the study was on the length and the staggered alignment of work-zones. Therefore the results should be viewed critically and may necessitate further analyses.

Generally speaking, conclusions drawn from data from simulations must be viewed critically and with much caution. All recommendations shall be tested under real conditions and evaluated once more.

Literature

BAIER et al, 2006

Baier, M. M.; Kemper, D.; Baur, O.; Steinauer, B.; Frank, H.: Sicherheitswirkung fluoreszierender Materialien bei Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 945, Bonn 2006

CALVERT/WALKER, 2013

Calvert, M.; Walker, G.: Modelling Driver Behaviour at Roadworks. Research Project Report. Transport Scotland; Schottland 2013

DINER, 2011

Diner, E., Auswirkungen von Arbeitsstellen in dichter Folge auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf am Beispiel des Ausbauprojekts BAB 1. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen University (unveröffentlicht), Aachen 2011

ECHTERHOFF, 1991

Echterhoff, W.; Häcker, H. (Hrsg.): *Verkehrspsychologie - Entwicklung, Themen, Resultate, Mensch - Fahrzeug - Umwelt*. Bd. 26. Köln : TÜV Rheinland GmbH, 1991

FREEMAN et al, 2000

Freeman, M.; Geston, J.; Coe, G.: Study into the causes and implications of accidents and incidents at roadworks: TRL. United Kingdom. 2000

KEMPER, 2010

Kemper, D.: Vergleichende Betrachtung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen bei Tag und Nacht. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen. Aachen. 2010

MAAG et al., 2003

Maag, C.; Krüger, H.-P.; Breuer, K.; Benmimoun, A.; Neunzig, D.; Ehmanns, D. (2003). Aggressionen im Straßenverkehr (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M151). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW

MAISTER, 2005

Maister, D.: The Psychology of waiting lines. http://www.columbia.edu/~ww2040/4615S13/Psychology_of_Waiting_Lines.pdf (last accessed 23.06.2014); 2005

PETZOLDT et al., 2016

Petzoldt, T.; Mair, C.; Roßner, P.; Bullinger, A.C.; Krems, J.F.: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf den Verkehrsteilnehmer. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe Verkehrstechnik*, Heft V 276. Bergisch Gladbach, 2016

SHINAR, 1999

Aggressive Driving: The contribution of the drivers and the situation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 1(2), 137-160

STEINAUER et al, 2011

Steinauer, B.; Sümmermann, A.; Kemper, D.; Baier, M. M.; Klemp-Kohnen, A.: Sicherheitsbewertung von Gegenverkehrstrennungen in Arbeitsstellen. FE 82.339/2007 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (in Bearbeitung), Aachen 2011

SÜMMERMANN, 2012

Sümmermann, A.: Verkehrssicherheits- und Verkehrsablaufsuntersuchungen in Arbeitsstellen längerer Dauer auf Autobahnen in Deutschland. Dissertation am Institut für Straßenwesen Aachen, 2012

VOLKENHOFF/KEMPER/STEINAUER, 2011

Volkenhoff, T.; Kemper, D.; Steinauer, B.: Pilothafte Verbesserung der Verkehrssicherheit einer Baustelle mittels moderner Systeme zur Verkehrserfassung zur Stauvermeidung im Zuge der A 1. FE 86.0063/2008 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht), Aachen 2011

Inhalt

		4.1.1 Befragungsergebnisse für die A5	36
		4.1.2 Befragungsergebnisse für die A4	38
		4.1.3 Befragungsergebnisse für die A8	40
		4.1.4 Vergleichende Bewertung der Arbeitsstellen	41
		4.2 Empirische Felduntersuchungen	41
		4.2.1 Geschwindigkeiten	42
		4.2.2 Bremsmanöver	46
		4.2.3 Abstand längs	48
		4.2.4 Überholungen	48
		4.2.5 Abstand quer	48
		4.2.6 Fahrstreifenwahl	50
		4.2.7 Herzfrequenz	50
		4.2.8 Blickbewegungen	50
		5 Erarbeitung von Hypothesen	56
		5.1 Arbeitsstellenlängen	56
		5.2 Arbeitsstellenstaffelungen	57
		5.3 Arbeitsstellengestaltungen	57
		5.4 Sonstige Erkenntnisse	59
		5.5 Hypothesen	60
		6 Konzeption der Fahrsimulatorstudie	61
		6.1 Fahrsimulator	61
		6.1.1 Ausführung	61
		6.1.2 IsacFaSi	63
		6.2 Szenarien und Versuchsplanung	65
		6.2.1 Beschreibung der Szenarien	66
		6.2.2 Ablauf der Fahrsimulatorversuche	66
		6.3 Messgrößen	67
		6.3.1 Beanspruchung	67
		6.3.2 Fahrverhaltensvariablen	68
		6.3.3 Befragung	69
		7 Ergebnisse der Fahrsimulatorstudie	69
		7.1 Szenario 1	69
		7.1.1 Geschwindigkeiten	69
		7.1.2 Standardabweichung der lateralen Position	70
1	Ausgangslage, Problemstellung und Zielsetzung		13
2	Grundlagenrecherche		13
2.1	Regelwerke und verkehrstechnische Aspekte		14
2.1.1	Fahrstreifenbreiten in Arbeitsstellen längerer Dauer		14
2.1.2	Streckenlänge von Arbeitsstellen längerer Dauer		15
2.1.3	Zulässige Höchstgeschwindigkeiten in Arbeitsstellen		15
2.1.4	Sonstige verkehrstechnische Aspekte		17
2.2	Verkehrspsychologische Aspekte		18
2.3	Wechselseitige Beziehungen zwischen verkehrstechnischen und verkehrspsychologischen Aspekten		21
3	Konzeption der Feldstudie		22
3.1	Entwicklung geeigneter Untersuchungsinstrumente / Methoden		23
3.1.1	Probandenfahrzeug		23
3.1.2	Herzfrequenzmessgerät		23
3.1.3	Eye-Tracking-Brille		24
3.1.4	Optischer Sensor am Probandenfahrzeug		26
3.1.5	Kamera im Probandenfahrzeug		27
3.1.6	Kamera im Nachfolgefahrzeug		28
3.1.7	Querschnittsmessungen		28
3.1.8	Befragungen		29
3.2	Auswahl und Festlegung geeigneter Arbeitsstellen		30
3.2.1	BAB A5: Ober-Mörlen - Friedberg		30
3.2.2	BAB 4: Düren – Kerpen		32
3.2.3	BAB A8:Dasing – Günzburg		35
4	Ergebnisse der Feldstudie		36
4.1	Empirische Befragungen		36

7.1.3	Blickbewegung	70	7.6.6	Beanspruchungsabfrage	90
7.1.4	Pupillometrie	70	7.6.7	Nebenaufgabe	90
7.1.5	Beanspruchungsabfrage	70	8	Bewertung der Hypothesen	90
7.1.6	Nebenaufgabe	72	8.1	Hypothese 1	91
7.2	Szenario 2	73	8.2	Hypothese 2	91
7.2.1	Geschwindigkeiten	73	8.3	Hypothese 3	91
7.2.2	Standardabweichung der lateralen Position	73	8.4	Hypothese 4	91
7.2.3	Blickbewegung	73	8.5	Hypothese 5	91
7.2.4	Pupillometrie	73	8.6	Hypothese 6	91
7.2.5	Beanspruchungsabfrage	76	9	Fazit	92
7.2.6	Nebenaufgabe	76	Literatur		93
7.3	Szenario 3	77	Bilder		97
7.3.1	Geschwindigkeiten	77	Tabellen		99
7.3.2	Standardabweichung der lateralen Position	77			
7.3.3	Abstand zur Mitteltrennung	79			
7.3.4	Blickbewegung	81			
7.3.5	Pupillometrie	81			
7.3.6	Beanspruchungsabfrage	82			
7.3.7	Nebenaufgabe	82			
7.4	Szenario 4	82			
7.4.1	Geschwindigkeiten	83			
7.4.2	Standardabweichung der lateralen Position	83			
7.4.3	Abstand zur Mitteltrennung	87			
7.4.4	Blickbewegung	87			
7.4.5	Pupillometrie	87			
7.4.6	Beanspruchungsabfrage	88			
7.4.7	Nebenaufgabe	88			
7.5	Ergebnisse der Befragungsdaten	88			
7.6	Vergleichende Betrachtung der Szenarien	89			
7.6.1	Geschwindigkeiten	89			
7.6.2	Standardabweichung der lateralen Position	89			
7.6.3	Abstand zur Mitteltrennung	89			
7.6.4	Blickbewegung	89			
7.6.5	Pupillometrie	89			

1 Ausgangslage, Problemstellung und Zielsetzung

Arbeitsstellen im Bundesautobahnnetz werden auch in Zukunft zum Straßenbild in Deutschland gehören und somit einen Eingriff in den Verkehr darstellen. Derzeit werden in Deutschland ca. 850 Arbeitsstellen längerer Dauer mit einer durchschnittlichen Länge von 3,3 Kilometern und einer mittleren Dauer von 106 Tagen eingerichtet [STEINAUER et al., 2011]. Hinzu kommen deutschlandweit jährlich etwa 100.000 Arbeitsstellen kürzerer Dauer [KEMPER, 2010]. Vor allem in Arbeitsstellen längerer Dauer entsteht durch die Führung des Verkehrs auf verengten Behelfsfahrstreifen, die teilweise verschwenkt oder auf die Gegenfahrbahn übergeleitet werden, eine hohe Anforderung hinsichtlich der Aufmerksamkeit sowie der eigentlichen Fahraufgabe des Verkehrsteilnehmers. Darüber hinaus ist aufgrund der insgesamt steigenden Verkehrsbelastungen und den reduzierten Leistungsfähigkeiten im Bereich von Arbeitsstellen eine Überschreitung der Kapazitätsgrenzen zu beobachten, die sich zu einer massiven Verkehrsstörung entwickeln kann. Die steigenden Verkehrsbelastungen sind auch im Einfluss auf die individuellen Entscheidungsspielräume der Verkehrsteilnehmer (z. B. Geschwindigkeitswahl, Fahrstreifenwahl oder der Wahl der Sicherheitsabstände) wiederzufinden. Die Entwicklung, hin zu immer breiteren Fahrzeugen, bei gleichbleibenden Fahrstreifenbreiten, verschärft diese Problematik insbesondere im Bereich enger Behelfsverkehrsführungen in Arbeitsstellen längerer Dauer.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte werden innovative Konzepte und planerische Herangehensweisen entwickelt, welche eine Verkürzung der Bauzeit (Arbeitsstellendauer) bewirken und somit einen möglichst geringen Eingriff in den freien Verkehr gewährleisten. Zwei dieser Konzepte wirken unmittelbar auf die Baufeldlänge und die Dichte von Arbeitsstellen ein. Auf der einen Seite hängt die Arbeitsstellendauer unmittelbar mit der Länge dieser zusammen, da durch längere Bauabschnitte eine Vergrößerung der Baufelder sowie die Optimierung von Bauabläufen realisiert wird. Auf der anderen Seite rücken neue Straßenbaufinanzierungsmodelle wie z. B. die öffentlich-private Partnerschaft (ÖPP) verstärkt in den Vordergrund. Hierbei wird die Reduzierung der Bauzeit durch den konzentrierten Ausbau von Autobahnabschnitten mit mehreren Arbeitsstellen längerer Dauer in dichter Folge ermöglicht.

Bei einer deutlichen Reduzierung der Bauzeit und somit einer Verringerung der Einwirkungen auf die Verkehrsqualität und Verkehrssicherheit stellt sich in Form derartiger Konzepte jedoch auch eine neue Situation für den Verkehrsteilnehmer dar, über welche aus heutiger Sicht keine ausreichenden Erkenntnisse vorliegen. Die Veränderung des Fahrverhaltens von Verkehrsteilnehmern im Bereich von einzelnen Arbeitsstellen gegenüber der freien Strecke wurde in aktuellen Forschungsprojekten aus Sicht der Verkehrstechnik bereits untersucht und kann durch die Geschwindigkeitswahl, das Abstandsverhalten oder die Fahrstreifenwahl beschrieben werden.¹ Die Frage, ob bzw. in welcher Form die vorliegenden Erkenntnisse auch auf überlange Arbeitsstellen oder sogar Arbeitsstellenfolgen übertragen werden können muss unter Setzung neuer Untersuchungsschwerpunkte geklärt werden.

2 Grundlagenrecherche

Als Arbeitsstellen an Straßen werden solche Stellen bezeichnet, bei denen Verkehrsflächen vorübergehend für Arbeiten abgesperrt werden. Anlass hierfür können Arbeiten an der Straße selbst, Arbeiten neben oder über der Straße, Arbeiten an Leitungen in oder über der Straße sowie Vermessungsarbeiten sein (RSA, 1995). In den RSA, 1995 erfolgt die Differenzierung der Arbeitsstellen nach ihrer Durchführungsdauer und der Tageszeit. Es wird unterschieden nach Arbeitsstellen von längerer und kürzerer Dauer sowie Arbeiten bei Dunkelheit.

In der Regel werden die Fahrstreifenbreiten in Arbeitsstellen längerer Dauer auf Autobahnen verringert. Die Definition der anrechenbaren Querschnittsbreiten unterscheidet sich dabei zwischen den RAS-Q, 2006 bzw. RAA, 2008 und den RSA, 1995. Während in den RAS-Q, 2006 bzw. RAA, 2008 die Fahrstreifenbreiten ohne markierte Fahrstreifenbegrenzung angerechnet werden, schließt die RSA, 1995 die seitliche Begrenzung ein. Das bedeutet, dass der Verkehrsraum in der Arbeitsstelle geringer ist als im Normalfall ohne Arbeitsstelle.

Aus ersten Analysen von DINER, 2011 tritt hervor, dass aus Sicht der Verkehrstechnik die Einflussgrößen der einzelnen Arbeitsstelle, wie z. B. geringe

¹ Vgl. z.B. BAIER et al, 2006; VOLKENHOFF/KEMPER/STEINAUER, 2011; SÜMMERMANN, 2012

Behelfsfahrstreifenbreite, hohe Verkehrsbelastung oder die Arbeitsstellenausstattung, hinsichtlich der Einflussnahme auf die individuelle Fahrweise der Verkehrsteilnehmer in einer Arbeitsstellenfolge deutlich kritischer zu bewerten sind als die eigentliche Arbeitsstellenfolge. Offen blieb bislang hingegen die Untersuchung der psychologischen Wirkung der Arbeitsstellenfolge auf den Verkehrsteilnehmer. Durch die steigenden Anforderungen an die Verkehrsteilnehmer aufgrund

- enger Fahrstreifen ↔ breiterer Fahrzeuge,
- längerer Arbeitsstellen,
- höheren Verkehrsaufkommens und einer dichteren Folge von Arbeitsstellen sowie
- einem zunehmenden Termindruck

werden die psychologischen Aspekte bei der Beurteilung von Arbeitsstellen immer wichtiger.

Aus verkehrspsychologischer Sicht gilt grundsätzlich, dass jegliche Eingriffe in einen geregelten und planbaren Verkehrsablauf häufig zu Unmut und Ärger beim Verkehrsteilnehmer führen können. Dies ist besonders ausgeprägt, wenn sich die Eingriffe (hier Arbeitsstellen) in dichter Folge aneinanderreihen. Der sich einstellende emotionale Zustand kann wiederum negative Folgen auf das Fahrverhalten² haben. Aggressives Fahren (z. B. Auffahr- und Folgemanöver mit aggressiver Intention) oder ein kompensatorisches Fahrverhalten, wie überhöhte Geschwindigkeit nach einer Arbeitsstelle, sind beispielsweise als derartige negative Folgen zu nennen.

Die Auswirkungen von unterschiedlichen Gestaltungen von Arbeitsstellen längerer Dauer auf das Fahrerverhalten, unter besonderer Berücksichtigung psychologischer Aspekte, wurde im FE 01.0177 „Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellen auf den Verkehrsteilnehmer“ im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen untersucht (vgl. Kapitel 2.3).

Momentan gehen psychologische Aspekte, im Gegensatz zu verkehrstechnischen Aspekten, nicht in die Erstellung von Regelwerken ein.

² Mit dem Begriff Fahrverhalten ist im Folgenden sowohl das von „außen“ messbare Fahrverhalten, wie Geschwindigkeiten oder Abstände, als auch das individuelle Fahrverhalten (z. B. aggressiv, passiv,...) gemeint.

2.1 Regelwerke und verkehrstechnische Aspekte

Die „Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen“ [RSA, 1995] stellen das gültige Regelwerk dar, nach dem Arbeitsstellen an allen Straßen in Deutschland gesichert werden müssen. Nach den RSA, 1995 wird der Begriff Arbeitsstelle wie folgt definiert: „Als Arbeitsstellen an Straßen werden solche Stellen bezeichnet, bei denen Verkehrsflächen vorübergehend für Arbeiten abgesperrt werden“ [RSA, 1995]. Zudem wird festgelegt, dass Arbeitsstellen von längerer Dauer alle solche Arbeitsstellen sind, „die mindestens einen Kalendertag durchgehend und ortsfest aufrecht erhalten werden“ [RSA, 1995]. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird häufig der Begriff Baustelle synonym für eine Arbeitsstelle verwendet.

2.1.1 Fahrstreifenbreiten in Arbeitsstellen längerer Dauer

In den RSA wird die Mindestbreite der Behelfsfahrstreifen auf Autobahnen in Abhängigkeit von der Arbeitsstellenlänge und der Beschränkung der Fahrzeugbreiten festgelegt (siehe Tabelle 1).

Dabei geht die Breite der Fahrbahnbegrenzung voll und die Breite der Leitlinien je halb in die Bemessung der anliegenden Fahrstreifen mit ein.

In den letzten Jahren findet man auf Autobahnen jedoch immer häufiger eine Beschränkung der Fahrzeugbreite auf bis zu 2,1 m. Laut einer Untersuchung von SCHUSTER et al, 2012 haben sich zwischen den Jahren 1999/2000 und 2010 die Fahrzeugbreiten ohne Seitenspiegel der neu zugelassenen Personenkraftwagen von 1,76 m um 0,15 m auf 1,91 m vergrößert. Wird die gesamte Fahrzeugbreite inklusive der Seitenspiegel betrachtet, so beträgt die durchschnittliche Breite der 2010 neu zugelassenen Pkw 2,09 m. Weniger als 2 m Breite haben

Fahrzeugbreite	Länge der Arbeitsstelle [km]		
	bis zu 6	mehr als 6 bis zu 9	mehr als 9
Beschränkung auf bis zu 2 m (Z 264)	2,50 m (3,25 m)	3,00 m (3,25 m)	3,25 m
unbeschränkt	3,25 m (3,00 m)		

Tab. 1: Mindestbreite von Behelfsfahrstreifen in Abhängigkeit von der Länge der Arbeitsstelle [RSA, 1995]

2010 durchschnittlich nur noch Fahrzeuge in den Segmenten Minis und Kleinwagen (vgl. SCHUSTER et al, 2012, zitiert nach ELLMERS, 2012). Dies bedeutet, dass ein Großteil der neu zugelassenen Pkw eine Breite über 2 m besitzt und damit nach RSA, 1995 nicht mehr auf den Behelfsfahrbahnen mit Beschränkung auf 2 m fahren darf. Da der Verkehrsteilnehmer sich zum Teil der Breite seines Fahrzeugs nicht bewusst ist – im seit Oktober 2005 ausgegebenen Fahrzeugschein wird nur die Breite des Fahrzeugs ohne Seitenspiegelbreiten angegeben – begehen viele Verkehrsteilnehmer unwissentlich einen Verstoß gegen die Straßenverkehrsordnung. Dem Problem wird vermehrt in Arbeitsstellen auf Autobahnen entgegen gewirkt, indem schmalere Leitelemente zwischen den entgegengesetzt gerichteten Verkehrsströmen eingesetzt werden und so die gewonnene Breite den Fahrbahnbreite zugeschlagen wird. Dementsprechend werden diese Fahrbahnen solcherart ausgestatteter Arbeitsstellen mit einer Beschränkung bis zu 2,1 m versehen, was mittels einer Ergänzung des Verkehrszeichens 264 dem Verkehrsteilnehmer mitgeteilt wird (siehe Bild 1) [vgl. ELLMERS, 2012].

Es wird ersichtlich, dass dem Verkehrsteilnehmer bei beschränkten Fahrbahnen und bei maximaler Ausnutzung der erlaubten Fahrzeugbreite, ein seitlicher Sicherheitsraum von 0,5 m zugemutet wird. Diesen Sicherheitsraum, der sich rechts bis zur Mitte der Leitlinie erstreckt und links die Breite der Fahrbahnbegrenzung einschließt, muss sich der Verkehrsteilnehmer selbst einteilen.

Nach FISCHER/BRANNOLTE, 2006 liegt der Anteil der zur Verfügung stehenden Restbreite bei Überholvorgängen zu einem Drittel links vom überholenden Fahrzeug und zwei Dritteln rechts vom überho-

lenden Fahrzeug, wobei dieser Abstand nicht von der Mitte der Fahrbahnenmarkierung aus gemessen wird sondern vom überholten Fahrzeug aus. Hier wird also zusätzlich der gewählte Abstand des überholten Fahrzeugs zur Mitte der Fahrbahnenmarkierung hinzugenommen (vgl. FISCHER/BRANNOLTE, 2006).

Die Fahrbahnenmarkierung im Bestand ist weiß und gilt nach Straßenverkehrsordnung als Verkehrszeichen. Die Fahrbahnenbegrenzung (Verkehrszeichen 295) und die Leitlinie (Verkehrszeichen 340) gelten als Ge- oder Verbote, welche zu befolgen und einzuhalten sind (vgl. StVO, 2013). Vorübergehende Fahrbahnenmarkierungen sind nach der „Richtlinie für die Markierung von Straßen“ [RMS, 1993] als gelbe Markierung auszuführen. Diese vorübergehend gültigen Markierungen heben die Gültigkeit der weißen Markierungen auf [vgl. StVO, 2013].

2.1.2 Streckenlänge von Arbeitsstellen längerer Dauer

„Arbeitsstellenlängen von mehr als 12 km Länge sollen vermieden werden“ [BMVBS, 2011]. Diese Aussage wird im „Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen“ getroffen. Es sollen „maßgebliche Faktoren wie Verkehrsablauf, Verkehrsführung, Verkehrssicherheit, Streckencharakteristik und Wirtschaftlichkeit des effizienten Maschineneinsatzes“ [BMVBS, 2011] Berücksichtigung zur Wahl der optimalen Länge der Arbeitsstelle finden.

Somit gibt das Regelwerk keine Einschränkung der Länge für eine Arbeitsstelle längerer Dauer an, sondern alleine eine Empfehlung. RÜFFER/BRAUN, 2001 stellen ebenfalls eine Empfehlung zu Arbeitsstellenlängen auf: „Die Baustellenlänge sollte [...] bei maximal 15 km liegen“. Diese Aussage wird im Rahmen einer Verkehrssicherheitsuntersuchung getroffen, die vor allem auf der Analyse von Unfalldaten basiert.

2.1.3 Zulässige Höchstgeschwindigkeiten in Arbeitsstellen

Nach den RSA beträgt für Arbeitsstellen längerer Dauer auf Autobahnen die zulässige Höchstgeschwindigkeit für den kompletten Bereich der Arbeitsstelle in der Regel 80 km/h. In besonderen Fällen kann nach Prüfung des vorliegenden Falls die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h her-

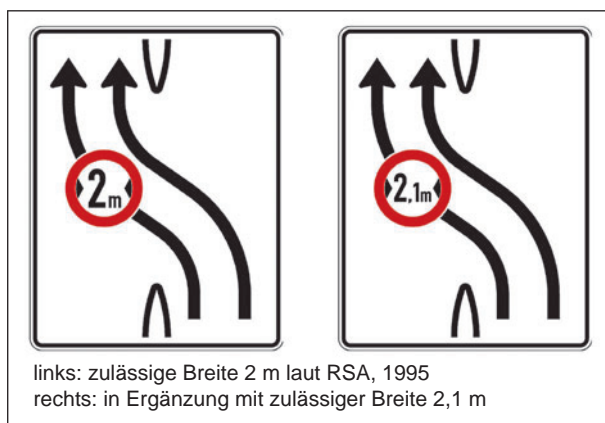


Bild 1: Verkehrszeichen 505 (Überleitung) mit eingebundenem Verkehrszeichen 264 [ELLMERS, 2012]

abgesetzt werden. Ein solcher Fall liegt unter anderem dann vor, wenn die Breite des Behelfs-Hauptfahrstreifens weniger als 3,25 m beträgt oder wenn die Fahrbahndecke des zu befahrenden Bereichs in einem schlechten Zustand ist. Eine weitere Abminderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 40 km/h kann bei besonderen Gefahrenstellen im Arbeitsstellenbereich angeordnet werden. So kann die Geschwindigkeit bspw. reduziert werden, wenn Personen direkt am Verkehrsbereich tätig sind und der erforderliche Sicherheitsabstand nicht eingehalten werden kann.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit kann mit 100 km/h auch oberhalb des Regelfalles liegen, wenn keine Gründe zur Abminderung der Höchstgeschwindigkeit vorliegen oder wenn die Behelfs-fahrstreifen sehr breit ausgelegt sind. Dies bedeutet, dass der rechte Fahrstreifen mindestens 3,5 m und der linke mindestens 3 m an Breite aufweisen müssen [vgl. RSA, 1995].

Grundlegend für die Festlegung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in Arbeitsstellen bleiben jedoch auch weiterhin die üblichen Kriterien. Maßgebend hierbei sind u. a. die Griffbarkeit bei Nässe oder die Kippsicherheit von Fahrzeugen bei allen Fahrbahnzuständen. Sind nach diesen Kriterien die Voraussetzungen für die reguläre Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h innerhalb der Arbeitsstelle nicht gegeben, so muss die Höchstgeschwindigkeit streckenweise angepasst werden. Vor allem im Bereich einer Überleitung auf die Gegenfahrbahn oder einer Verschwenkung kann eine vorgeschriebene ab-

schnittsweise Reduktion der Höchstgeschwindigkeit notwendig werden, da andernfalls vor allem bei großen Fahrzeugen mit hoher Schwerpunktlage die Gefahr des Kippens steigt [vgl. RSA, 1995].

Dass zwischen vorgeschriebener Höchstgeschwindigkeit und gefahrener Geschwindigkeit in Arbeitsstellen zum Teil große Differenzen bestehen, ist in diversen Studien nachgewiesen worden. So folgern RÜFFER/BRAUN, 2001 für den Baustellenbereich: „Nach wie vor stellen nicht angepasste Geschwindigkeit und Unaufmerksamkeit die Hauptunfallursachen dar“ [RÜFFER/BRAUN, 2001]. BAKABA et al, 2012 stellen heraus, dass die v_{85} um 5 bis 10 km/h über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegt. Dabei werden auf dem jeweils linken Fahrstreifen höhere Geschwindigkeiten gefahren als auf dem rechten [vgl. BAKABA et al, 2012].

FISCHER/BRANNOLTE, 2006 beobachten für eine vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auf den rechten Fahrstreifen eine v_{50} , die etwa der zulässigen Höchstgeschwindigkeit entspricht. Auf dem linken Fahrstreifen hingegen sehen sie bei der v_{50} deutliche Überschreitungen der Höchstgeschwindigkeit von teilweise mehr als 20 km/h. Auf den von ihnen untersuchten Streckenabschnitten mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h zeichnen sie eine noch deutlichere Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit auf. Auf dem rechten Fahrstreifen liegt die v_{50} bei 76 km/h, auf dem linken Fahrstreifen sogar bei 87 km/h. Zudem stellen sie einen Zusammenhang zwischen der Fahrstreifenbreite und der vom Ver-

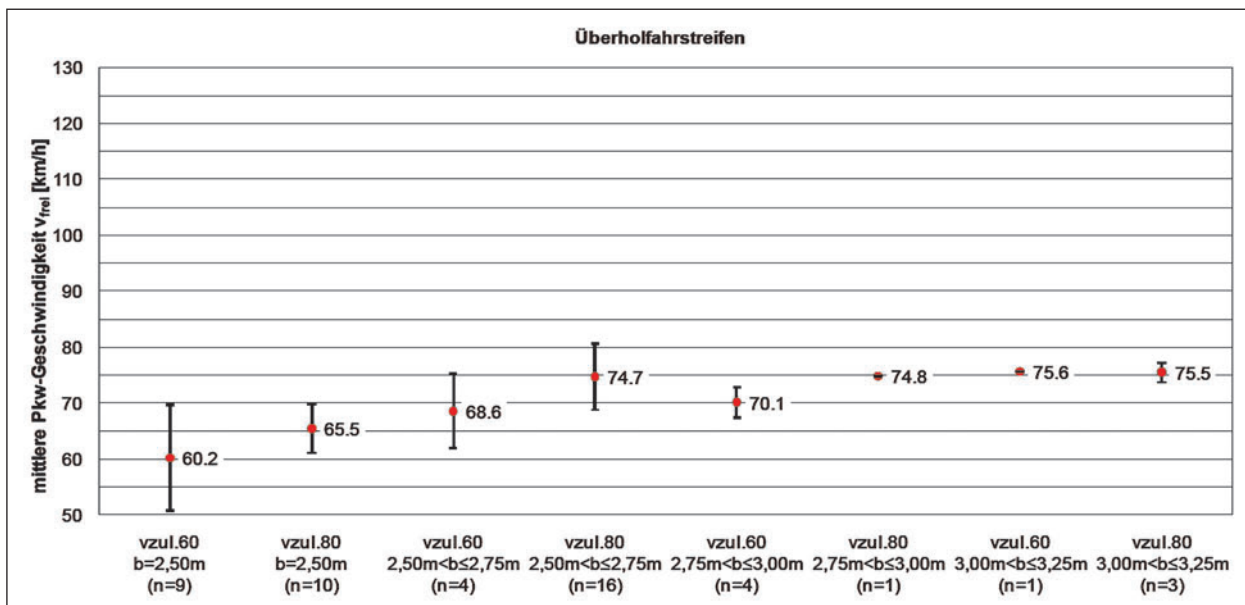


Bild 2: Pkw-Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von Fahrstreifenbreite und v_{zul} auf dem Überholfahrstreifen [SÜMMERMANN, 2012]

kehrsteilnehmer gewählten Geschwindigkeit her. „Tendenziell steigen die mittleren Geschwindigkeiten der Fahrzeuge mit größeren Fahrstreifenbreiten an (um bis zu 10 km/h)“ [vgl. FISCHER/BRANNOLTE, 2006]. Beide Aussagen werden von STEINAUER et al, 2011 bestätigt. Zum einen stellen sie heraus, dass die v_{85} bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h bei 75 km/h liegt und damit etwa 10 km/h unter der v_{85} bei Anordnung von 80 km/h. Auf dem Überholfahrstreifen (links) liegen die Überschreitungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf einem höheren Niveau als auf dem Hauptfahrstreifen (rechts). Zum anderen können sie feststellen, dass „in Arbeitsstellen mit breiteren Fahrstreifen [...] die zulässigen Geschwindigkeiten häufiger überschritten [werden] als in schmalere“ [vgl. STEINAUER et al, 2011].

Von SÜMMERMANN, 2012 werden diese Erkenntnisse bestätigt. Auf schmalen Überholfahrstreifen mit 2,50 m Breite wird um bis zu 10 km/h langsamer gefahren als auf mittelbreiten und breiten Überholfahrstreifen (Bild 2).

Zudem konnte nachgewiesen werden, dass auf gleich breiten Fahrstreifen die unterschiedlichen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten nur einen geringen Einfluss auf die gefahrenen freien Geschwindigkeiten haben. Bis zu einer Fahrstreifenbreite von 3,00 m wird bei v_{zul} von 60 km/h im Mittel um ca. 5 km/h langsamer gefahren als bei v_{zul} von 80 km/h.

Es ist zu konstatieren, dass insbesondere auf breiten Fahrstreifen (>3,00 m) die v_{zul} von 60 km/h nicht mehr eingehalten wird.

2.1.4 Sonstige verkehrstechnische Aspekte

Neben den bereits beschriebenen Aspekten bei der Arbeitsstelleneinrichtung gibt es noch weitere Aspekte, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Auf sie wird im Folgenden nur kurz eingegangen.

Trennung von entgegengesetzt gerichteten Verkehrsströmen

Für den Fall, dass ein Teil des oder der gesamte Verkehr auf die Gegenfahrbahn übergeleitet wird, müssen die entgegengesetzt gerichteten Verkehrsströme voneinander getrennt werden. Diese Trennung wird heutzutage üblicherweise mit transportablen Schutzeinrichtungen ausgeführt. Die Schutzeinrichtungen haben eine Höhe von mindestens

0,5 m und eine maximale Breite von 0,7 m [vgl. BMVBS, 1997]. Sie müssen den „Technischen Lieferbedingungen für transportable Schutzeinrichtungen“ [BMVBS, 1997] entsprechen. Der Trend geht zum Einsatz von schmalere Schutzeinrichtungen, um eine ausreichende Breite für die Behelfsfahrstreifen zur Verfügung stellen zu können (siehe Kapitel 2.1.1 Fahrstreifenbreiten in Arbeitsstellen längerer Dauer).

Im Regelfall beträgt die Breite des Mittelstreifens einer Autobahn im Bestand 4 m, bei Stadtautobahnen 2,5 m (vgl. RAA, 2008). Der Verkehrsteilnehmer befindet sich im Arbeitsstellenbereich mit entgegengesetzt gerichteten Verkehrsströmen auf der gleichen Fahrbahn in einer ungewohnten Situation. Der entgegenkommende Verkehr ist ihm wesentlich näher im Vergleich zur Situation ohne Arbeitsstelle. Auch ist die Sicht auf die entgegengesetzt fahrenden Fahrzeuge direkt gegeben. Der bei einem Überholvorgang vorliegende geringe Abstand zum Gegenverkehr erhöht die Anforderungen und erfordert ein hohes Maß an Konzentration vom Verkehrsteilnehmer [vgl. BAKABA et al, 2012].

Einzuhaltende Längsabstände der Verkehrsteilnehmer untereinander im fließenden Verkehr

Nach Straßenverkehrsordnung muss der Abstand eines Verkehrsteilnehmers zum vorausfahrenden Fahrzeug so gewählt werden, dass bei plötzlichen Bremsmanövern des Vorausfahrenden das nachfolgende Fahrzeug hinter diesem halten kann [vgl. StVO, 2013]. Die Längsabstände zwischen den Verkehrsteilnehmern werden nach unterschiedlichen Ansätzen bewertet und die Mindestabstände werden nach unterschiedlichen Ansätzen berechnet.

BAKABA et al, 2012 ziehen für ihre Untersuchung des Baustellenbereichs die Nettozeitlücke heran, welche den zeitlichen Abstand darstellt, der an einem ortsfesten Querschnitt gemessen wird und vom Passieren des Hecks des vorausfahrenden Fahrzeugs bis zum Passieren der Front des nachfolgenden Fahrzeugs dauert. Als geforderter Sicherheitsabstand wird eine Nettozeitlücke von 1,8 s gewählt. Dieser Wert entspricht einem Nettoabstand der Fahrzeuge nach einer Faustformel, nach der der gewählte Abstand in Metern mindestens der halben Tachoanzeige an gefahrener Geschwindigkeit betragen soll. Das Ergebnis der Untersuchung liefert die Aussage, dass Verkehrsteilnehmer auf dem linken Fahrstreifen in den beiden hinteren Dritteln der Arbeitsstelle häufiger einen zu geringen Ab-

stand wählen. Bei einer gefahrenen Geschwindigkeit von 80 km/h beträgt ein von BAKABA et al, 2012 definierter „sehr kurzer Abstand“ weniger als 0,9 s, was einer Abstandslänge von 20 m entspricht. In dem genannten Bereich der Arbeitsstelle nimmt vor allem der Anteil dieser sehr geringen Abstände zu [vgl. BAKABA et al, 2012].

FISCHER/BRANNOLTE, 2006 wählen je Fahrzeugfolgefall, gefahrener Geschwindigkeit und aufgeteilt nach nasser und trockener Fahrbahn einen individuellen Sicherheitsabstand. Sie kommen zu dem Schluss, dass in Arbeitsstellen auf Autobahnen die Mindestabstände zwischen zwei Pkw in nahezu allen Fällen auf dem linken Fahrstreifen häufiger unterschritten werden als auf dem rechten Fahrstreifen. Der Anteil der gemessenen Unterschreitungen des Mindestabstands im Fahrzeugfolgefall Pkw folgt Pkw liegt zwischen 40 und 60 % [vgl. FISCHER/BRANNOLTE, 2006]. Der andere betrachtete Fahrzeugfolgefall, Lkw/Lastzug folgt Pkw, ist für die vorliegende Fragestellung nicht von Belang.

Fahrstreifenwahl der Verkehrsteilnehmer

Die Straßenverkehrsordnung gibt vor, dass ein Fahrzeug immer möglichst weit rechts auf der Fahrbahn zu fahren hat. Liegen mehrere Fahrstreifen für eine Fahrtrichtung vor, wie es bei Autobahnen auch in Arbeitsstellen üblicherweise der Fall ist, so darf der Verkehrsteilnehmer zum Zwecke des Überholens eines langsameren Verkehrsteilnehmers einen anderen als den rechten Fahrstreifen nutzen (vgl. StVO, 2013).

FISCHER/BRANNOLTE, 2006 stellen in ihrer Untersuchung fest, dass bei größeren Breiten der Behelfsfahrstreifen innerhalb von Arbeitsstellen ein größerer Anteil des Gesamtverkehrs auf dem linken Fahrstreifen abgewickelt wird [vgl. FISCHER/BRANNOLTE, 2006].

Auch STEINAUER et al, 2011 kommen zu dem Schluss, dass Verkehrsteilnehmer bei schmalen Behelfsfahrstreifen seltener den Überholfahrstreifen (links) nutzen. Sie beziffern den Anteil der Verkehrsteilnehmer, die den linken Fahrstreifen nutzen bei einer vorliegenden Breite von 2,5 m mit 24,3 %. Bei einer Breite des linken Fahrstreifens von 3 m liegt der Nutzeranteil bei über 40 %. Darüber hinaus treffen sie die Aussage, dass knapp 55 % der Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen andere Fahrzeuge überholen [vgl. STEINAUER et al, 2011].

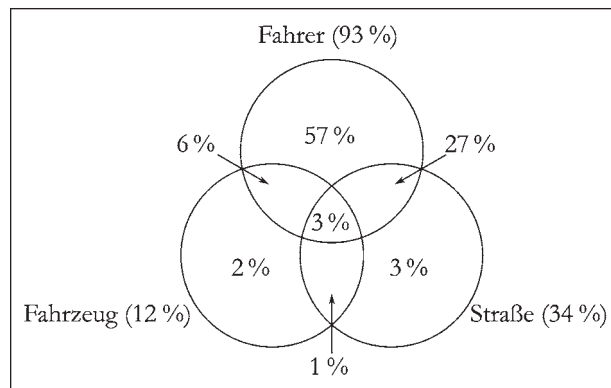


Bild 3: Unfallverursachungsanteile von Fahrer – Straße – Fahrzeug [nach INTERNATIONAL HUMAN FACTORS GUIDELINES FOR ROAD SYSTEMS DESIGN, 2000, zitiert nach SCHLAG et al, 2002]

2.2 Verkehrspsychologische Aspekte

Der Mensch als Straßennutzer und Fahrzeugführer ist Initiator des und Teilnehmer am Straßenverkehr. Die Verhaltensmuster der Verkehrsteilnehmer sind sehr unterschiedlich, dürfen in ihren Variationen jedoch nicht außer Acht gelassen werden. Die Bedeutung des Menschen als Fahrzeugführer wird ersichtlich, wenn die Unfallverursachungsanteile von Fahrer, Fahrzeug und Straße betrachtet werden (siehe Bild 3).

Es ist erkennbar, dass der Nutzer der größte Unfallverursacher im System Straßenverkehr ist. Die straßenseitige Beeinflussung des Fahrers macht mit 27 % den zweitgrößten Anteil der Unfallverursachung aus, direkt nach dem alleinigen Verursacher Fahrer mit einem Anteil von 57 %.

Die Handlungen des Menschen als Verkehrsteilnehmer werden demnach von Fahrzeug und Straße beeinflusst. Eine Änderung der gegebenen Situation von Seiten der Straße, des Fahrzeugs oder anderen Verkehrsteilnehmern, zwingt den Fahrer, sein Fahrverhalten zu korrigieren und anzupassen. Der Fahrer eines Fahrzeugs wird immer den aktuellen Ist-Zustand mit dem vom ihm angestrebten Soll-Zustand vergleichen und Handeln, wenn eine Differenz zwischen beiden Zuständen besteht. Mit dieser Handlung ändert er den Ist-Zustand hin zum Soll-Zustand [vgl. ECHTERHOFF, 1991] (siehe Bild 4).

Der Abgleich des Ist- mit dem Soll-Zustand ist ein ständig ablaufender Prozess und findet für jede Situation neu statt. Eine neue Situation entsteht zum Beispiel durch das Vorankommen auf der Straße. Der Verkehrsteilnehmer strebt hierbei eine mög-

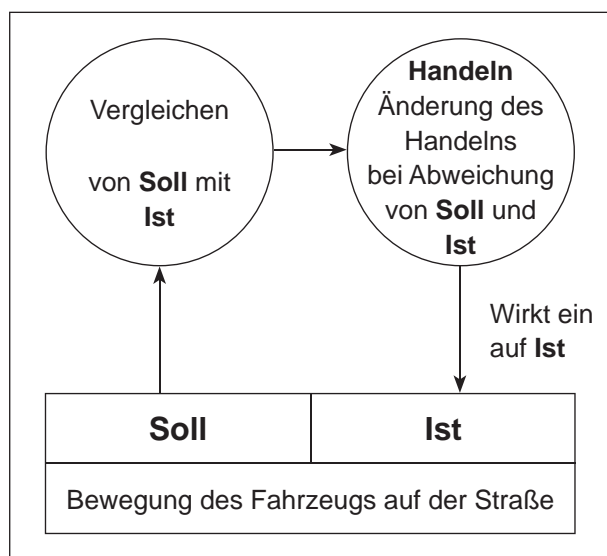


Bild 4: Regelkreis Kraftfahrer – Fahrzeug – Straße [ECHTERHOFF, 1991]

lichst sichere Fahrspur an, welche ihm ausreichend Raum zu den Seiten lässt. Dies ist zum einen eine Maßnahme, um bei eigener Abweichung der fahrer-eigenen Idealfahrspur genügend Raum zu haben, um ohne Unfall den Soll-Zustand durch eine Lenkbewegung wieder herzustellen, zum anderen eine Maßnahme, um anderen Verkehrsteilnehmern dasselbe zu ermöglichen. In diesem Beispielfall spielt die Breite des Fahrstreifens eine erhebliche Rolle, da ein breiter Fahrstreifen mehr Sicherheitsabstand zu den Seiten zulässt als ein schmaler Fahrstreifen, wie er in Arbeitsstellenbereichen vorliegt. Das Sicherheitsgefühl des Verkehrsteilnehmers wird also durch die Straße beeinflusst und damit auch sein Fahrverhalten.

Der Abgleich des Ist-Zustandes mit dem Soll-Zustand ist im Modell der hierarchischen Handlungsregulation nach SCHLAG, 2005 (siehe Bild 5) auf der Manöverebene zu finden. Diese Handlungsebene der Fahrhandlungen wird von der längerfristigen strategischen Ebene beeinflusst, auf welcher ein Verkehrsteilnehmer seine künftigen Handlungen plant. Zum Beispiel wird er eine Route und eine Zeitspanne wählen, die seinem Ziel dienen, einen bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit zu erreichen. Die Fahrhandlungen beinhalten kontrollierte Handlungsmuster, deren Ausführungsdauer nur Sekunden in Anspruch nimmt. Der oben beschriebene Regelkreis mit dem Abgleich des Ist- und Soll-Zustands ist hier im Abgleich zwischen den Zielen und den situativen Möglichkeiten und Anforderungen zu finden. Das wiederum beeinflusst die Kontrollebene und damit das unmittelbare Fahrzeughandling. Die-

se beim geübten Fahrer automatisierten Handlungsmuster stellen die Ausführung der situativ angepassten Fahrmanöver dar, welche auf der Manöverebene beschlossen wurden. „Automatismen sind schnell und ressourcensparend, unterliegen jedoch keiner bewussten Entscheidung“ [SCHLAG, 2005]. Mit nur Millisekunden an Ausführungsdauer führt der Verkehrsteilnehmer die Handlungsmuster aus, welche seinen Fahrhandlungen entsprechen und ebenso wie diese beeinflusst von der Fahr-situation sind. Es sind bewusste Eingriffe in die Fahrhandlungen, um beispielsweise eine Kollision mit einem anderen Fahrzeug zu vermeiden, welche aber ohne bewusste Aufmerksamkeitszuwendung motorisch ausgeführt werden.

Alle drei Handlungsebenen werden vom physischen und psychischen Leistungsvermögen des Verkehrsteilnehmers beeinflusst [vgl. SCHLAG et al, 2002]. Diese Leistungsvermögen des Fahrzeugführers sind individuell stark ausgeprägt, ändern sich über die Zeit mit dem Alter und der Fahrerfahrung der Person und hängen auch von der aktuell vorliegenden Situation der Person ab.

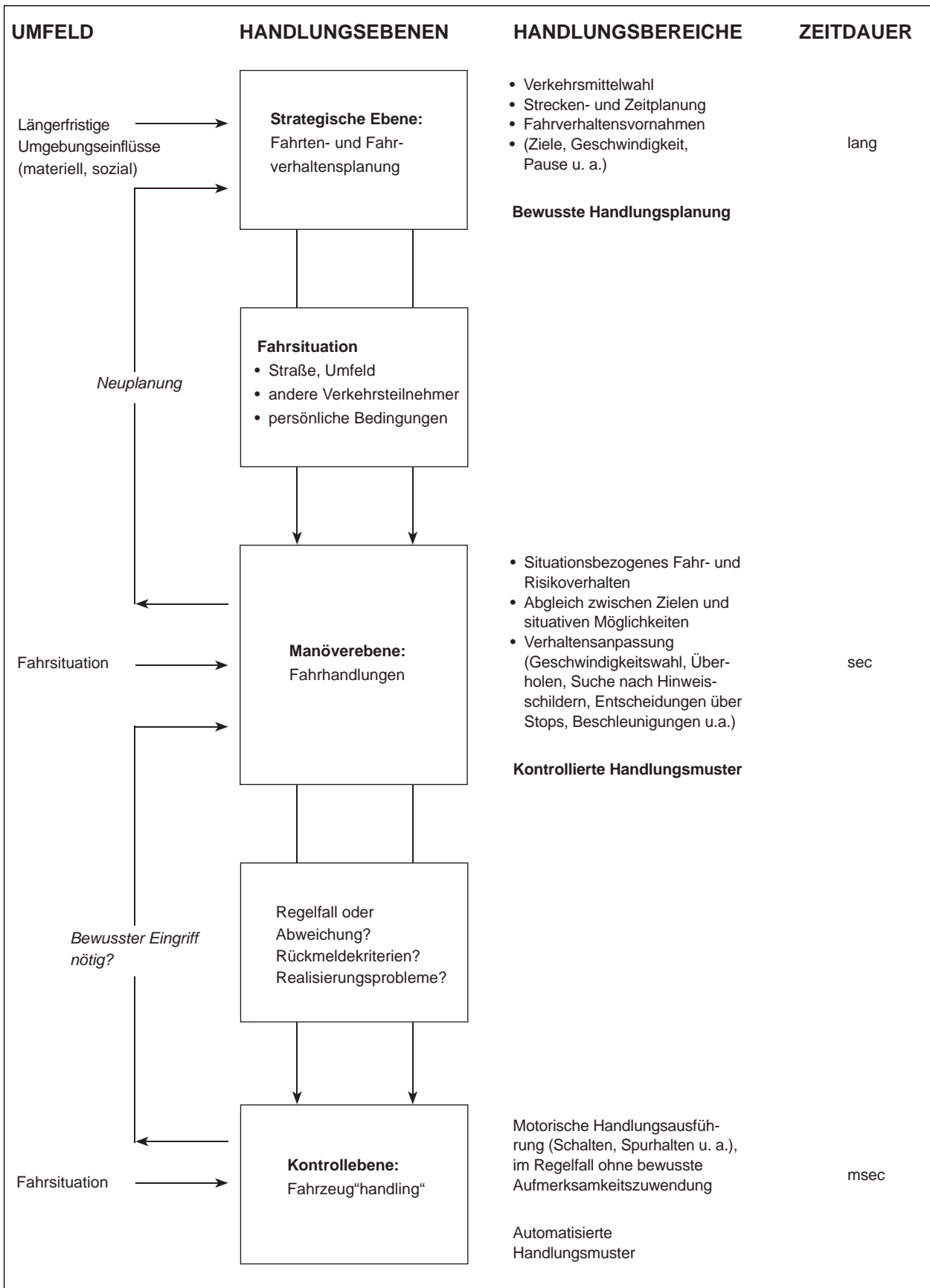


Bild 5: Fahrerverhalten als hierarchische Handlungsregulation [nach SCHLAG, 2005]

2.3 Wechselseitige Beziehungen zwischen verkehrstechnischen und verkehrspsychologischen Aspekten

Nach dem Echterhoff'schen Regelkreis sind der Mensch und die Straße zwei der drei Faktoren, die sich gegenseitig beeinflussen. Das Verhalten des Menschen ist demnach ein Faktor, der bei der Gestaltung von Straßen Einfluss finden muss, da die Straße an sich wiederum den Menschen und sein Fahrverhalten beeinflusst [vgl. ECHTERHOFF, 1991].

In die Gestaltung der Durchfahrtsbereiche von Arbeitsstellen auf Straßen gehen zudem noch andere Einflussfaktoren ein, die durch äußere Zwänge verursacht werden und eben diese Arbeitsstellenbereichsgestaltung noch stärker einschränken als die üblichen äußeren Zwänge bei der Straßengestaltung. Hier sind vor allem folgende Faktoren zu nennen: die Wirtschaftlichkeit des Maschineneinsatzes, nach welcher die Länge der Arbeitsstelle und die Anordnung von Arbeitsstellenfolgen bemessen wird, das Verkehrsaufkommen, nach welchem die Anzahl der Behelfsfahstreifen bestimmt wird, die Breite des Bestandsquerschnitts sowie die vorhandene Nutzbreite neben dem Baustellenbereich, nach der sowohl die Anzahl als auch die Breite der Behelfsfahstreifen ausgerichtet werden müssen.

All diese Faktoren unterliegen direkt messbaren Eigenschaften. Der Faktor Mensch, d. h. seine Motivation und Emotionen, wird bei der Planung einer Arbeitsstelle zunächst nachrangig berücksichtigt, zumal diese Aspekte nicht einfach messbar sind. Während der Ausführung der Bauarbeiten und damit der Existenz der Arbeitsstelle treten jedoch die Auswirkungen auf die menschliche Psyche stark hervor. Sie werden indirekt messbar, wenn zum Beispiel ein Unfall im Arbeitsstellenbereich entsteht und neben Sach- und Personenschaden auch ein wirtschaftlicher Schaden durch Stau und die dadurch resultierenden Wartezeiten von Personen und Waren entsteht. Dass ein Mensch als Verkehrsteilnehmer der Unfallverursacher ist, ist nach den in Kapitel 2.2 genannten Unfallverursachungsanteilen (vgl. Bild 3) sehr wahrscheinlich. Solche Unfälle in Arbeitsstellen könnten vermieden werden, wenn die Psyche des Menschen im Vorhinein größere Beachtung bekommen würde. Die aus einem solchen Unfall resultierenden Schadenssummen sind eine messbare Größe für die Auswirkungen der Arbeitsstelle auf die menschliche Psyche. Um solchen

Schäden vorzubeugen, werden die verkehrstechnischen Regelwerke an die neusten Erkenntnisse aus Forschung und Praxis angepasst und dadurch die Planung von Arbeitsstellen beeinflusst. Jedoch ist der psychologische Einfluss der Arbeitsstelle an sich, im Gegensatz zu vielen verschiedenen Faktoren auf der freien Strecke, bislang nicht ausreichend erforscht und findet aufgrund dessen keinen starken Einfluss in die Arbeitsstellenplanung.

Bislang existieren nur wenige gezielte Studien zur psychologischen Wirkung von Arbeitsstellen.

Eine Studie von MAAG et al, 2003 zu Aggressionen im Straßenverkehr zeigt zwar die Entstehungsbedingungen und die Häufigkeit des Auftretens von aggressiven Episoden auf Autobahnen auf, bezieht aber den Aspekt der Wirkung von Baustellen nicht explizit ein.

Eine Übersicht über die Ursachen aggressiven Verhaltens im Straßenverkehr findet sich bei SHINAR, 1999. Demnach ist eine frustrierende Situation, wie z. B. eine Fahrtzeitverzögerung wie sie in Arbeitsstellen häufig vorkommt, der Ausgangspunkt der Entstehung von Aggression. Aus dieser Situation entsteht in Abhängigkeit von der Persönlichkeit des Fahrers sowie der Umgebungsfaktoren die Bereitschaft, sich aggressiv zu verhalten. Sich direkt äußernde Aggressionen können in der Praxis als dichtes Auffahren (Drängeln) oder Beleidigungen anderer Verkehrsteilnehmer beobachtet werden. MAAG et al, 2003 interpretieren notorisches Linksfahren ebenfalls als Form eines aggressiven Fahrverhaltens.

Eine Studie von CALVERT/WALKER, 2013 zur Modellierung des Fahrverhaltens in Arbeitsstellen stellt zwei Aspekte in den Mittelpunkt der Ausführungen: Zum einen die Psychologie des „Schlange stehens“, zum anderen wird das frühe vs. späte Zusammenfließen des Verkehrs auf eine Fahrspur betrachtet. Ärger und Unzufriedenheit in Arbeitsstellen resultieren häufig aus einem Mangel an Informationen („Unexplained waits are longer than explained waits“; vgl. auch MAISTER, 2005). Ein ausgereiftes Verkehrsinformationssystem kann diesen negativen emotionalen Zustand somit reduzieren. Der zweite betrachtete Aspekt – die merging-strategy – wird unterteilt in:

- Early Merge: „encourages the drivers to merge into the open lane sooner than they usually would and before arriving at the end of a queue“

- Late Merge: “encourages drivers to stay on the open or dropping lane until they reach the merge point”

[HOSSINGER/BERGER, 2012]. Fahrer akzeptieren nach CALVERT/WALKER, 2013 eher die “early merge” Strategie, um Ärger zu vermeiden. Die Autoren plädieren in ihrem Projektbericht außerdem für Schilderbrücken mit speziellen Formulierungen – wobei diese Vorschläge nicht empirisch untersucht wurden. Hier sind Beispieltex te für die Schilderbrücken genannt, wie „Traffic moves faster if you allow merging“ oder „It might not look like it, but all lanes are flowing at the same average speed“.

Eine Studie von RIFFKIN et al, 2008 evaluiert die Effektivität von variablen Geschwindigkeits-Anzeigen (Variable Speed Limit signs) in Arbeitsstellen auf das Fahrverhalten. Die Ergebnisse zeigen keinen Unterschied im Geschwindigkeitsverhalten zwischen statischen und variablen Anzeigen. Der einzige Unterschied bei dieser Studie zeigte sich in der Standardabweichung der Geschwindigkeit, die bei variablen Anzeigen tendenziell reduziert wurde. Diese Varianzreduktion wiederum kann positive Effekte hinsichtlich der Sicherheit haben.

FREEMAN et al, 2000 untersuchten die Ursachen von Unfällen in Arbeitsstellen. Fahrerseitig führen sie zu hohe Geschwindigkeiten für die jeweilige Situation als Ursachen an sowie zu dichtes Auffahren, aggressives Fahren und rücksichtsloses Fahren. Straßenseitig sind Risikozonen: „approaches to lane closures, diverging lanes, entry slips and contra-flows“.

In dem Forschungsprojekt „Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf den Verkehrsteilnehmer“ (FE01.0177/2011/ARB) der TU Chemnitz im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde eine empirische Untersuchung psychologischer Wirkungen von Arbeitsstellen im Allgemeinen auf den Verkehrsteilnehmer durch Experten- und Nutzerfokusgruppen, Befragungen an Autobahnraststätten und online sowie einer Fahrsimulatorstudie unternommen. Hierbei wurden vor allem die Fahrstreifenbreiten als beanspruchend bewertet. Auch die Länge von Arbeitsstellen, die Verschwenkungen und Überleitungen und Behelfsanschlussstellen in Arbeitsstellen wurden als Beanspruchungsfaktoren identifiziert. Positiv bewertet wurden hingegen die in einigen Bundesländern eingesetzten „Smiley-Schilder“ zur Darstellung der Arbeitsstellenrestlänge während bei den Baustelleninformationsschildern Verbesserungsbedarf angemerkt wurde [PETZOLDT et al, 2014].

ern Verbesserungsbedarf angemerkt wurde [PETZOLDT et al, 2014].

Zusammenfassend ist festzustellen, trotz der oben aufgeführten Studien, sowohl aus verkehrstechnischer als auch aus psychologischer Sicht der Einfluss der Arbeitsstellenlänge sowie der dichten Arbeitsstellenfolge auf den Verkehrsteilnehmer nicht hinreichend untersucht wurde. Ziel des Projekts ist es daher, diesen Einfluss auf verschiedenen Ebenen und in unterschiedlichen Kontexten zu messen und Empfehlungen für die praktische Umsetzung abzuleiten. Dabei sollen Erfahrungen über die Gestaltung, die Länge sowie die Staffelung von Arbeitsstellen empirisch gesammelt und hinsichtlich ihrer Wirkungen auf den Verkehrsteilnehmer im Fahrsimulator überprüft werden. Da für die Konzeption und Durchführung der Studie sowie für die zielgerichtete Umsetzung der Ergebnisse sowohl fundierte Kenntnisse der Verkehrspsychologie als auch der Verkehrstechnik benötigt werden, ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der Fachbereiche Psychologie und Verkehrsingenieurwesen unumgänglich.

3 Konzeption der Feldstudie

Ziel der Feldstudie ist die Untersuchung der Wirkung von ausgewählten Arbeitsstellen auf den Verkehrsteilnehmer. Hierzu werden Datenerhebungen an verschiedenen Arbeitsstellen längerer Dauer, die eine unterschiedliche Einrichtung aufweisen, durchgeführt. Im Rahmen der Untersuchungen werden Daten anhand von Probandenversuchen erhoben, die ausgestattet mit Messequipment die ausgewählten Arbeitsstellen durchfahren. Das Verhalten der Probanden wird aufgezeichnet und analysiert.

Zudem werden Befragungen mit den Probanden und weiteren Verkehrsteilnehmern durchgeführt. Hierzu wird ein Fragebogen entwickelt, der kompatibel für die unterschiedlichen Zielgruppen verwendet werden kann.

Alle Probanden werden direkt nach ihrer Messfahrt befragt. Zur späteren Einordnung der ausgewählten Probanden in das gesamte Verkehrskollektiv werden zudem an jeder betrachteten Arbeitsstelle an geeigneten Parkplätzen weitere Verkehrsteilnehmer befragt. Somit kann das Probandenkollektiv für den jeweiligen Messtag (Berücksichtigung von Wetter, Jahres- und Ferienzeiten,...) in das tagesspezi-

fische Gesamtkollektiv eingeordnet werden. Zur weiteren Einordnung dieser beiden Nutzergruppen in das Gesamtkollektiv wurden Onlinefragebogen auf den projektrelevanten Homepages veröffentlicht.

Die Online- und Vor-Ort-Befragungen dienen dazu, eine größere Anzahl an Probanden betrachten zu können und Rückschlüsse auf die Gruppe der Verkehrsteilnehmer im Allgemeinen treffen zu können.

In der Auswertung der Daten werden markante Situationen herausgestellt, in denen die Probanden eine hohe mentale Beanspruchung, also Stress, erfahren. Anhand der Daten wird der Zusammenhang zwischen der zu diesen Ereignissen beobachteten mentalen Beanspruchung mit möglichen Ursachen der Arbeitsstelleneinrichtung und -gestaltung sowie des umgebenden Verkehrs untersucht. Die Analysen dienen letztlich dazu Hypothesen zu generieren, die eine genauere Untersuchung des Fahrerhaltens im Fahrsimulator zulassen. Hierbei soll untersucht werden, ob und in wie weit unterschiedlich eingerichtete Arbeitsstellen auf Bundesautobahnen die Verkehrsteilnehmer beeinflussen.

3.1 Entwicklung geeigneter Untersuchungsinstrumente / Methoden

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens werden geeignete Untersuchungsinstrumente zur Erhebung des individuellen Empfindens und Verhaltens der Verkehrsteilnehmer während der Arbeitsstellendurchfahrt entwickelt.

Neben subjektiven Befragungen mithilfe eines standardisierten Fragebogens werden in dieser Studie auch objektive Daten erhoben. So werden das Probandenfahrzeug, die Probanden selber sowie ein weiteres Fahrzeug, welches zum Zweck von Nach-

folgefahrten genutzt wird, mit diversen Messvorrichtungen ausgestattet (vgl. Bild 6). Im Weiteren werden die einzelnen Vorrichtungen sowie die von ihnen aufgezeichneten Daten näher erläutert.

3.1.1 Probandenfahrzeug

Als Probandenfahrzeug für die Messungen auf der A5 und der A4 dient ein gemieteter Opel Insignia Sports Tourer, Erstzulassung 2012, mit manueller Schaltung und Fahrzeuggetriebe mit sechs Gängen. Der Mittelklassewagen in seiner Form als Kombi hat eine Breite von 1856 mm. Seine Breite über alles, welche die Breite des Fahrzeugs inklusive der Außenspiegel abbildet, beträgt 2084 mm.

Für die Messung auf der A8 steht dieses Fahrzeug leider nicht zur Verfügung, sodass auf einen VW Passat Variant, Erstzulassung 2012, mit manueller Schaltung und Sechsgang-Getriebe ausgewichen wird. Der Wagen in seiner Form als Kombi hat eine Breite von 1820 mm. Seine Breite über alles beträgt 2062 mm.

Im Probandenfahrzeug ist auf dem Beifahrersitz eine Kamera installiert (siehe Kapitel 3.1.5 Kamera im Probandenfahrzeug) und auf der Anhängerkuppelung ist ein optischer Sensor angebracht (siehe Kapitel 3.1.4 Optischer Sensor am Probandenfahrzeug). Die Bedienung des Sensors übernimmt ein Mitfahrer auf dem Rücksitz im Probandenfahrzeug. Dieser Mitfahrer hat als weitere Aufgabe, dem Probanden falls notwendig den Weg zu weisen und Fragen zu beantworten, sofern diese den Ablauf der Datenerhebung nicht stören.

Da die Untersuchung des Fahrerhaltens und insbesondere auch des Geschwindigkeits- und Spurhalteverhaltens, im Fokus der Testfahrten steht wird den Probanden die Nutzung eventuell installierter Assistenzsysteme (Tempomat, etc.) untersagt. Zudem ließ das Untersuchungsdesign aus verschiedenen Gründen eine Untersuchung der Nutzung von Fahrerassistenzsystemen in Arbeitsstellen nicht zu und war auch nicht Gegenstand des Projektes. Dieser Aspekt müsste gesondert untersucht werden.

3.1.2 Herzfrequenzmessgerät

Das genutzte Herzfrequenzmessgerät ist das Modell RS800CX der Firma Polar. Die Herzfrequenz wird über einen Sensor aufgezeichnet, welcher mittels eines Gurtes direkt unter der Brustmuskulatur auf dem Brustbein am Körper des Probanden befestigt wird

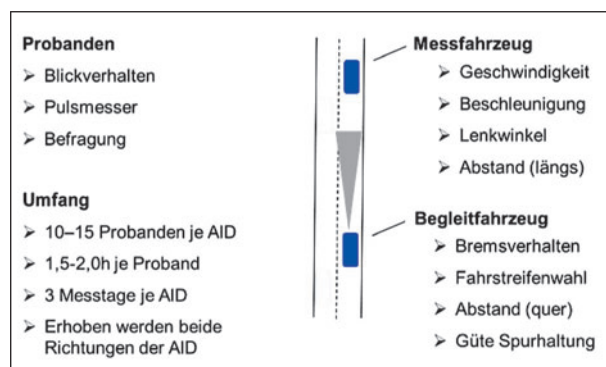


Bild 6: Messaufbau Feldstudie



Bild 7: Brustgurt mit Sensor und Armband-Einheit des Herzfrequenzmessgeräts



Bild 8: Eye-Tracking-Brille getragen von einer Probandin

(siehe Bild 7). Zwei Elektroden, die vor Beginn der Messung angefeuchtet werden müssen, liegen direkt auf der Haut auf. Durch sie wird der R-Impuls gemessen, welcher die Herzkammer-Erregung darstellt, die sich im Herzfrequenzbild deutlich an den Spitzen ablesen lässt [vgl. DE GRUYTER, 2013].

Von der Messeinheit am Brustgurt werden die gemessenen Daten an einen Empfänger gesendet, der in einer Armbanduhrähnlichen Vorrichtung am Handgelenk des Probanden getragen wird. In dieser Armband-Einheit befindet sich ein Speicher, der die übertragenen Daten ablegt und sichert.

In der Nachbereitung der Probandenfahrt werden die aufgezeichneten Daten mit der Polar hauseigenen Software Polar Pro Trainer 5 auf einen Computer übertragen und dort weiter bearbeitet.

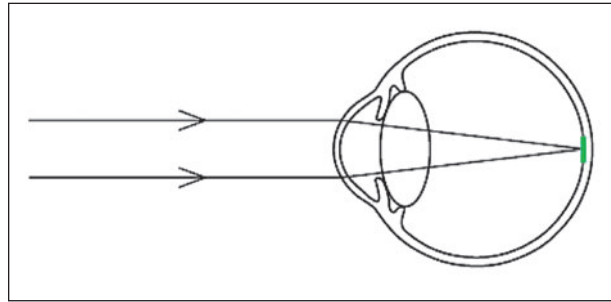


Bild 9: Prinzipskizze des menschlichen Auges mit einfallenden Lichtstrahlen, welche in der Fovea centralis auf die Netzhaut treffen (GOLDSTEIN, 2002 und DE GRUYTER, 2013)

3.1.3 Eye-Tracking-Brille

Die Eye Tracking Brille, mit der das Sehverhalten der Probanden aufgezeichnet wird, ist das Modell Glasses Eyetracker der Firma Tobii Technology. Dies ist ein Head Mounted System, welches in Form einer Brille am Kopf des Probanden getragen wird und damit mit dem Kopf bewegt wird (siehe Bild 8). Die Funktionsweise der Brille beruht auf dem Aufbau des menschlichen Auges und der menschlichen Sicht.

Im menschlichen Auge werden Lichtreize auf der Netzhaut durch Photosensoren, welche hier als Stäbchen und Zapfen bezeichnet werden, in Nervenimpulse umgewandelt. Die Interpretation dieser Impulse, aus denen das Bild entsteht, welches der Mensch wahrnimmt, geschieht in der Sehrinde im Gehirn. Das durch die Pupille einfallende Licht wird auf der Netzhaut gebündelt und trifft bei fokussiertem Blick die Fovea centralis (Bild 9, grüner Bereich), welche der Bereich des schärfsten Sehens im Auge ist [vgl. DE GRUYTER, 2013 und GOLDSTEIN, 2002].

Dieser Bereich des schärfsten Sehens im Gesichtsfeld des Menschen heißt foveales Sichtfeld. Zusammen mit dem umgebenden parafovealen Sichtfeld deckt dieser Bereich weniger als 8 % des menschlichen Gesichtsfeldes ab, nimmt jedoch etwa 50 % der Sehrinde im Gehirn ein. Die extrafovealen Areale des Gesichtsfeldes sind mit dem peripheren Sehen abgedeckt. Dies dient primär der Erkennung von Kontrast und Bewegung und nimmt bis zu 220° ein (Bild 10)

Die Mitte der fovealen Sicht wird vom Auge des Menschen fixiert. Eine einzelne Fixation nimmt zwischen 100 und 600 ms in Anspruch. Informationen der optischen Wahrnehmung nimmt der Mensch primär über Fixationen auf. Eine typische Fixations-

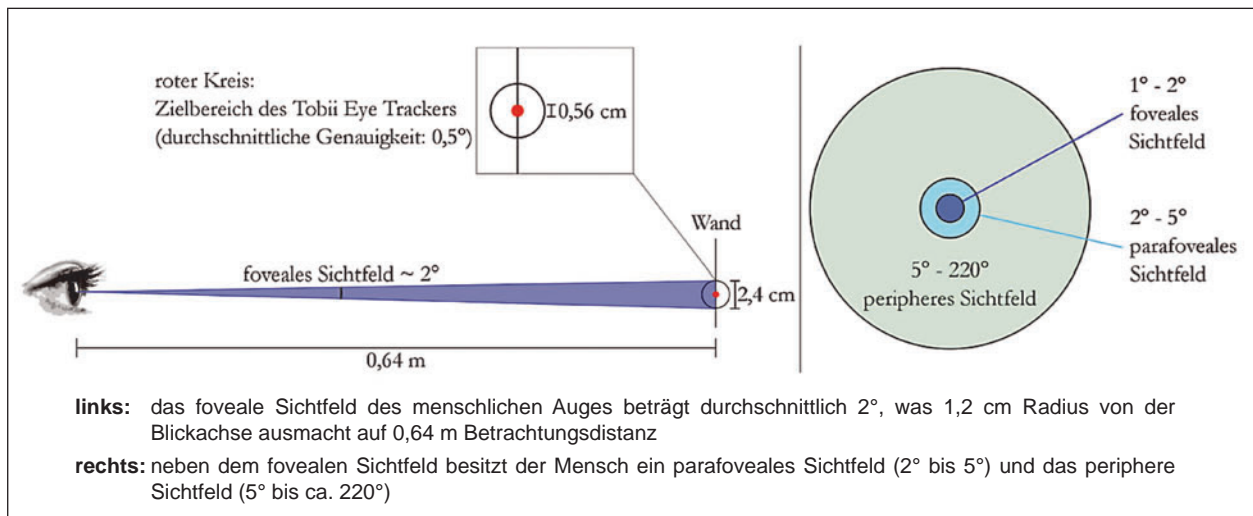


Bild 10: Foveales Sichtfeld [nach REUTER, 2013]



Bild 11: Funktionsweise der Eye Tracking Brille von Tobii Technology [nach REUTER, 2013]

frequenz ist kleiner als 3 Hz (entspricht 333,3 ms). Zwischen Fixationen macht das Auge eine ruckartige Bewegung. Dieser Sprung wird Sakkade genannt und dauert nur 20 bis 40 ms. Das Auge kann Sakkaden mit einer Winkelgeschwindigkeit bis zu 600°/s ausführen. Die Länge einer Fixation und die Häufigkeit, mit der ein Bereich fixiert wird, sind Indikatoren für die Informationsverarbeitung [vgl. REUTER, 2013].

Bei der vorliegenden Eye Tracking Brille zur Blickfassung wird die Cornea Reflex Methode verwendet, um die Blickrichtung des Probanden zu bestimmen. Hierbei wird von zwei Seiten Infrarot-Licht in das rechte Auge des Probanden eingestrahlt (siehe Bild 11 links). Da dies auf Grund der räumlichen Nähe von der Brille zum Auge nicht direkt möglich ist, werden die Infrarotlichtstrahlen durch eine Spie-

gelung auf dem dazu speziell präparierten Brillenglas auf das Auge geleitet. Eine für das menschliche Auge ungestörte Durchsicht durch das Brillenglas ist dabei gegeben. Auf der Hornhaut (lat. Cornea), dem gewölbten Bereich auf der Augenhaut, hinter dem die Pupille liegt, werden die Infrarotstrahlen reflektiert. Der Punkt der Reflexion ist der sogenannte Glint, welcher auf Grund der Hornhautkrümmung je nach Blickrichtung an unterschiedlichen Stellen der Cornea liegt. Der Glint selbst strahlt in seiner Eigenschaft als Reflexionspunkt die Infrarotstrahlung wieder zurück. Über das Brillenglas erneut gespiegelt erreicht dieser Lichtstrahl den Eye-Tracker (siehe Bild 11, rechts). Ebenso wird die Reflexion des Infrarotlichts, welche über die Pupille ins Auge eindringt, von der Netzhaut reflektiert wird und durch die Pupille wieder aus dem Auge ausdringt, vom Eye-Tracker aufgezeichnet [vgl. REUTER, 2013].

Vom Eye-Tracker aus werden die aufgezeichneten Daten an einen Aufzeichnungs-Computer weitergegeben. Dieser Computer wird mit einem Kabel an der Brille befestigt, wobei das Kabel so lang ist, dass weder das Kabel noch der Computer den Probanden in seinen Bewegungen behindern.

Über eine Szenenkamera am rechten Rand der Brille (kleiner schwarzer Punkt auf dem Brillengestell links des Auges in Bild 11) wird ein Video mit einer Bildgröße von 640 mal 480 Pixeln mit Blick nach vorne aufgezeichnet. Mit der zugehörigen Software Tobii Studio werden die Daten des Trackings in das Video so eingefügt, dass in dem Video der Sichtpunkt der Fixation des Probanden angezeigt wird (siehe Bild 12). Die Fixation wird bestimmt

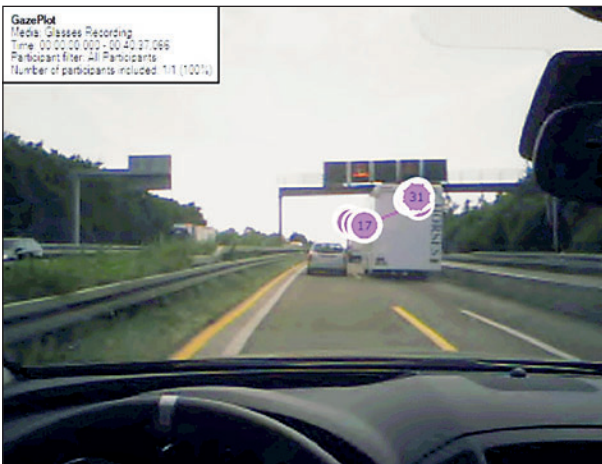


Bild 12: Videobild der Eye Tracking Brille mit den eingebetteten Fixationspunkten des Probanden innerhalb des Zeitraums von einer Sekunde

über Abstand und Winkel von Pupille und Glint. Die Anzeigeart kann variiert werden, jedoch ist für den vorliegenden Fall die Darstellung als GazePlot, der grafischen Darstellung des Blickverlaufs, am sinnvollsten. Auch kann die Datendarstellungszeit verändert werden, wobei bei einer Bewegung sowohl des Probanden als auch der Blickpunkte eine Zeitdauer über drei Sekunden nicht mehr vernünftig auswertbar ist. Es sammeln sich innerhalb dieser Zeit zu viele Blick-Artefakte von Objekten an, die bereits nicht mehr zu sehen sind.

Da die Messfrequenz, der Eye Tracking Brille, 30 Hz beträgt, wird jede dreißigstel Sekunde die Fixation des Probanden aufgenommen. Zusammen mit der letzten Fixation aus der vorhergehenden Sekunde, mit welcher das Sehen in der aktuellen Sekunde beginnt, ergibt dies 31 mögliche Fixationspunkte, die in der Eye Tracking Software pro Sekunde angezeigt werden. Diese maximale Anzahl an Fixationspunkten wird nicht erreicht, wenn der Eye Tracker keine Daten vom Auge abgreifen kann. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn der Proband eine Brille unter der Eye Tracking Brille trägt, wenn glitzerndes Make-up die Infrarotstrahlen reflektiert, wenn das Glas der Eye Tracking Brille verschmutzt ist und damit das Weiterleiten der Infrarotstrahlen verhindert wird, wenn der Proband buschige Wimpern, Hänge- oder Schlupflider hat und wenn anderes Infrarotlicht in den Übertragungsbereich einstrahlt, wie zum Beispiel Sonnenlicht. Um möglichst gute Messergebnisse zu erzielen wird auf die Einhaltung der Randbedingungen sowohl bei der Probandenauswahl als auch bei der Vorbereitung der Probanden vor Ort geachtet.

Zwischen den Fixationspunkten gibt die Software auch die Verbindungslinien an. Gemeinsam mit der chronologisch aufsteigenden Nummerierung der Fixationspunkte kann in der Auswertung hergeleitet werden, wohin der Proband zu welcher dreißigstel Sekunde genau geblickt hat.

Um die Software an jeden einzelnen Probanden anzupassen, muss die Brille nach dem Aufsetzen und fixieren am Kopf mittels Gummiband und vor Beginn der Datenaufzeichnung kalibriert werden. Mit dieser Kalibrierung werden acht bis neun Punkte eingemessen, deren Fixation ohne Kopfbewegung des Probanden erfolgt. Es wird ein Infrarotmarker genutzt, um die Kalibrierungspunkte von außen zu bestimmen. Der Infrarotmarker sendet Strahlen in Richtung der Brille aus, welche mit einem Sensor aufgenommen werden (großer schwarzer Punkt auf dem Brillengestell links des Auges in Bild 11). Die vorgegebenen und über den Aufzeichnungs-Computer vom kalibrierenden Personal direkt einsehbaren Kalibrierungspunkte werden mit dem Marker an einer Wand markiert. Stimmt die gemessene Fixation des Probanden mit der Markerposition überein, gilt der Punkt als kalibriert. Um eine möglichst genaue Kalibrierung für die folgende Datenaufzeichnung herzustellen, müssen mindestens acht der neun Kalibrierungspunkte abgeglichen und gesetzt werden. Eine Kalibrierung ist unbedingt nötig, da die Hornhaut eines jeden Probanden unterschiedlich gekrümmt, die Gesichtsform eines jeden Probanden unterschiedlich und die Umgebungsbedingungen, wie zum Beispiel die Augenlider, ebenfalls probandenindividuell sind. Ist die Kalibrierung abgeschlossen, gibt der Aufzeichnungscomputer die Genauigkeit und die Augenverfolgung als Qualitätsmaß des Trackings während der Kalibrierung aus. Sollten diese Werte zu schlecht sein, muss erneut eine Kalibrierung vorgenommen werden, da äußere Einflüsse die Kalibrierung gestört haben könnten. Ist jedoch auch mit erneuter Kalibrierung keine Verbesserung möglich, so ist der Proband abzulehnen.

Da das menschliche Auge mit der oben genannten Fixationslänge von 100 bis 600 ms maximal 10 Fixationen in einer Sekunde tätigt ist eine Abtastung mit 30 Hz ausreichend, um alle Fixationen zu erfassen.

3.1.4 Optischer Sensor am Probandenfahrzeug

An dem Probandenfahrzeug wird ein optischer Sensor der Firma Datron, erweitert um die Datenerfas-

sungseinheit DLS-GPS-DAQ vom Institut für Straßenwesen (isac) der RWTH Aachen installiert. Dies geschieht am Heck des Fahrzeugs mittels Haltevorrichtung, welche an der Anhängerkupplung befestigt wird (siehe Bild 13). Die Haltevorrichtung wird mit einem Seil im Kofferraum des Fahrzeugs gesichert.

Das Messobjekt, im vorliegenden Fall die Straßenoberfläche, wird mit einer Projektorlampe mit breitbandigem Spektrum beleuchtet. In dem Senso-raufbau befinden sich zwei Photodioden, elektro-optische Detektoren, die Licht in eine elektrische Spannung umwandeln. Dazu wird von einem Linsensystem ein Abbild des Messobjekts erzeugt und auf ein Gitter projiziert. Zwischen diesen beiden Elementen befindet sich eine Blende, die den Maßstab der Abbildung konstant hält. Bewegt sich der Sensor oder die Oberfläche des Messobjektes, so wird die Bewegung weitergegeben über die projizierten Punkte auf dem Gitter. Hinter dem Gitter befindet sich eine asphärische Linse, durch welche eine optische Abbildung des Messobjektes auf die Photodioden erzeugt wird. Durch die zuvor eingebrachte Gitterstruktur ist es möglich, eine relative Bewegung und ihre Richtung aufzuzeichnen. Das sinusförmige Empfangssignal wird mit Hilfe einer Filterelektronik in wegproportionale Impulse übertragen. Die Beleuchtung des Messobjekts erfolgt, damit nach dem Durchgang durch das optische Gitter noch ausreichend Licht für die Photodioden vorhanden ist. Dies dient der rauscharmen Aufnahme der Daten (vgl. CORRSYS-DATRON, 2004).

Im Fahrzeug findet ein Anschluss des optischen Sensors an eine auf Microcontroller-Basis aufgebaute Datenerfassungseinheit (DLS-GPS-DAQ) statt. Zudem wird ein Notebook im Fahrzeug aufgestellt, an welches die Datenerfassungseinheit die Daten weitergibt und wo sie final aufgezeichnet werden. Die systemzugehörige Software auf dem Notebook wandelt die Impulse in Informationen um und zeichnet unter anderem die relative Messzeit in Sekunden, die zurückgelegte Wegstrecke in Metern und die gefahrene Geschwindigkeit in Kilometern pro Stunde auf [vgl. CORRSYS-DATRON, 2004]. Die Messintervalle werden über die Software vor Start der Messung eingestellt. Für die vorliegenden Fahrten werden ein Zeitintervall von 0,1 s und ein Wegintervall von 1 m gewählt.

Ebenfalls an das Notebook angeschlossen wird ein Handtaster, welcher vom Mitfahrer im Probandenfahrzeug (siehe Kap. 3.1.1 Probandenfahrzeug) bedient wird. Der Handtaster ist dazu da,



Bild 13: Optischer Sensor, angebracht an einem Fahrzeug

dass Datenmarken abgelegt werden können. Durch die zeitsynchrone Aufzeichnung des optischen Sensors und des Handtasters können so die Stellen kenntlich gemacht werden, an denen der Handtaster bedient wurde. Dies wird dazu genutzt, an markanten und vor den Probandenfahrten ausgewählten Querschnitten der Fahrtstrecke die Sensordaten zu markieren.

Bei einem dickeren Wasserfilm auf der Messoberfläche, wie beispielsweise bei starkem, abfließendem Regen oder stehendem Wasser auf der Fahrbahn, kann der optische Sensor keinen Kontrast in der Messoberfläche ausmachen und funktioniert somit nicht (vgl. CORRSYS-DATRON, 2004). Fahrten bei nassen Straßenverhältnissen sind somit nicht auswertbar.

Zusätzlich ist eine GPS-Maus auf dem Dach des Fahrzeugs befestigt, welche auch an das Notebook angeschlossen ist. Zu den Zeiten, in denen Daten innerhalb der DLS-GPS-DAQ-Systems abgelegt werden, wird die Position der Maus und damit des Fahrzeugs gespeichert.

3.1.5 Kamera im Probandenfahrzeug

Eine Kamera, die im Probandenfahrzeug auf dem Beifahrersitz installiert wird, zeichnet bei den Probandenfahrten die Sicht nach vorne auf (siehe Bild 14). Bei der Installation der Kamera steht das Auto auf einer ebenen Fläche. Zur Kalibrierung werden Punkte im Abstand von 7 m, 10 m und 15 m vor der

Fahrzeugschürze gekennzeichnet und mittels eines Videos festgehalten.

Bei der Auswertung der Videos der Probandenfahrten kann anhand der Kalibrierungspunkte eine am Institut für Straßenwesen programmierte Software so eingestellt werden, dass der Abstand des Probandenfahrzeugs zum Heck des vorausfahrenden Fahrzeug mittels Mausclick in einem Standbild des aufgezeichneten Videos bestimmt werden kann. Ausgegeben werden bei der Software ein Zeitstempel sowie der in Meter angegebene Abstand von der Fahrzeugfront zum Heck des vorausfahrenden Fahrzeugs.

Die Wahl des Fahrstreifens und das Fahrverhalten der Probanden vor und während eines Überholmanövers können ebenfalls anhand der Videos, welche von dieser Kamera aufgezeichnet werden, analysiert werden.

3.1.6 Kamera im Nachfolgefahrzeug

Eine weitere Kamera wird auf dem Beifahrersitz des Nachfolgefahrzeugs installiert. Der Fahrer dieses Fahrzeugs hat die Aufgabe, sich möglichst immer direkt hinter dem Probandenfahrzeug zu halten, so dass mit der hier installierten Kamera das Probandenfahrzeug aufgezeichnet werden kann. Die Aufzeichnung ist aufgrund von sich zwischen den Messfahrzeugen einordnenden Verkehrsteilnehmern und aufgrund von spontanen Fahrstreifenwechsellvorgängen der Probanden vor einen anderen, dritten



Bild 14: Auf dem Beifahrersitz des Probandenfahrzeugs installierte Kamera mit Blick nach vorne

Verkehrsteilnehmer, nicht lückenlos möglich. Aus diesen Gründen liegen nicht für die kompletten Fahrzeiten der Probanden Nachfolgedaten vor.

Die Videos werden zur Auswertung der Überholvorgänge des Probandenfahrzeugs herangezogen. Auch wird über die Aufzeichnung der Bremslichter das Bremsverhalten des Probanden untersucht.

Zudem werden von den Videos in besonderen Situationen, wie dem Überholvorgang bei großen Fahrzeugen (größer als Pkw), sekundlich Standbilder extrahiert. Diese Standbilder dienen dazu, die seitlichen Abstände des Probandenfahrzeugs zu Leit- einrichtungen, Fahrbahnmarkierungen und anderen Verkehrsteilnehmern auszumessen. Diese Ausmessung erfolgt in einer Bildbearbeitungssoftware, in der bekannte Maße, wie die Fahrzeugbreite, zur Abstandsschätzung für jedes einzelne Standbild dienen.

3.1.7 Querschnittsmessungen

Der Verkehr auf den befahrenen Strecken wird über einen längeren Zeitraum mittels Querschnittsmessung aufgezeichnet. Die lokalen Verkehrskenngrößen werden dazu genutzt, um das Fahrverhalten der Probanden in die vor Ort vorliegende Verkehrssituation einzuordnen.

Die Daten der Querschnittsmessung für die A5 in Hessen werden von Hessen Mobil zur Verfügung gestellt. Die Erhebung dieser Daten erfolgt mittels Überkopf-Sensoren, deren Art nicht weiter ausgeführt ist. Für den Arbeitsstellenbereich liegen keine Daten vor, so dass die gefahrenen Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer innerhalb der Arbeitsstelle nicht ausgewertet werden können. Es liegen alleine Daten für die Sensoren an den Verkehrsbeeinflussungsanlagen vor und nach der Arbeitsstelle vor. Die Verkehrsstärke für den Arbeitsstellenbereich zu einem bestimmten Zeitpunkt kann über die Verkehrsstärken an den Sensoren vor und nach der Arbeitsstelle evaluiert werden. Die zur Verfügung gestellten Daten enthalten für Minutenintervalle zusammengefasst die Verkehrsstärke, die durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit und die Verkehrszusammensetzung für jeden Fahrstreifen am Messquerschnitt.

Für die Querschnittsmessung auf der A4 wird an einer Brücke über der Arbeitsstelle zwischen den Anschlussstellen Düren und Buir pro Fahrstreifen ein Radargerät installiert (siehe Bild 15). Diese zeichnen den Verkehr kommend und von oben (über



Bild 15 : An einem Brückengelände installierte Radargeräte über der Fahrbahn der BAB A4

Kopf) auf. Die verwendeten Radargeräte sind SDR Seitenradarmesssysteme der Firma DataCollect Traffic Systems, welche auch über Kopf installiert werden können. Das Radargerät sendet Funkwellen im Bereich von 24 GHz aus [vgl. DATA COLLECT TRAFFIC SYSTEMS, 2009]. Dem Radargerät entgegen kommende Fahrzeuge reflektieren die Funkwellen und durch den Dopplereffekt ändert sich die Frequenz. Ein im Radargerät befindlicher Empfänger misst die empfangene Frequenz und vergleicht sie mit der ausgestrahlten. Über das Verhältnis der Frequenzen wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs berechnet und aufgezeichnet. Über die Zeitdauer des Empfangs und die errechnete Geschwindigkeit wird die Länge des Reflexionsobjekts bestimmt und ebenfalls aufgezeichnet.

Die aufgezeichneten Daten enthalten also für jedes erfasste Fahrzeug einen sekundengenauen Zeitstempel, die Angabe einer lokalen Geschwindigkeit und die erfasste Fahrzeuglänge, was eine Differenzierung der Fahrzeuge in Pkw und Schwerverkehr zulässt. Mittels einer Auswertungssoftware können die aufgezeichneten Daten in 5-Minuten-Intervallen zusammengefasst werden.

Auf der A8 liegen lediglich die Schleifendaten in den Bereichen ohne Arbeitsstelle vor. Hier wird ähnlich zu den Daten von der A5 verfahren.

3.1.8 Befragungen

Im Anschluss an eine erfolgte Messfahrt werden die Probanden gebeten, einen Fragebogen auszufül-

len. Zusätzlich zu den Probanden werden weitere Befragungen mit Personen durchgeführt, die auf Autobahnparkplätzen oder Rastanlagen in oder nach der betreffenden Arbeitsstelle eine Pause einlegen. Um möglichst viele Personen zu erreichen wird der Fragebogen zusätzlich online zur Verfügung gestellt.

Basierend auf dem Projekt FE 01.0177/2011/ARB „Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf den Verkehrsteilnehmer“ [PETZOLDT et al, 2014], wird der Fragebogen hinsichtlich Fragetypen stärker vereinheitlicht, weitere noch offenere Fragestellungen spezifiziert und psychologische Items ergänzt. So wird ein standardisierter Fragebogen entwickelt, welcher neben den demographischen Daten auch das Erleben der jeweiligen Arbeitsstellen-Durchfahrt, die individuelle Beanspruchung sowie die Wünsche der Probanden hinsichtlich Veränderungen erfasst.

Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sind die standardisierten Fragebogen über die verschiedenen Befragungsarten (Probanden-, Vor-Ort- und Onlinebefragung) inhaltlich und formal gleich aufgebaut. Auch für die unterschiedlichen Arbeitsstellen wird im Kern derselbe Fragebogen eingesetzt und lediglich einzelne zu untersuchenden Spezifika der drei Arbeitsstellen (Arbeitsstellenlänge und staffelung sowie spezifische Gestaltungsmerkmale) ergänzt.

Bei der Bearbeitung der Online-Fragebogen kann der Fall eintreten, dass die Beantwortung des Fragebogens abgebrochen wird. Die bis zum Abbruch getätigten Antworten werden dennoch gespeichert, so dass sie für die Auswertung zur Verfügung stehen. Zum einfacheren Verständnis und wegen der umgangssprachlich synonymen Nutzung wird in den Fragebogen der Begriff „Baustelle“ anstelle von „Arbeitsstelle“ verwendet. Die von den Probanden beantworteten Fragebogen werden separat von den Vor-Ort- und Onlinebefragungen gespeichert, so dass die Unterscheidung der Probandenbefragung zu den Antworten der anderen Befragten möglich ist.

Jeder Fragebogen beginnt mit einer kurzen Einleitung bezüglich des Ziels der Untersuchung. Nach der Einleitung folgten die Festlegung der Arbeitsstelle sowie Fragen zur letzten Durchfahrt (Tageszeit, Verkehrsdichte, Anteil Lkws etc.). Darauf folgt die Bewertung der jeweiligen Arbeitsstelle (Länge, Spurführung, Geschwindigkeitsbeschränkung). Im

Mittelteil werden spezifischere Fragen zu den jeweiligen Arbeitsstellen sowie Fragen zum subjektiven Empfinden während der Durchfahrt gestellt. Auch die individuellen Wünsche der Probanden hinsichtlich der zukünftigen Gestaltung von Arbeitsstellen sowie der Informationsbedarf werden erfasst. Zudem wird Raum für weitere Anmerkungen gegeben. Am Ende des Fragebogens erfolgte die Erhebung der demographischen Daten sowie Fragen zur Fahrerfahrung. Großer Wert wird bei der Erstellung des Fragebogens auf eine verständliche Ausdrucksweise gelegt.

Der Großteil des Fragebogens besteht aus geschlossenen Fragen, welche anhand vorgegebener dichotomer Ausprägungen oder 5-stufigen Skalen durch die Befragten beantwortet werden. Die Verwendung zumeist geschlossener Fragen sichert zum einen eine gute Vergleichbarkeit der Antworten [vgl. HUSSY et al, 2009 und SCHNELL et al, 2011] und macht eine Analyse mithilfe unterschiedlicher statistischer Verfahren leicht möglich. Dichotome Fragen werden in diesem Fragebogen hauptsächlich in Bezug auf Tatsachen verwendet (bspw. „Haben Sie diese Baustelle schon einmal durchfahren?“) während der Einsatz von 5-stufigen Antwortformaten zur Abgabe von subjektiven Einschätzungen der Befragten verwendet werden (bspw. „Wie war das Verkehrsaufkommen in der Baustelle bei Ihrer letzten Durchfahrt?“) oder um die persönliche Meinung des Verkehrsteilnehmers zu erheben (bspw. „Der linke Fahrstreifen ist breit genug“). Die Verwendung von geschlossenen Fragen, die eine quantitative Auswertung der Daten ermöglichen, wird durch den Einsatz einiger weniger offener Fragen ergänzt. Diese werden zumeist eingesetzt, wenn es um Wünsche und Anregungen der befragten Verkehrsteilnehmer geht. Außerdem wird durch den Gebrauch von offenen Fragen den Befragten die Möglichkeit gegeben, sich frei zu bestimmten Sachverhalten und Empfindungen äußern zu können, ohne sich durch vorgegebene Antwortmöglichkeiten beschränkt zu fühlen [SCHNELL et al, 2011 und BORTZ/DÖRING, 2004]. Zur Erhebung der Beanspruchung werden figurale Fragen in Form von Self-Assessment-Manikins (vgl. Bild 16) integriert, die sich in vorherigen Studien bereits als valide Messungen des psychologischen Befindens herausgestellt haben [vgl. JÄGER, 2004].

Durch die Kombination der verschiedenen Fragearten können Antwortroutinen weitestgehend vermieden werden [PROST et al, 2009].

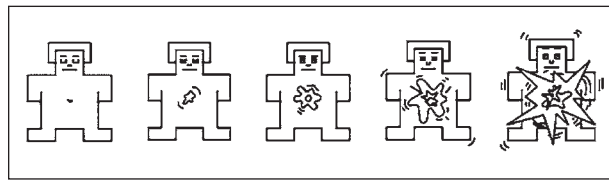


Bild 16: Self-Assessment-Manikins

Aus der Kombination der verschiedenen Ergebnisse lässt sich ein umfassendes Bild der Fahrereinstellung sowie der Beanspruchung der Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit der verschiedenen Arbeitsstellen-Spezifika erstellen. Dies liefert den Erklärungshintergrund für die spätere Erarbeitung der Hypothesen für die Fahrstudie.

3.2 Auswahl und Festlegung geeigneter Arbeitsstellen

Unter Berücksichtigung der Grundlagenrecherche sowie in enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber erfolgt die Auswahl und Festlegung untersuchungsrelevanter Arbeitsstellen. Dabei sollen möglichst unterschiedliche Arbeitsstellen hinsichtlich Länge, Verkehrsführung, Fahrstreifenbreiten und Arbeitsstellenausstattung einbezogen werden. Aufgrund aktueller Forschungsergebnisse des Forschungsnehmers sollte auch die Anzahl innenliegender Anschlussstellen in die Differenzierung der Untersuchungsstrecken einfließen. Die Lage der Arbeitsstelle im Verkehrsnetz stellt ebenfalls eine zu berücksichtigende Unterscheidungskenngröße dar. Hiermit können aufeinanderfolgende Arbeitsstellen als eine Arbeitsstellenfolge definiert und in die Untersuchung integriert werden. Die Festlegung der Arbeitsstellen ist so vorzunehmen, dass das Untersuchungskollektiv ergänzend zu den bereits vorliegenden Erkenntnissen aus dem FE 01.0177 herangezogen werden können. Aufbauend auf den gewählten Randbedingungen der Pilotbaustelle auf der A5 sind somit weitere Kriterien zu bestimmen, auf deren Basis die anderen Untersuchungsstrecken auszuwählen sind. Ziel soll es sein, ein möglichst breites Spektrum an möglichen Einflussgrößen zu erfassen, die in der späteren Fahrstudie vertiefend betrachtet werden.

3.2.1 BAB A5: Ober-Mörlen - Friedberg

Die Arbeitsstelle auf der A5 zwischen den Anschlussstellen Ober-Mörlen und Friedberg (Wetteraukreis) im Bundesland Hessen wird in Fahrtrich-

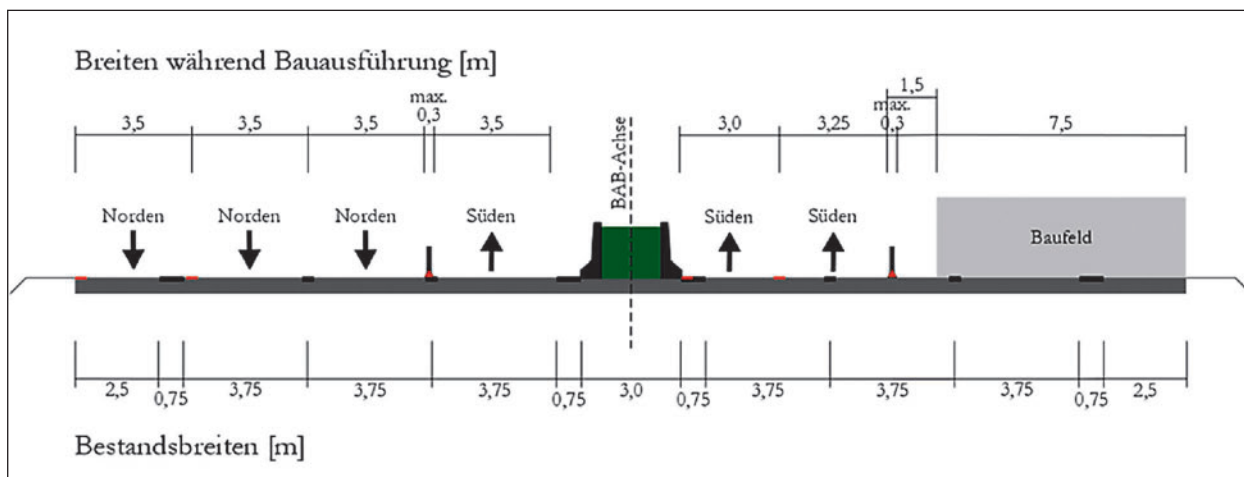


Bild 17: Verkehrsführung und Fahrstreifenbreiten in der Arbeitsstelle auf der A5 (nach HESSEN MOBIL, 2013)

tung Süden (Frankfurt) der Seitenstreifen sowie der rechte Fahrstreifen erneuert. Die Arbeitsstelle hat eine Länge von 11,5 km. Die Einrichtung der Arbeitsstelle erfolgt am 21.05.2013 und dauert bis zum 02.08.2013. Die Anschlussstelle Ober-Mörlen ist in Fahrtrichtung Süden (Frankfurt) komplett gesperrt, die Tank- und Rastanlage Wetterau, zwischen den genannten Anschlussstellen liegend, bleibt jedoch in beiden Fahrtrichtungen während der gesamten Bauzeit für den Verkehrsteilnehmer erreichbar.

Der Querschnitt der Fahrbahn im Bestand ist 36,5 m breit und der Verkehr wird auf 3 Fahrstreifen je Richtung geführt. Die eingerichtete Verkehrsführung ist eine 4+2 Verkehrsführung. Hierbei stehen in jede Fahrtrichtung drei Fahrstreifen zur Verfügung, wovon zwei auf der westlichen Fahrbahn (FR Süden) und vier auf der östlichen Fahrbahn (FR Norden) eingerichtet sind. Als Besonderheit sind hier die Behelfsfahrstreifenbreiten zu nennen, die pro Fahrstreifen mindestens 3 m betragen (siehe Bild 17).

Rund um diese Arbeitsstelle gibt es eine intensive Informationspolitik, da sie als Pilotbaustelle im vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) initiierten Forschungsprojekt „Straße im 21. Jahrhundert – Innovativer Straßenbau in Deutschland“ fungiert. So wurde beispielsweise eine projektbezogene Homepage (vgl. Bild 18) mit aktuellen Bauinformationen und zahlreichen Darstellungen und Visualisierungen der einzelnen Prozessschritte erstellt, sowie eine regelmäßige Berichterstattung in Funk und Fernsehen initiiert und begleitet.



Bild 18: Projekthomepage Baustelle des 21. Jahrhunderts (Quelle: www.A5-baustelle.de)

Innerhalb dieses Forschungsprojektes wird unter anderem ein Managementsystem zur Minimierung der Auswirkungen von Baustellen auf den Verkehr für eine sichere und zuverlässige Straße genannt (siehe BMVBS, 2011). Diese Zielsetzung wird vor Ort an der A 5 getestet, in dem in Fahrtrichtung Norden (Kassel) über die vorhandene Verkehrsbeeinflussungsanlage in Form von dynamischen Informationstafeln die zulässige Durchfahrtgeschwindigkeit der Arbeitsstelle an das aktuell vorhandene Verkehrsaufkommen angepasst wird. Zudem werden u.a. LED-Geschwindigkeitsanzeigen, modifizierte Baustelleninformationen, die „Hessenkinder“, Stationierungsanzeigen als innovative Maßnahmen eingesetzt. Auch die verhältnismäßig kurze Bauzeit



Bild 19: Verkehrsinformationstafel „Hessenkinder“

resultiert aus dem besonderen Augenmerk, welches auf diese Arbeitsstelle gerichtet wird.

Als die so genannten „Hessenkinder“ werden Informationstafeln innerhalb der Arbeitsstelle bezeichnet, die Informationen – vermittelt durch abgebildete Kinder – darüber geben, welche Strecke noch bis zum Ende der Arbeitsstelle absolviert werden muss (vgl. Bild 19). In anderen Bundesländern werden vergleichbare Informationstafeln verwendet, allerdings mit der Darstellung von anderer Symbolik, wie z.B. die sog. „Smiley Symbolik“.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit durch den Arbeitsstellenbereich in Fahrtrichtung Süden (Frankfurt) beträgt 80 km/h und gilt für alle 3 Fahrstreifen. Die Anzeige der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erfolgt über analoge Schilder. In Fahrtrichtung Norden (Kassel) wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit, wie bereits oben beschrieben, an das aktuelle Verkehrsaufkommen angepasst und dem Verkehrsteilnehmer mittels dynamischer Informationstafeln mitgeteilt. Während der Probandenfahrten liegt die erlaubte Höchstgeschwindigkeit zeitweise bei 60 km/h, 80 km/h und 100 km/h.

Die nächste automatische Dauerzählstelle, welche das Verkehrsaufkommen und die Verkehrszusammensetzung erfasst, befindet sich nördlich der Arbeitsstelle im südlichen Bereich des Autobahnkreuzes Gambach. Zwischen dem Gambacher Kreuz und der Strecke für die Feldstudie befindet sich nur die Anschlussstelle Butzbach, bei der die Messfahrten beginnen. Die von dieser Dauerzählstelle aufgezeichneten Daten aus dem Jahr 2012 finden sich in Tabelle 2.

Von Donnerstag den 18. Juli bis Samstag den 20. Juli 2013 werden vor Ort sowohl Messfahrten mit

	Gesamt- querschnitt	FR Norden	FR Süden
DTV-Kfz [Kfz/24 h]	95.178	48.088	47.090
SV-Kfz [Kfz/24 h]	13.154	6.609	6.545
SV-Anteil [%]	13,8	13,7	13,9

Tab. 2: Daten der Dauerzählstelle auf der A 5 beim AK Gambach, 2012 (nach BASt, 2013a)

Probanden als auch Befragungen von Verkehrsteilnehmern durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt sind bereits Schulferien im Bundesland Hessen, weswegen ein geringeres Pendler-Verkehrsaufkommen erwartet wird. Am Montag, dem 22. Juli, beginnen in Nordrhein-Westfalen die Schulferien, weswegen Samstag ein höheres Verkehrsaufkommen in Fahrtrichtung Süden (Frankfurt) als an den Wochentagen vermutet wird.

Die Probandenfahrten starten in Butzbach auf einem Parkplatz direkt an der Autobahnauffahrt. Die Probanden fahren auf die A5 in Fahrtrichtung Süden (Frankfurt) auf und haben eine 5,5 km lange Fahrstrecke vor der Arbeitsstelle als Eingewöhnungsstrecke, so dass sich die Probanden an die Fahrsituation mit dem ihnen unbekanntem Fahrzeug und dem Messequipment gewöhnen können. Die Eingewöhnungsstrecke wurde vom Projektteam als ausreichend lang eingeschätzt, da sie im Wesentlichen dazu dient, die Messwerte (z. B. Puls) zu normalisieren bevor der Proband mit dem eigentlichen Untersuchungsgegenstand (der Arbeitsstelle) konfrontiert wird. In den erhobenen Messdaten konnte zudem keine Auffälligkeit festgestellt werden, die auf eine zu kurze Eingewöhnung schließen lässt.

Nach der Arbeitsstellendurchfahrt in Fahrtrichtung Süden wenden die Probanden im Bad Homburger Kreuz, wo die BAB 5 und die BAB 661 sich kreuzen und welches sich 10,5 km hinter dem Ende der Arbeitsstelle befindet. Bei der anschließenden Fahrt auf der A5 in Fahrtrichtung Norden (Kassel) fahren die Probanden eine 10,5 km lange Fahrstrecke bis zur Arbeitsstelle, durchfahren die Arbeitsstelle und verlassen 5,6 km danach die Autobahn bei der Anschlussstelle Butzbach, wo sie wieder zum Parkplatz zurückkehren.

3.2.2 BAB 4: Düren – Kerpen

Auf der A4 befinden sich zwischen der Anschlussstelle Düren und dem Autobahnkreuz Kerpen zwei

Arbeitsstellen. Hier werden die Anbindungen an die künftige, nach Süden umzulegende Trasse der A4 ausgebaut (vgl. Bild 20).

Zwischen den Anschlussstellen Düren und Buir beträgt die Länge der Arbeitsstelle 3,1 km. Hier wird zusätzlich zur oben beschriebenen Maßnahme die Autobahn zwischen der Anschlussstelle Düren und dem Anschluss an die künftige Autobahntrasse von vier auf sechs Fahrstreifen ausgebaut. In Fahrtrichtung Osten (Köln) liegt die Auffahrt Düren im Arbeitsstellenbereich. Zwischen der Anschlussstelle Buir und dem Autobahnkreuz Kerpen hat die Arbeitsstelle eine Länge von 1,6 km. In dieser Arbeitsstelle wird zusätzlich zur oben beschriebenen Maßnahme ein Brückenbauwerk über eine Bahnlinie der Deutschen Bahn AG erneuert, da auch hier die Autobahn von vier auf sechs Fahrstreifen ausgebaut wird. Zwischen den Arbeitsstellen liegt eine Strecke der Länge 11,9 km.

Der Querschnitt der Bestandsfahrbahn zwischen der Anschlussstelle Düren und dem Autobahnkreuz Kerpen ist 29,5 m breit und der Verkehr wird auf 2 Fahrstreifen je Richtung geführt. Die eingerichtete Verkehrsführung ist eine 4+0 Verkehrsführung. Hierbei stehen in jeder Fahrtrichtung zwei Fahrstreifen zur Verfügung, welche alle auf einer Fahrbahn eingerichtet sind. Die Breiten der Behelfsfahrstreifen betragen für den jeweils rechten Fahrstreifen 3,25 m und für den jeweils linken Fahrstreifen 2,6 m (siehe Bild 21). Zulässig sind auf den linken Fahrstreifen Fahrzeuge mit einer Maximalbreite (inkl. Seitenspiegel) von 2,1 m. Getrennt sind die entgegengesetzt gerichteten Verkehrsströme von einer transportablen Schutzeinrichtung mit 0,3 m Breite und 0,7 m Höhe.

Als Besonderheit ist zu nennen, dass in der Arbeitsstelle bei Kerpen eine Bestandsbreite der Fahrbahn mit Fahrtrichtung Westen (Aachen) von 16,25 m im Brückenbereich vorliegt. Der Verkehr wird über die bereits fertig gestellte Brücke im ausgebauten Zustand der Autobahn geführt. Die Behelfsfahrstreifenbreiten ändern sich zwar nicht zu Bild 21, jedoch ist in Fahrtrichtung Osten (Köln) rechts neben den Behelfsfahrstreifen ein 1 m breiter Ausweichraum vorhanden, welcher von einem baulichen Element aus Beton begrenzt wird. In Fahrtrichtung Westen (Aachen) liegt rechts neben den Behelfsfahrstreifen ein Ausweichraum von 1,75 m Breite vor (nach H&T TRIMBORN-AVE GMBH, 2013a).

Eine weitere Besonderheit liegt in der Arbeitsstelle bei Düren vor, in der der Verkehr in Fahrtrichtung

Osten (Köln) erst auf der eigenen Richtungsfahrbahn und anschließend nach links von der Bestandsfahrbahn auf eine Behelfsfahrbahn geführt wird. Diese Verschwenkung findet innerhalb einer Strecke von etwa 300 m statt. Im direkten Anschluss wird der Verkehr wieder auf seine eigene Fahrbahn geleitet und die Arbeitsstelle ist zu Ende (siehe Bild 22). In Fahrtrichtung Westen (Aachen) ist die Verschwenkung nach der Fahrstreifenführung über die provisorische Behelfsfahrbahn aufgeteilt in zwei kleinere Verschwenkungen. Dies ist notwendig, da sich ein Brückenpfeiler im Mittelstreifen der Bestandsfahrbahn befindet und diesem ausgewichen werden muss (siehe Bild 22).

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt in der Arbeitsstelle bei Düren 60 km/h. In der Arbeitsstelle bei Kerpen beträgt die erlaubte Höchstgeschwindigkeit im Arbeitsstelleninnenbereich und im Endbereich der Arbeitsstelle in Fahrtrichtung Westen (Aachen) 80 km/h. Zu Beginn der Arbeitsstelle bei Kerpen liegt in beiden Fahrtrichtungen die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei 60 km/h. Auch bei der Verschwenkung und Überleitung der Fahrstreifen in Fahrtrichtung Osten (Köln) am Ende der Arbeitsstelle beträgt die zulässige Höchstgeschwindigkeit 60 km/h. Im Gegensatz zur „Pilotbaustelle“ auf der A5 wurden hier nur statische Verkehrszeichen eingesetzt. Die nächste automatische Dauerschleife, welche das Verkehrsaufkommen und die Verkehrszusammensetzung erfasst, befindet sich bei der Anschlussstelle Buir. Die von dieser Dauerschleife im Jahr 2012 aufgezeichneten Daten finden sich in Tabelle 3.

Von Mittwoch, den 18. September bis Samstag, den 21. September 2013 werden auf dem beschriebenen Streckenabschnitt der A4 Messfahrten mit Probanden durchgeführt. Die Probandenfahrten starten bei der Anschlussstelle Eschweiler-Ost auf einem Parkplatz nahe der Autobahnauffahrt. Die Probanden fahren auf die A4 in Fahrtrichtung Osten (Köln) auf und haben eine 11,4 km lange Fahrstrecke vor der

	Gesamtquerschnitt	FR Osten	FR Westen
DTV-Kfz [Kfz/24 h]	61.568	30.649	30.919
SV-Kfz [Kfz/24 h]	11.360	5.635	5.725
SV-Anteil [%]	18,5	18,4	18,5

Tab. 3: Daten der Dauerschleife auf der A4 bei Buir, 2012 (nach BASt, 2013b)

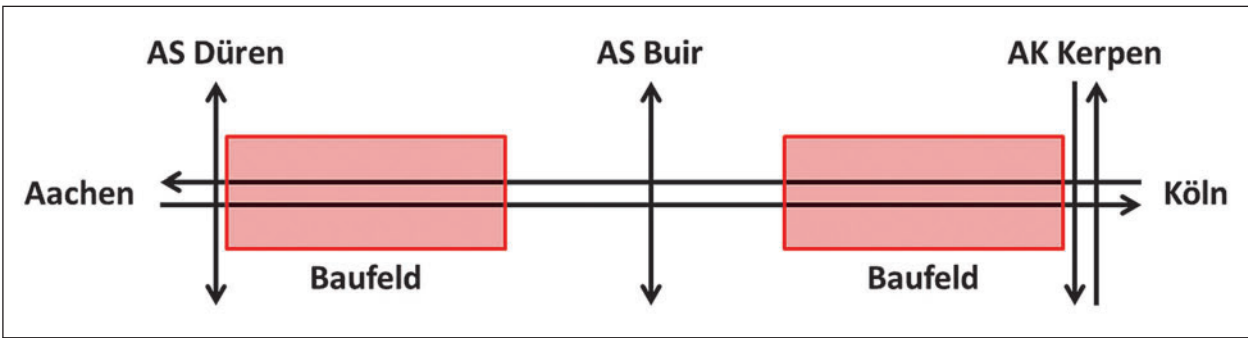


Bild 20: Übersicht Baustellenabfolge Düren - Kerpen

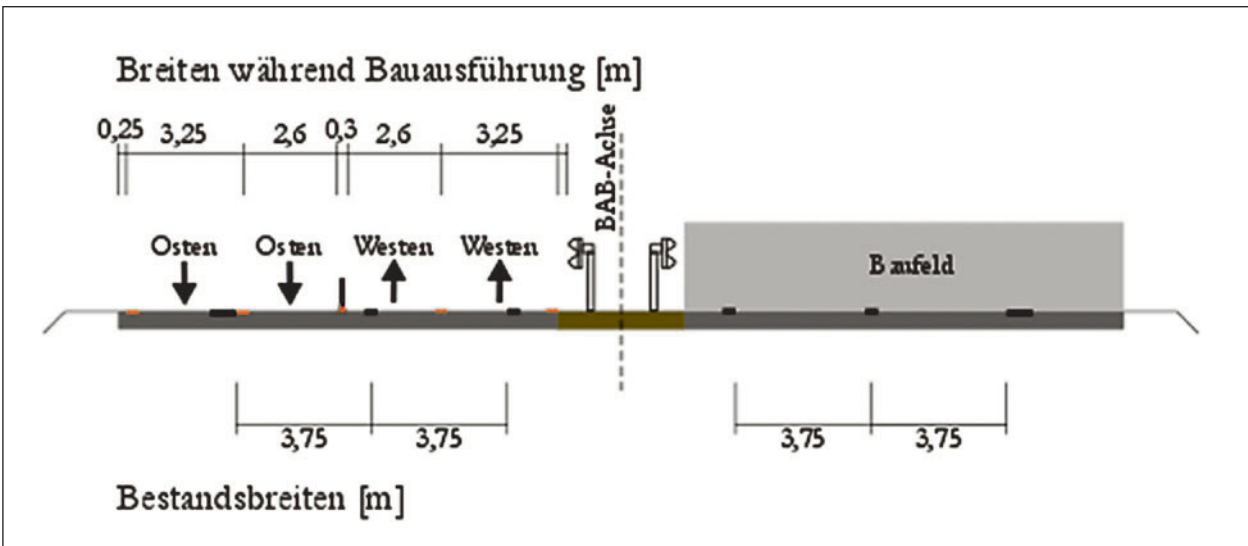


Bild 21: Verkehrsführung und Fahrstreifenbreiten in den Arbeitsstelle auf der A4 (nach H&T TRIMBORN-AVE GMBH, 2013b), exemplarisch dem Querschnitt bei km 34,2 entnommen

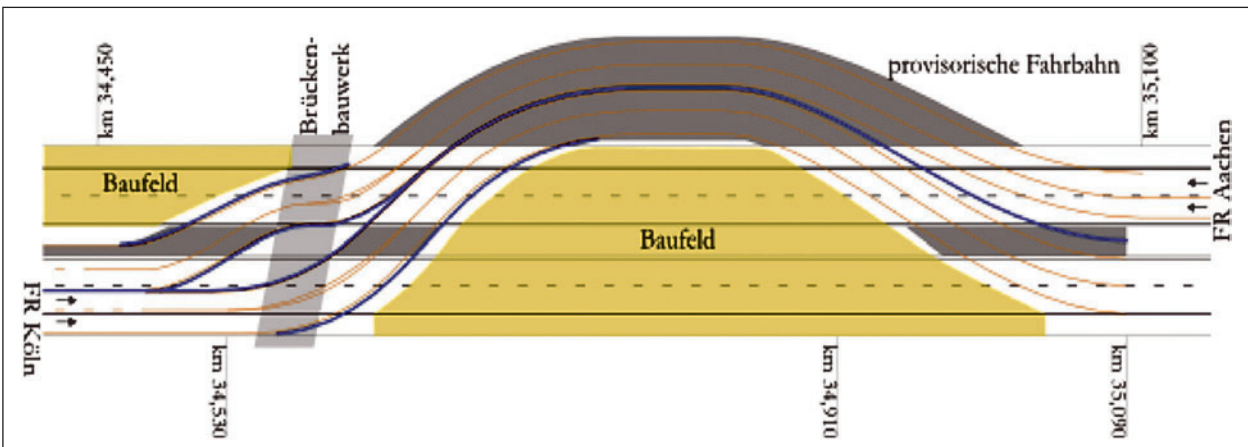


Bild 22: Verkehrsführung in der Arbeitsstelle bei Düren zwischen km 34,4 und km 35,15 (nach H&T TRIMBORN-AVE GMBH, 2013b)

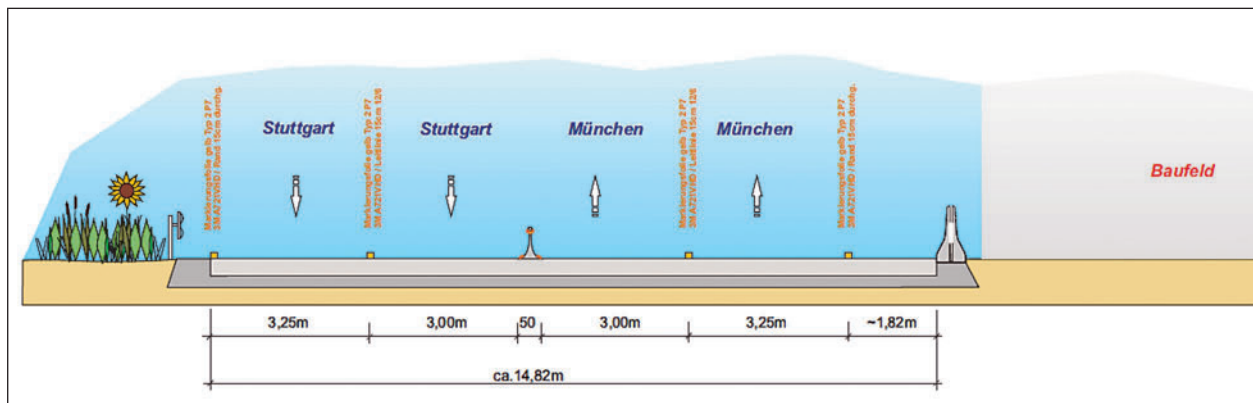


Bild 23: Verkehrsführung und Fahrstreifenbreiten in der Arbeitsstelle auf der A8 Betriebskilometer 61+800 (SECUTECH GMBH, 2013)

ersten Arbeitsstelle als Eingewöhnungsstrecke. Bis zur Anschlussstelle Düren hat die Autobahn einen Querschnitt mit einer Breite von 35,5 m. Bei der Anschlussstelle Düren wird der linke Fahrstreifen in Fahrtrichtung Osten (Köln) auf den mittleren Fahrstreifen geführt, so dass kurz vor Beginn der Arbeitsstelle auch im Bestand nur zwei Fahrstreifen vorliegen. Nach der Durchfahrt der ersten Arbeitsstelle erfolgt die Fahrt auf freier Strecke über 11,9 km. Anschließend daran erfolgt die Durchfahrt der zweiten Arbeitsstelle. Im Autobahnkreuz Kerpen, wo die BAB 4 und die BAB 61 sich kreuzen und welches sich etwa 1 km hinter der zweiten Arbeitsstelle befindet, wenden die Probanden. Bei der anschließenden Fahrt auf der A 4 in Fahrtrichtung Westen (Aachen) fahren die Probanden erneut durch die Arbeitsstellen und die dazwischen liegende freie Strecke. Nach der Durchfahrt der Arbeitsstelle bei Düren erfolgt die Fahrt auf freier Strecke mit drei zur Verfügung stehenden Fahrstreifen über eine Länge von 11,4 km. Über die Anschlussstelle Eschweiler-Ost verlassen die Probanden die Autobahn und kehren zum Parkplatz zurück.

3.2.3 BAB A8:Dasing – Günzburg

Auf der A8 befinden sich zwischen den Anschlussstellen Dasing und Günzburg insgesamt drei Arbeitsstellen in einer Arbeitsstellenstaffelung. Hier wird in einer ÖPP-Maßnahme die A8 auf sechs Streifen ausgebaut und gleichzeitig die Trassierung angepasst. Der Ausbau erfolgt mittels dreistreifigen Fahrbahnneubaus neben der Bestandsstrasse der BAB 8. Nach Fertigstellung dieser Fahrstreifen wird der gesamte Verkehr in 4+0-Verkehrsführung über den neuen Teilquerschnitt geführt und die andere Fahrtrichtung wird auf der alten Trasse realisiert. In

den Beruhigungsstrecken zwischen den einzelnen Arbeitsstellen wird der Verkehr teilweise noch auf der alten Trasse geführt.

Die erste Arbeitsstelle zwischen Betriebskilometer 60+900 und 70+100 hat eine Länge von 9,2 km. Die zweite Arbeitsstelle liegt mit einer Länge von 8,6 km zwischen Betriebskilometer 74+900 und 83+500. Die dritte Arbeitsstelle auf der BAB A8 liegt zwischen Betriebskilometer 86+900 und 95+900 und hat somit eine Länge von 9,0 km. Insgesamt beläuft sich die Arbeitsstellenstaffelung auf 35 km. Der arbeitsstellenfreie Anteil beträgt somit 8,2 Kilometer, verteilt auf 4,8 km zwischen den ersten beiden Arbeitsstellen und 3,4 km zwischen der zweiten und dritten Arbeitsstelle. Die Arbeitsstellen werden alle auf die Betriebskilometer in Fahrtrichtung West (Stuttgart) bezogen.

Im ersten Arbeitsbereich wird der Verkehr auf dem neuen Teilquerschnitt in Richtung Westen (Stuttgart) geführt. Die Fahrzeuge in Richtung Osten (München) werden also auf die Strecke übergeleitet. In der Arbeitsstelle befindet sich die Anschlussstelle Adelsried, welche mit verkürzten Beschleunigungs- und Verzögerungsstreifen ausgestattet ist. Zum Ende der ersten Arbeitsstelle befindet sich in Fahrtrichtung Westen (Stuttgart) noch die PWC-Anlage Zusmarshausen, welche zum Erhebungszeitraum auch bereits in Betrieb genommen worden ist. Die Behelfsfahrstreifenbreiten betragen in beiden Richtungen 3,25 m auf dem Hauptfahrstreifen und 3,00 m auf dem Überholfahrstreifen (siehe Bild 23).

Im zweiten und dritten Arbeitsbereich wird der Verkehr auf dem neuen Teilquerschnitt in Richtung Osten (München) geführt. Die Fahrzeuge in Richtung Westen (Stuttgart) werden also auf die Strecke übergeleitet. In den Arbeitsstellen befindet sich kei-

	Gesamt- querschnitt	FR Osten	FR Westen
DTV-Kfz [Kfz/24 h]	59.629	27.385	32.244
SV-Kfz [Kfz/24 h]	8.050	3.955	4.092
SV-Anteil [%]	13,5	14,4	12,7

Tab. 4: Daten der Dauerzählstelle auf der A8 bei Neusäß, 2012 (nach BASt, 2013c)

ne Anschlussstelle. Lediglich zu Beginn der dritten Arbeitsstelle befindet sich in Richtung Westen (Stuttgart) die Zu- und Abfahrt der Tank- und Rastanlage Burgauer See. Die Behelfsfahrestreifenbreiten betragen auch hier für beide Arbeitsstellen in beiden Richtungen 3,25 m auf dem Hauptfahrestreifen und 3,00 m auf dem Überholfahrestreifen.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt über die komplette Länge der Arbeitsstellen 80 km/h. In den Beruhigungsstrecken zwischen den einzelnen Arbeitsstellen darf 120 km/h gefahren werden.

Die Dauerzählstelle, die für die Arbeitsstellen ausgewertet werden soll, befindet sich an der Anschlussstelle Neusäß bei Betriebskilometer 56+000.

Von Dienstag, den 12. November bis Donnerstag, den 14. November 2013 werden auf dem beschriebenen Streckenabschnitt der A8 Messfahrten mit Probanden durchgeführt. Die Probandenfahrten starten bei der Anschlussstelle Dasing auf einem Autohof nahe der Autobahnauffahrt. Die Probanden fahren auf die A8 in Fahrtrichtung Westen (Stuttgart) auf und haben eine 22,3 km lange Fahrstrecke vor der ersten Arbeitsstelle als Eingewöhnungsstrecke.

Bis zum AK Augsburg-West hat die Autobahn einen Querschnitt mit einer Breite von 36 m mit drei Fahrestreifen je Richtung. Ab dem AK Augsburg-West stehen dem Verkehr Richtung Osten (München) lediglich zwei Fahrestreifen zur Verfügung. Hinter der Anschlussstelle Neusäß wird zudem der Verkehr in Richtung Westen bereits auf den neuen Teilquerschnitt nördlich der Trasse geführt, auf dem dann auch die Behelfsfahrestreifen für den ersten Arbeitsbereich eingerichtet sind.

Im weiteren Verlauf folgt die Verkehrsführung in der ersten Beruhigungsstrecke wieder dem Verlauf vor der Arbeitsstelle.

Die Behelfsfahrestreifen in dem zweiten Arbeitsstellenbereich liegen dann südlich der alten Trasse

ebenfalls auf dem neuen Teilquerschnitt. Die zweite Beruhigungsstrecke ist in Fahrtrichtung Westen (Stuttgart) zwei-streifig und in Fahrtrichtung Osten (München) drei-streifig ausgeführt.

Nach dem letzten Arbeitsbereich in Fahrtrichtung Westen (Stuttgart) folgt bis zur Anschlussstelle Günzburg wieder der Regelquerschnitt RQ36 mit drei Fahrestreifen je Richtung.

An der Anschlussstelle Günzburg wird der Proband aufgefordert abzufahren und die Arbeitsstellen, jetzt in gegensätzlicher Richtung, zu durchfahren.

4 Ergebnisse der Feldstudie

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Feldstudie dargestellt und zwar getrennt für die drei Arbeitsstellen A5, A4 und A8.

4.1 Empirische Befragungen

Begleitend zu den Messfahrten (vgl. Kapitel 4.2) wurden Befragungen zu den Arbeitsstellen durchgeführt: Zum einen wurden die Probanden befragt, die selbst an der Messfahrt teilgenommen haben, zum zweiten wurden zufällig ausgewählte Verkehrsteilnehmer auf Rastplätzen innerhalb oder in der Nähe der jeweiligen Arbeitsstelle befragt und zum Dritten wurden Befragungsdaten per Onlinetool erhoben. Die Fragen wurden auf den Rastplätzen mündlich durch den Versuchsleiter gestellt und die Antworten direkt in einen Tablet-PC eingegeben. Sofern Bilder (z. B. Tafeln) bewertet werden sollten, wurden diese dem Probanden via Tablet-PC gezeigt. Der vollständige Befragungsbogen befindet sich im Anhang dieses Berichtes.

Das Befragungsinstrument beinhaltete allgemeine Items zur Bewertung der Arbeitsstellen, wie beispielsweise die Bewertung der Fahrestreifenbreite, die Länge der Arbeitsstelle und das Informationsmanagement. Zusätzlich enthielt der Fragebogen noch einen auf die jeweilige Arbeitsstelle abgestimmten Teil, der die Spezifika der einzelnen Arbeitsstelle berücksichtigt. Dieser beinhaltet beispielsweise für die A5 Items zu den „Hessenkindern“.

4.1.1 Befragungsergebnisse für die A5

Die Befragungsdaten für die Arbeitsstelle auf der A5 liefern die größte empirische Grundlage (N=248).

Zum einen wird diese Arbeitsstelle wie in Kapitel 3 bereits erwähnt auch als „Pilotbaustelle des 21. Jahrhunderts“ bezeichnet, was ein gewisses Medieninteresse mit sich bringt. Die eigene Webseite, die sich dieser Arbeitsstelle widmet und auf welcher auch auf die Befragung hingewiesen wird, erleichtert die Akquise von Probanden (N=179). Zum anderen liegt ein Rastplatz genau innerhalb der Arbeitsstelle, weshalb hier auch gut geeignete Probanden gefunden werden konnten (N=59). Die 10 Testfahrer (vgl. Kapitel 4.2) nahmen ebenfalls an der Befragung teil.

Ein Teil der Fragen richtet sich auf die gegebenen Vorinformationen zur Arbeitsstelle A5, auf Gestaltungsmerkmale, auf Beschilderung innerhalb der Arbeitsstellen und den erkennbaren Fortschritt. Die Fragen zu diesen Themenblöcken werden in einer Gesamtabbildung (vgl. Bild 27) mit den prozentualen Häufigkeiten in jeder Antwortkategorie dargestellt. Als Antwortalternativen stehen auf einer 5-stufigen Skala die Optionen von „trifft voll zu“ bis „trifft überhaupt nicht zu“ zur Verfügung. Zustimmung wird in den folgenden Abbildungen entsprechend mit Grün symbolisiert, Rottöne geben die prozentualen Häufigkeiten an, die ablehnend geantwortet haben.

Wegen der Informationsdichte der Befragungsergebnisse sind diese in die nachfolgenden Blöcke unterteilt:

- Bewertung der Standortinformationstafel,
- Bewertung der Webseite,
- Bewertung der Infotafeln und digitalen Schilder (dWiSta = Dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen),
- Bewertung der Informationen vor der Arbeitsstelle, des Baufortschritts, der Fahrstreifenbreite links und
- Bewertung der Informationen über Zweck, Dauer und Länge der Arbeitsstelle

Folgende Ergebnisse kristallisierten sich in der Befragung heraus, die grafisch weiter unten in der Gesamtabbildung noch detaillierter herausgelesen werden können:

Die ersten beiden Balken der Gesamtabbildung beziehen sich auf das in Bild 24 dargestellte Informationsschild.

Über 75 % der Befragten meinen, das Schild sei NICHT überflüssig und hilfreich zur Orientierung (roter Bereich).



Bild 24: Standortinformationstafel in der Arbeitsstelle

Die nächsten drei Balken thematisieren die Bewertung der Webseite: Etwa 65 % geben an, dass sie Interesse an der Webseite haben und knapp 75 % der Befragten geben zudem an, dass die Webseite alle wichtigen Informationen enthält und bewerten den Internetauftritt insgesamt als gelungen (Bild 27, Balken 3-5).

Bezüglich der in der nachfolgenden Abbildung 25 dargestellten digitalen Informationstafel (dWiSta, s. o.) ergibt sich ebenfalls eine deutlich positive Bewertung hinsichtlich der Nützlichkeit dieser Tafeln. dWiSta-Tafeln sind Anzeigesysteme, die Verkehrsinformationen dynamisch an die Verkehrsteilnehmer weitergeben.

Hinsichtlich der „Hessenkinder“ geben knapp 70% der Befragten an, diese Tafeln seien ansprechend gestaltet und nützlich.

Zu Beginn einer Arbeitsstelle längerer Dauer wird mittles sog. Arbeitsstellen-Informationsschildern auf die jeweilige Tätigkeit und die Dauer der Maßnahme hingewiesen. Auch hier wurde für die Arbeitsstelle auf der A 5 eine andere Darstellung gewählt. Im Gegensatz zur herkömmlichen Darstellung (siehe Bild 26, links) wurde auf detaillierte Informationen verzichtet und nur die Projekthomepage verwiesen (Bild 26, rechts). Auch diese Variation wurde abgefragt.

Die Informationen im Vorfeld der Baustelle werden von über 80 % als angemessen bewertet. Den alleinigen Hinweis auf die Internetadresse zur Arbeitsstelle auf den Arbeitsstellen-Informationsschildern im Innenbereich der Baustelle lehnen jedoch die meisten ab (60 %). Bedeutsam ist das Ergebnis, dass über 80 % die bisherigen Tafeln als informativer bewerten (vgl. Bild 26).

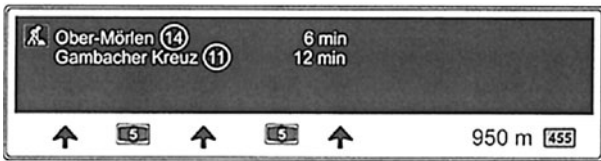


Bild 25: dWiSta in der Arbeitsstelle



Bild 26: Bisher eingesetztes und neues Arbeitsstellen-Informationsschild am Arbeitsstellenbeginn

Die Informationen der dWiSta – Anzeigen („Infos auf digitalen Schildern nützlich?“) werden von etwa 75 % als nützlich und hilfreich bewertet.

Die Items zur Arbeitsstellengestaltung hinsichtlich der Fahrstreifenbreite fallen ebenfalls sehr positiv aus: fast 75 % halten den linken Fahrstreifen für breit genug (vgl. Bild 27, Balken 4 von unten). Die Frage zur Bewertung des Baufortschrittes wurde nur von N=2 Probanden bearbeitet, weshalb das dargestellte Ergebnis sehr vorsichtig eingeordnet werden muss.

Die vorab zur Verfügung gestellten Informationen (Öffentlichkeitsarbeit über Homepage, Printmedien, Radio, TV) zum Zweck der Arbeitsstelle, zur Dauer und zur Länge werden von über 60 % der Befragten so bewertet, dass sie der Aussage „Informationen über Länge, Zweck und Dauer sind ausreichend“ voll oder eher zustimmen (vgl. letzte 3 Balken in Bild 27).

Insgesamt zeigen die Befragungsdaten für die Pi-lotbaustelle des 21. Jahrhunderts eine durchweg positive Bewertung durch die Befragten sowohl für das Informationsmanagement, inklusive der Nützlichkeit und Gestaltung der Webseite als auch für die baulichen Maßnahmen. Eine vergleichende Bewertung mit den anderen betrachteten Arbeitsstellen (A4, A8) findet sich in Kapitel 4.1.4, bei der sich die positive Bewertung durchaus bestätigt.

Neben den dargestellten Bewertungen verschiedener Aspekte der Baustellengestaltung ist es im Rahmen dieser Befragung von Interesse, wie das Informationsangebot genutzt wird. Die Wege der Informationszufuhr werden erfragt und es zeichnete sich deutlich ab, dass 35 % die Informationen aus dem Radio und ca. 20 % aus dem Internet bezogen (vgl. Bild 28). Bei den Arbeitsstellen-Informationstafeln wurde allerdings die herkömmliche Gestaltung als wesentlich informativer beurteilt.

Auf die Frage, ob man den Umleitungsempfehlungen der dWiSta folgen würde, ist die häufigste Antwort mit fast 30 % der Befragten „Meine Entscheidung hängt davon ab, ob ich in diesem Bereich ortskundig bin“. Nur wenige Probanden würden der Empfehlung tatsächlich folgen (weniger als 20 %; vgl. Bild 29).

Hinsichtlich der richtigen Interpretation der digitalen Informationsanzeige kann festgehalten werden, dass etwa 70 % die Information richtig deuteten, d.h. bei 30 % der Angaben ist die Interpretation nicht richtig, was einen relativ hohen Anteil ausmacht (vgl. Bild 30). Offensichtlich sind die Informationsschilder noch optimierbar.

4.1.2 Befragungsergebnisse für die A4

Die Charakteristika der fokussierten Arbeitsstelle auf der A4 sind ausführlich in Kapitel 3.2.2 erläutert. Hinzuweisen ist an dieser Stelle allerdings noch auf das besonders markante Merkmal der engen Fahrstreifen. Für diese Arbeitsstelle gehen insgesamt 65 Befragungsdatensätze in die Auswertung ein. Von den Befragten wurden die Daten von 12 Personen online, 37 Personen auf dem Rastplatz und 16 Personen als Testfahrer ermittelt.

Da das gesamte Informationsmanagement zu dieser Arbeitsstelle deutlich reduzierter erfolgte als auf der A5, wurden diese Aspekte im Befragungsinstrument deutlich weniger thematisiert. D.h. es ergeben sich insgesamt weniger Items und damit hier weniger zentrale dargestellte Ergebnisse. Dennoch ist ein Vergleich (Kapitel 4.1.4) der zentralen Items durchaus machbar.

Die zentralen Ergebnisse werden in Bild 31 wie bereits oben (vgl. Bild 27) so zusammengefasst, dass die grünen Bereiche Zustimmung darstellen und die roten Bereiche Ablehnung. Eine Bewertung der A4, Höhe Kerpen, betrifft die Zustimmung zur Aussage „Ein deutlicher Baufortschritt ist zu erkennen“, dem

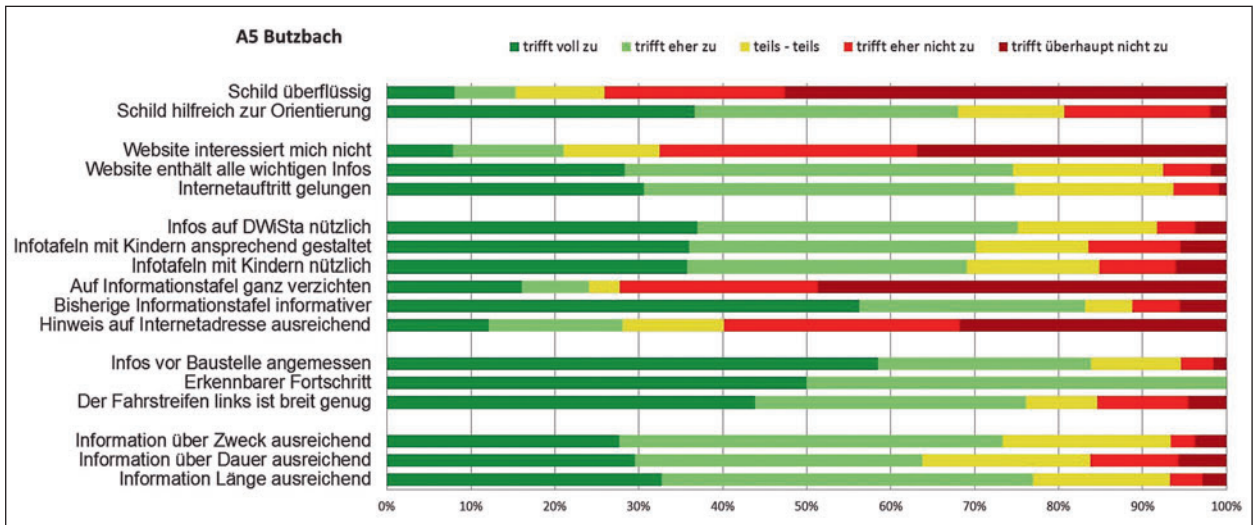


Bild 27: Bewertung verschiedener Aspekte der Arbeitsstelle A5 bei Butzbach (N=264)³

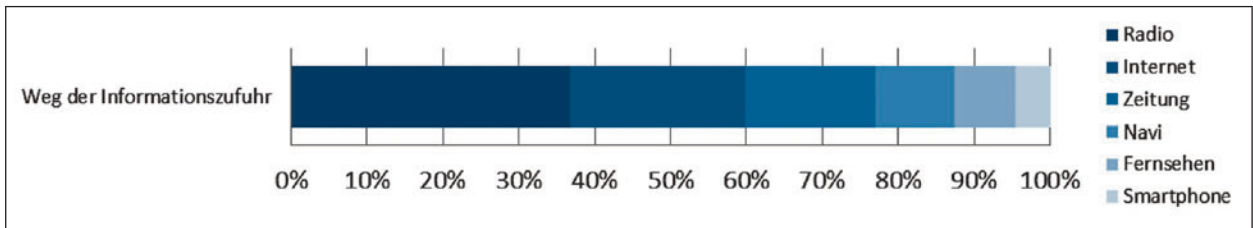


Bild 28: Angaben zu ‚Weg der Informationszufuhr‘

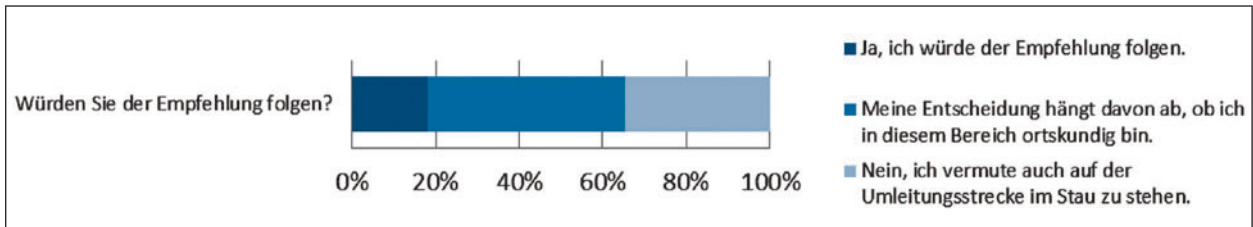


Bild 29: Angaben zu ‚Umleitungsempfehlung gemäß dWiSta folgen‘

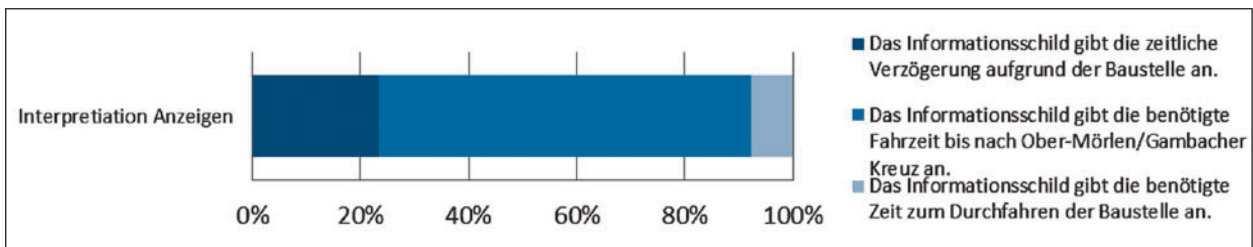


Bild 30: Angaben zu der Interpretation der dWiSta Anzeigen

von etwa 70 % der Befragten nicht bzw. eher nicht zugestimmt wird. Hier muss allerdings erwähnt werden, dass die Arbeitsstellen zu einem sehr großen Teil nicht einsehbar waren, da es sich um die Erst-

lung eines komplett neuen Autobahnstückes handelt. Die Fahrstreifenbreite des linken Fahrstreifens wird nur von etwa 30 % als ausreichend bewertet. Die Informationen über die Dauer, die Länge und den Zweck der Arbeitsstelle beantworten 30-40 % so, dass sie der Aussage „Die Informationen über Länge, Zweck und Dauer der Arbeitsstelle sind ausreichend“ voll oder eher zustimmen.

³ Das Item „Ein deutlicher Fortschritt ist zu erkennen“ (Balken 5 von unten, Bild 27) wurde von nur 2 Probanden beantwortet, weshalb Erläuterungen im Text hierzu wegen mangelnder Repräsentativität fehlen.

Insgesamt zeigen die Daten, dass sowohl das Informationsmanagement als auch die Fahrstreifenbreite von einem großen Teil der Befragten als eher negativ bewertet wird. Eine vergleichende Analyse mit den anderen Arbeitsstellen findet sich in Kapitel 4.1.4.

4.1.3 Befragungsergebnisse für die A8

Die Charakteristika der fokussierten Arbeitsstelle auf der A8 sind ausführlich in Kapitel 3.2.3 erläutert. Hinzuweisen ist an dieser Stelle allerdings noch auf das besonders markante Merkmal der Arbeitsstellenstaffelung. Für diese Arbeitsstelle gehen insgesamt 28 Befragungsdatensätze in die Auswertung ein. Davon wurden 11 Datensätze mit den Testfahrern und 17 auf dem Rastplatz erhoben.

Die zentralen Ergebnisse werden in Bild 32 wie bereits oben (vgl. Bild 27) so zusammengefasst, dass die grünen Bereiche Zustimmung darstellen und die roten Bereiche Ablehnung. Die Bewertung der A8, Höhe Augsburg ergibt, dass einem erkennbaren Fortschritt von über 70 % der Befragten zugestimmt wird. Die Fahrstreifenbreite des linken Fahrstreifens wird von etwa 50 % als ausreichend bewertet. Die Informationen über die Dauer, die Länge und den Zweck der Arbeitsstelle empfinden ca. 60 % als ausreichend.

Insgesamt zeigen die Daten, dass sowohl das Informationsmanagement als auch die Fahrstreifenbreite von einem großen Teil der Befragten als eher positiv bewertet wird. Eine vergleichende Analyse mit den anderen Arbeitsstellen findet sich in Kapitel 4.1.4.

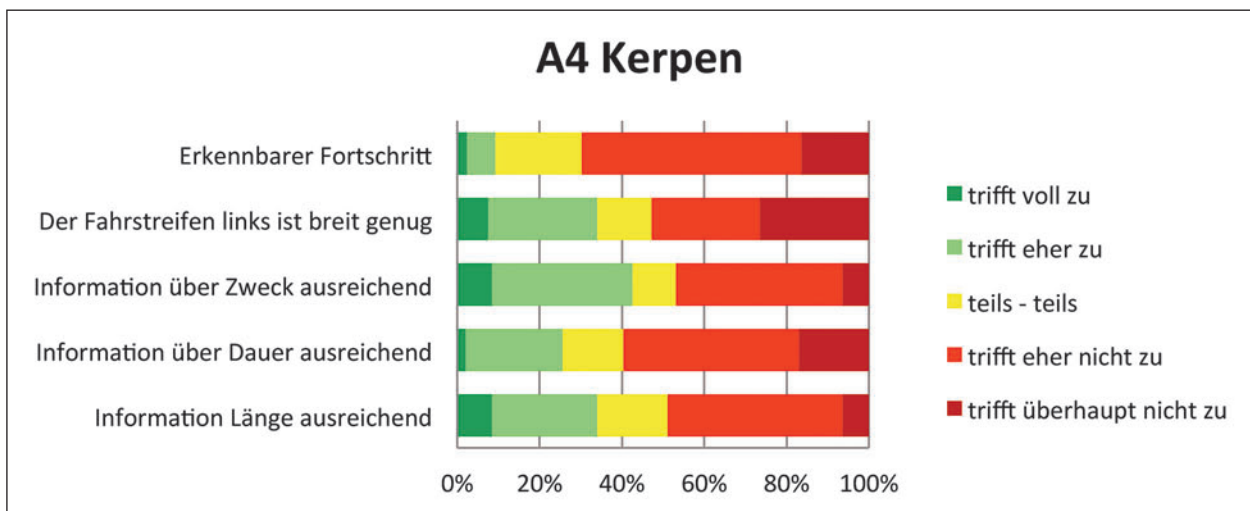


Bild 31: Bewertung der A4-Arbeitsstelle bei Kerpen (N=65)

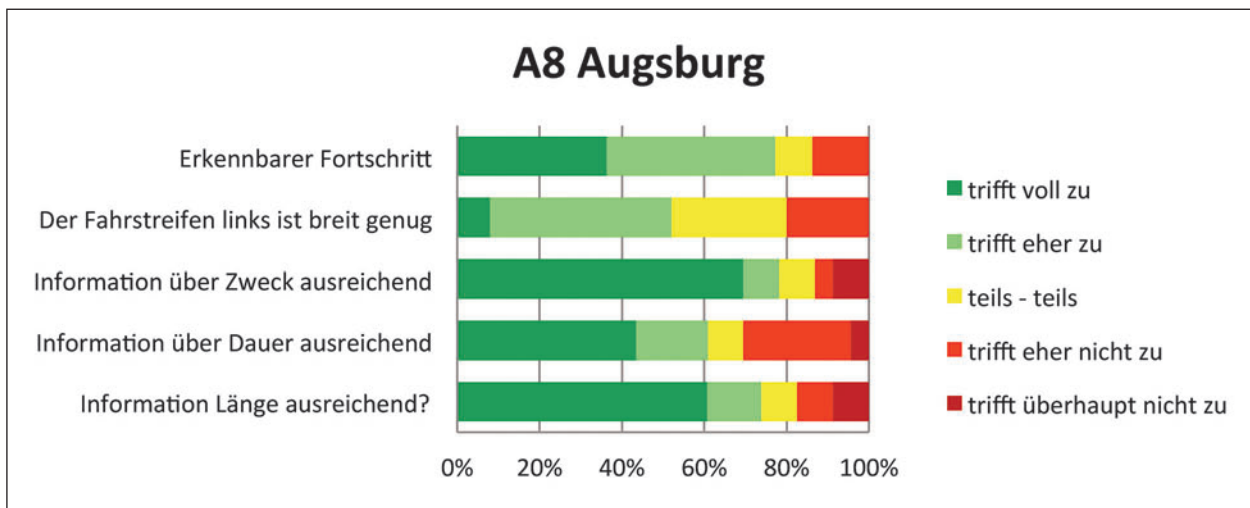


Bild 32: Befragungsergebnisse zur Arbeitsstelle auf der A8 bei Augsburg (N=28)

4.1.4 Vergleichende Bewertung der Arbeitsstellen

Für die Pilotbaustelle (A5) ergibt sich zusammenfassend aus der Stichprobe ein sehr positives Meinungsbild zur Baustellengestaltung und auch zur Öffentlichkeitsarbeit. Die Informationen vor und während der Durchfahrt werden als angemessen und ausreichend sowie als ansprechend gestaltet bewertet. Ein Großteil der Befragten befürwortet das Informationsmanagement auch für die Zukunft.

Für die Arbeitsstelle A4 zeichnet sich eine nicht so positive Bewertung ab. Ein Großteil der Befragten (z. T. über 50 %) bewertet die Informationen zur Baustelle als nicht ausreichend und sieht die Fahrstreifenbreite als nicht breit genug an.

Die Arbeitsstelle auf der A8 hingegen erfährt wiederum ein eher positives Meinungsbild. So hält ein Großteil der Befragten die Informationen zu Länge, Zweck und Dauer der Arbeitsstelle als durchaus ausreichend (z. T. über 70 %). Hinsichtlich der Bewertung der Fahrstreifenbreite teilt sich die Stichprobe auf in Personen, die die Breite als angemessen bzw. unangemessen bewerten.

Insgesamt ist festzustellen, dass das Informationsmanagement und die Arbeitsstellengestaltung der Arbeitsstelle auf der A5 von den Befragten als sehr positiv wahrgenommen wurden. Inferenzstatistische Analysen zeigen, dass beim Vergleich der Arbeitsstellen vor allem der Unterschied zwischen der Arbeitsstelle auf der A4 und der A5 signifikant wird. Die Fahrstreifenbreiten und das Überholen werden ebenso wie das Informationsmanagement auf der A5 als signifikant besser angesehen als auf der A4. Die A8 ordnet sich hier im Mittelfeld der Bewertungen ein. Methodisch muss hier noch einmal angemerkt werden, dass es sich um unabhängige Gruppen mit unterschiedlichen Fallzahlen handelt.

Bild 33 bis Bild 39 zeigen den Bewertungsunterschied seitens der Befragten auch grafisch.

Ein signifikanter Bewertungsunterschied zeigt sich zwischen der Arbeitsstelle A4 und A5 ($p < .001$), wobei die Bewertung der linken Fahrstreifenbreite bei der A5 deutlich besser ausfällt. Zwischen der A5 und A8 bzw. A4 und A8 ist der Unterschied statistisch nicht signifikant. Für die Bewertung der rechten Fahrstreifenbreite ergibt sich ein ähnliches Bild: insgesamt werden die Fahrstreifenbreiten rechts besser bewertet, statistisch ergibt sich hier ein Unterschied zwischen der A4 und A5.

Ein Fahrstreifenwechsel wird am einfachsten auf der Arbeitsstelle A5 angesehen. Auch hier zeigt sich in der vergleichenden Bewertung der Arbeitsstellen ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der A4 und A5 ($p < .001$).

Das Überholen von Pkw ist nach Einschätzung der Probanden am einfachsten auf der A5-Arbeitsstelle möglich – signifikant unterschiedlich zur A4 und A8-Arbeitsstelle ($p < .005$).

Bild 33 bis 35 zeigen die vergleichende Bewertung des Informationsmanagements zum Zweck, zur Dauer und zur Länge der Arbeitsstellen. Die Analysen zeigen hier für alle drei Bewertungskategorien einen signifikanten Unterschied zwischen der Arbeitsstelle A4 und A5, wobei die A5 in allen Informationskategorien signifikant besser bewertet wird ($p < .05$; Bild 37 – Bild 39).

Noch einmal soll an dieser Stelle herausgestellt werden, dass nicht nur die deskriptiven, sondern auch die inferenzstatistischen Analysen die insgesamt positive Bewertung der A5-Arbeitsstelle ergeben und somit die Gestaltung dieser Arbeitsstelle bei vielen Gestaltungsmerkmalen als zukünftiger Prototyp dienen könnte.

4.2 Empirische Felduntersuchungen

Auf den drei in Kapitel 3.2 vorgestellten Strecken wurden, mit den in Kapitel 3.1 beschriebenen Verfahren, Messdaten erhoben, die hier ausgewertet werden. Diese Auswertungen dienen dann zusammen mit den Auswertungen der empirischen Befragung in Kapitel 4.1 zur Hypothesenermittlung für die Simulatorstudie (siehe Kapitel 5).

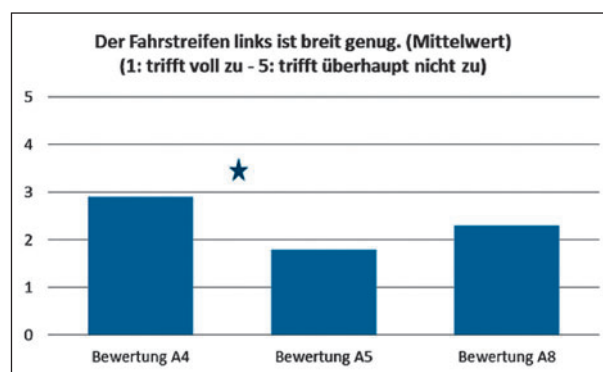


Bild 33: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Fahrstreifenbreite links

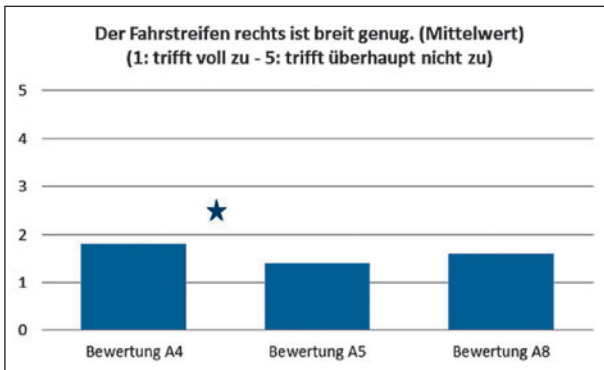


Bild 34: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Fahrstreifenbreite rechts

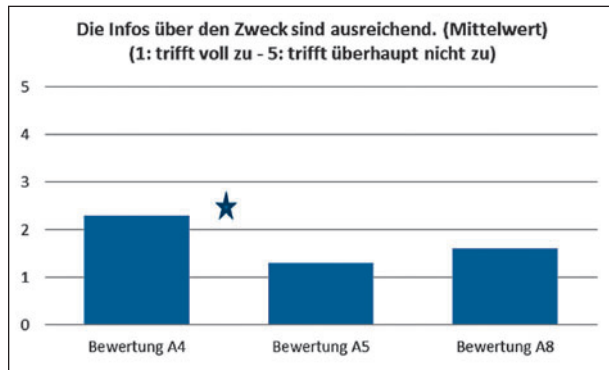


Bild 37: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Informationen über den Zweck der Arbeitsstelle

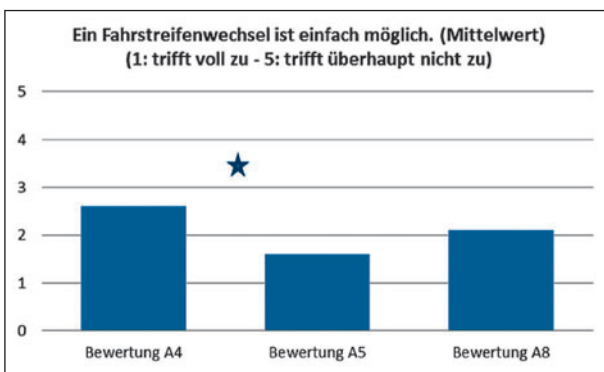


Bild 35: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich einfachem Fahrstreifenwechsel

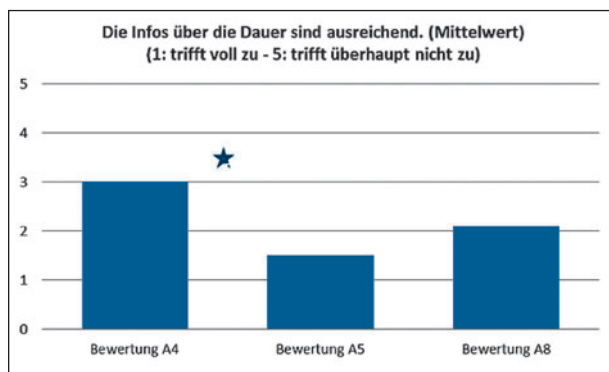


Bild 38: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Informationen über die Dauer der Arbeitsstelle

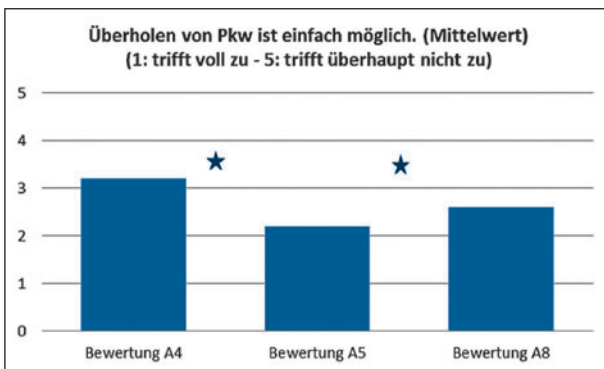


Bild 36: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich einfachem Überholen

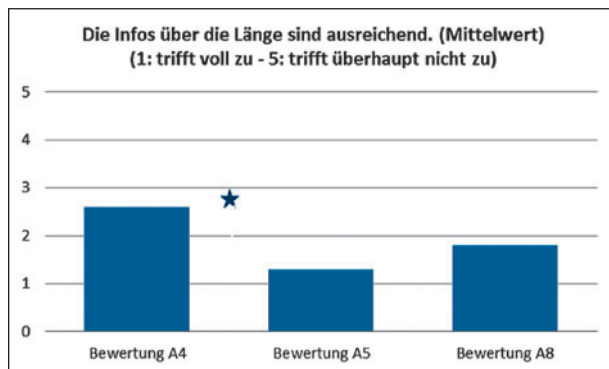


Bild 39: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Informationen über die Länge der Arbeitsstelle

4.2.1 Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeiten der einzelnen Probanden in der Arbeitsstelle auf der A5 sind in der Bild 40 und Bild 41 fahrtrichtungsgetrennt dargestellt. Erkennbar sind eine deutliche Homogenisierung der Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle und ein Niveau der Geschwindigkeiten welches in etwa der zulässigen Geschwindigkeit entspricht. Lediglich im zweiten Teil der Arbeitsstelle Richtung Süd lässt sich eine leichte Erhöhung der Geschwindigkeiten feststellen. Hier befindet sich in der Arbeitsstelle eine

Kuppe und die Fahrer befahren ab hier eine Gefällestrecke. Das Geschwindigkeitsniveau vor und nach der Arbeitsstelle ist in beiden Fahrrichtungen wesentlich heterogener und vor allem in Fahrtrichtung Süd auf einem höheren Niveau. In Fahrtrichtung Nord sind, vor allem im ersten Teil, die Einflüsse von Staus und stockendem Verkehr zu erkennen. Die Standardabweichung der Geschwindigkeiten ist hier sehr groß und viele Probanden sind nur sehr langsam gefahren. Die Stauungen müssen al-

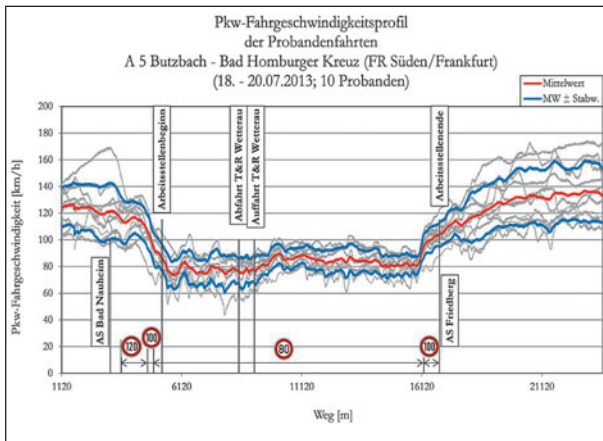


Bild 40: Geschwindigkeitsganglinien A5 FR Süd

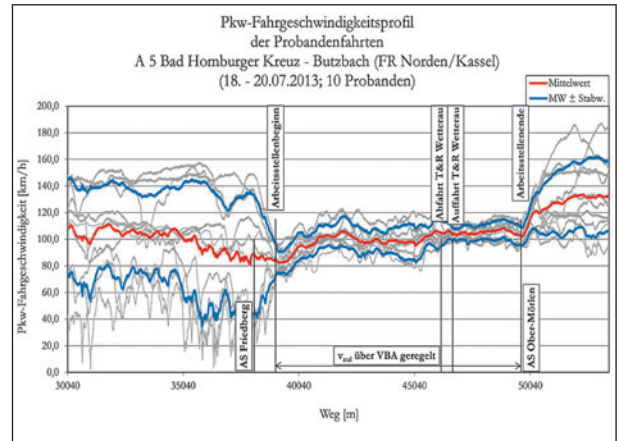


Bild 41: Geschwindigkeitsganglinien A5 FR Nord

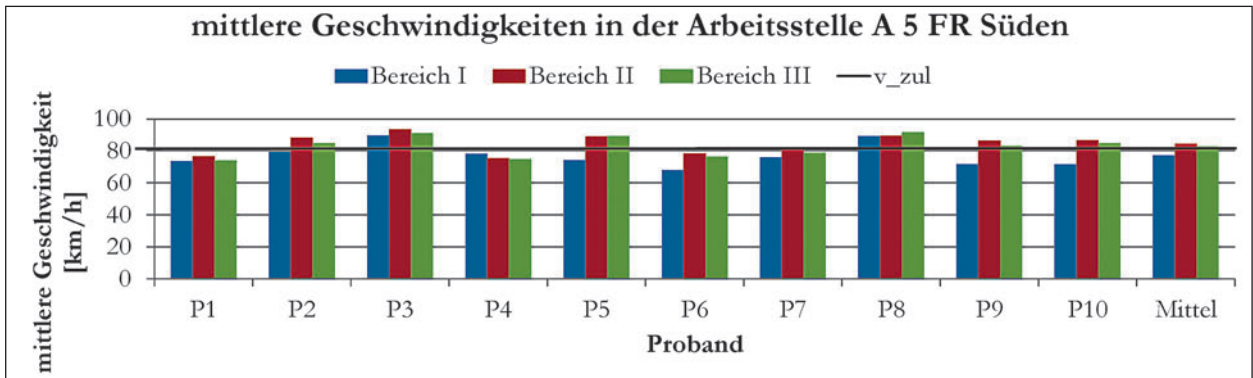


Bild 42: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A5 FR Süd

lerdings nicht unbedingt von der eingerichteten Arbeitsstelle ausgehen. Hier befindet sich eine Wanne vor großer Steigung und besonders die Fahrzeuge des Schwerverkehrs haben hier Probleme ihre Geschwindigkeit zu halten.

Generell ist die Einhaltung der Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle auf der A5 hervorzuheben. Die Probanden halten sich weitestgehend an die Beschränkungen und überschreiten diese wenn überhaupt nur wenig. Dies lässt darauf schließen, dass die Probanden sich des Umstandes der besonderen Situation dieser Arbeitsstelle bewusst sind und das Risiko richtig einschätzen oder wissen, dass Sie sich in einer Untersuchungssituation befinden.

Auch über die komplette Arbeitsstelle hinweg wird von vielen Probanden die Geschwindigkeitsbeschränkung weitestgehend eingehalten (vgl. Bild 42). Lediglich im zweiten, weniger im dritten Drittel, kommt es zu kleineren Überschreitungen. Dies kann allerdings auch mit der bereits beschriebenen Kuppe zusammenhängen.

Bild 43 und Bild 44 geben einen Überblick über die Probandenfahrten auf der A4 in beiden Richtungen.

Sehr gut zu erkennen sind die beiden Arbeitsstellen, in denen die Geschwindigkeit deutlich sinkt. Ebenso zu erkennen ist, dass auf der Strecke zwischen den beiden Arbeitsstellen die Geschwindigkeit ebenfalls deutlich unter der Geschwindigkeit vor der ersten bzw. nach der letzten Arbeitsstelle bleibt. Auf allen Strecken außerhalb von Arbeitsstellen gelten keine Geschwindigkeitslimits. Jedoch stehen den Verkehrsteilnehmern zwischen den Arbeitsstellen nur noch zwei Fahrstreifen pro Richtung zur Verfügung. Dadurch befinden sich mehr Fahrzeuge auf den einzelnen Fahrstreifen und die Geschwindigkeit sinkt um den Verkehrsfluss aufrechtzuhalten.

In den Detailansichten für beide Arbeitsstellen in Fahrtrichtung „Ost“ (Bild 45 und Bild 46) wird deutlich, dass in den Verschwenkungen die Geschwindigkeit oftmals unterhalb der zulässigen liegt und innerhalb der Arbeitsstelle wieder etwas schneller gefahren wird. Nahezu alle Probanden überschreiten in der Arbeitsstelle „Düren“ in Fahrtrichtung „Ost“ die zulässige Geschwindigkeit von 60 km/h (vgl. Bild 45).

Wohingegen in der Arbeitsstelle Kerpen fast alle Probanden unterhalb der zulässigen Geschwindigkeit

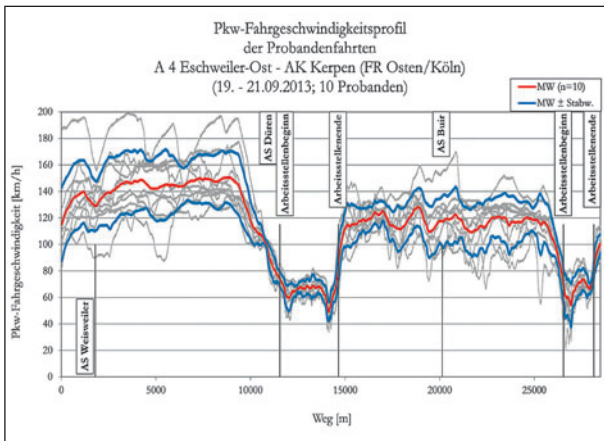


Bild 43: Geschwindigkeitsganglinien A4 FR Ost Überblick

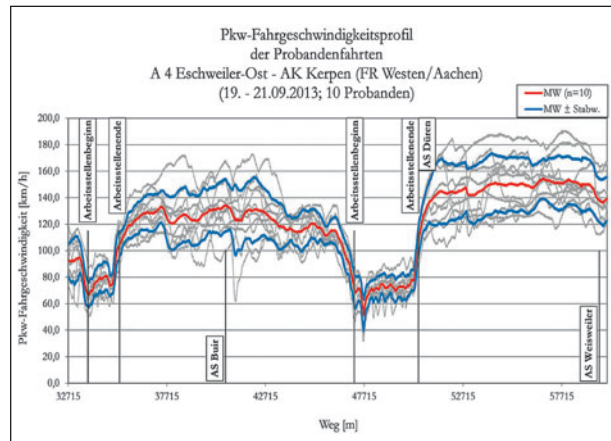


Bild 44: Geschwindigkeitsganglinien A4 FR West Überblick

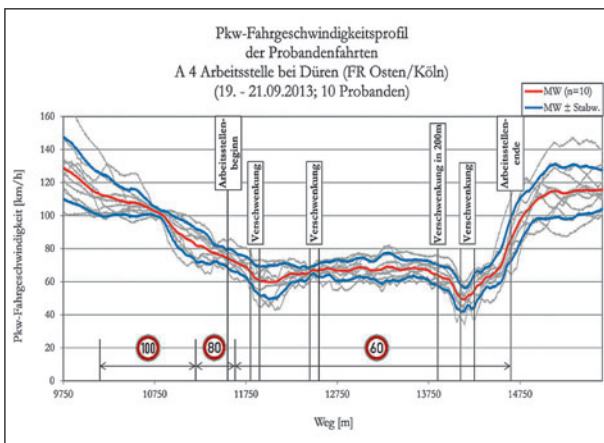


Bild 45: Geschwindigkeitsganglinie A4 FR Ost Detail Arbeitsstelle Düren

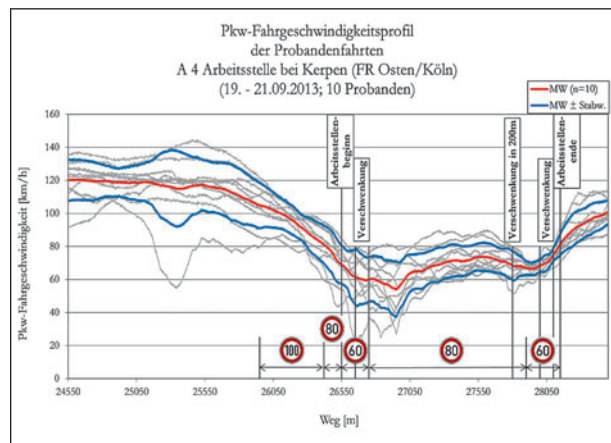


Bild 46: Geschwindigkeitsganglinie A4 FR Ost Detail Arbeitsstelle Kerpen

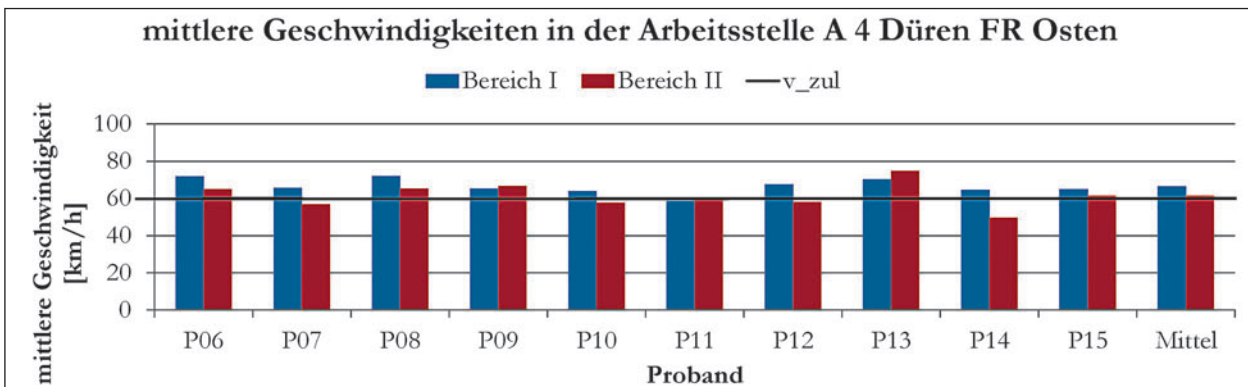


Bild 47: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A4 FR Ost Detail Arbeitsstelle Düren

von 80 km/h bleiben (vgl. Bild 46). Dies kann mit den sehr geringen Fahrstreifenbreiten in dieser Arbeitsstelle erklärt werden. Zudem ist die Arbeitsstelle Kerpen mit 1,6 km nur sehr kurz und hält die Krafffahrzeugführer auch nur kurz auf (vgl. Kapitel 3.2.2).

Bei der Einteilung der Arbeitsstelle in Bereiche wurde bei den Arbeitsstellen auf der A4, anders als auf der A5 (vgl. Bild 42), nur in zwei Bereiche eingeteilt.

Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die Arbeitsstellen mit 3,1 km und 1,6 km nur sehr kurz sind (vgl. Kapitel 3.2.2). Hierbei ist auffällig, dass nur in der Arbeitsstelle „Kerpen FR Ost“ sieben von neun Probanden die Geschwindigkeit in der zweiten Hälfte reduzieren (vgl. Bild 47).

Bei allen anderen Arbeitsstellendurchfahrten erhöht sich die Geschwindigkeit der meisten Probanden in

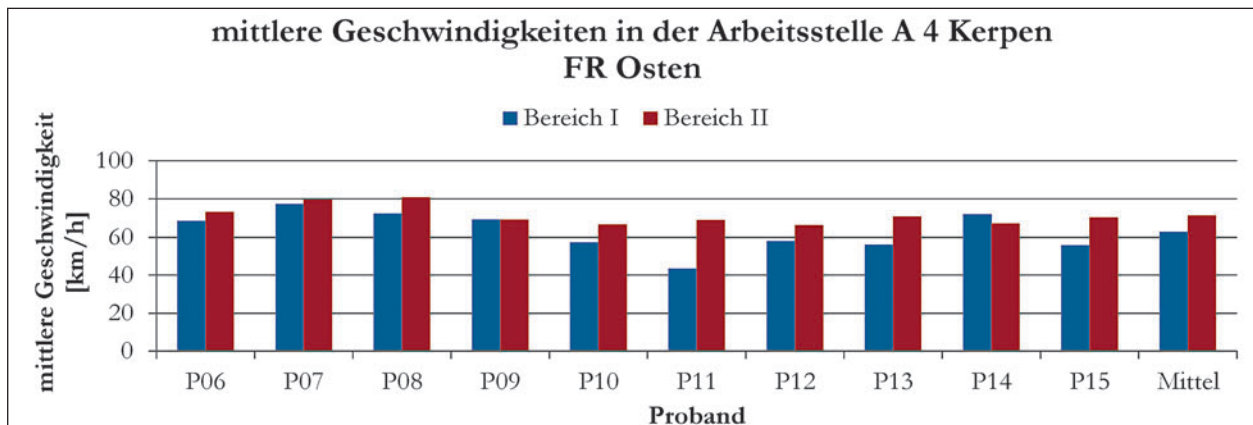


Bild 48: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A4 FR Ost Detail Arbeitsstelle Kerpen

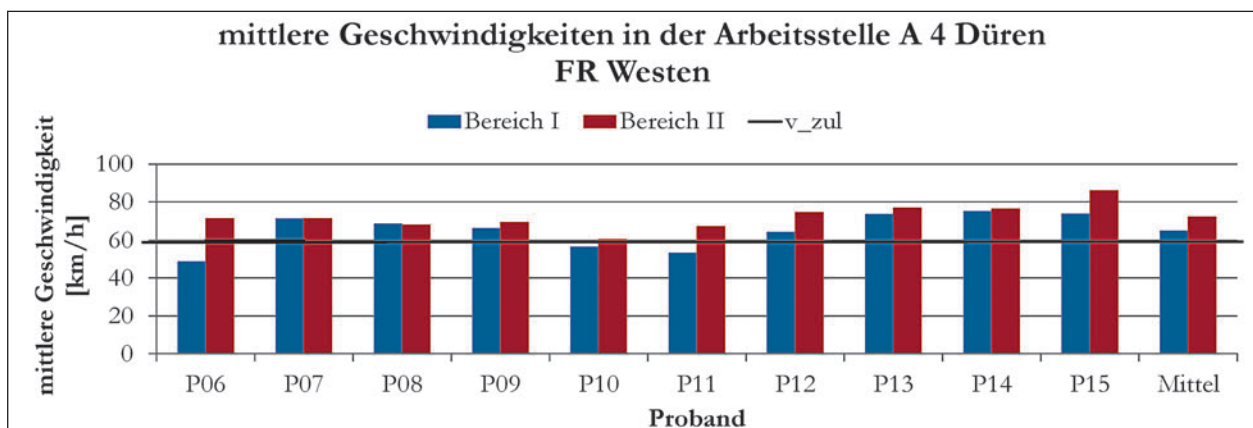


Bild 49: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A4 FR West Detail Arbeitsstelle Düren

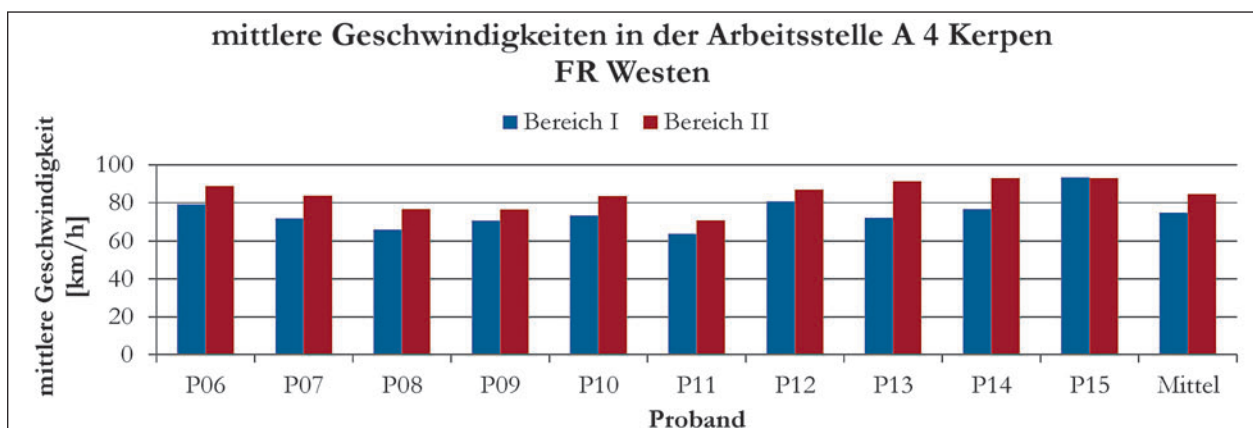


Bild 50: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A4 FR West Detail Arbeitsstelle Kerpen

der zweiten Hälfte der Arbeitsstelle (vgl. Bild 48, Bild 49 und Bild 50).

Dieses Verhalten der Probanden könnte auf eine Gewöhnung an die besondere Situation Arbeitsstel-
lendurchfahrt zurückzuführen sein.

Eine weitere Besonderheit, die an den Arbeitsstel-
len der A4 aufgefallen ist, sind die Geschwindigkei-
ten in der Arbeitsstelle, wenn die zulässige Ge-

schwindigkeit im Zulaufbereich auf 60 km/h gesenkt
und im Verlauf der Arbeitsstelle dann auf 80 km/h
erhöht wird. Hier zeigt sich, dass nahezu alle Pro-
banden unterhalb der zulässigen Geschwindigkeit
bleiben (vgl. Bild 46 und Bild 51). Ob dieser Effekt
allerdings auf Besonderheiten der einzelnen Ar-
beitsstellen oder auf die Reduzierung der zulässig-
gen Geschwindigkeit zurückzuführen ist, kann hier
nicht abschließend geklärt werden.

Anteile [%]	$t < 0,9 \text{ s}$	$0,9 \text{ s} \leq t < 1,8 \text{ s}$	$1,8 \text{ s} \leq t$
A 5 – mittleres Verkehrsaufkommen (5 Probanden)	55,9	44,1	0,0
A 5 – hohes Verkehrsaufkommen (4 Probanden)	54,4	43,3	2,3
A 4 – mittleres Verkehrsaufkommen (2 Probanden)	59,7	37,3	3,0
A 4 – hohes Verkehrsaufkommen (5 Probanden)	49,5	49,2	1,3

Tab. 5: Anteile der Abstandsklassen bei Abständen unter 1,8 s

In Bild 53 und Bild 54 sind die Geschwindigkeitsverläufe der Probandenfahrten für die Durchfahrt durch die Arbeitsstellenstaffelung auf der A8 dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die einzelnen Arbeitsstellen mit den niedrigeren Geschwindigkeiten. Lediglich zwischen der zweiten und dritten Arbeitsstelle in Fahrtrichtung West wird durch den geringen Abstand der Arbeitsstellen zueinander die zulässige Geschwindigkeit nicht wieder angehoben (vgl. Bild 53). Alle drei Arbeitsstellen haben in beiden Richtungen eine zulässige Geschwindigkeit von 80 km/h.

Lediglich in der Arbeitsstelle bei Kerpen in Fahrtrichtung West ist ein höheres Geschwindigkeitsniveau zu erkennen (vgl. Bild 52). Jedoch ist auch hier die mittlere Geschwindigkeit noch unterhalb der zulässigen.

In den Strecken zwischen den Arbeitsstellen, den sogenannten Beruhigungsstrecken, wird in der Regel eine Geschwindigkeit von 120 km/h zugelassen.

Die Detailansicht der einzelnen Arbeitsstellen in Fahrtrichtung West (Bild 55, Bild 56 und Bild 57) zeigt ein einheitliches Fahrverhalten hinsichtlich der Geschwindigkeit in allen Arbeitsstellen. So wird die zulässige Geschwindigkeit überall von nahezu jedem Probanden überschritten. Die Geschwindigkeiten liegen immer zwischen 80 km/h und 100 km/h bei erlaubten 80 km/h. Hier ist der Umstand der sehr breiten Behelfsfahstreifen zu erwähnen, wie auch die Tatsache, dass durch die Führung der Behelfsfahstreifen auf Teilquerschnitten, die nicht direkt an den Baufeldern liegen, die Gefahr für die Bauarbeiter und auch die Verkehrsteilnehmer selber nicht gesehen wird.

Ansonsten lässt sich ein recht homogenes Geschwindigkeitsverhalten über alle Arbeitsstellen feststellen.

Die Auswertung der mittleren Geschwindigkeiten zeigt, dass die Probanden in Fahrtrichtung „West“ im zweiten Abschnitt aller Arbeitsstellen schneller werden, wohingegen in der Gegenrichtung die Geschwindigkeit eher in sehr geringem Maße abnimmt (vgl. Bild 58).

4.2.2 Bremsmanöver

Die Erfassung der Bremsmanöver und die Zuweisung wahrscheinlicher Gründe für die Bremsmanöver in Bild 59 zeigen, dass die Abstandsregulation auf allen Strecken die häufigste Ursache von Bremsungen darstellt. Auf der A8 fällt auf, dass die Geschwindigkeitsanpassung ebenfalls sehr häufig zu Bremsmanövern führt. Hier handelt es sich um eine Arbeitsstellenstaffelung und die Geschwindigkeiten ändern sich sehr oft. Weiterhin zeigt sich, dass die Verschwenkung auf der A4 häufiger zu Bremsmanövern führt als die Verschwenkungen auf den anderen Strecken. Bei der Verschwenkung auf der A4 handelt es sich, zumindest in einem Fall, um eine besondere Art der Verschwenkung (vgl. Bild 22). Diese muss von den Fahrern mit besonderer Vorsicht befahren werden und verursacht somit auch mehr Bremsmanöver, um die Geschwindigkeit besser an die Gegebenheit anzupassen.

Bei der Dauer der Bremsvorgänge (vgl. Bild 60) lässt sich kein Ereignis feststellen, bei dem es zu besonders langen Bremsmanövern kommt. Lediglich auf der A5 zum Arbeitsstellenbeginn und zur Geschwindigkeitsanpassung lassen sich längere Bremsvorgänge feststellen. Die Probanden lassen sich hier mehr Zeit für die Manöver und könnten somit auch entspannter sein. Zur jeweiligen Intensität der Bremsvorgänge kann keine Aussage getroffen werden.

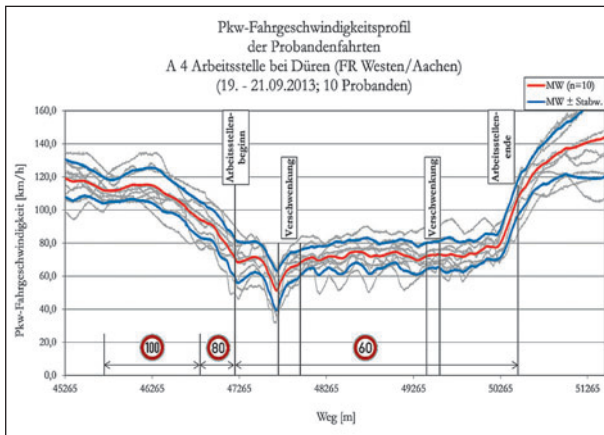


Bild 51: Geschwindigkeitganglinie A4 FR West Detail Arbeitsstelle Düren

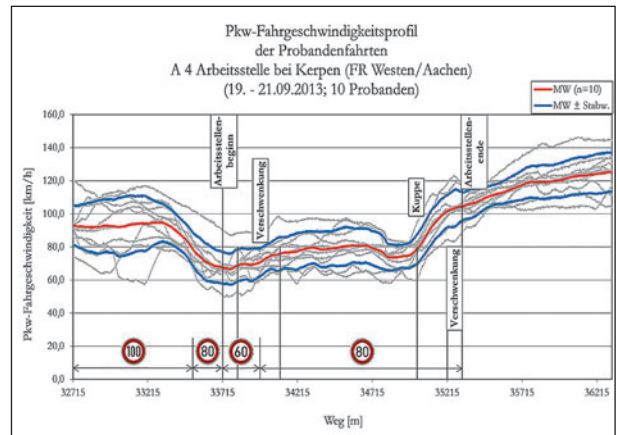


Bild 52: Geschwindigkeitganglinie A4 FR West Detail Arbeitsstelle Kerpen

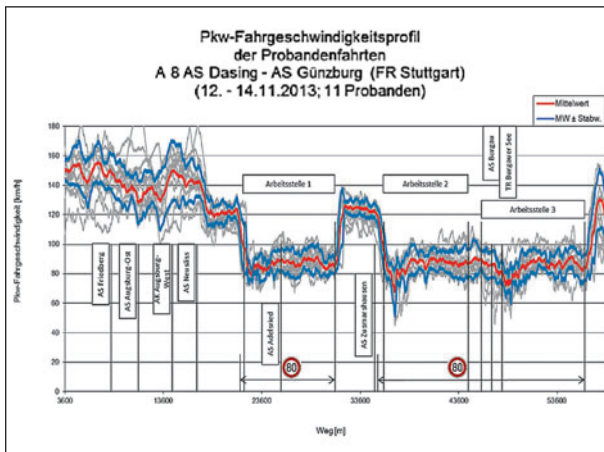


Bild 53: Geschwindigkeitganglinien A8 FR West Überblick

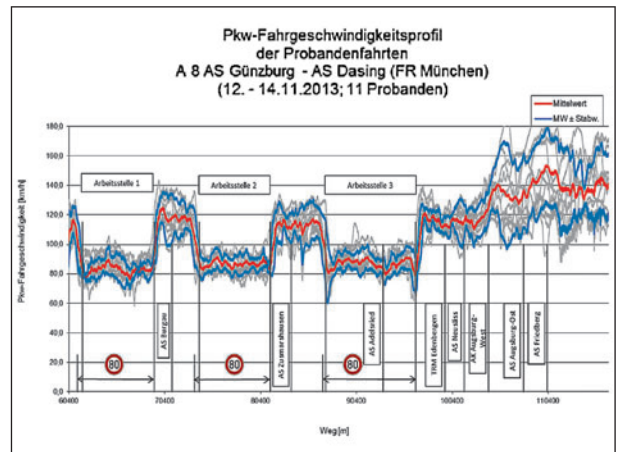


Bild 54: Geschwindigkeitganglinien A8 FR Ost Überblick

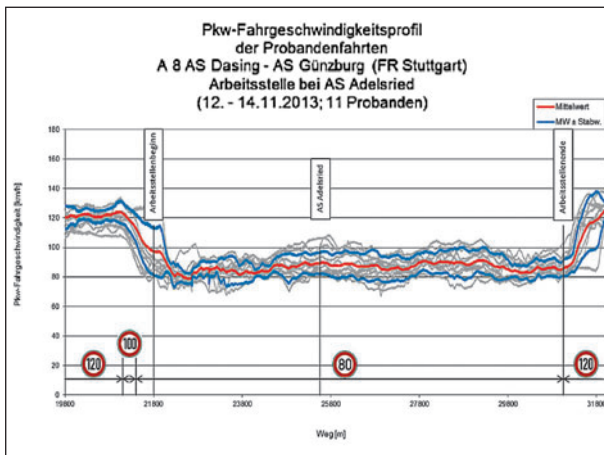


Bild 55: Geschwindigkeitganglinie A8 FR West Detail Arbeitsstelle Adelried

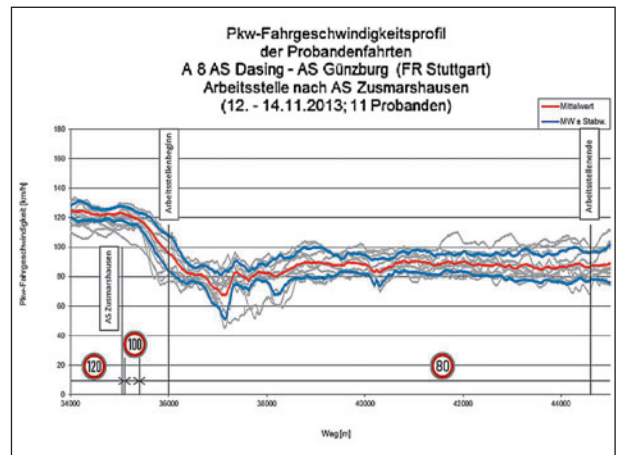


Bild 56: Geschwindigkeitganglinie A8 FR West Detail Arbeitsstelle Zusmarshausen

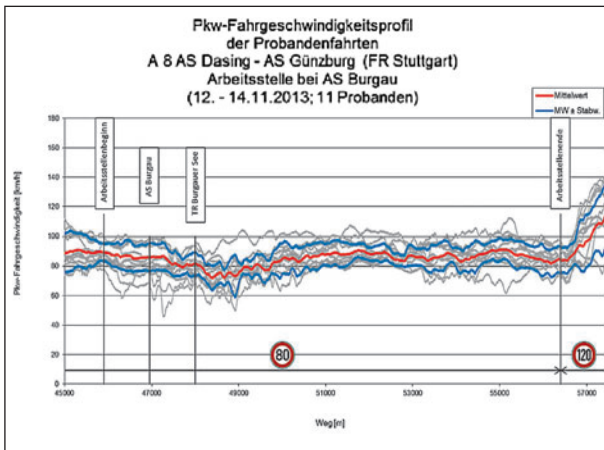


Bild 57: Geschwindigkeitsganglinie A8 FR West Detail Arbeitsstelle Burgau

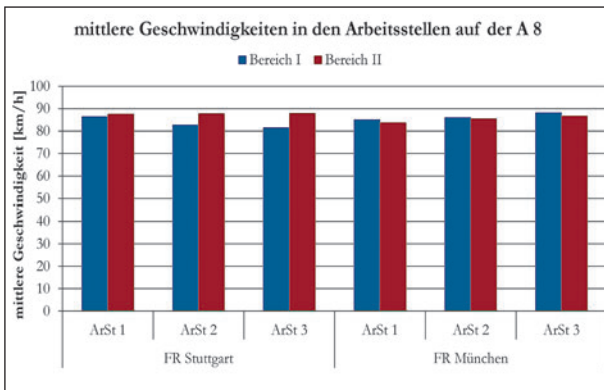


Bild 58: Mittlere Geschwindigkeiten in den Arbeitsstellen A8

4.2.3 Abstand längs

Die Distanz zum vorausfahrenden Fahrzeug wird bei jedem Probanden ca. alle 5 s erfasst und mit Hilfe der Geschwindigkeit in einen zeitlichen Abstand umgerechnet. Bei einer zugrunde gelegten Geschwindigkeit von v_{zul} in den Arbeitsstellen, meistens also 80 km/h, spiegelt ein Abstand von 1,8 s genau den Sicherheitsabstand wider. Ein Abstand von 0,9 s ist also gerade mal halb so groß wie der vom Gesetzgeber geforderte Mindestabstand. In Tabelle 5 ist zu erkennen, dass der Sicherheitsabstand von 1,8 s fast nie eingehalten wird und die Probanden in über der Hälfte der Zeit den Sicherheitsabstand sogar um mehr als die Hälfte unterschreiten.

Hier lässt sich ein hohes Risikopotential für Unfälle feststellen. Auf der anderen Seite ist auch zu erkennen, dass die Gefahr von den Probanden nicht erkannt wird und sie im Gegenteil noch immer weiter auffahren.

4.2.4 Überholungen

Bei den Überholungsdaten in Tabelle 6 lässt sich erkennen, dass auf den Strecken A4 und A5 die Überholungsdaten in der Arbeitsstelle im Vergleich zur freien Strecke zunehmen. Vor allem Überholungen von Pkw sind hier hervorzuheben. Die Überholungsrate (Überholungen je Kilometer) bei Überholungen von Lkw bzw. großen Fahrzeugen nimmt hingegen auf der A5 ab. Auf der A4, also der Strecke mit den geringen linken Behelfsfahrbahnbreiten nimmt die Rate sogar zu bzw. bleibt etwa in derselben Höhe. Das heißt die Probanden auf der A4 nehmen eher eine gefährlichere Überholung in Kauf als sich hinter einem langsameren Fahrzeug einzuordnen. Auf der A8 sind die Überholungsdaten in den Arbeitsstellen immer niedriger als auf der freien Strecke.

Die Distanzen zwischen zwei Überholvorgängen können in Tabelle 7 abgelesen werden. Hier zeigt sich vor allem, dass lediglich in den Arbeitsstellen der A4 in kürzeren Abständen überholt wurde. Bei den beiden anderen Arbeitsstellen zeigt sich ein genau umgekehrtes Bild. Warum gerade auf der A4 die Distanzen kürzer sind lässt sich eventuell dadurch erklären, dass die Probanden auf der A4 eher jünger waren und die Arbeitsstellen sehr hoch belastet sind.

Außerdem ist die Situation für den Fahrer auf der A4 eher unangenehm, da es sich hier um sehr enge Fahrbahnbreiten handelt. So kann es sein, dass die Situation in der Arbeitsstelle möglichst schnell überwunden werden möchte und somit es eher und in kürzerer Folge zu Überholvorgängen kommt.

4.2.5 Abstand quer

Der Querabstand lässt Rückschlüsse auf das Risikoempfinden der Probanden zu. So kann ein geringerer Abstand zum Beispiel aufweisen, dass die Gefahr an dieser Seite oder dieser Situation nicht als so hoch empfunden wird. Die Lage der verschiedenen Abstände zeigt Bild 61.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Position bei freier Fahrt auf dem linken Fahrbahnbereich noch gut auf dem Fahrbahnbereich zentriert ist (vgl. Bild 62).

Für die Fälle, in denen ein großes Fahrzeug, das in gleicher Richtung nebenher fährt, überholt wurde, zeigt sich ein differenziertes Bild in den drei untersuchten Arbeitsstellen. Z.T. orientierten sich die Fahrer eher zum rechten Fahrbahnbereich (d.h. zur

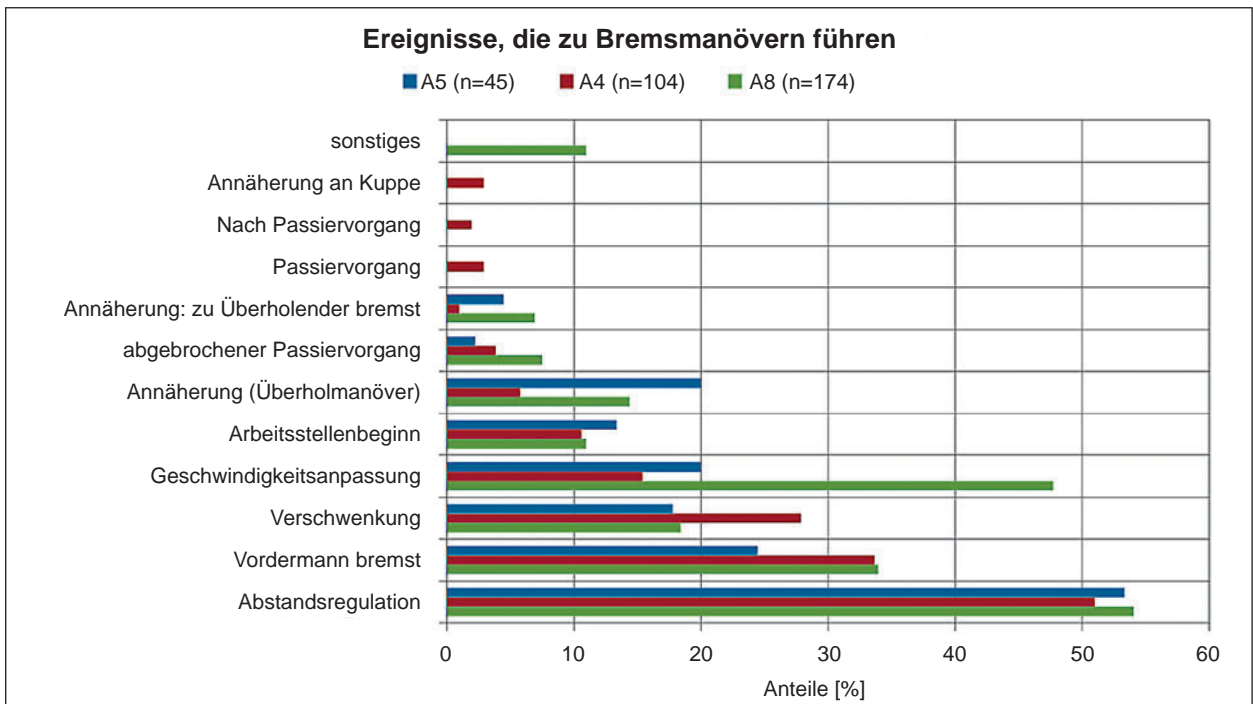


Bild 59: Ereignisse, die zu Bremsmanövern führen (n = Anzahl der Bremsvorgänge je Arbeitsstelle)

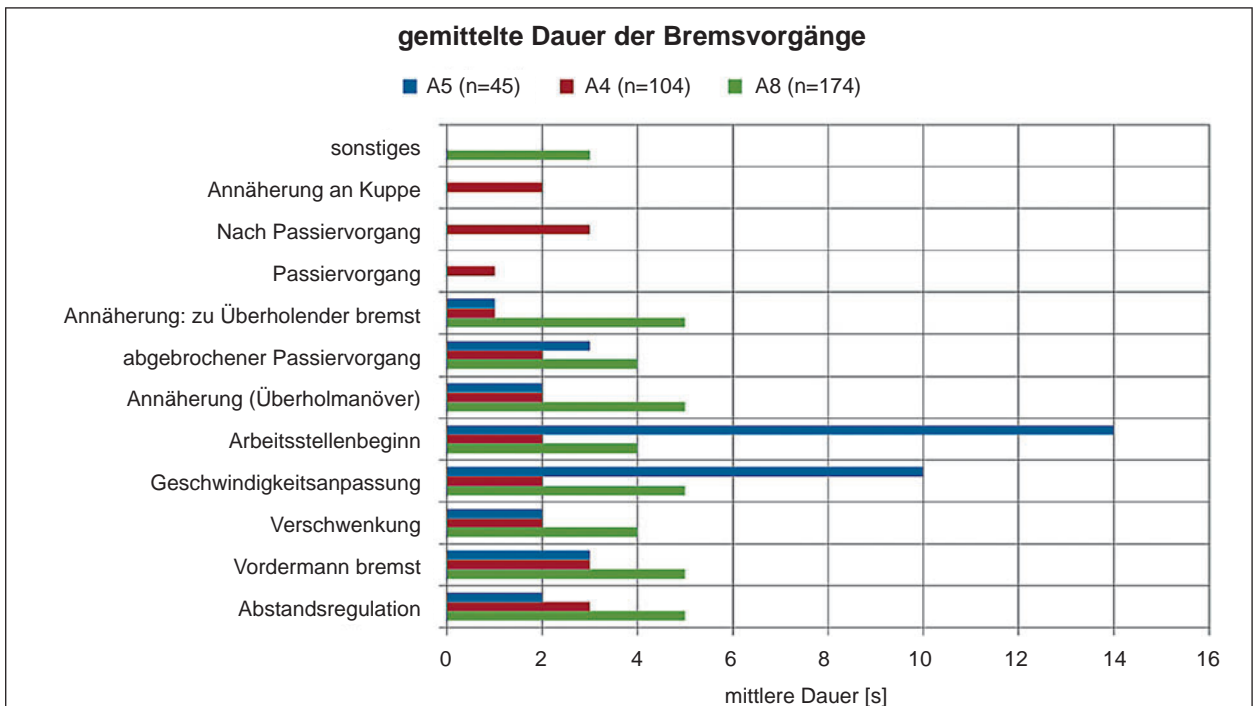


Bild 60: Dauer der Bremsvorgänge (n = Anzahl der Bremsvorgänge je Arbeitsstelle)

Leitlinie), in einigen Fällen aber auch zur Mittelrennung (der transportablen Schutzeinrichtung) (vgl. Bild 65 und Bild 66). Zur vermuten ist hier, dass die Anzahl der untersuchten Fälle in dieser Studie zu gering ausfällt um ein signifikantes Bild zu erhalten.

In Untersuchungen von KEMPER et al. (2015) wurde ein größeres Kollektiv betrachtet. Dort wurde

nachgewiesen, dass die Abstände zur Schutzeinrichtung größer ausfallen als die Abstände zu den Fahrzeugen auf dem rechten Fahrstreifen.

Zu vermuten ist hier, dass die Verkehrsteilnehmer entweder die Abstände zu den parallel fahrenden Verkehrsteilnehmern auf dem Hauptfahrstreifen größer einschätzen als den Abstand zur Mittelren-

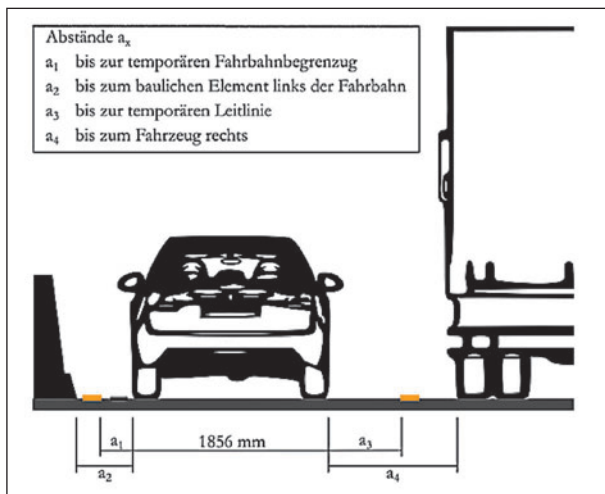


Bild 61: Lage der verschiedenen Abstände im Querschnitt

nung oder die Gefahr durch andere Kfz geringer bewertet wird (evtl. aufgrund kleiner Differenzgeschwindigkeiten) als durch die Mitteltrennung.

4.2.6 Fahrstreifenwahl

Bei der Fahrstreifenwahl in Arbeitsstellen und auf freier Strecke (Bild 67) wird deutlich, dass auf der freien Strecke viel häufiger links gefahren wird als in der Arbeitsstelle. In den Arbeitsstellen ist die zulässige Geschwindigkeit soweit reduziert, dass der Schwerverkehr, der auf der freien Strecke häufig überholt wird, so schnell wie alle anderen Fahrzeuge auch ist. Somit gibt es für die Probanden keinen Grund in der Arbeitsstelle links zu fahren, es sei denn die Probanden möchten doch eine höhere Geschwindigkeit fahren als der Schwerverkehr oder sie fühlen sich auf dem rechten Fahrstreifen in ihrem Fahrverhalten eingeschränkt (z. B. durch fehlende Sichtweiten). Die Aussage bezieht sich allerdings nur auf die durchgeführten Untersuchungen und kann nur Bedingungen und Vorkommnisse berücksichtigen, die während der Feldtests vorlagen. Weitere Faktoren wie Steigungsstrecken oder Brücken müssten gesondert untersucht werden. Über die Arbeitsstellenlänge lässt sich feststellen, dass auf der A4, der A5 und der A8 Fahrtrichtung West eher im Verlauf der Arbeitsstelle auf den rechten Fahrstreifen gewechselt wird und auf der A8 Fahrtrichtung Ost eher auf die linke Seite gewechselt wird (vgl. Bild 68). Eine Begründung für dieses Verhalten konnte in den Auswertungen nicht gefunden werden. Anscheinend lösen die Arbeitsstellen in denen später nach rechts gewechselt wird mehr Stress bei den Probanden aus.

Die Fahrstreifenwechselrate ist in den Arbeitsstellen niedriger als auf der freien Strecke. Somit ist auch die Distanz zwischen den Fahrstreifenwechseln größer in den Arbeitsstellen (vgl. Tabelle 8). Dies zeigt, dass viele Probanden, sobald sie sich für einen Fahrstreifen entschieden haben, eher auf diesem bleiben und keine Wechsel vornehmen. Die Probanden vermeiden also potenzielle Gefahrensituationen durch einen Fahrstreifenwechsel.

4.2.7 Herzfrequenz

Bei der Auswertung der Herzrate lassen sich keine Unterschiede bezüglich der Beanspruchung in den verschiedenen Streckenabschnitten (freie Strecke/Arbeitsstellen) feststellen. So sind zwar erhöhte oder verminderte Herzraten in bestimmten Fahrmanövern festzustellen (vgl. Bild 69 und Bild 70), jedoch sind diese über alle Fahrmanöver verteilt und es gibt bei fast allen Manövern steigende wie auch sinkende Raten.

4.2.8 Blickbewegungen

Aufgrund der umfangreichen Blickbewegungsdaten, werden zunächst relevante Momente und Fahrtätigkeiten während der Autobahnfahrten identifiziert und anschließend das Datenmaterial eventbasiert ausgewertet. Dazu werden die aufgezeichneten Fahrten der einzelnen Probanden, unter Berücksichtigung der Merkmale der jeweiligen Strecke und Arbeitsstelle, auf wichtige, für die Blickbewegungen relevante Ereignisse untersucht. Zu den identifizierten, für die Auswertung der Blickbewegungsdaten relevanten Ereignissen zählen insbesondere die Überholvorgänge und Überleitungen. Daher werden für jede der drei Baustellen eine Übersicht der einzelnen Probanden mit dem Zeitraum ausgewählter Überholvorgänge (Pkw, Lkw) und der durchfahrenen Überleitungen erstellt. In einem nächsten Schritt werden diese Ereignisse auf Fixationspunkte der Probanden analysiert und auf Grundlage der Blickzuwendungen der Probanden eine Kategorisierung der häufigsten Fixationspunkte vorgenommen. Insgesamt werden 37 Fixationspunkte ausgewählt, zu denen unter anderem vorausfahrender Pkw/Lkw/Van/Wohnwagen/Sattelzug/Lastzug/Bus/Lieferwagen, linke Fahrbahn, Schutzzeineinrichtung, Schutzzeineinrichtung andere Fahrbahn, zu überholender Pkw/Lkw/Van u.a. zählen. Alle Ereignisse werden entsprechend kodiert, wobei jede der ausgewählten Ereignis-Sequenzen ca. drei Se-

Mittelwert der Überholungsrate für alle Fzg	A5	A4	A8	Zusammenfassung
Streckendurchschnitt (freie Strecke und Arbeitsstellen)	2,24	2,10	2,39	2,29
Arbeitsstellen	2,17	2,89	1,80	2,00
freie Strecke mit 4FS	-	2,46	-	2,46
freie Strecke mit 6FS	2,19	1,95	-	2,08
freie Strecke zusammen (gewichtet)	2,19	2,30	2,80	1,35
Mittelwert der Überholungsrate für Pkw	A5	A4	A8	Zusammenfassung
Streckendurchschnitt (freie Strecke und Arbeitsstellen)	1,20	0,81	0,83	0,88
Arbeitsstellen	1,31	1,39	0,70	0,88
freie Strecke mit 4FS	-	0,71	-	0,71
freie Strecke mit 6FS	1,17	1,13	-	1,15
freie Strecke zusammen (gewichtet)	1,17	0,84	1,00	0,51
Mittelwert der Überholungsrate für große Fzg	A5	A4	A8	Zusammenfassung
Streckendurchschnitt (freie Strecke und Arbeitsstellen)	1,03	1,29	1,56	1,41
Arbeitsstellen	0,86	1,50	1, 10	1, 12
freie Strecke mit 4FS	-	1,75	-	1,75
freie Strecke mit 6FS	1,02	0,82	-	0,92
freie Strecke zusammen (gewichtet)	1,02	1,46	1,80	0,83

Tab. 6: Überholungsraten

mittlere Distanz [km] zwischen zwei Überholvorgängen	A5	A4	A8	Zusammenfassung
Streckendurchschnitt (freie Strecke und Arbeitsstellen)	0,45	0,48	0,42	0,44
Arbeitsstellen	0,46	0,35	0,56	0,50
freie Strecke mit 4FS	-	0,41	-	0,41
freie Strecke mit 6FS	0,46	0,51	-	0,48
freie Strecke zusammen (gewichtet)	0,46	0,43	0,36	0,74
mittlere Distanz [km] zwischen zwei Überholvorgängen	A5	A4	A8	Zusammenfassung
Streckendurchschnitt (freie Strecke und Arbeitsstellen)	0,83	1,23	1,20	1,13
Arbeitsstellen	0,76	0,72	1,43	1,14
freie Strecke mit 4FS	-	1,41	-	1,41
freie Strecke mit 6FS	0,85	0,88	-	0,87
freie Strecke zusammen (gewichtet)	0,85	1,19	1,00	1,94
mittlere Distanz [km] zwischen zwei Überholvorgängen	A5	A4	A8	Zusammenfassung
Streckendurchschnitt (freie Strecke und Arbeitsstellen)	0,97	0,78	0,64	0,71
Arbeitsstellen	1,17	0,67	0,91	0,90
freie Strecke mit 4FS	-	0,57	-	0,57
freie Strecke mit 6FS	0,98	1,22	-	1,08
freie Strecke zusammen (gewichtet)	0,98	0,68	0,56	1,20

Tab. 7: Distanz zwischen zwei Überholvorgängen

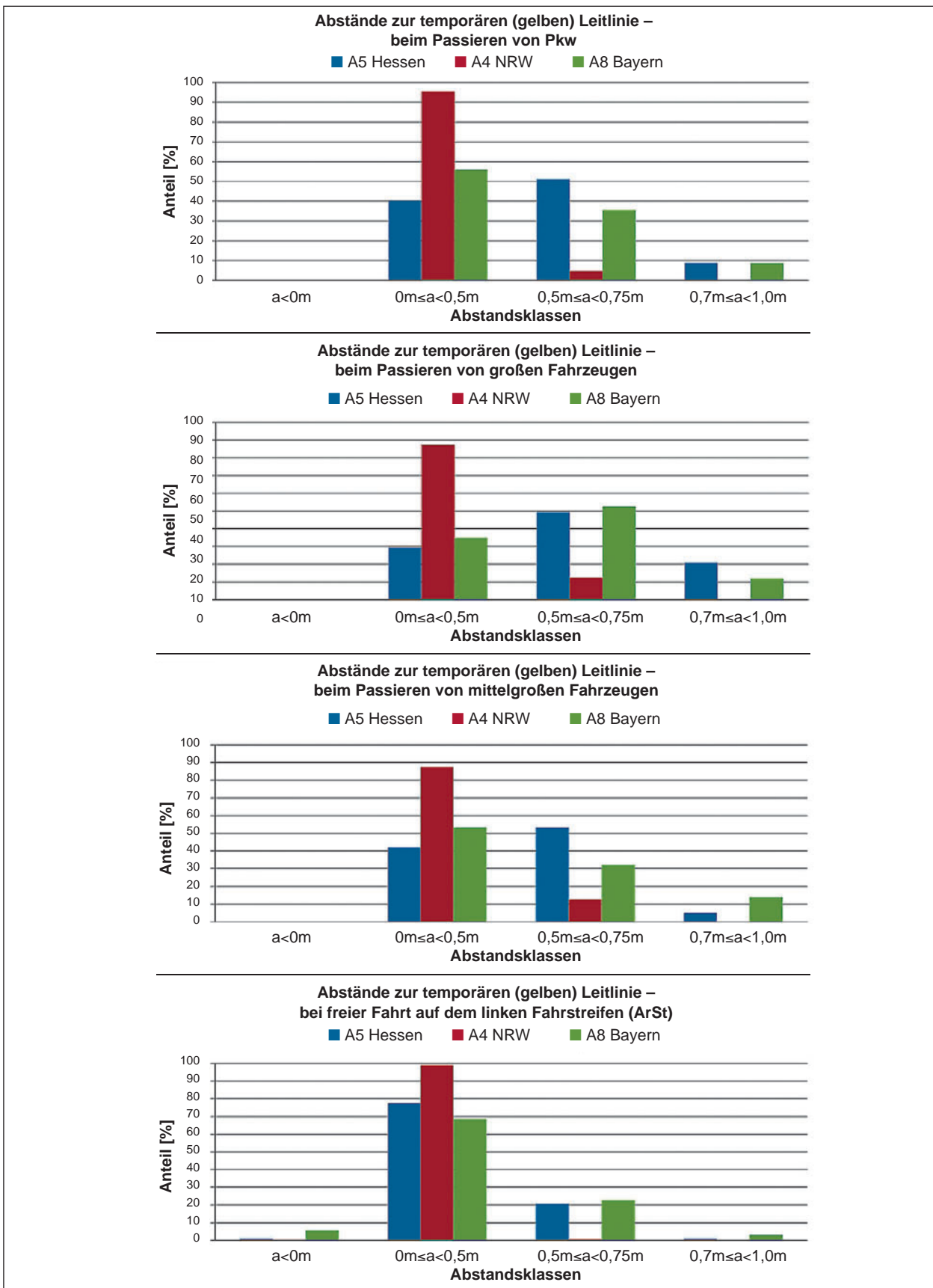


Bild 62: Abstand zur temporären (gelben) Markierung bei Fahrt links

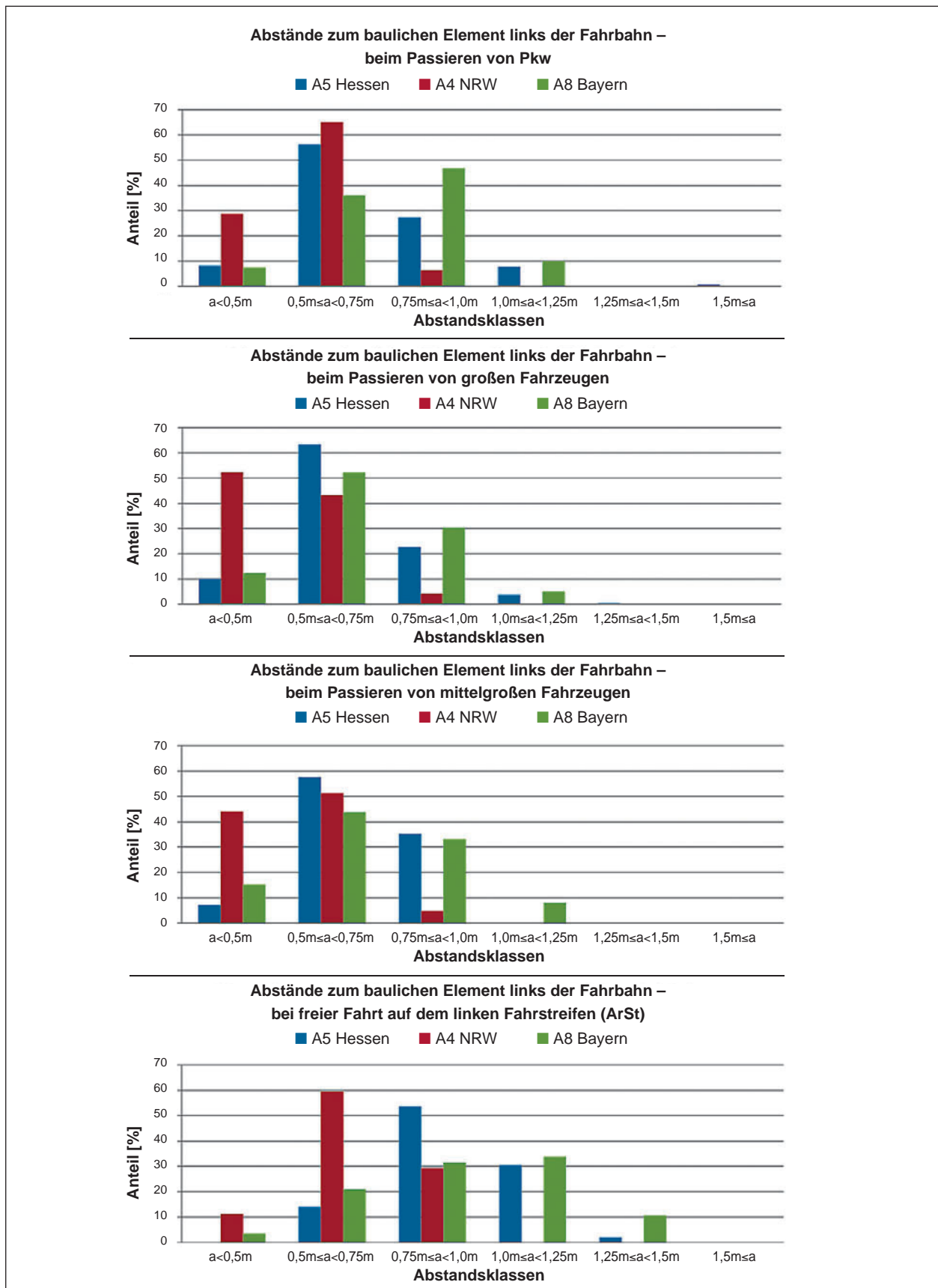


Bild 63: Abstand zur baulichen Trennung links

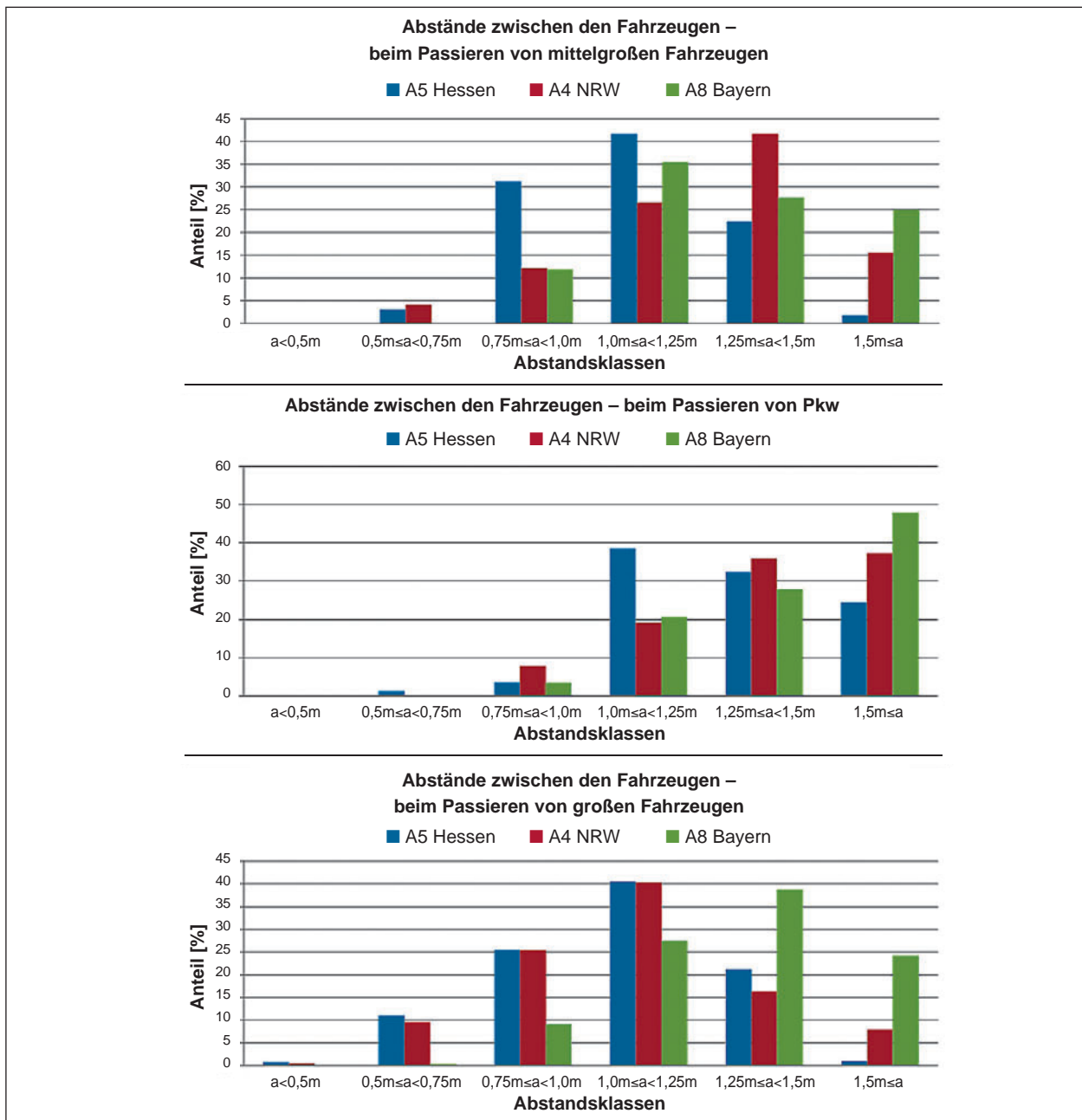


Bild 64: Abstand zwischen den Fahrzeugen beim Passieren

kunden vor (Annäherungsphase) und nach dem eigentlichen Ereignis (Passierung) beinhaltet, um zusätzlich mögliche Konsequenzen des Überholvorgangs bzw. der Überleitung zu erfassen und den Vergleich zur freien Fahrt zu gewährleisten. Alle Daten werden manuell erfasst, um zusätzliche Variablen wie beispielsweise Kopfbewegungen, die Sitzhöhe des Probanden oder Umgebungsmerkmale während der Auswertung berücksichtigen zu können.

Insgesamt werden anhand dieses vorher festgelegten Kategorisierungsmusters pro Proband 15 Ereignisse mit einer durchschnittlichen Dauer von 13 Se-

kunden und bis zu 31 Blickpunkten pro Sekunde zusammengefasst. Tabelle 9 liefert eine beispielhafte Übersicht über verschiedene Kategorisierungen.

Die Auswertung der Blickbewegungsdaten ergibt folgende Ergebnisse:

80 % der Fahrer fixieren primär den Bereich in der Mitte ihres Sichtfeldes.

Bei einer breiten Spurführung tendieren die Fahrer eher dazu, den Blick schweifen zu lassen als bei einer sehr schmalen Spurführung. Dies bestätigt sich bei 70 % der Probanden.

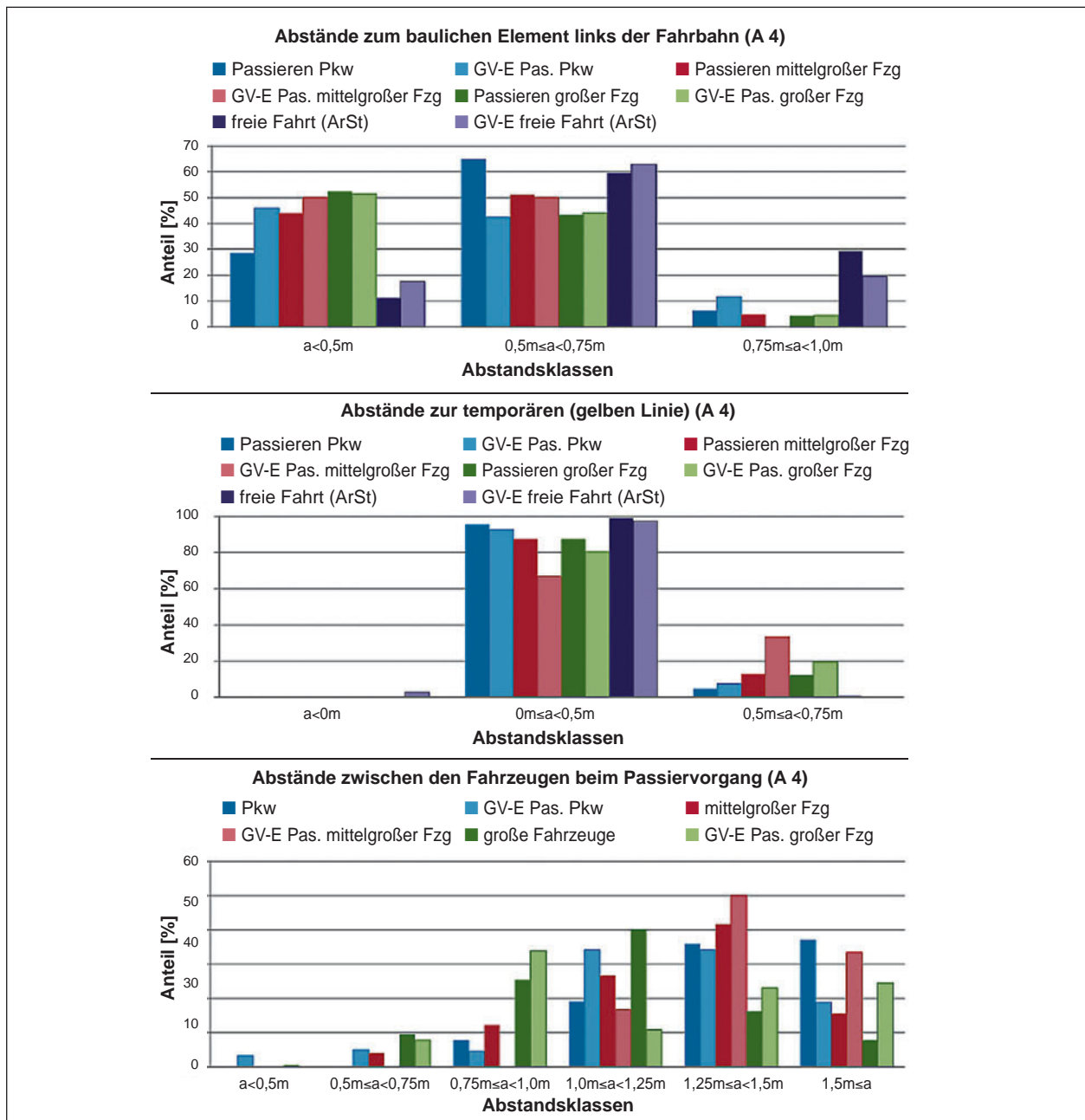


Bild 65: Spurhaltung bei den verschiedenen Manövern – A4 (inkl. Gegenverkehrsereignisse)

Bei der Fahrt auf der linken Fahrspur wird die meiste Zeit die Schutzeinrichtung fixiert. Dies geschieht ungeachtet der überholten Fahrzeuge. Dies bestätigt sich bei 90 % der Probanden.

Beim Überholvorgang werden primär zwei Typen des Blickverhaltens festgestellt:

- Typ I: tendiert bei Überholvorgängen zum Wechselblick (siehe Bild 73).
- Typ II tendiert bei Überholvorgängen zum Tunnelblick (siehe Bild 74).

70 % der Probanden gehören zum ersten Typ (Wechselblick) während die anderen 30 % der Teilnehmer bei Überholvorgängen zum Tunnelblick neigten.

Anhand der Blickbewegungsdaten können keine Unterschiede in der Qualität der Bewältigung der Fahraufgabe zwischen den beiden Typen festgestellt werden. Zusätzlich wird untersucht, ob sich die Unterschiede der zwei Typen auf sozio-demografische Merkmale der Probanden wie bspw. Alter, Geschlecht oder Fahrerfahrung zurückführen lassen.

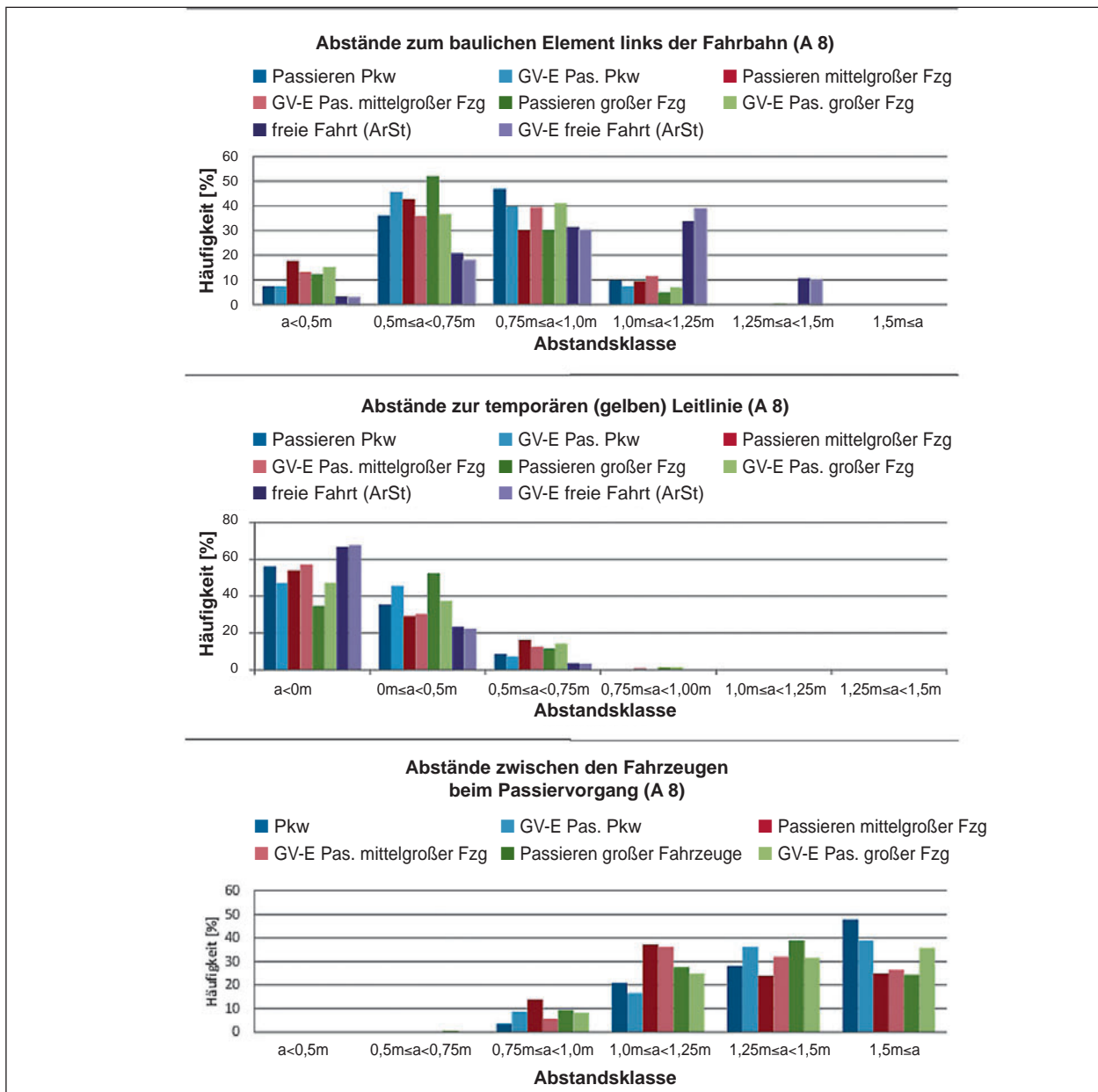


Bild 66: Spurhaltung bei den verschiedenen Manövern – A8 (inkl. Gegenverkehrsereignisse)

Es zeigt sich aber, dass die hierzu vorliegenden Daten keine Erklärung für die Blickbewegung bieten.

Eine weitere Auffälligkeit in den Blickbewegungsdaten ist, dass Fahrzeugführer während, sowie direkt nach Überleitungen zu einem Wechselblick tendieren. 80 % der Probanden tendieren in Überleitungen zu frequent wechselndem Blickverhalten.

5 Erarbeitung von Hypothesen

Aus den Erkenntnissen der empirischen Untersuchungen werden im Folgenden Hypothesen erar-

beitet, die als Grundlage der anschließenden Fahr-simulatorstudie dienen. Zunächst werden für die Hypothesen die wesentlichen Aussagen zu Arbeitsstellenlänge, -staffelung und -gestaltung sowie sonstige Erkenntnisse zusammengefasst.

5.1 Arbeitsstellenlängen

Zusammenfassend aus den Ergebnissen aus Kapitel 4 kann hinsichtlich der Arbeitsstellenlängen festgestellt werden, dass im Verlauf der Arbeitsstelle eine Gewöhnung an die Situation erkennbar ist, die sich insbesondere in einer verringerten Blickbewegungsrate äußert. Jedoch hat die absolute Länge

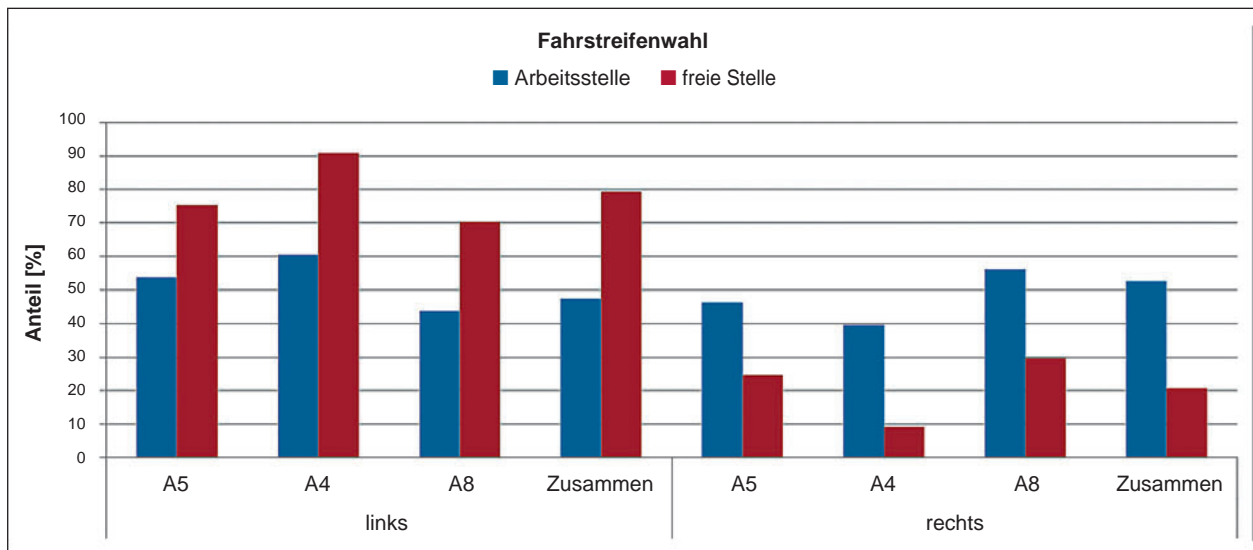


Bild 67: Fahrstreifenwahl in Arbeitsstellen und auf freier Strecke

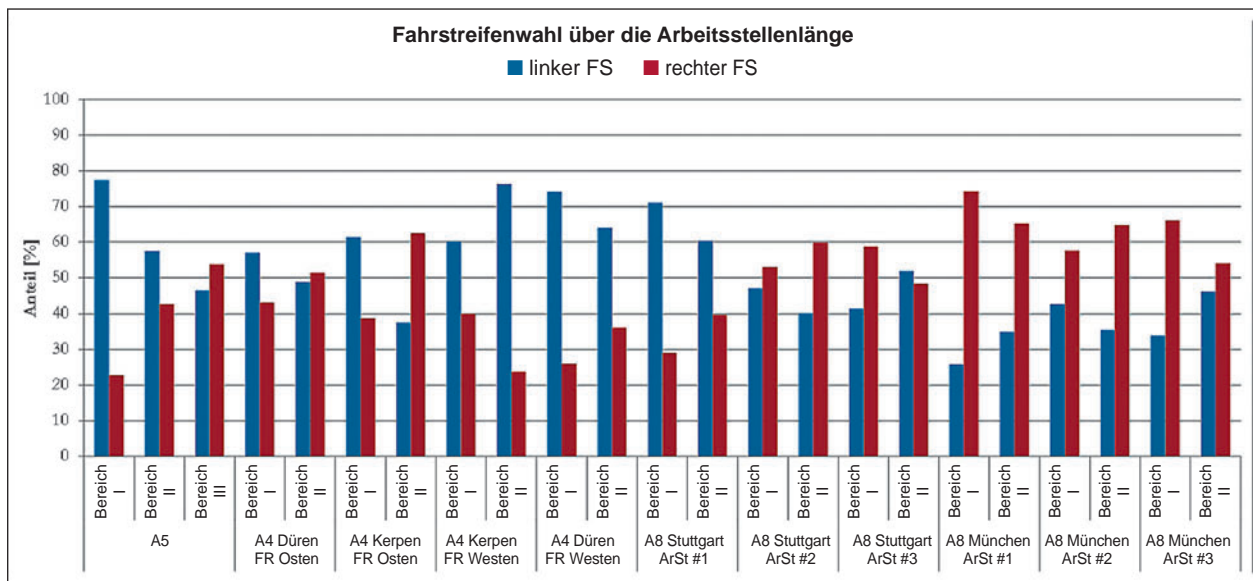


Bild 68: Fahrstreifenwahl innerhalb der Arbeitsstellen

der Arbeitsstelle, zumindest auf den untersuchten Strecken, keinen Einfluss auf diese Gewöhnung.

5.2 Arbeitsstellenstaffelungen

Bei der Arbeitsstellenstaffelung sind keine Unterschiede in den untersuchten Parametern hinsichtlich der einzelnen Arbeitsstellen zu erkennen. Alle sich in der Staffelung befindlichen Arbeitsstellen werden annähernd gleich durchfahren.

Im Vergleich zu den anderen Arbeitsstellen lässt sich jedoch feststellen, dass in den Arbeitsstellenstaffelungen zur Geschwindigkeitsanpassung eher

gebremst wird, während in den anderen Arbeitsstellen die Anpassung der Geschwindigkeit durch Ausrollen erreicht wird.

Zudem wird der Proband durch die vielen Überleitungen und Verschwenkungen in einer Arbeitsstellenstaffelung stärker beansprucht.

5.3 Arbeitsstellengestaltungen

Aus den Untersuchungen in den Arbeitsstellen können für die Arbeitsstellengestaltung Aussagen zu der Spurführung und über die Breite der Fahrstreifen gemacht werden.

Mittelwert der Fahrstreifenwechselrate [FS-Wechsel/km]	A5	A4	A8	Zusammenfassung
Streckendurchschnitt (freie Strecke und Arbeitsstelle)	0,42	0,35	0,32	0,34
Arbeitsstellen	0,35	0,34	0,24	0,27
freie Strecke mit 4FS	-	0,21	-	0,21
freie Strecke mit 6FS	0,49	0,68	-	0,57
freie Strecke zusammen	0,49	0,36	0,49	0,44
Mittlere Distanz [km] zwischen FS-Wechsel	A5	A4	AB	Zusammenfassung
Streckendurchschnitt (freie Strecke und Arbeitsstelle)	2,37	2,89	3, 11	2,92
Arbeitsstellen	2,83	2,91	4,17	3,70
freie Strecke mit 4FS	-	4,68	-	4,68
freie Strecke mit 6FS	2,05	1,48	-	1,74
freie Strecke zusammen	2,05	2,81	2,03	2,29

Tab. 8: Fahrstreifenwechselrate und Distanz zwischen Fahrstreifenwechsell

Bei regulärer Spurführung fixieren die Probanden während des Überholvorgangs primär die Schutzzeineinrichtung, während nach Überleitungen vermehrt auch der Gegenverkehr fixiert wird. In und direkt nach Überleitungen ist das Blickverhalten auch unruhiger und die Fixationen wechseln oft von einer zur anderen Seite.

Auch die Breite der Spurführung hat einen Einfluss auf das Blickverhalten. So lässt der Verkehrsteilnehmer bei breiten Spurführungen seinen Blick eher schweifen als bei engeren Fahrstreifen. Zudem werden bei engen Fahrstreifen und hohem Verkehr die Längsabstände erhöht.

In Querrichtung ist bei engen Fahrstreifen der Abstand nach links geringer als nach rechts und die Geschwindigkeit wird reduziert. In dieser Situation beeinflusst der Verkehr auf dem rechten Fahrstreifen das Spurverhalten der Probanden stärker als der Gegenverkehr hinter dem Trennelement. Dies zeigt sich auch in dem Abstand zwischen den Fahrzeugen bei Überholungen. Diese sind auf breiten Fahrstreifen geringer als auf schmalen.

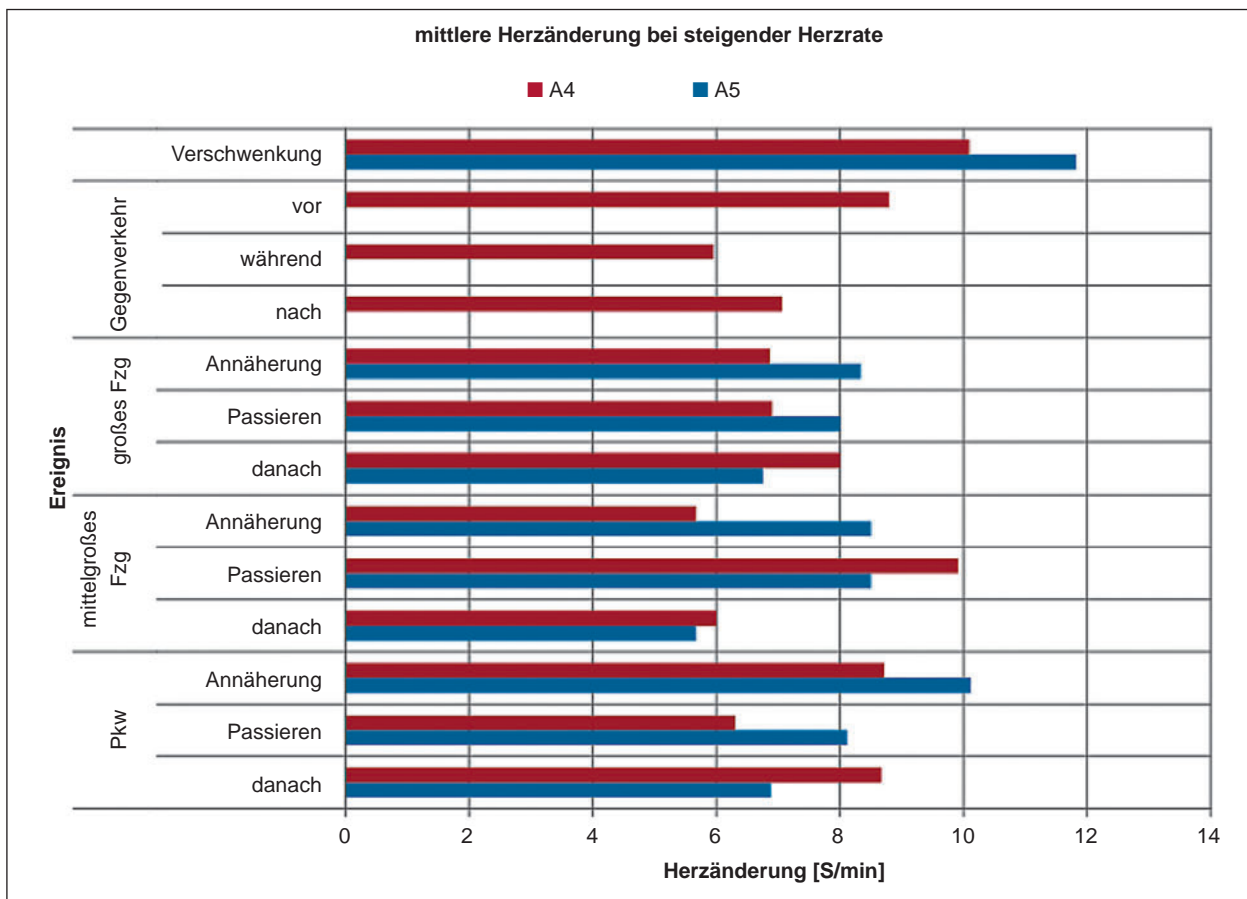


Bild 69: Herzfrequenzänderung bei steigender Herzrate

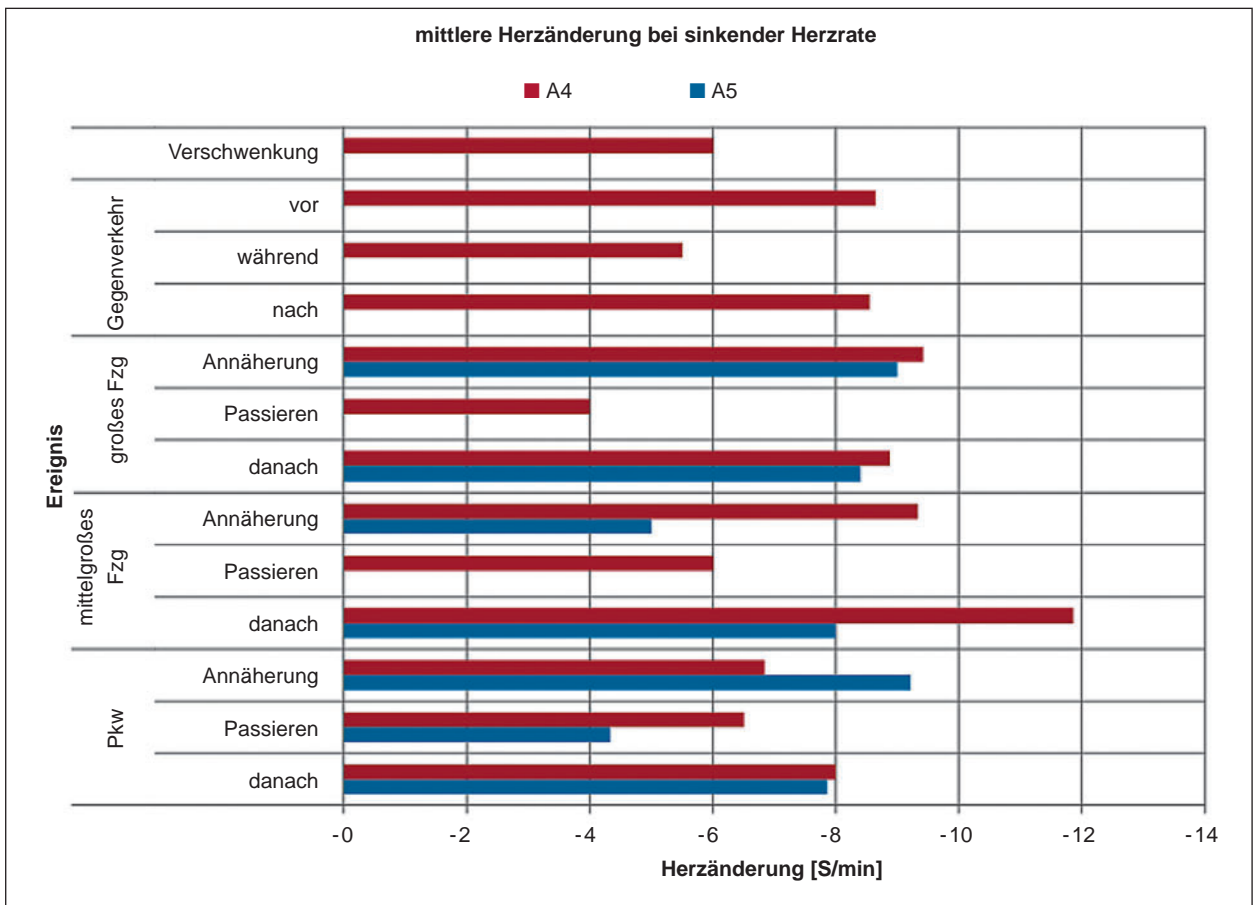


Bild 70: Herzfrequenzänderung bei sinkender Herzrate

Sekunde vor Beginn	+1Sekunde	+2Sekunden	+3Sekunden	+4Sekunden	+5Sekunden	+6Sekunden
00:06:39	1-12 vPKW, 13-27 LP	1-23 H	1-24 LP	1-5 BF M, 6-17 1-26 H		
00:06:48	1-7 vPKW, 8-14 LP, 15-1	1-9 T	1-14 vV, 15-25 T	1-20 züLZ	1 T, 2-3 BF M	1-11 LP, 12-15 1-3 vV, 4-8
00:07:11	1-6 züPKW, 7 LP, 8-19 zi	1-17 züPKW, 18-22 vV	1-10 vV, 11-17 T	1-26 vV, 27-28 1-5 vV, 6-7 BF R, 8-21 vV		
00:07:22	1-2 vV, 3-16 BF M, 17-26	1-12 vV, 13-24 BF M	1-26 H	1-18 H, 19-26	1-12 LP, 13 SS	
00:07:39						
00:07:55						
00:08:07	1-3 vV, 4-25 BF M, 26-30	1-3 züPKW+A, 6-12 vV,	1-25 vV	1-9 T, 10-23 vV	1-7 vV, 8-13 T, 14 BF M, 15 vV	
00:09:21						
00:09:31	1-4 nzüF, 5-13 LP, 14-17	1-20 züLFW, 21 GV, 22-2	1-12 vPKW, 13-26 nzüF	1-6 vPKW, 7-21 1-10 vPKW, 11-18 H, 19-22 nzüF		
00:09:39						
00:09:46						
00:09:51						
00:10:02	1-16 vPKW, 17-23 LP	1-6 LP, 7-26 Schild aF	1-27 Schild aF	1-6 H, 7-8 nzü	1-12 vPkw, 13 1-10 H, 11-13	1-4 BF M,
00:10:15	1-5 H, 6-18 nzüF, 19-26	1-14 H, 15-29 LP, 30 nzü	1-8 BF M, 9-20 LP, 21-29	1-16 H, 17-24	1-28 H	
00:10:24						
00:10:30	1-2 züSZ, 3-15 T, 16-22 L	1-20 H, 21-27 züLKW	1-8 nzüF, 9-25 LP, 26-31	1-14 H, 15-21	1-7 LP, 8-18 vV	1-2 T, 3-27 vP
00:10:40	1-10 H, 11-25 LP	1-11 BF R, 12-28 BF M	1-30 H	1-6 vPKW, 7-9 1-11 LP, 12-25	1-18 nzüF, 19-	1-24 BF M
00:10:55	1-30 BF M	1-6 GV, 7-13 H, 14-18 vP	1-18 Schild, 19 züSZ, 20-	1-8 T, 9-18 BF	1-6 H, 7-18 T, 1-18 S	1-3 H, 4-11

Tab. 9: Beispielhafte Übersicht über verschiedene Kategorisierungsgruppen

5.4 Sonstige Erkenntnisse

Weitere Erkenntnisse können im Hinblick auf die Akzeptanz erhalten werden. So ist die subjektive Bewertung der Arbeitsstelle positiver je ausführlicher

das Wissen um die Länge, den Zweck und die Dauer der Arbeitsstelle ist.

Ein weiterer Aspekt betrifft die zugelassene Höchstgeschwindigkeit. So wurde im Rahmen der Unter-



Bild 71: Darstellung der Haupt-Fixation hier bei freier Fahrt.



Bild 72: Darstellung eines häufigen Blickverhaltens bei Fahrt auf dem linken Fahrstreifen

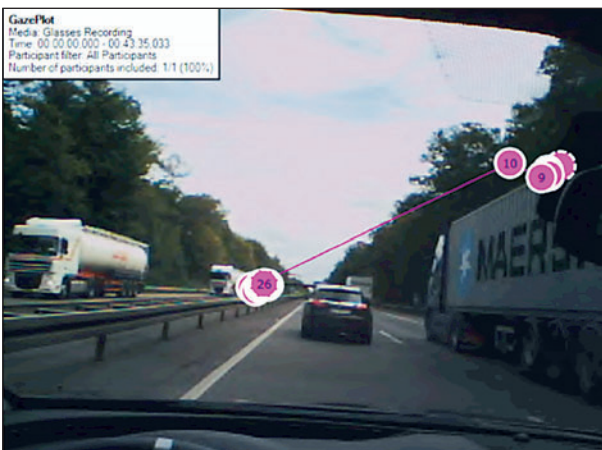


Bild 73: Darstellung des Wechselblicks



Bild 74: Darstellung des Tunnelblicks

suchungen eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h in der Arbeitsstelle eher eingehalten, wenn in der Überleitung zu Beginn der Arbeitsstelle die zugelassene Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h reduziert ist. Allerdings wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei einer durchgehenden Beschränkung auf 60 km/h deutlich und bei einer Beschränkung auf 80 km/h oft überschritten [vgl. hierzu auch KEMPER et al., 2015].

5.5 Hypothesen

Aus der empirischen Studie und der anschließenden Diskussion werden Arbeitshypothesen für die Simulatorstudie abgeleitet:

1. Die Arbeitsstellenlänge hat vor allem bei sehr langen Arbeitsstellen einen Einfluss auf das Fahrerverhalten.
2. Eine Arbeitsstellenstaffelung (mit vielen Staffellungen) ist einer überlangen Arbeitsstelle aufgrund des Fahrerverhaltens nicht vorzuziehen.
3. Die Länge der Beruhigungsstrecke hat Einfluss auf das Fahrerverhalten in den einzelnen Arbeitsstellen in einer Staffelung.
4. Die Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen im Zulauf von Arbeitsstellen auf 60 km/h beruhigt den Verkehrsstrom innerhalb der Arbeitsstelle.
5. Die durchgehende Anordnung von 60 km/h verleitet den Fahrer zu einer stärkeren Überhöhung der Geschwindigkeit als eine durchgehende Anordnung von 80 km/h.
6. Durch eine farbliche Gestaltung der Mitteltrennung werden die Fahrer zu einer höheren Abstandshaltung zur linken Fahrbahnlinie bewegt als ohne farbliche Gestaltung.

6 Konzeption der Fahrstudie

In der Fahrstudie findet die Überprüfung der in Kapitel 5 aufgestellten bzw. festgelegten Hypothesen statt. Bei einer großen Stichprobe und unter gleichbleibenden Randbedingungen wird im Fahrstudie eine Überprüfung der festgestellten und als relevant geltenden Einflussgrößen einer Arbeitsstelle bzw. Arbeitsstellenfolge auf den Probanden ermöglicht.

Die Fahrstudie wird im Fahrstudielabor des Instituts für Straßenwesen Aachen durchgeführt, das bereits in anderen Studien zur Wirkungsanalyse von verkehrstechnischen Einrichtungen verwendet wird bzw. wurde. Der Simulator ermöglicht den Aufbau der beschriebenen Arbeitsstellenszenarien, unter Variation von bspw. der Verkehrsführung, der Fahrstreifenbreite, von Absicherungselementen oder Hinweistafeln und die Messung der vorgeschlagenen Fahrverhaltensvariablen.

6.1 Fahrstudie

Die Durchführung einer Fahrstudie ist gemessen an ihrem Aufwand zwischen einer einfachen Befragung und einer Realfahrt anzusiedeln. Häufig werden mithilfe eines Fahrstudies neu entwickelte Systeme auf ihre Bedienfreundlichkeit und Ablenkungswirkung getestet (KNAPPE et al, 2006). Doch auch Modifikationen der Straßenführung, -ausstattung und -oberflächengestaltung finden in der Fahrstudie Anwendung.

Mithilfe eines Fahrstudies können reale Verkehrssituationen simuliert und somit im Anschluss auch analysiert werden, die in einer Realfahrt eventuell ein hohes Unfallpotenzial aufweisen. Ein weiterer Vorteil sind die absolut reproduzierbaren Bedingungen in einer Fahrstudie, anhand derer man ohne großen Aufwand die Grenzen der technischen Möglichkeiten und des menschlichen Verhaltens mit unterschiedlichen Fahrern testen kann (PHILIPP, 1990). Auch störende Umwelteinflüsse, die bei einer Realfahrt auftreten können, wie z. B. unterschiedliche Wetter- und Lichtverhältnisse, treten im Fahrstudie nicht auf und können daher unbeachtet bleiben (KNAPPE et al, 2006).

Der geschlossene Regelkreis von Fahrer, Fahrzeug und Umwelt bzw. Straße, in dem der Fahrer in Abhängigkeit der Umwelt seinen Soll-Kurs und seine

Soll-Geschwindigkeit durch die dazu passende Bedienung des Fahrzeugs versucht zu halten, kann nachgestellt werden. Bezogen auf die Drei-Ebenen-Hierarchie von DONGES, 2012 finden bei der Fahrstudie nur die Stabilisierungs- und Bahnführungsebene Anwendung. Hierbei werden die Umwelt und Teile des Fahrzeugs simuliert und nur der Mensch bzw. der Fahrer ist real. Das Verhalten des Fahrers ist aber nicht nur von der (simulierten) Umwelt abhängig, sondern auch von der Fähigkeit zur Informationsaufnahme und -verarbeitung und der Bereitschaft sich auf die Simulation einzulassen [NEGELE, 2007].

Wie aussagekräftig die Ergebnisse einer Simulationsstudie sind, beschreibt die Validität. Es wird zwischen der relativen und absoluten Validität unterschieden. Um eine absolute Validität zu erreichen, müssen die Sinneswahrnehmungen realgetreu dargestellt oder es muss nachgewiesen werden, dass ein Reiz, der nicht dargestellt wird, keinen Einfluss auf das Ergebnis hat. Eine relative Validität hingegen ist schon gegeben, wenn die Versuchsergebnisse die gleiche Tendenz haben wie Ergebnisse in der Realität. Es müssen nicht unbedingt die gleichen physikalischen Parameter wie in der realen Umwelt vorhanden sein. Für die Simulation ist nach NEGELE, 2007 die relative Validität im Allgemeinen gegeben.

Ob eine Validität vorliegt bzw. nachgewiesen werden kann, hängt stark von der Einstellung der Probanden ab. Wenn der Proband die Simulation nicht als Regelaufgabe „Führen eines Fahrzeugs“ akzeptiert und sich dadurch anders als in der Realität verhält, kann es keine validen Ergebnisse geben. Die Begriffe Immersion und Präsenzerleben beschreiben diesen Umstand. Die Immersion ist im Gegensatz zum Präsenzerleben eine objektive Größe, die ein Maß für die Übereinstimmung der Reizimpulse in der Simulation mit denen der realen Umwelt darstellt. Das Präsenzerleben schwankt abhängig von dem Grad des sich Einlassens auf die Simulation individuell [NEGELE, 2007].

6.1.1 Ausführung

In der Ausführung der Fahrstudien gibt es deutliche Unterschiede. Die einfachsten statischen Modelle bestehen nur aus einem Stuhl, einem Gas- und Bremspedal und einem Computermonitor. In einer komplexeren Variante wird der Stuhl durch ein Auto oder Automodell ersetzt und das Sichtfeld wird wesentlich vergrößert. In einer deutlichen Weiterentwicklung, dem dynamischen Fahrstudie, kön-

nen auch Flieh- und Beschleunigungskräfte simuliert werden [KNAPPE et al, 2006]. Die Ausführungsart hängt hauptsächlich von der Verwendungsabsicht ab. ARAND, 1982 beschreibt vier Grundtypen von Fahr simulatoren in Abhängigkeit ihrer Verwendung: Simulatoren für die Ausbildung von Kraftfahrzeugführern, zur Überprüfung der psychisch-physiologischen Fahrtauglichkeit, für die Fahrzeugentwicklung und für die wissenschaftliche Erforschung ergonomischer Aspekte des Regelkreissystems Fahrer-Fahrzeug-Straße.

Die Präzision der Unterschiede der Fahr simulatoren lässt sich nach NEGELE, 2007 über die Sub-systeme vornehmen. Diese sind die Sichts simulation, die Bewegungssimulation, die Geräuschsimulation, der Fahrstand und die Mensch-Maschine-Schnittstelle, die Datenbasis und die Verkehrssimulation.

Sichts simulation

Im Bereich der Sichts simulation muss u. a. auf den Abstand vom Fahrerauge, der bei maximal 5 m liegen soll, geachtet werden. Weiterhin sind der vertikale und horizontale Sichtbereich von Bedeutung. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass neben der Sichts simulation keine Bereiche im Sichtfeld sind, die nicht Bestandteil der Simulation sind. Auf eine 360°-Rundumsicht kann aber in den meisten Fällen verzichtet werden. Der vertikale Blickwinkel in Blickrichtung beträgt 40-60° und auch das horizontale Blickfeld ist für Anwendungen mit großen Radien und geringen Geschwindigkeiten mit 60° ausreichend. Ein weiterer Bestandteil der Sichts simulation sind die Rückspiegelansichten, die in unterschiedlicher Form ausgebildet werden können. Es ist z. B. die Anbringung eines virtuellen Rückspiegels möglich. Um die Qualität der Simulation zu erhöhen, sollte eine hohe Bildauflösung gewählt werden. Je höher die Auflösung des Projektors ist, desto besser ist die Immersion. Noch bedeutender als die Bildauflösung ist eine verzögerungs- und ruckfreie Darstellung. Besonders bei hohen Geschwindigkeiten ist eine schnelle Bilderzeugung für ein hohes Präsenzempfinden wichtig. Die Schnelligkeit der Bilderzeugung ist abhängig vom Prozessor, dem Grafikchip und der Größe des Grafikkartenspeichers. Zusätzlich darf der Projektor nur geringe Reaktionszeiten aufweisen.

Bewegungssimulation

Neben der Sichts simulation spielt die Bewegungssimulation bei dynamischen Fahr simulatoren eine wichtige Rolle. Vor allem die vestibulären Informatio-

nen sind für eine der Realfahrt gleichenden Simulation von Bedeutung. Diese werden durch Bewegungssysteme versucht nachzubilden. Die Bewegungssimulation ist nicht für alle Simulationsstudien notwendig und teilweise sogar negativ aufgrund der ablenkenden Wirkung. Einen positiven Effekt auf die Güte der Simulation hat die Bewegungssimulation bei Fahraufgaben auf der Stabilisierungsebene, wie z. B. die Spur halten. In der Beschleunigungssimulation, die zur Bewegungssimulation zählt, wird zwischen Aufbaubewegungen und Bahnbewegungen unterschieden. Zu den Aufbaubewegungen gehören Huben, Nicken und Wanken, die die Längsbeschleunigungen simulieren. Die Querschleunigungen werden durch die Translation in x- und y-Richtung und das Gieren abgebildet. Im nachfolgenden Bild 75 ist ein dynamischer Lkw-Fahr simulator dargestellt, der sowohl Kräfte auf der x- und y-Achse wie auch auf der z-Achse nachstellen kann [NEGELE, 2007].

Geräuschsimulation

Auch eine an die Realfahrt angepasste Geräuschsimulation trägt maßgeblich zu einer guten Gesamtsimulation bei. Durch Motor- und Fahrbahn- bzw. Abrollgeräusche können die Fahrgeschwindigkeit und der Fahrzeugzustand besser eingeschätzt werden. Fehlt etwa die Darstellung der tiefen Frequenzen der Fahrbahngeräusche, entsteht ein Eindruck des Schwebens über der Fahrbahnoberfläche. Die tiefen Frequenzen erfordern zur Wahrnehmung des Geräuschs einen hohen Pegel, der mit einem Subwoofer erreicht werden kann. Die Geräusche der primären Fahraufgabe, zu denen die Reifen-, die Abroll- und die Windgeräusche sowie die fahrbahninduzierten Schwingungen zählen, sollten geschwindigkeitsabhängig verändert, jedoch kontinuierlich abgespielt werden. Geräusche aus der Umwelt, wie z. B. die der



Bild 75: Dynamischer Lkw-Fahr simulator [NEGELE, 2007]

entgegenkommenden oder überholenden Fahrzeuge, sollten in der Lautstärke und Frequenz an die Entfernung zu dem Probanden angepasst werden. Wie die Geräusche des umgebenen Straßenverkehrs werden auch Geräusche aus dem Fahrzeug, wie z. B. Blinker-, Anlasser- oder auch Schaltgeräusche, der sekundären bzw. tertiären Ebene der Fahraufgabe zugeordnet. In der gesamten Geräuschsimulation trägt die richtige Lokalisation der Geräusche zu einer höheren Qualität bei.

Fahrstand

Für die Ausführung des Fahrstands gibt es verschiedene Möglichkeiten. Es muss jedoch beachtet werden, dass je mehr das Fahrzeug-Mockup einem realen Fahrzeug ähnelt, desto größer ist das Präsenzepfinden. Die Auswahl reicht von einem abstrahierten Fahrstand, bei dem nur ein Sitz und bei Untersuchungen einer Mensch-Maschine-Schnittstelle zusätzlich dieser Teil eingebaut ist, über ein Teilfahrzeug und bis zu einem Vollfahrzeug. Je nach Aufgabenstellung fällt die Wahl auf eine der drei Ausführungen. Der Unterschied zwischen einem Teilfahrzeug und einem Vollfahrzeug liegt in vorgenommenen sichtbaren Modifikationen des Fahrzeugs, wodurch dieses zu einem Teilfahrzeug wird. Ein Vollfahrzeug weist keine sichtbaren Veränderungen zu einem Realfahrzeug auf. Zusätzlich zu dem Mockup ist eine realgetreue Lenkung und Ausführung des Fahrpedals und der Bremse notwendig. Bei der Lenkung ist ein Lenkmoment proportional zum Lenkwinkel zu kalibrieren. Durch Unterschiede in der Realisierung kann zusätzlich eine geschwindigkeitsabhängige Lenkung oder auch eine Lenkung mit Berücksichtigung fahrbahn- und fahrzeuginduzierter Schwingungen erreicht werden.

Datenbasis und Verkehrssimulation

Die Datenbasis besteht aus mehreren Teilen, die zu einer virtuellen Repräsentation der Umgebung beitragen. Dazu gehören typischerweise die Terrainbeschreibung, der Fahrbahnverlauf, die Fahrbahneigenschaften, Ausstattungsmerkmale wie z.B. Häuser und Verkehrszeichen und zugehörige Texturen. Datenbasen können in unterschiedlicher Form in der Simulation ausgestaltet sein. Bei der herkömmlichen statischen Ausführungsart wird vor Beginn der Fahrsimulation ein Straßennetz auf einer maßstabsgetreuen Karte kreiert. Eine andere Möglichkeit ist die modulare Form, die entweder statisch, also vor der Simulation, oder dynamisch, erst im Laufe der Simulation, erstellt wird. Nur durch eine

maßstabsgetreue Modellierung und Texturierung der Ausstattungsmerkmale ist eine gute Abstands- und Geschwindigkeitswahrnehmung möglich. Neben den feststehenden Ausstattungsmerkmalen kann durch eine Verkehrssimulation eine bestimmte Verkehrsdichte dargestellt werden. Die Fahrzeuge verhalten sich nach einem bestimmten Fahrermodell und halten sich typischerweise an Verkehrsregeln. Es können auch ereignisabhängig Fahrzeuge in die Simulation eingesetzt werden und eventuell sogar manuell gesteuert werden. Durch eine Kopplung mit einer Mikrosimulation können der Verkehrsfluss, die Verkehrszusammensetzung und einzelne Fahrzeugtypen, denen unterschiedliche Geschwindigkeiten zugeordnet werden können, definiert werden.

6.1.2 IsacFaSi

Wie schon in Kapitel 6.1.1 ausführlich dargestellt, gibt es mehrere Ausführungen von Fahrsimulatoren von sehr einfach bis sehr komplex. Der Fahrsimulator, in dem die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelten Probandenversuche stattfinden, hat keine Bewegungssimulation und ist somit statisch. Entwickelt wurde dieser vom Institut für Straßenwesen Aachen (isac), wo er in der Lehre sowie für Forschungsprojekte eingesetzt wird und den Namen IsacFaSi erhalten hat. Je nach Bedarf und Kapazitäten wird der Fahrsimulator weiterentwickelt. Schon zu Beginn der Entwicklung des Fahrsimulators wurde darauf geachtet, dass die zugehörige Hardware und auch Software modularisiert aufgebaut und ausgebaut werden kann [ISAC, 2015].

Die Hardware beinhaltet zum jetzigen Zeitpunkt ein Fahrzeug-Mockup, bestehend aus einem hinter der B-Säule abgeschnittenen Kleinwagen der Marke Fiat, einer Frontalprojektionsfläche mit der Größe 4,60 m x 2,30 m, einem Wide-Screen-Beamer und einem 40“-LED-Display. Das Mockup beinhaltet originale Bedienelemente, wie die Pedale, das Lenkrad und den Blinker- und Lichthebel. Im Gegensatz zu der originalen Fahrzeuginnenausstattung wurden alle Elemente des Motorraums ausgebaut, um dort die notwendige Elektronik und IT-Elemente einzubauen. Für die Ausgabe u. a. der den sekundären Tätigkeiten zugeordneten Funktionen, wie das Blinken oder Einschalten des Lichts, ist ein Steuerrechner im Motorraum des Fahrzeugs eingebaut. Dieser dient zur realgetreuen Reaktion auf die Betätigung der Bedienelemente. Hierzu zählt auch die Reaktion der Tachoanzeige in Abhängigkeit von der Kraft,

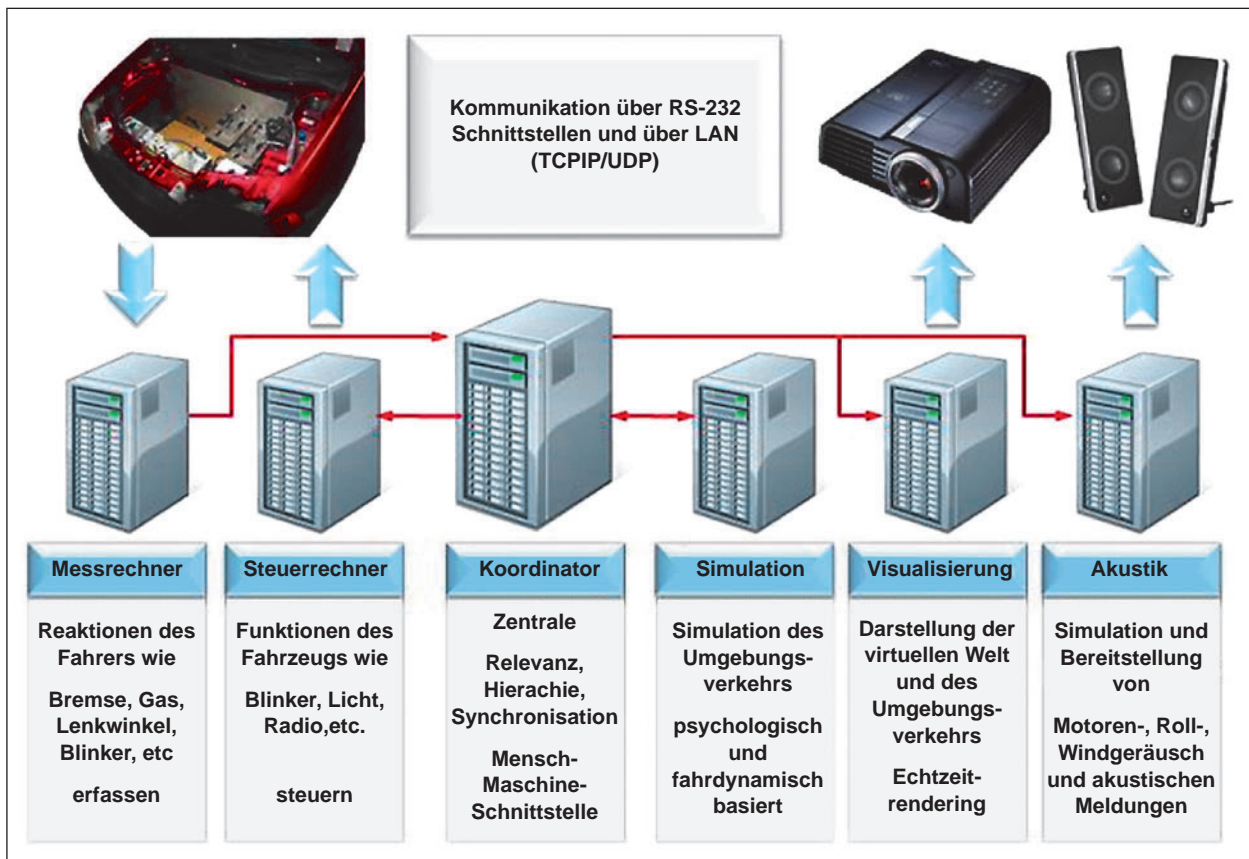


Bild 76: Komponenten des „isacFaSi“ [ISAC, 2015]

die auf das Gaspedal aufgebracht wird. Um die Bedienung des Gas- oder Bremspedals zu erfassen und weiterzuleiten, ist neben dem Steuer- auch ein Messrechner verbaut. Dieser gehört zur sogenannten Messkette, dessen Anfang die durch die Bedienung eines Pedals ausgelöste Änderung eines elektrischen Widerstands im potenziometrischen Wegaufnehmer bildet und an dessen Ende eine vom Rechner berechnete physikalische Messgröße zur Datenverarbeitung steht. Neben der Erfassung des Bremsens und Beschleunigens werden vom Messrechner auch die Signale der Bedienelemente, z. B. Blinker und Zündschloss, aufgezeichnet.

Auch für die Simulation des Umgebungsverkehrs, der Visualisierung, die durch den Projektor auf die Leinwand projiziert wird, und der akustischen Simulation von Motor- und Rollgeräuschen werden Rechnerleistungen benötigt. An einen zentralen Rechner, auf dem eine speziell entwickelte Koordinator-Software installiert ist, werden die erfassten Daten aus dem Fahrzeug weitergeleitet und Daten für die Visualisierung und Akustik werden an die verarbeitende Software bzw. Hardware übertragen (siehe Bild 76). Das LED-Display bildet die Rückspiegelansicht ab und ist an der Rückwand des Mo-

ckups montiert. Seitenspiegelansichten sind nicht vorhanden [ISAC, 2014].

Mithilfe der Elektronik können im Nachgang einer Versuchsfahrt mehrere Größen ausgewertet werden. Dazu gehören die Geschwindigkeit, die Position des Fahrzeugs, der daraus abgeleitete Abstand zu Fahrzeugen oder starren Begrenzungen, der Lenkwinkel, der Zustand des Blinkers und des Lichts, die Betätigung von Gas und Bremse sowie jeweils ein Zeitstempel.

Sichtsimulation

Ein Problem des „isacFaSi“ stellte die realitätsgetreue Wiedergabe der Perspektive, in der der Fahrzeuglenker die Umgebung und somit auch den Straßenverlauf wahrnimmt, dar. Die Einstellungen dazu werden im Programm Unity 3D vorgenommen. Dort kann u. a. die Höhe der Kameraposition, also der Position, von der aus der Fahrer den Straßenverkehr überblickt, eingestellt werden. Nach Messungen im Fahrsimulator liegt diese Höhe bei ca. 1,10 m, schwankt jedoch individuell um wenige Zentimeter. Die Position wird nicht bei jedem Probanden neu angepasst. Zusätzlich ist der horizontale und vertikale Öffnungswinkel der Kameraeinzel-

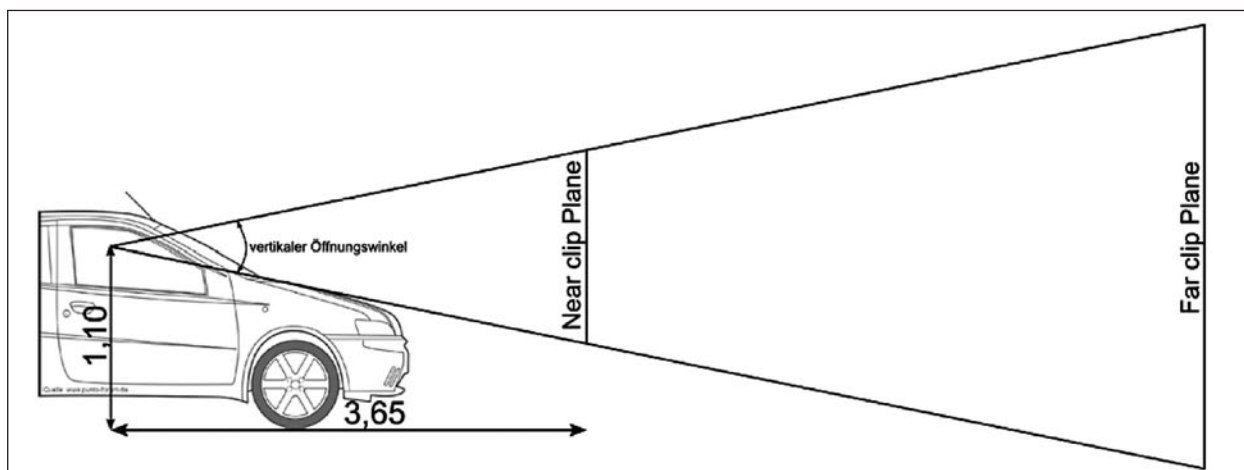


Bild 77: Darstellung der Visualisierung des „isacFaSi“

lung eine wichtige Komponente. Diese sollten so eingestellt sein, dass die ganze Projektionsfläche ausgefüllt wird. In dem Visualisierungsprogramm kann zwar lediglich der vertikale Öffnungswinkel eingestellt, allerdings kann der horizontale Öffnungswinkel mit dem Wissen über das Seitenverhältnis der Projektionsfläche errechnet werden. Weiterhin ist der Abstand der Near clip Plane und der Far clip Plane einzustellen (siehe Bild 77). Der Abstand der Near clip Plane liegt für den „isacFaSi“ bei 3,65 m, was dem horizontalen Abstand des Fahrers zur Projektionsfläche entspricht. In Kombination mit den Maßen der Projektionsfläche von 4,60 m x 2,30 m ergibt sich ein horizontaler Öffnungswinkel von 64°. Damit sind der Maximalabstand zur Projektionsfläche (< 5 m, vgl. Kapitel 6.1.1) sowie ein bei geringen Geschwindigkeiten und großen Radien ausreichendes Blickfeld (> 60°, vgl. Kapitel 6.1.1) eingehalten. Die Voraussetzungen einer guten Sichtsimulation sind somit erfüllt. Jedoch liegt der vertikale Öffnungswinkel bei lediglich 37° und erreicht damit nicht die geforderten 40-60°. Die Far clip Plane simuliert den Horizont und liegt bei ca. 2.000 m. Durch die richtige Einstellung der genannten Komponenten kann eine annähernd realitätsgetreue Umgebung geschaffen werden.

Geräuschsimulation

Durch die Simulation der Roll-, Umströmungs- und Motorengeräusche wird eine realitätsnahe Geräuschkulisse nachgestellt. Zusätzlich werden diese in ihrer Lautstärke an die Geschwindigkeit angepasst sowie die Überschreitung des Motorengeräuschs durch das Rollgeräusch ab einer Geschwindigkeit von ca. 50 km/h berücksichtigt. Auf der Autobahn dominiert bei höheren Geschwindigkeiten das Umströmungsgeräusch. Auch die Ge-

räusche des Blinkers und des Anlassers werden im „isacFaSi“ realgetreu nachgebildet. Als ein weiteres Ausstattungsmerkmal eines Pkws kann das Radio in Betrieb genommen werden, worauf in dieser Studie aber verzichtet wird.

Verkehrssimulation

Die Verkehrssimulation wird im „isacFaSi“ mit der Mikrosimulation des Programms PTV Vissim in der statischen Ausführung, also vor der Simulation, vorgenommen. Neben der Definition des Verkehrsflusses werden z. B. die Verkehrsanteile der verschiedenen Fahrzeugtypen, die mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsverteilungen und anderen Merkmalen definiert werden können, festgelegt. Weitere Einstellungsmöglichkeiten in der Mikrosimulation sind Streckencharakteristika, wie z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überholverbote und Vorfahrtsregelungen in Kreuzungsbereichen. Durch die Verbindung des Visualisierungsprogramms mit der Verkehrssimulation dienen die simulierten Fahrzeuge als Umgebungsverkehr, der auch auf das vom Fahrsimulator erzeugte Fahrzeug und damit die Fahrweise des Probanden reagiert. Zusätzlich zur Verkehrssimulation werden auch Ausstattungsmerkmale der Umgebung, wie z.B. Häuser und Verkehrszeichen, sowie die Landschaft realitätsnah simuliert.

6.2 Szenarien und Versuchsplanung

Für die Überprüfung der Arbeitshypothesen werden vier verschiedene Szenarien entworfen. Diese sind im Folgenden beschrieben. Zudem werden im Folgenden weitere Festlegungen zur Fahrsimulatorstudie erläutert.

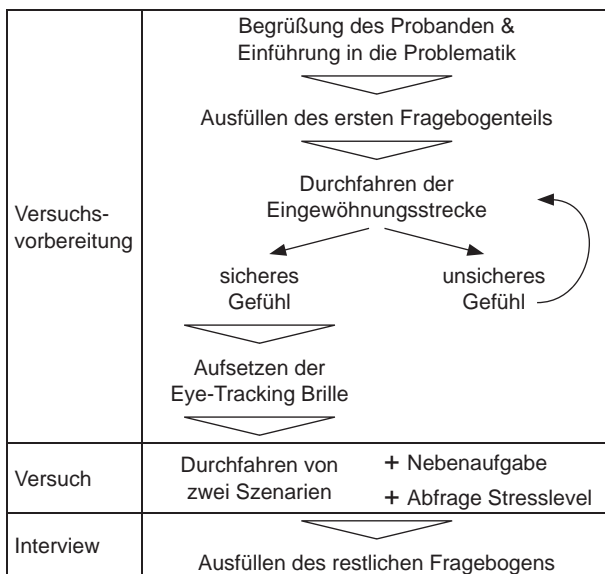


Bild 78: Ablaufschema der Probandenversuche im Fahrsimulator

6.2.1 Beschreibung der Szenarien

Es sollen jeweils die Lange Arbeitsstelle und die Arbeitsstellenstaffelung (Gruppe 1) sowie die geänderte Farbgestaltung der Mittelrennung und die verschiedenen zul. Geschwindigkeiten (Gruppe 2) zusammen getestet werden. Die Probanden werden vorher den Gruppen zugeteilt, wobei mehr Probanden (ca. 60 %) in der ersten Gruppe vertreten sein sollen, da es sich hierbei um die wichtigere Fragestellung handelt.

Gruppe 1:

- Szenario 1: Lange Arbeitsstelle
In Szenario 1 wird eine Arbeitsstelle von etwa 40 km Länge simuliert. Hierbei soll das Fahrverhalten bei der Arbeitsstellendurchfahrt beobachtet werden, die länger als die empfohlenen 12 km ist.
- Szenario 2: Arbeitsstellenstaffelung
Im zweiten Szenario soll eine gestaffelte Arbeitsstelle mit sechs Einzelarbeitsstellen simuliert werden. Die einzelnen Arbeitsstellen sowie die fünf Beruhigungsstrecken sollen so gestaltet sein, dass die Hälfte der Probanden zunächst drei lange Beruhigungsstrecken (etwa 4 – 5 km) und danach zwei kurze Beruhigungsstrecken durchfahren (2,5 – 4 km) (Szenario 2a) und die andere Hälfte genau andersherum (erst drei kurze und dann zwei lange Beruhigungsstrecken) (Szenario 2b).

In beiden Szenarien (1 und 2) sollen „normal“ breite Fahrstreifen zum Einsatz kommen. Nach einer Studie von MERKER, 2014 ist die Breite im Fahrsimu-

lator um 0,25 m zu reduzieren, um ein realistisches Breitenempfinden zu erhalten. Daher wurde die Fahrstreifenbreite des Überholfahrstreifens mit 2,5m angesetzt, von den Probanden aber beiter empfunden.

Die Szenarien 1 und 2 garantieren zum einen den Vergleich der langen Arbeitsstelle mit der Arbeitsstellenstaffelung und zeigen zusätzlich, welchen Effekt die Länge der Beruhigungsstrecke innerhalb einer Staffelung hat.

Gruppe 2:

- Szenario 3: verschiedene Geschwindigkeitstrichter ohne Markierungsänderung
In Szenario 3 wird eine Arbeitsstelle mittlerer Länge (etwa 6 km) dreimal nacheinander durchfahren, ohne dass die Simulation unterbrochen wird. In den drei Arbeitsstellen werden die zulässigen Geschwindigkeiten in drei verschiedenen Varianten angezeigt. In der ersten Variante ist die zulässige Geschwindigkeit über die gesamte Arbeitsstelleneinrichtung 80 km/h (Szenario 3a). In Variante 2 wird die zulässige Geschwindigkeit über die gesamte Arbeitsstelleneinrichtung auf 60 km/h begrenzt (Szenario 3b) und in der dritten Variante wird im Überleitungsbereich 60 km/h als zulässige Geschwindigkeit angezeigt und im weiteren Verlauf auf 80 km/h angehoben (Szenario 3c). Die drei Varianten sollen den Probanden in randomisierter Reihenfolge angezeigt werden.
- Szenario 4: verschiedene Geschwindigkeitstrichter mit Markierungsänderung
Im vierten Szenario wird das Szenario 3 wiederholt. Jedoch wird die farbliche Gestaltung der Mittelrennung geändert. Hierbei soll der Fußbereich durch eine auffällige gelbe oder orangene Färbung gekennzeichnet sein.

Die Szenarien 3 und 4 garantieren zum einen den Effekt der Ausgestaltung der unterschiedlichen Anordnungen der Geschwindigkeitsbeschränkungen und zum anderen in einem Kontrollgruppendesign den Effekt der farblichen Gestaltung der Mittelrennung.

6.2.2 Ablauf der Fahrsimulatorversuche

Der Ablauf der Probandenversuche ist unabhängig vom getesteten Szenario und verläuft wie in Bild 78 dargestellt. Nach einer kurzen Begrüßung des Probanden wird dieser kurz in das Thema eingeführt

und die Problematik wird ihm erläutert. Danach füllt der Proband den ersten Teil des Fragebogens aus. Informationen zur Länge der Baustellen und zur Dauer der Versuche wurden nicht bereitgestellt.

Um den Probanden an die Bedienung und die Eigenarten des Fahrsimulators und der Fahrt mit diesem heranzuführen, durchfährt der Proband nach einer kurzen Erläuterung der Funktionen des isacFasi eine Eingewöhnungsstrecke. Wenn sich bei dem Probanden ein sicheres Fahrgefühl einstellt, und dieses auch durch eine sichere Fahrweise nach außen hin für den Versuchsleiter ersichtlich ist, wird der Proband gebeten nochmals kurz auszusteigen und die Eye-Tracking-Brille angelegt und kalibriert. Bei einer wahrgenommenen Unsicherheit bzgl. des Fahrens im isacFasi (beim Probanden oder beim Versuchsleiter) wird die Eingewöhnungsstrecke so lange durchfahren, bis sich ein sicheres Gefühl einstellt oder der Versuch abgebrochen wird. Die Eingewöhnung im Fahrsimulator kann nicht mit der im Feldtest verglichen werden. Während bei letzterer der Proband lediglich mit einem neuen Fahrzeug konfrontiert wird ist die Situation im Fahrsimulator für ihn vollkommen unbekannt. Zusätzlich dazu, dass im Simulator z.B. Lenk- und Bremsverhalten stark von dem eines realen Fahrzeugs abweichen, kann es auch zu Simulator Sickness kommen.

Die Versuchsfahrten selber laufen jeweils in zwei verschiedenen Szenarien ab. Nach der Fahrt im ersten Versuchsszenario, welche in einem rollenden System immer wechselt, hat der Proband eine kurze Pause, in der die nächste Versuchsfahrt geladen wird und der Datenträger der Eye-Tracking-Brille ausgewechselt wird. Ein Wechsel des Datenträgers geht auch immer mit einer erneuten Kalibrierung der Brille einher. Während jeder Fahrt bewältigt der Proband eine Nebenaufgabe und beantwortet die Abfrage zum Stresslevel (vgl. Kapitel 6.3.1).

Nach den beiden Versuchsfahrten wird der Proband gebeten den restlichen Teil des Fragebogens auszufüllen.

6.3 Messgrößen

Die Hypothesen aus Kapitel 5.5 werden in der Fahrsimulatorstudie anhand von Messgrößen untersucht, die sich in die Teilbereiche Beanspruchung, Fahrverhaltensvariablen und Befragung unterteilen lassen. Die Messgrößen werden in Anlehnung an die Messgrößen aus der Feldstudie ausgewählt.

6.3.1 Beanspruchung

Die Beanspruchung wird aus mehreren Variablen analysiert. So stehen die Bewertung der subjektiven Beanspruchung durch die Probanden selber, die Auswertung der Nebenaufgabe und das Blickverhalten zur Verfügung. Da die Daten der Pulsfrequenzmessungen in der vorangegangenen Felduntersuchung keine eindeutigen Ergebnisse lieferten, wird der Puls in der Fahrsimulatoruntersuchung nicht erneut erhoben.

Subjektive Beanspruchung

Die subjektive Beanspruchung wird sowohl während der Fahrsimulatoruntersuchung als auch unmittelbar danach erhoben. Die aktuelle subjektive Beanspruchung während der Fahrt soll von den Probanden auf einer Skala von eins bis fünf eingeschätzt werden, wobei eins eine sehr niedrige Beanspruchung widerspiegelt und 5 eine sehr hohe Beanspruchung. Eine 5-stufige Skala eignet sich aus Gründen der Plausibilität. Je kleiner die Skala, desto schneller kann die empfundene Beanspruchung durch die Probanden eingeordnet werden. So soll eine zusätzliche Ablenkung vermieden werden. Die Abfragen werden in regelmäßigen Abständen abhängig vom Aufbau des jeweiligen Szenarios automatisch vom Fahrsimulator durchgeführt. Die zu untersuchenden Streckenabschnitte sind hierbei die freie Strecke, die Arbeitsstelleneinfahrt, die Arbeitsstelle selbst und die Arbeitsstellenausfahrt. Die jeweilige Aussage des Probanden wird sowohl durch das in der Eye-Tracking-Brille verbauten Mikrofon aufgezeichnet als auch manuell durch die Versuchsleiter erfasst.

Nebenaufgabe

Die Probanden sollen während der Erhebung im Fahrsimulator eine dual-task Additionsaufgabe bewältigen. Diese wird so gewählt, dass die Erfüllung der Fahraufgabe nicht direkt beeinflusst wird. Dazu wird den Probanden auf der Leinwand vor Ihnen eine zufällige, dreistellige Zahl präsentiert (vgl. Bild 79).

Sobald die Probanden die Zahl eingeblendet sehen, sollen sie diese laut nennen und von der Startzahl aus in Dreierschritten hochzählen. Die Zahlen fangen dabei immer dreistellig an, können aber über die Zahl 1000 im Laufe des Zählens hinausgehen. Der anwesende Versuchsleiter bricht nach insgesamt zehn genannten Zahlen ab. Diese Art der Zweitaufgabe dient als Maß für die geistige Beanspruchung (BORNEMANN, 1942). Die Annahme

Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeiten werden vom isacFasi mit einer Erfassungsrate von 1 Hz aufgenommen. Über die gesamte Fahrt hindurch stehen somit die gefahrenen Geschwindigkeiten der Probanden zur Verfügung. Den Probanden wird während der Fahrt die Geschwindigkeit ebenfalls über den Tachometer im isacFasi angezeigt. Nur über den Tachometer lässt sich im Fahrsimulator die Geschwindigkeit realistisch einschätzen, da die Beschleunigungen einer dynamischen Realfahrt fehlen.

Güte der Spurhaltung

Mittels eines Fahrsimulators können einige Messgrößen in Bezug auf das Fahrverhalten und insbesondere der Spurhaltegüte der Probanden aufgezeichnet bzw. berechnet werden. Diese Messgrößen werden hauptsächlich für die Erforschung von Fahrerassistenzsystemen und deren Ablenkung auf den Fahrer verwendet. Es wird zwischen Spurhalte- und Lenkmaßen unterschieden. Zu den Spurhaltemaßen zählen die „Mean Lateral Position“ (MLP), die „Standard Deviation of Lateral Position“ (SDLP), die „Time to Line Crossing“ (TLC) und die „Lane Exceedance“ (LANEX) (KNAPPE et al, 2006). Die Maße MLP und SDLP können im isacFaSi mithilfe einer Abstandsmessung zur Kleinpunktachse, die die Mittelachse der Strecke bildet, bestimmt werden. Hingegen können die Maße TLC und LANEX nur schätzungsweise ermittelt werden und sind aus diesen Gründen nicht Gegenstand der Auswertungen hier. Ebenfalls nicht ausgewertet wird der MLP.

Das Spurhaltemaß SDLP wird aus der Standardabweichung aller gemessenen Abstandswerte gebildet und gibt Auskunft über die durch Ablenkung entstehende Abweichung von der persönlichen Ideallinie des Probanden. Deshalb kann von diesem Maß direkt auf Fahrfehler geschlossen werden.

Für die Auswertung werden die Werte Abschnittsweise erhoben und dann über die verschiedenen Probanden in Mittelwert und Standardabweichung über die Probanden oder in Median, Quartile und Extremwerte über alle Probanden dargestellt.

Abstand zur Mittelrennung

Ähnlich zu der Auswertung in der Feldstudie soll hier der Abstand zur Mittelrennung bewertet werden. Eine Auswertung hierzu ist jedoch aufgrund der Fragestellungen und der Hypothesen nur für die Szenarien 3 und 4 notwendig und wird auch nur für diese durchgeführt.

6.3.3 Befragung

Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Maßen füllen die Probanden einen Fragebogen aus. Der erste Teil des Fragebogens wird vor der eigentlichen Testfahrt ausgefüllt. Zu Beginn werden soziodemographische Daten erhoben und Informationen zum allgemeinen Fahrverhalten (z.B. Kilometer pro Jahr). Es folgen Fragen zur Akzeptanz von Arbeitsstellen und Verhalten am/mit dem Computer. Nach der Fahrsimulation wird der zweite Teil des Fragebogens beantwortet. Dieser beginnt mit offenen Fragen zu den jeweiligen Arbeitsstellen (z.B. Besonderheiten, Unsicherheiten, Höchstgeschwindigkeit). Es folgen geschlossene Fragen zur Fahrstreifenbreite, Staffelung der Arbeitsstelle, Höchstgeschwindigkeit und Ärger beim Durchfahren der Arbeitsstelle. Abschließend wird die insgesamt erlebte Beanspruchung anhand einer 5-stufigen Likert-Skala erfragt. Der Einsatz der verschiedenen Antwortformate wurde bereits in Kapitel 3.1.8 diskutiert.

7 Ergebnisse der Fahrsimulatorstudie

Die hier dargestellten Auswertungen der Fahrsimulatorstudie sind das Ergebnis der Probandenversuche nach Kapitel 6.

7.1 Szenario 1

In Szenario 1 wird eine Arbeitsstelle von etwa 40 km Länge simuliert. Das Szenario wurde von 35 Probanden durchfahren.

Die Fahrstreifenbreite wurde in der Fahrsimulatorstudie nicht berücksichtigt. Da die Probanden die Fahrstreifenbreite in der Simulation allgemein und insbesondere ohne Seitenvisualisierung kaum einschätzen können, schien hier eine verlässliche Übertragung der Ergebnisse auf reale Fahrsituationen nicht möglich.

7.1.1 Geschwindigkeiten

Bei der Auswertung der Geschwindigkeitsganglinien zum Szenario 1 (vgl. Bild 80) kann festgestellt werden, dass eine Unterschreitung der zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h nur in sehr kurzen Zeitspannen festzustellen ist. Die mittlere Geschwindigkeit aller Probanden, die dieses Szenario gefahren sind, liegt über die gesamte Arbeitsstelle

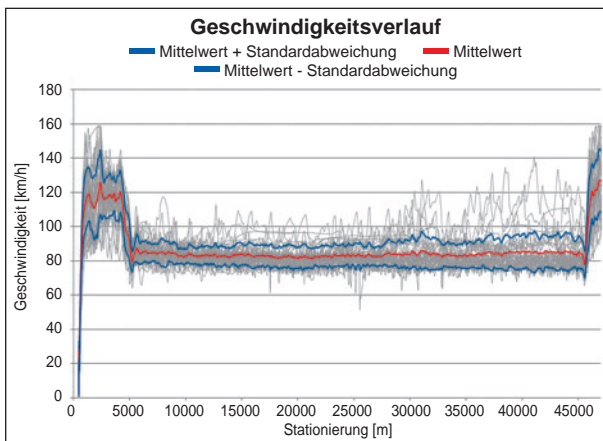


Bild 80: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 1

bei knapp über 80 km/h und steigt ab der Hälfte der Arbeitsstelle leicht an. Die Standardabweichung der Geschwindigkeitsganglinien über alle Probanden, sowie die Geschwindigkeitsganglinien der einzelnen Probanden zeigen eine häufigere und stärkere Überschreitung der zugelassenen Geschwindigkeit ab der Hälfte der Arbeitsstelle.

7.1.2 Standardabweichung der Lateralen Position

Die Standardabweichung der lateralen Position wird in der Auswertung mit einem Wert über einen ganzen Fahrabschnitt pro Proband angegeben. Je höher dieser Wert ist, desto mehr ist der Proband in der Spur geschlingert.

Die Ergebnisse für Szenario 1 zeigen, dass in den 5-km-Abschnitten innerhalb der Arbeitsstelle der SDLP niedriger liegt, als in der freien Strecke vor der Arbeitsstelle. Auffällig ist vor allem der deutlich geringere Wert des SDLP auf dem linken Fahrstreifen innerhalb der Arbeitsstelle als auf dem rechten Fahrstreifen. Hier müssen sich die Probanden besonders auf die Spurhaltung konzentrieren und die mentale Beanspruchung ist aufgrund der geringeren Fahrstreifenbreite höher (vgl. Bild 81 und Bild 82).

Tendenziell ist hier festzustellen, die lateralen Abweichungen mit der Länge der Arbeitsstelle bei einigen Probanden größer werden, eine signifikante Veränderung dieser Abweichungen über die Länge konnte allerdings nicht nachgewiesen werden.

7.1.3 Blickbewegung

Zur Analyse der Blickbewegung werden diejenigen Blickbewegungen (Y-Achse) abgebildet, die eine Blickveränderung um mehr als 10 Pixel innerhalb

der letzten 20 Sekunden darstellen. Diese werden auf die Wegstrecke (X-Achse) der jeweiligen Szenarien aufgetragen. Hierfür werden sowohl die Daten (u. a. Weg- und Zeitstempel) aus dem isacFasi als auch die Daten (u. a. Zeitstempel und Blickbewegungen) aus der Eye-Trackingbrille genutzt. In Szenario 1 fallen zwei Streckenabschnitte deutlich auf, in denen die Blickbewegungsrate besonders hoch ist. Dies ist zum einen kurz vor der Überführung in die erste Arbeitsstelle und in der Überführung selbst der Fall, zum anderen in der letzten Überführung aus der Arbeitsstelle heraus auf die freie Strecke. In genau diesen Streckenabschnitten werden die Nebenaufgaben und Beanspruchungsabfragen gestellt, weshalb an dieser Stelle von einer erhöhten Beanspruchung aufgrund der Fokussierung auf die Aufgaben bzw. aufgrund der Kombination von Überführung und Nebenaufgabe ausgegangen werden kann (vgl. Bild 83).

7.1.4 Pupillometrie

Für Szenario 1 wird die Größe der rechten Pupille im Verhältnis zur mittleren Größe der Pupille während der Kalibrierung (als Baseline) in Prozent (Y-Achse) in einem Liniendiagramm über die Strecke in Metern (X-Achse) aufgetragen. Diesbezüglich fließen sowohl die Daten (u.a. Weg- und Zeitstempel) des isac Fasi als auch die Daten (u.a. Zeitstempel und Pupillenweite) der Eye-Trackingbrille ein. Tendenziell findet sich für weite Teile des Verlaufs von Szenario 1 eine durchschnittlich leicht sinkende Pupillengröße bei den Probanden. Diese Tendenz könnte gemäß der Ergebnisse ähnlicher Studien auf eine abnehmende mentale Beanspruchung der Probanden während der Fahrt hindeuten, die erst wieder in der Überführung aus der Arbeitsstelle auf die freie Strecke zunimmt.

7.1.5 Beanspruchungsabfrage

Die Ergebnisse zur subjektiven Beanspruchung und zu den Fehlern in der Nebenaufgabe werden für alle Szenarien in einer Übersichtstabelle in Tabelle 10 dargestellt. Die linken Spalten der Tabelle weisen die deskriptiven Statistiken für die Beanspruchungsaufgabe auf, die rechten Spalten stellen die Fehler dar, auf die später weiter eingegangen wird.

Szenario 1 hat mit N=32 die höchste Anzahl an Versuchspersonen. Im Vergleich zu den anderen Szenarien liegt hier im Mittel die geringste Beanspruchung

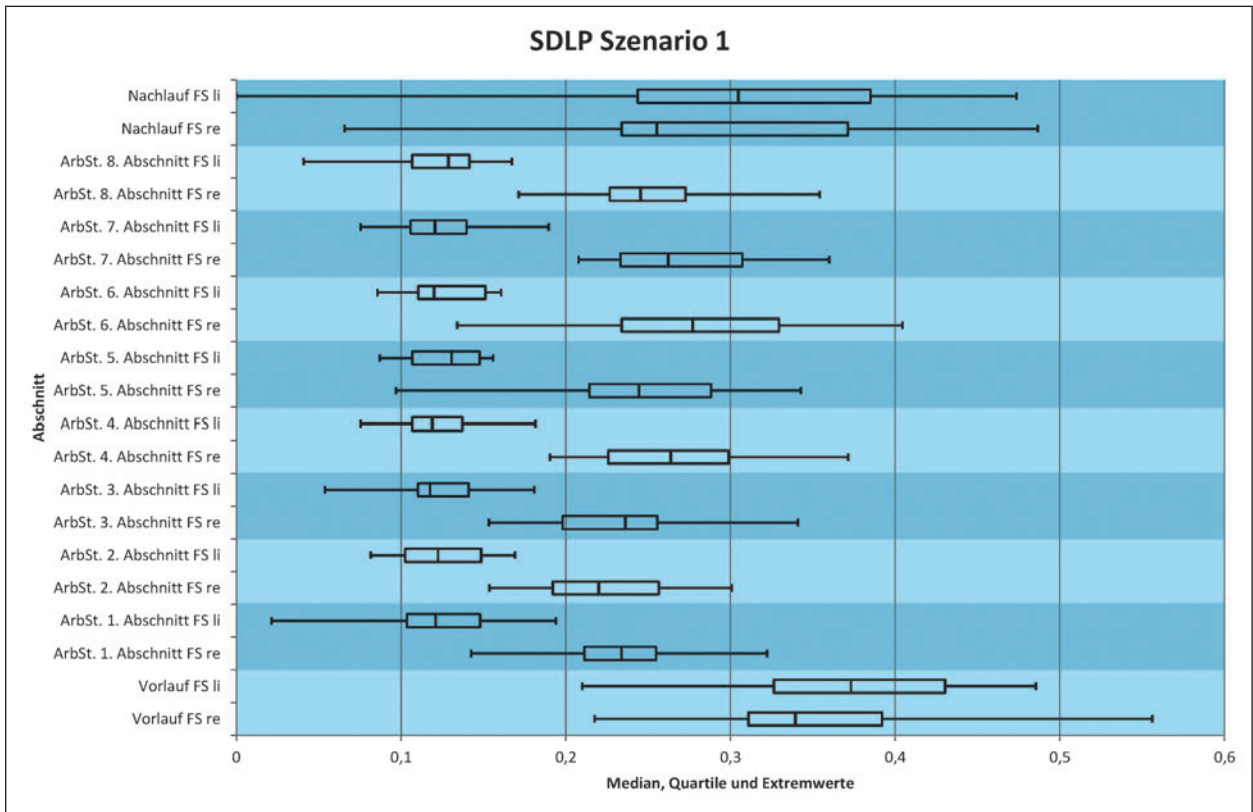


Bild 81: SDLP Box-Plot Szenario 1

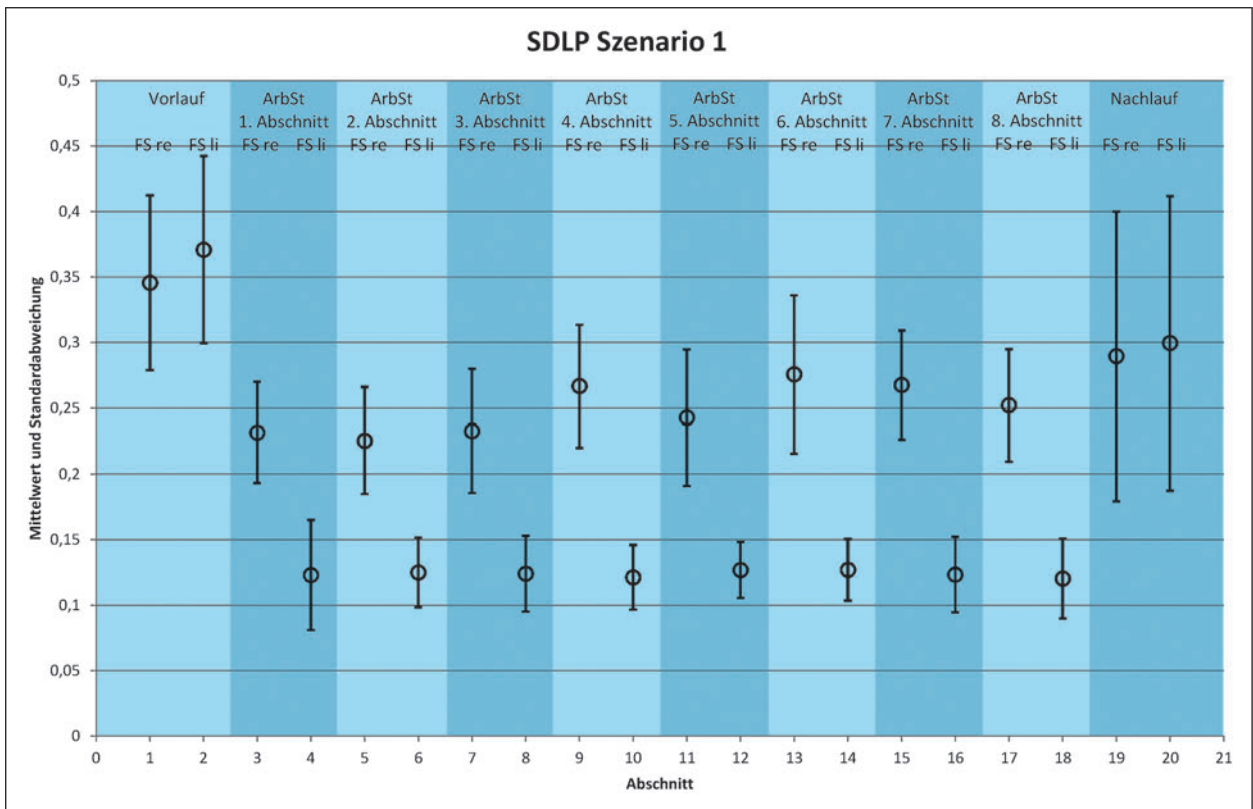


Bild 82: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 1

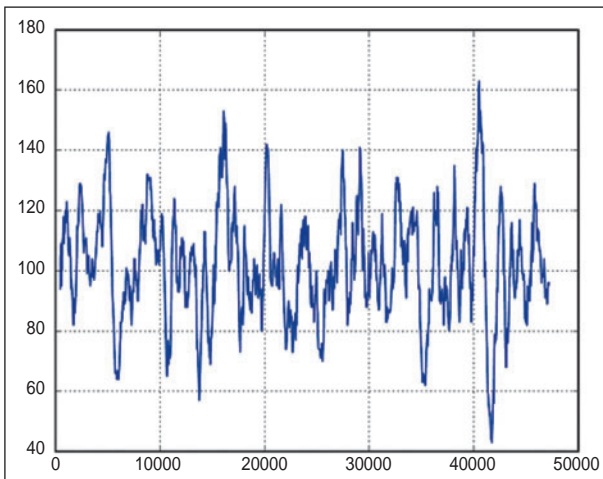


Bild 83: Exemplarischer Auszug aus der Analyse der Blickbewegungen eines Probanden (jeder fünfzigste Wert >10 Pixel innerhalb der letzten 20 Sekunden, Y-Achse) zur Wegstrecke (X-Achse) in Szenario 1

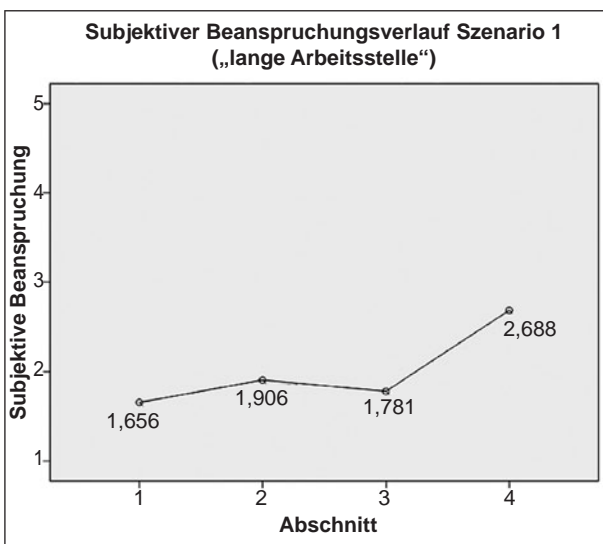


Bild 84: Belastungsverlauf während der Durchfahrt von Szenario 1

chung vor ($M=1.85$, $SD=.55$). Die maximale Beanspruchung über alle Probanden hinweg ist mit 3.00 als moderat einzustufen.

Den Belastungsverlauf während der Durchfahrt von Szenario 1 stellt Bild 84 dar.

Das Bild zeigt einen leichten Anstieg der subjektiven Beanspruchung über die Zeit. Dieser Anstieg wird statistisch allerdings nicht signifikant.

7.1.6 Nebenaufgabe

Im rechten Teil der Tabelle 10 sind die deskriptiven Statistiken für die Nebenaufgabe aufgeführt. Ausgewertet werden hier die Fehler, die bei der Additionsaufgabe auftreten.

Für die Nebenaufgabe in Szenario 1 liegen mit $N=30$ etwas weniger Versuchspersonen vor, als in der Beanspruchungsaufgabe. Diese Differenz kommt durch fehlende Videoaufnahmen zustande, weshalb die Daten für die Fehler beim Zählen vereinzelt fehlen. Die Beanspruchung hingegen wurde zusätzlich vom Versuchsleiter aufgezeichnet und ist somit noch auswertbar. Es werden in Szenario 1 insgesamt sechs Zählaufgaben präsentiert. Als Fehler gilt eine falsche Berechnung der Dreierkette, Folgefehler werden nicht als zusätzlichen Fehler gewertet. Somit ergibt sich für dieses Szenario, dass die Fehler im Mittel bei $M=.13$ ($SD=.20$) liegen. Das mittlere Maximum befindet sich bei $MaxFehler=.83$.

Betrachtet man den Fehlerverlauf über die Gesamtzeit des Durchfahrens des Szenarios, so findet man keinen signifikanten Trend, d.h. die Fehler steigen nicht systematisch und sinken auch nicht systematisch. Insgesamt ist das Fehlerniveau sehr niedrig.

	N Beanspruchung	M Beanspruchung	SD Beanspruchung	Max Beanspruchung	N Fehler	M Fehler	SD Fehler	Max Fehler
Szenario 1	32	1.85	.55	3.00	30	.13	.20	.83
Szenario 2A	16	2.15	.76	3.54	13	.06	.05	.20
Szenario 2B	19	2.25	.64	3.69	17	.20	.33	1.24
Szenario 3A	6	2.10	.50	2.57	6	.10	.12	.31
Szenario 3B	7	2.37	.69	3.57	7	.21	.16	.46
Szenario 3C	6	2.33	.35	2.86	5	.14	.14	.38
Szenario 4A	6	2.21	.64	3.43	5	.22	.13	.31
Szenario 4B	7	2.08	.55	2.57	7	.19	.15	.38
Szenario 4C	6	2.26	.52	3.29	6	.26	.37	1.00

Tab. 10: Deskriptive Statistiken für die Beanspruchung und Fehler in der Nebenaufgabe

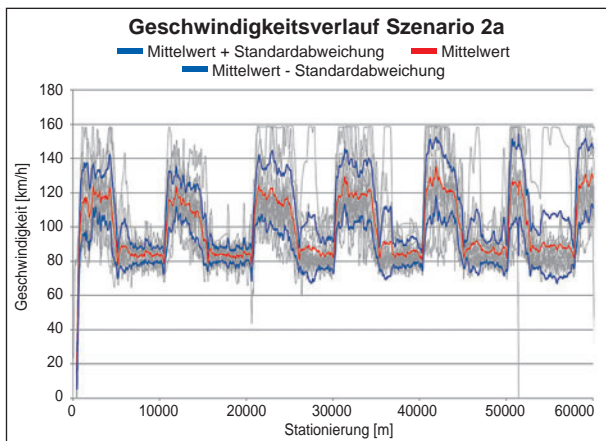


Bild 85: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 2a

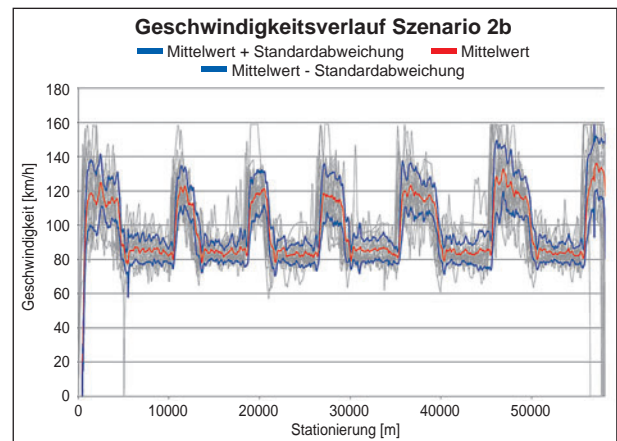


Bild 86: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 2b

7.2 Szenario 2

Im zweiten Szenario wird eine gestaffelte Arbeitsstelle mit sechs Einzelarbeitsstellen simuliert. In Szenario 2a (N=17) durchfahren die Probanden zuerst drei lange und danach zwei kurze Beruhigungsstrecken, in Szenario 2b (N=19) sind es erst drei kurze und dann zwei lange Beruhigungsstrecken.

7.2.1 Geschwindigkeiten

Bei der Geschwindigkeitsauswertung für die Szenarien 2a und 2b zeigt sich, dass mit der fortgeschrittenen, wenn auch unterbrochenen, Dauer des Versuches die zulässigen Geschwindigkeiten in den Arbeitsstellen häufiger überschritten und die Geschwindigkeiten in den Beruhigungsstrecken inhomogener sind und häufiger sehr hohe Geschwindigkeiten gefahren werden (vgl. Bild 85 und Bild 86).

Jedoch sind in Szenario 2a bereits ab der zweiten Beruhigungsstrecke höhere Geschwindigkeiten festzustellen als in Szenario 2b. Des Weiteren kann an den Geschwindigkeitsverläufen über die einzelnen Arbeitsstellen abgelesen werden, dass die zulässigen Geschwindigkeiten im Szenario 2b deutlich besser eingehalten werden, als in Szenario 2a.

7.2.2 Standardabweichung der lateralen Position

Die Spurhaltung, ausgedrückt durch den SDLP, in Szenario 2a und 2b zeigt, wie schon in Szenario 1 erkennbar, dass der SDLP auf der linken Fahrspur in den Arbeitsstellen deutlich niedriger liegt als auf der rechten und insgesamt in den Arbeitsstellen niedriger als auf den freien Strecken (vgl. Bild 87 - Bild 90). In Szenario 2a lassen sich durchgehend gleichbleibende Werte für den SDLP über alle Arbeitsstellen feststellen. Hingegen kann in Szenario

2b ein Anstieg des SDLP auf der rechten Fahrspur in den Arbeitsstellen ab der zweiten Arbeitsstelle festgestellt werden (vgl. Bild 90).

Die Werte für die SDLP sind hingegen in den Beruhigungsstrecken nahezu identisch auf hohem Niveau. Hier scheint die Länge der Beruhigungsstrecke keinen Einfluss zu haben. Auch kann kein Anstieg oder Sinken der Werte über die gesamte Fahrt festgestellt werden.

7.2.3 Blickbewegung

Auch für die Szenarien 2a und 2b können in dieser Berichtsversion tendenzielle Aussagen bezüglich der Blickbewegung gemacht werden. So lassen sich über den kompletten Streckenverlauf tendenziell doppelt so viele Blickwechsel in der Überführung zu einer Arbeitsstelle feststellen, als in der Arbeitsstelle selbst und auf der freien Strecke. Die Ursache hierfür kann zum einen mit der Gestaltung der Überführung erklärt werden und zum anderen über die Nebenaufgabe, die den Probanden direkt vor der Überführung gestellt wird.

7.2.4 Pupillometrie

Die Veränderungen der Pupillengröße in Szenario 2a und 2b treten zwar tendenziell sehr regelmäßig in beiden Szenarien auf, jedoch nicht zu bestimmten Streckenabschnitten oder genau während den Nebenaufgaben. Somit können (vorerst) keine Rückschlüsse von den Peaks auf die Wirkung der Arbeitsstellengestaltung gemacht werden. Möglicherweise hängen die zahlreichen Veränderungen der Pupille und gerade die Peaks in sehr unterschiedlichen Streckenabschnitten mit dem simulierten Verkehr zusammen. Beanspruchende Überhol-

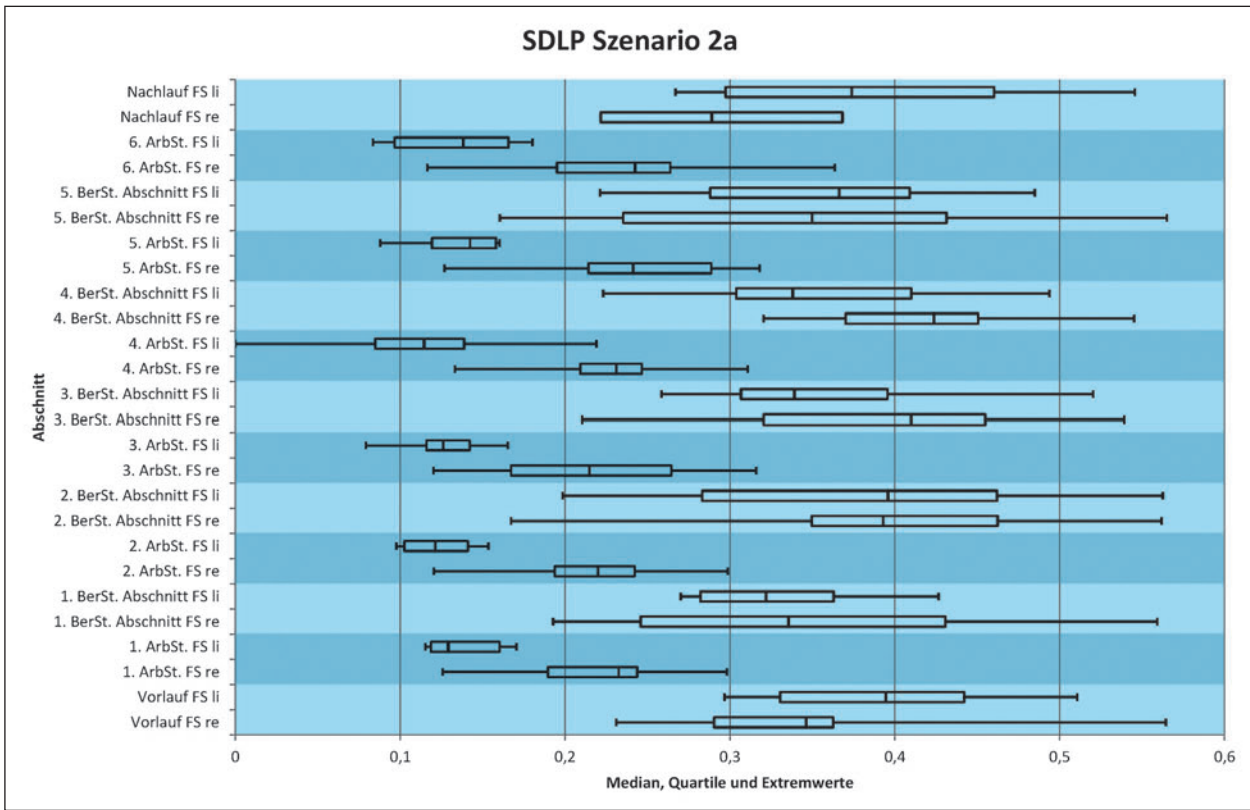


Bild 87: SDLP Box-Plot Szenario 2a

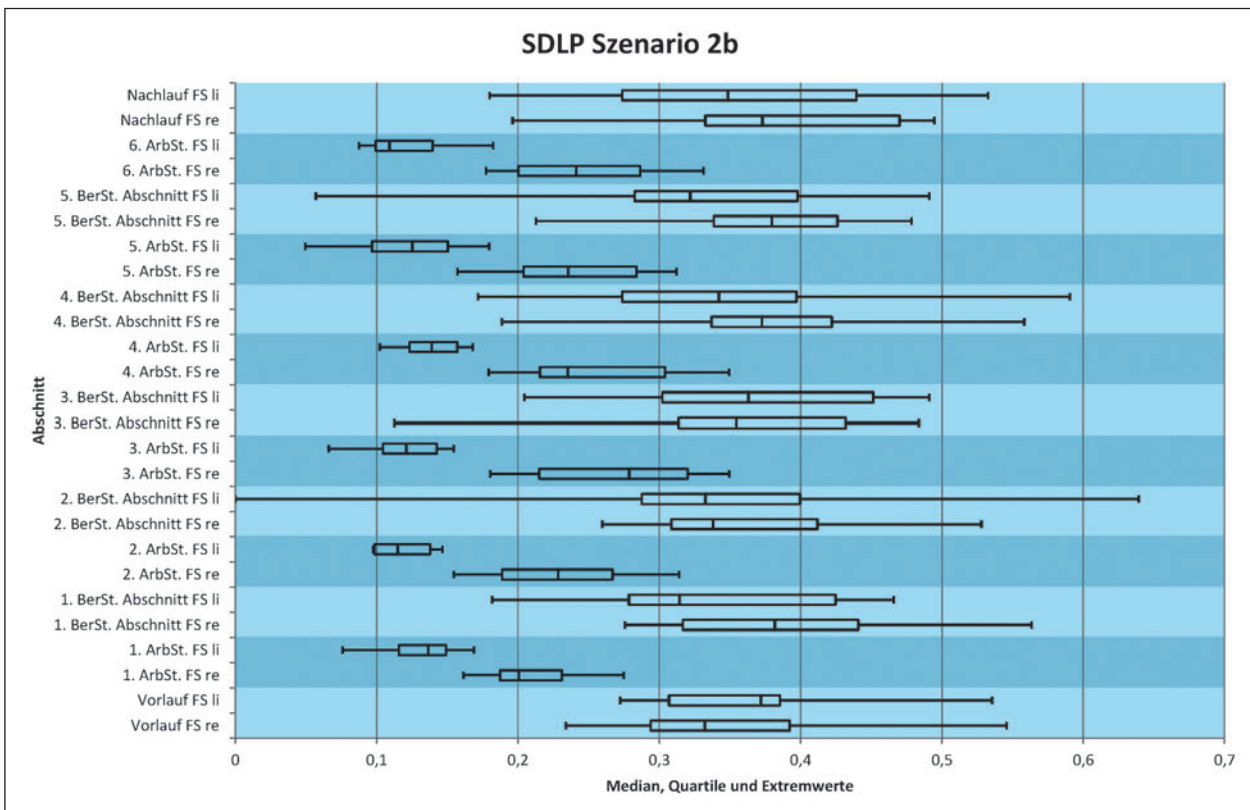


Bild 88: SDLP Box-Plot Szenario 2b

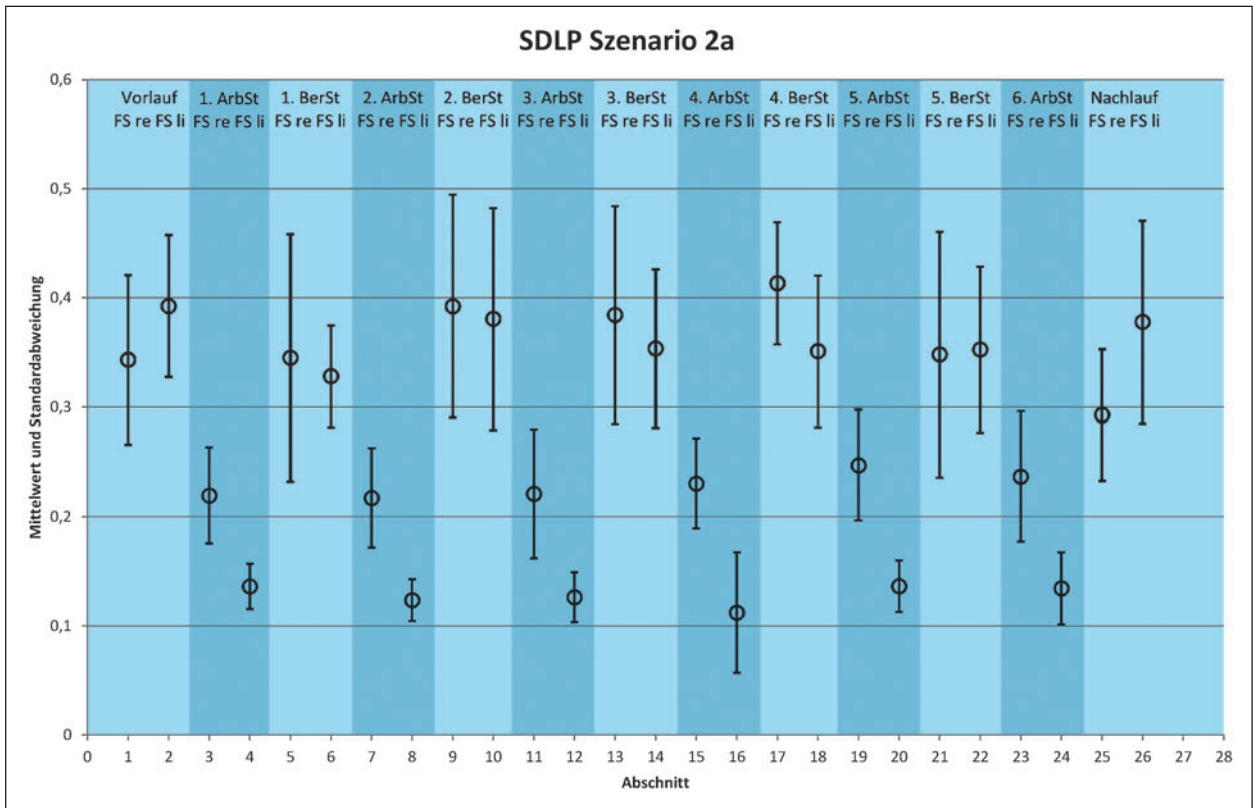


Bild 89: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 2a

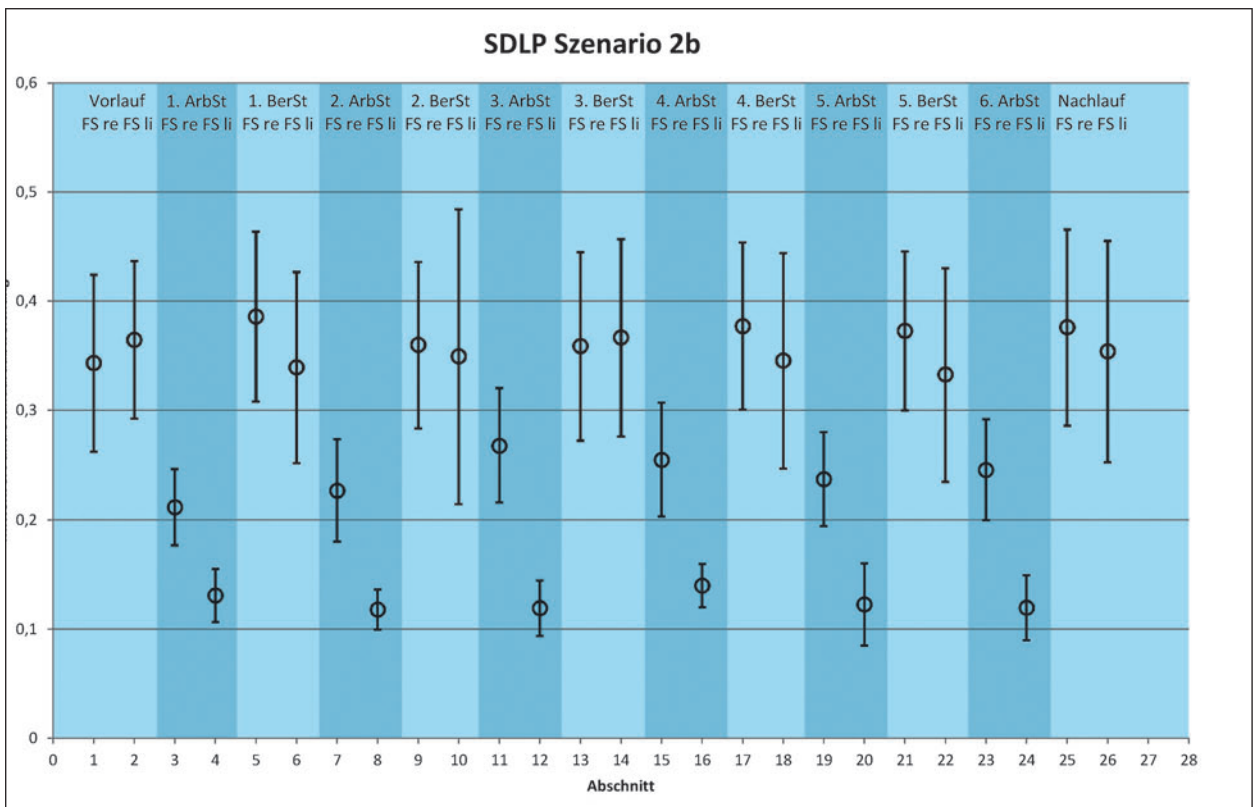


Bild 90: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 2b

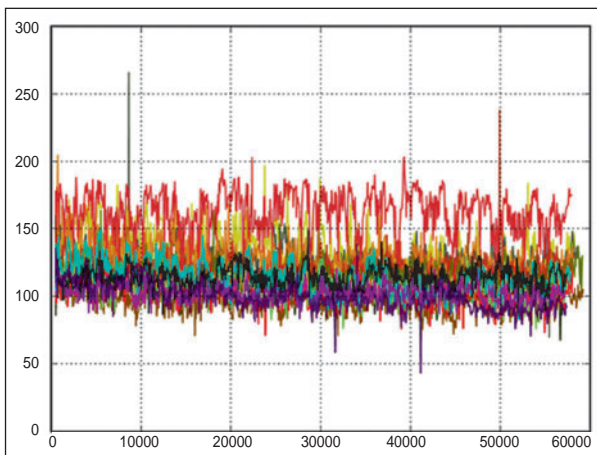


Bild 91: Exemplarischer Auszug aus der Analyse der Pupillenweite (Größe der rechten Pupille im Verhältnis zur mittleren Größe der Pupille während der Kalibrierung als Baseline in Prozent, Y-Achse) in einem Liniendiagramm über die Strecke in Metern (X-Achse) über alle Probanden von Szenario 2b

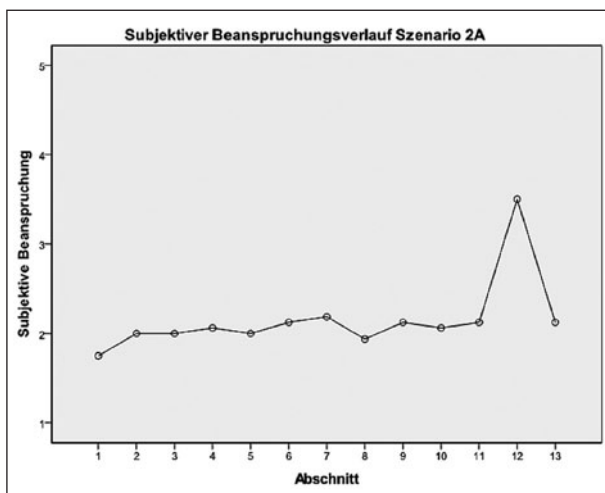


Bild 92: Belastungsverlauf während der Durchfahrt von Szenario 2a

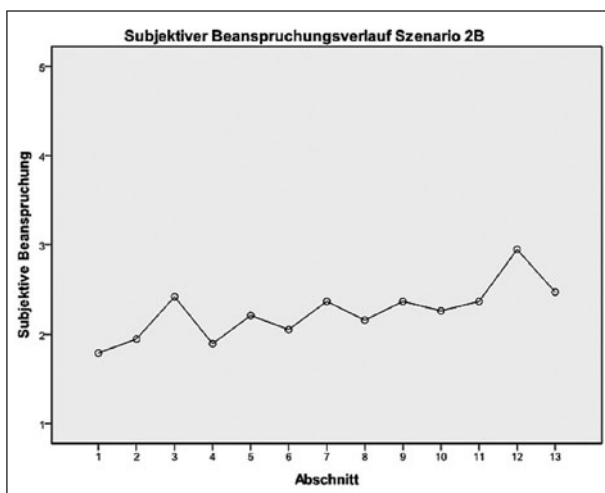


Bild 93: Belastungsverlauf während der Durchfahrt von Szenario 2b

manöver könnten beispielsweise diese Wirkung haben (vgl. Bild 91).

7.2.5 Beanspruchungsabfrage

Szenario 2 unterteilt sich in die Szenarien 2a und 2b. In Szenario 2a liegen N=16 Fälle für die Beanspruchung vor, wohingegen Szenario 2b N=19 umfasst (siehe Tabelle 10). In beiden Szenarien finden über den gesamten Verlauf 13 Beanspruchungsabfragen statt. Die mittlere Beanspruchung ist für die beiden Szenarien mit $M=2.15$ ($SD=.76$) für Szenario 2a und $M=2.25$ ($SD=.64$) für Szenario 2b ähnlich. Mit Blick auf Szenario 2a kann im Vergleich zu allen anderen Szenarien die höchste Standardabweichung zur mittleren Beanspruchung konstatiert werden. Die maximale Beanspruchung beider Szenarien befindet sich mit $MaxBeanspruchung=3.54$ in Szenario 2a und $Max=3.69$ in Szenario 2b auf einem vergleichbaren Niveau. Die mittlere Beanspruchung in Szenario 2b stellt damit die höchste mittlere Beanspruchung aller Szenarien dar.

In der Betrachtung des Zeitverlaufes zeigt sich wie in Szenario 1 ein Anstieg der subjektiven Beanspruchung, der statistisch allerdings nicht signifikant ist (vgl. Bild 92).

In Szenario 2b zeigt sich ein signifikanter linearer Trend der subjektiven Beanspruchung dahingehend, dass sie systematisch ansteigt ($F(1)=5.281$; $p<.05$) (vgl. Bild 93).

7.2.6 Nebenaufgabe

Bezüglich Szenario 2 liegen in Szenario 2a wie bei der Beanspruchungsabfrage etwas weniger Daten ($N=13$) als für Szenario 2b ($N=17$) vor (rechte Spalten, Tabelle 10). Die mittlere Anzahl der Fehler ist bei Szenario 2a mit $M=.06$ ($SD=.05$) geringer als bei Szenario 2b ($M=.20$, $SD=.33$) und darüber hinaus die geringste mittlere Fehleranzahl aller durchgeführten Szenarien. Dies spiegelt sich auch im Maximum wider, welches für Szenario 2a mit $MaxFehler=.20$ deutlich geringer ist als für Szenario 2b ($MaxFehler=1.24$). Letzteres stellt dahingegen die größte maximale Fehleranzahl über alle gefahrenen Szenarien dar.

Aufgrund der sehr geringen Fehlerzahlen wird auf eine weitere inferenzstatistische Betrachtung der Fehlerzahlen innerhalb der Szenarien verzichtet.

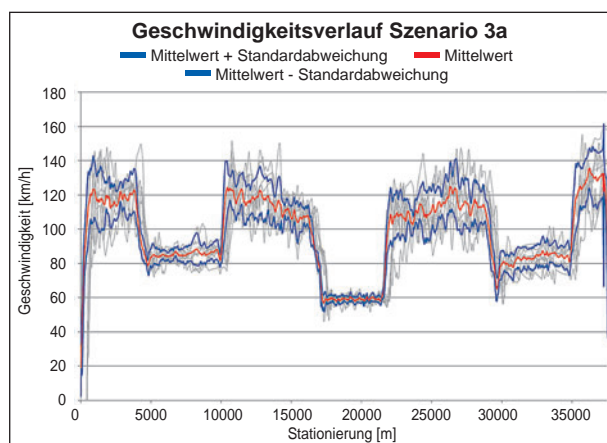


Bild 94: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 3a

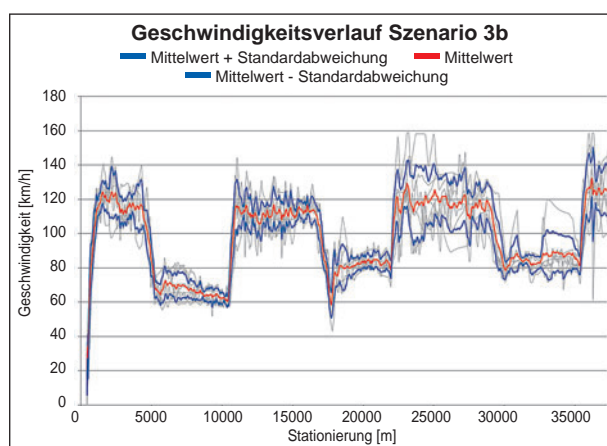


Bild 95: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 3b

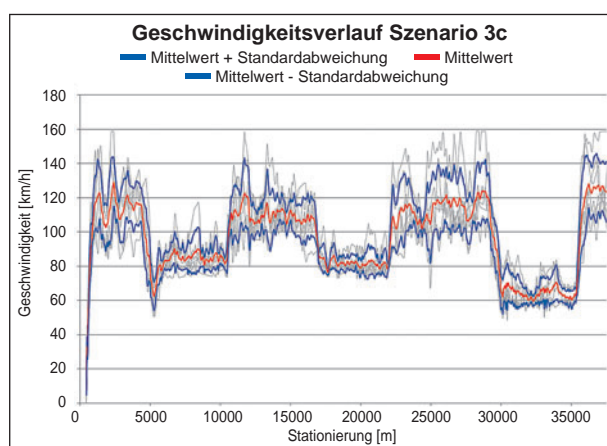


Bild 96: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 3c

7.3 Szenario 3

In Szenario 3 wird eine Arbeitsstelle mittlerer Länge (etwa 6 km) dreimal nacheinander durchfahren, ohne dass die Simulation unterbrochen wird. In den drei Arbeitsstellen werden die zulässigen Geschwin-

digkeiten in drei verschiedenen Varianten angezeigt. In der ersten Variante (Szenario 3a, N=7) ist die zulässige Geschwindigkeit über die gesamte Arbeitsstelleneinrichtung 80 km/h. In Variante zwei (Szenario 3b, N=7) wird die zulässige Geschwindigkeit über die gesamte Arbeitsstelleneinrichtung auf 60 km/h begrenzt und in der dritten Variante (Szenario 3c, N=6) wird im Überleitungsbereich 60 km/h als zulässige Geschwindigkeit angezeigt und im weiteren Verlauf auf 80 km/h angehoben.

7.3.1 Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeitsganglinien des Szenarios 3a zeigen eine gute Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeiten innerhalb der Arbeitsstellen. Vor allem die v_{zul} von 60 km/h in der zweiten Arbeitsstelle werden sehr streng eingehalten. In der zweiten Arbeitsstelle sind auch im Vergleich zu den anderen beiden Arbeitsstellen die Verkehrsstärke, und vor allem der Lkw-Anteil, immer am höchsten (vgl. Bild 94).

In den Szenarien 3b und 3c können in den Arbeitsstellen mit $v_{zul} = 60$ km/h deutlich mehr Überschreitungen festgestellt werden wohingegen in den anderen Arbeitsstellen ein ähnliches Überschreitungs-niveau zum Szenario 3a vorliegt (vgl. Bild 95 und Bild 96). Auch sind in den Szenarien 3b und 3c die Geschwindigkeiten in der zweiten Arbeitsstelle, mit hohem Lkw-Anteil auf der rechten Spur, nicht mehr so homogen wie in Szenario 3a. Hier werden größere Standardabweichungen festgestellt.

7.3.2 Standardabweichung der lateralen Position

Bei der Spurhaltung sind in den Bildern 97 bis 102 zu erkennen, dass in den Arbeitsstellen vor allem auf der linken Fahrspur ein geringerer SDLP vorhanden ist. Der SDLP der rechten Spur in den Arbeitsstellen ist zwar größer als der auf der rechten, jedoch immer noch niedriger als alle SDLP auf der freien Strecke. Die höchsten SDLP-Werte sind in den Vorlauf- und Nachlaufstrecken festzustellen. Lediglich der SDLP auf der rechten Spur im Nachlauf bei den Szenarien 3b und 3c (vgl. Bild 98 und Bild 99) ist niedriger als in den Zwischenstrecken.

Wie schon in den Geschwindigkeitsganglinien festgestellt, ist das Szenario 3a im Vergleich zu den Szenarien 3b und 3c deutlich homogener im Fahrstil der einzelnen Probanden. Hier lassen sich auch

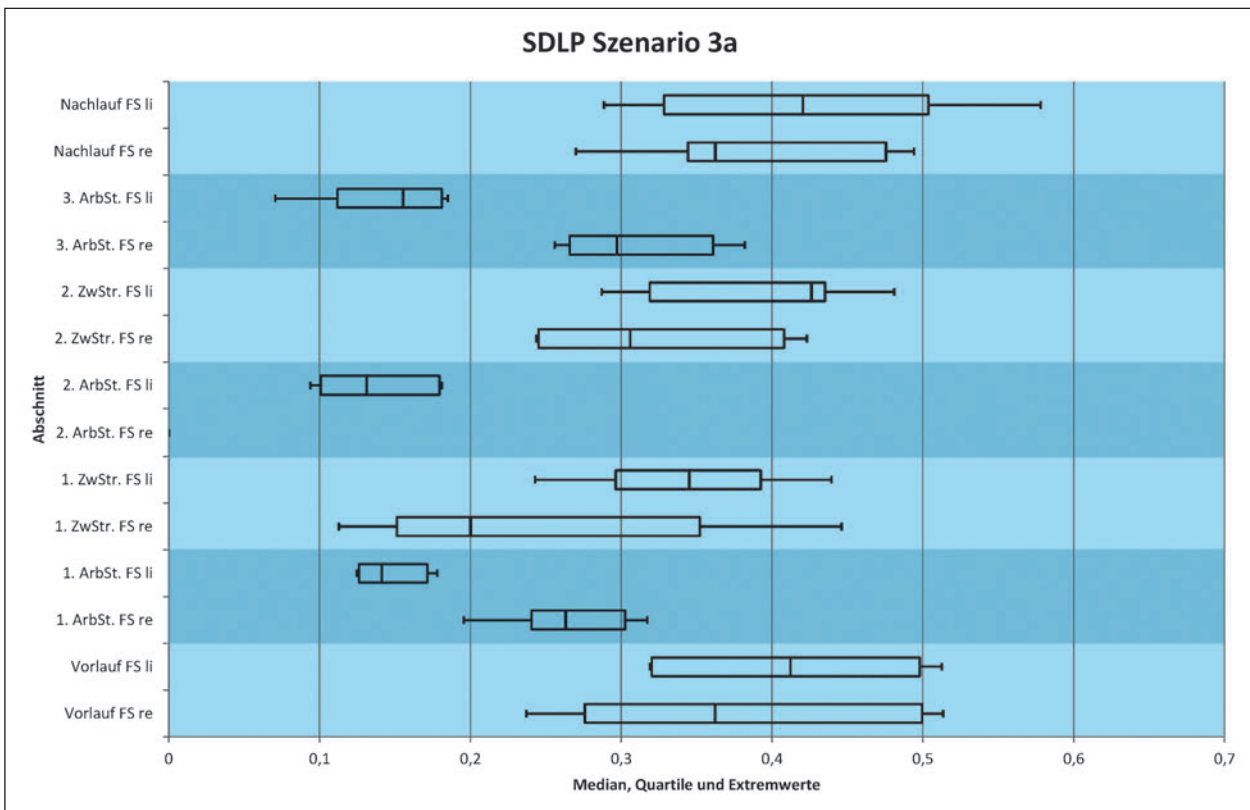


Bild 97: SDLP Box-Plot Szenario 3a

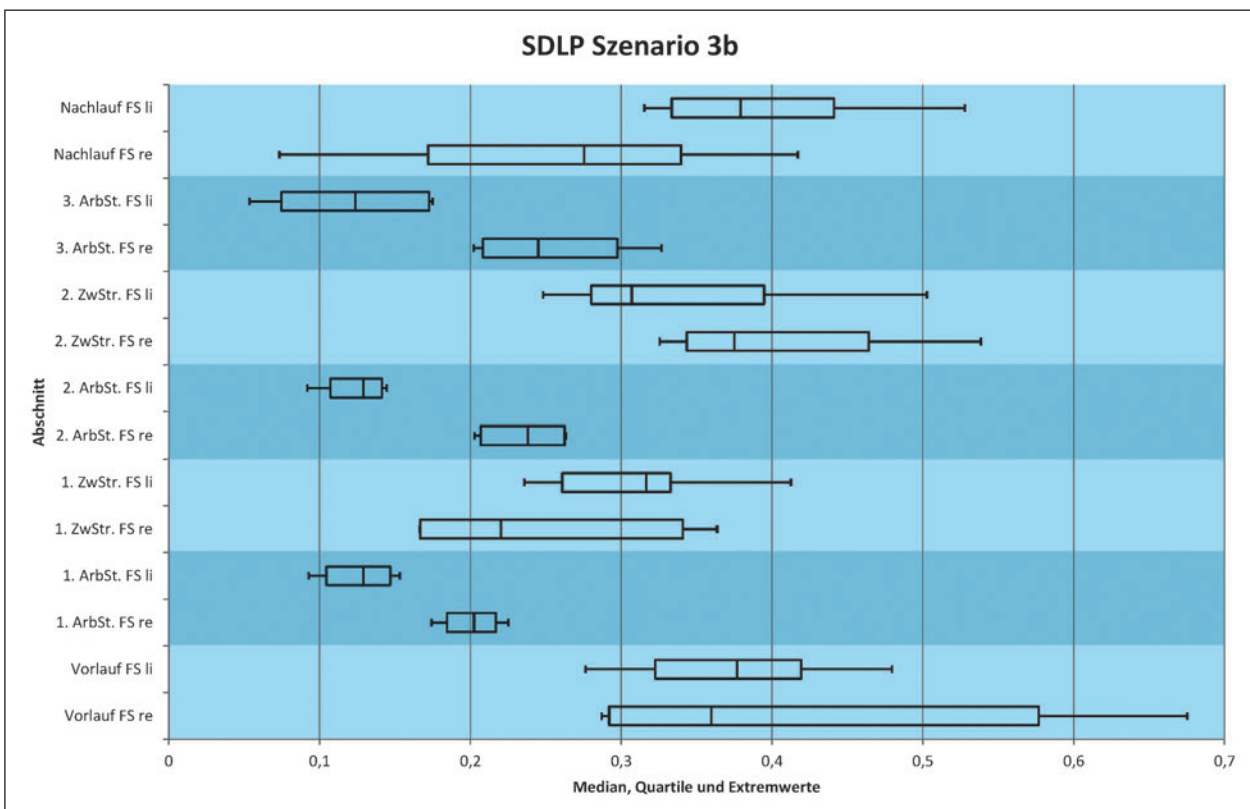


Bild 98: SDLP Box-Plot Szenario 3b

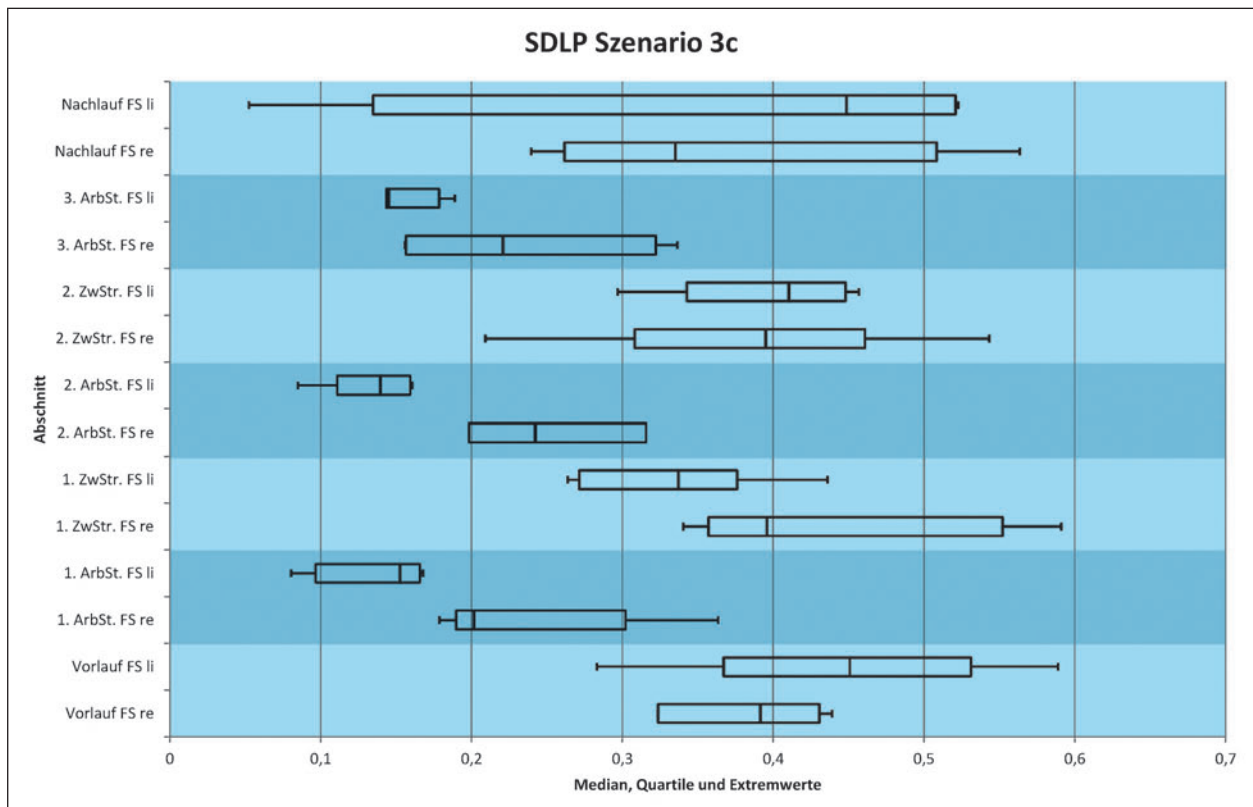


Bild 99: SDLP Box-Plot Szenario 3c

deutlich die Arbeitsstellen und die freien Strecken voneinander abgrenzen.

In den Szenarien 3b und 3c ist das Fahrverhalten wesentlich unruhiger und, außer bei den linken Fahrstreifen in den Arbeitsstellen, nicht so deutlich voneinander abgrenzbar.

Bei der Wahl der Geschwindigkeitstrichter lässt sich erkennen, dass die ruhigste Fahrweise der Probanden in der Arbeitsstelle zu beobachten ist, die durchgehend mit 60 km/h befahren werden darf. Hier sind, außer in Szenario 3c, die niedrigsten SDLP-Werte zu verzeichnen. In Szenario 3c ist der höhere Wert darauf zurückzuführen, dass die Probanden diese Variante als letztes in diesem Szenario durchfahren und sich bereits an die Arbeitsstellen und die Umgebung gewöhnt haben. Zudem ist in diesem Teil des Szenarios der Schwerverkehrsanteil durch die Simulation bedingt am geringsten. Die Probanden müssen somit nicht mehr so häufig überholen.

Bei den anderen Varianten der Geschwindigkeitstrichter, ist kein wesentlicher Unterschied in der Spurhaltung erkennbar.

7.3.3 Abstand zur Mitteltrennung

Bei der Darstellung zum Abstand zur Mitteltrennung wird der Abstand vom Fahrzeug in der Arbeitsstelle bis zur temporären Mitteltrennung in der Arbeitsstelle dargestellt. Die Aufzeichnung des Abstandes wird nur ausgewertet, wenn sich der Proband in der Arbeitsstelle auf dem linken Fahrstreifen befindet.

Eine Auswertung der Abstände findet nur in den Szenarien 3 und 4 statt, da hier die Gestaltung der linken Fahrstreifenbegrenzung geändert wurde und somit die Werte nur von diesen Szenarien zur Auswertung der Hypothesen von Belang sind.

Zu erkennen in den Szenarien 3a bis 3c (vgl. Bild 103 bis Bild 105) ist, dass der größte Anteil der Probanden einen Abstand von über 60 cm einhält. In den Regelwerken wird ein Sicherheitsraum von mindestens 50 cm zu beiden Seiten eingefordert, der von den Probanden auch angenommen wird.

Aus Bild 103 ist zu erkennen, dass im Szenario 3a in der dritten Arbeitsstelle die geringsten Abstände zur Mitteltrennung eingehalten werden. Dies ist die Arbeitsstelle mit einer zulässigen Geschwindigkeit

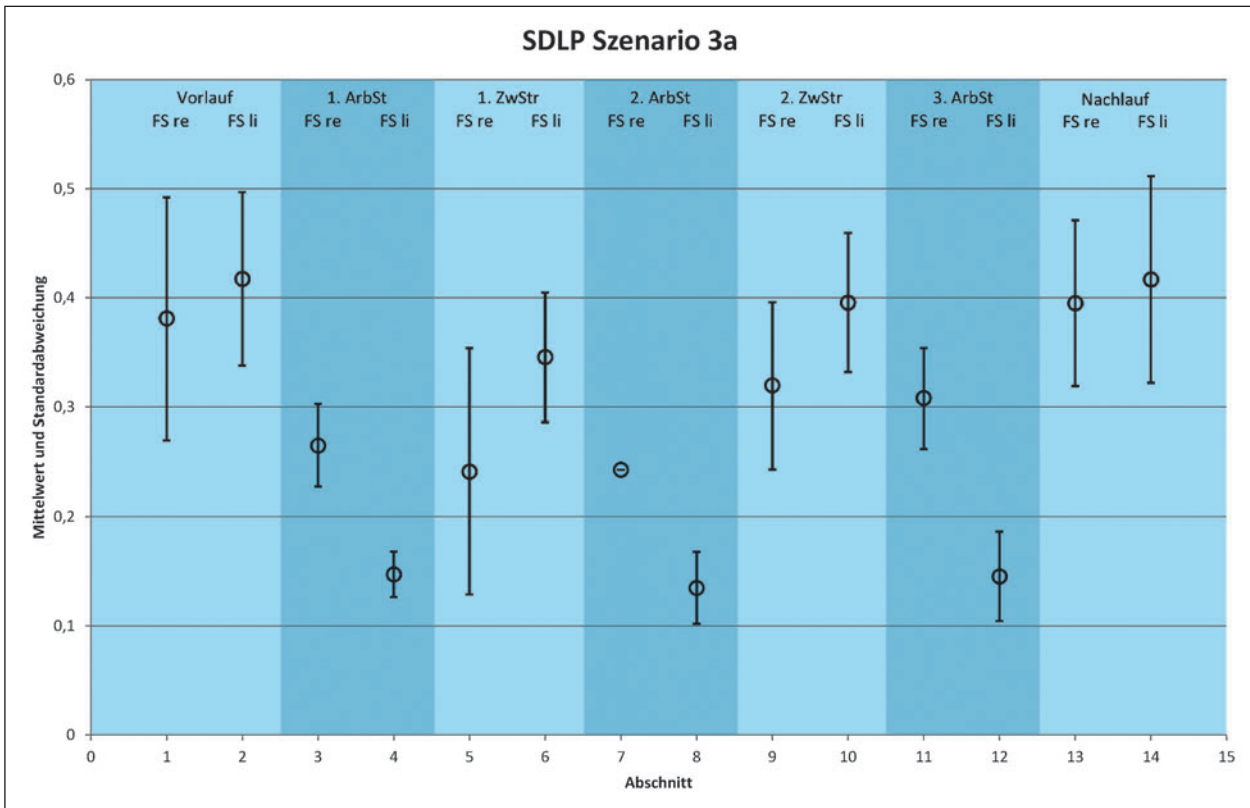


Bild 100: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 3a

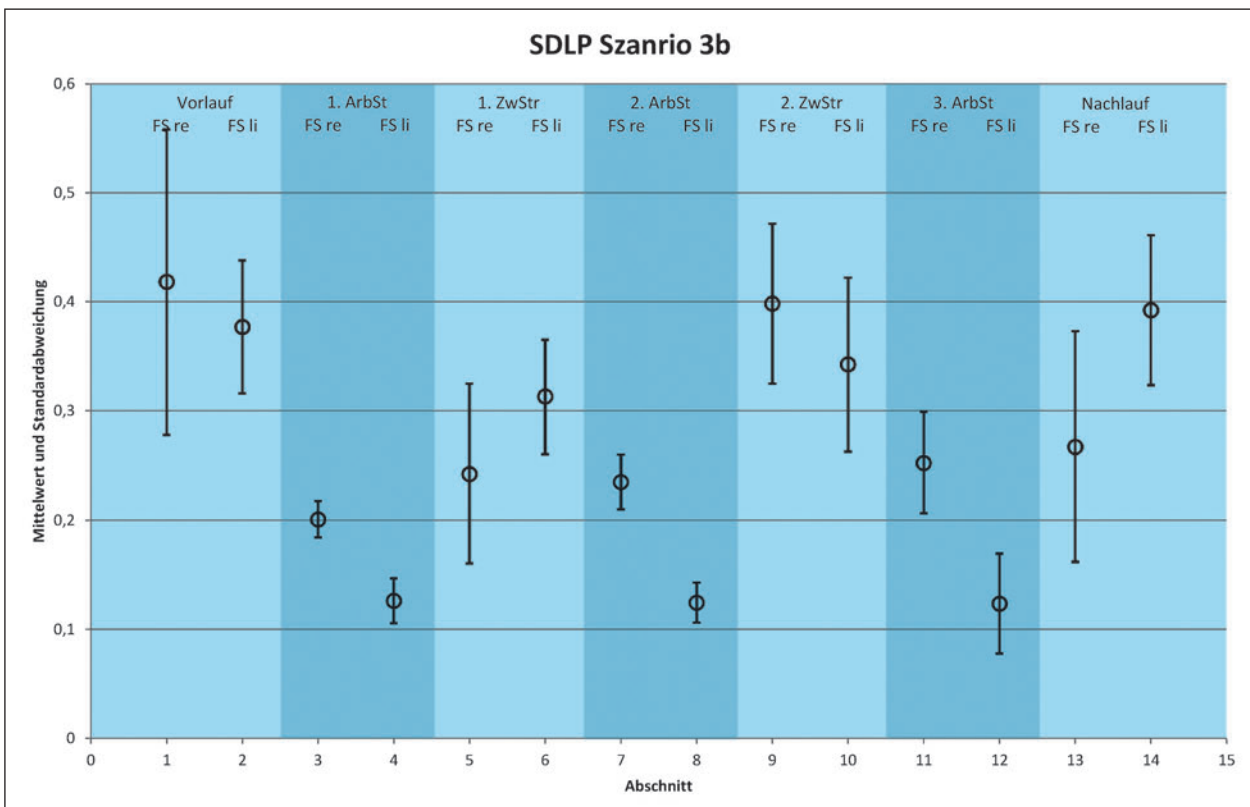


Bild 101: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 3b

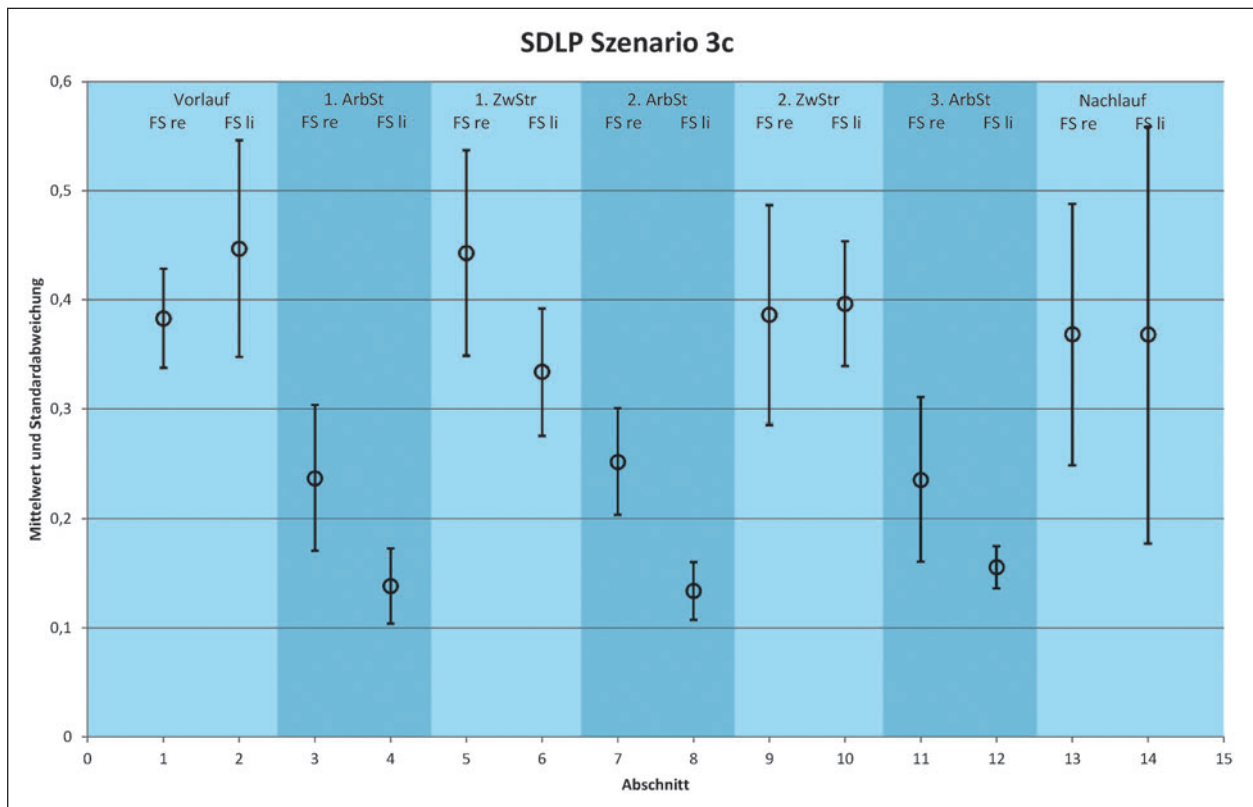


Bild 102: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 3c

von 80 km/h in der Arbeitsstelle und von 60 km/h im Zulauf und der Überleitung. Jedoch hat die erste Arbeitsstelle, welche durchgehend eine Geschwindigkeit von 80 km/h vorsieht, einen höheren Anteil an Probanden, die einen mittleren Abstand von 45 – 75 cm eingehalten haben.

In Szenario 3b ist ebenfalls die erste Arbeitsstelle diejenige mit den geringsten Abständen zur Mittelrennung. Jedoch ist dies hier die Arbeitsstelle mit einer Geschwindigkeitsbeschränkung von durchgehend 60 km/h. Hingegen sind in der Arbeitsstelle 2, mit der Geschwindigkeit 60 km/h in der Überleitung und im Vorlauf und 80 km/h in der Arbeitsstelle selber, die Abstände zwischen 45 cm und 75 cm am häufigsten vertreten (vgl. Bild 104).

Ähnlich zu Szenario 3b sind auch in Szenario 3c die Abstände in der ersten Arbeitsstelle am geringsten. Anders als in Szenario 3b ist hier jedoch auch diese Arbeitsstelle am häufigsten bei den Abstandsklassen bis 75 cm vertreten (vgl. Bild 105).

7.3.4 Blickbewegung

Die Peaks der durchschnittlichen Blickbewegung der Szenarien 3a, 3b und 3c lassen sich kurz vor

den Überföhrungen in die Arbeitsstellen und in den Überföhrungen selbst feststellen. Dabei steigen die Blickbewegungen kurz vor den Überföhrungen um ca. 50 % an. In den Überföhrungen selbst ist die durchschnittliche Blickbewegungsrate dagegen doppelt so hoch. Auch hier ist anzunehmen, dass die Blickbewegungen sowohl mit der Gestaltung der Überföhrung selbst, als auch mit der kurz vorher – sowie in der Überföhrung – gestellten Nebenaufgabe in Zusammenhang stehen.

7.3.5 Pupillometrie

Auch für die Szenarien 3a, 3b und 3c wird die Größe der rechten Pupille im Verhältnis zur mittleren Größe der Pupille während der Kalibrierung (als Baseline) in Prozent (Y-Achse) in einem Liniendiagramm über die Strecke in Metern (X-Achse) aufgetragen. Für den Verlauf der Szenarien zeichnet sich ein relativ undifferenziertes Muster der Veränderung der Größe der rechten Pupille zur Pupillengröße während der Kalibrierung ab. Einzelne Peaks, die auf eine erhöhte Beanspruchung der Probanden hinweisen, sind tendenziell für die Überleitungen im Umfeld der Arbeitsstellen auszumachen (vgl. Bild 106).

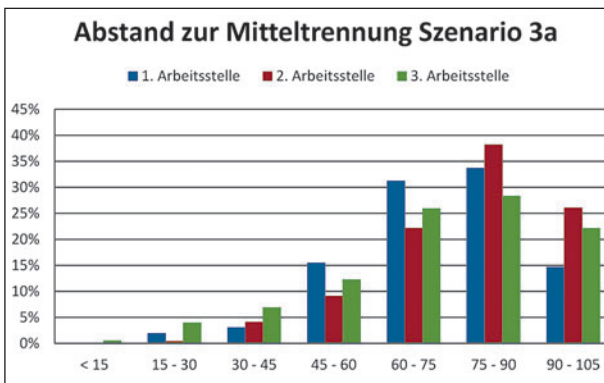


Bild 103: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 3a

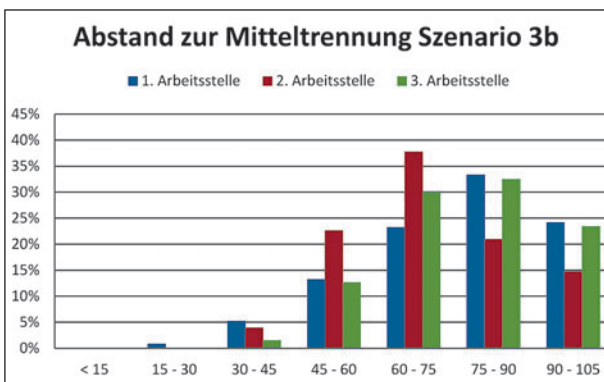


Bild 104: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 3b

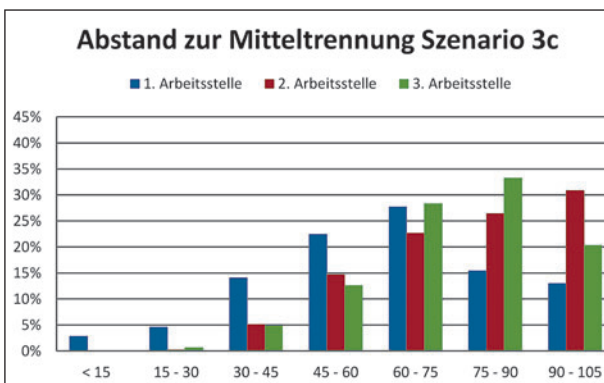


Bild 105: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 3c

7.3.6 Beanspruchungsabfrage

Szenario 3 unterteilt sich hinsichtlich der Beanspruchungsabfrage in die Szenarien 3a (N=6), 3b (N=7) und 3c (N=6). Die mittlere Beanspruchung über alle Probanden fällt in Szenario 3a (M=2.10, SD= .50) im Vergleich zu 3b (M=2.37, SD= .69) sowie zu 3c (M=2.33, SD= .35) gering aus. Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass die mittlere Beanspruchung von Szenario 3b die höchste von allen betrachteten Szenarien ist. Ebenso ist die maximale Beanspruchung in Szenario 3b mit MaxBeanspruchung=3.57 über alle Szenarien als vergleichsweise hoch ein-

stufen, wohingegen die Szenarien 3a (MaxBeanspruchung=2.57) und 3b z.T. eine Stufe niedriger liegen (vgl. Tabelle 10).

Auf eine inferenzstatistische Betrachtung innerhalb der einzelnen Unterszenarien (d. h. Trends) wird wegen der geringen Probandenanzahl verzichtet.

7.3.7 Nebenaufgabe

Die Nebenaufgabe von Szenario 3 weist folgende mittlere Fehler auf: 3a (M= .10), 3b (M= .21) und 3c (M= .14). Bis auf Szenario 3b stellt dies im Gesamtvergleich aller übergeordneten Szenarien geringe Werte dar. Die Standardabweichungen der mittleren Fehler bewegen sich von SD= .13 (Szenario 3c) bis SD= .16 (Szenario 3a) auf einem niedrigen Niveau. Bei den maximalen Fehlern hebt sich Szenario 3b (MaxFehler= .46) nur geringfügig von den anderen beiden Szenarien nach oben ab (vgl. Tabelle 10).

7.4 Szenario 4

Im vierten Szenario wird das Szenario 3 wiederholt. Jedoch wird zusätzlich die farbliche Gestaltung der Mitteltrennung geändert. Hierbei ist der Fußbereich der Mitteltrennung durch eine auffällige gelbe Färbung gekennzeichnet. Die Beanspruchungsabfrage in Szenario 4 unterteilt sich in die folgenden Szenarien und jeweiligen Fälle: 4a (N=6), 4b (N=7) und 4c (N=6). Aufgrund der Färbung des Fußbereiches wird in den Szenarien 4a bis 4c auf die linke temporäre Markierung des linken Behelfsfahrestreifens

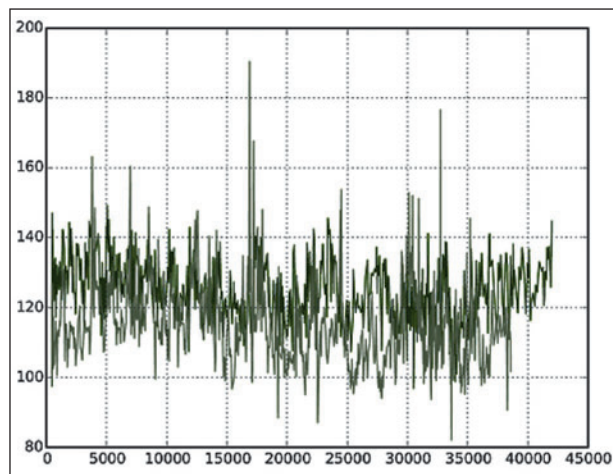


Bild 106: Exemplarischer Auszug aus der Analyse der Pupillenweite (Größe der rechten Pupille im Verhältnis zur mittleren Größe der Pupille während der Kalibrierung als Baseline in Prozent, Y-Achse) in einem Liniendiagramm über die Strecke in Metern (X-Achse) über alle Probanden von Szenario 3c

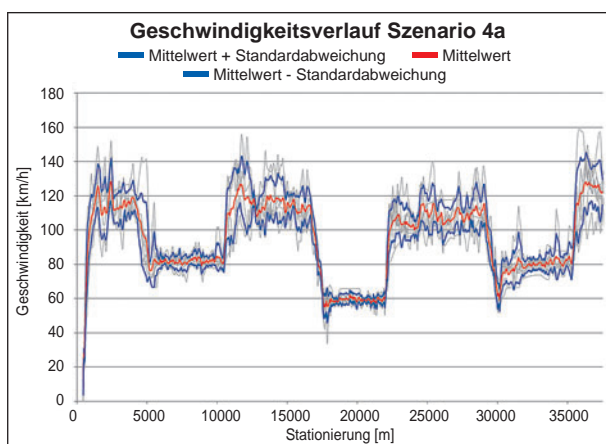


Bild 107: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 4a

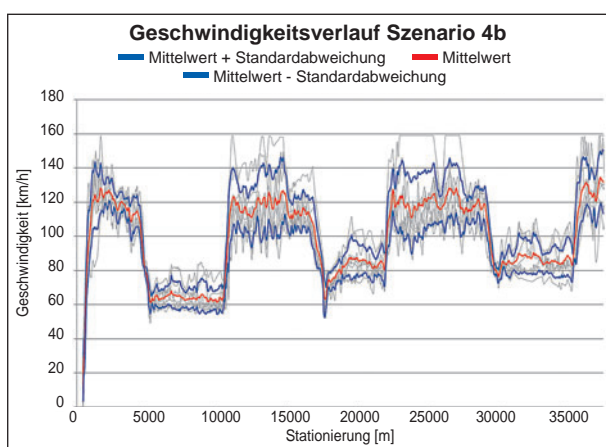


Bild 108: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 4b

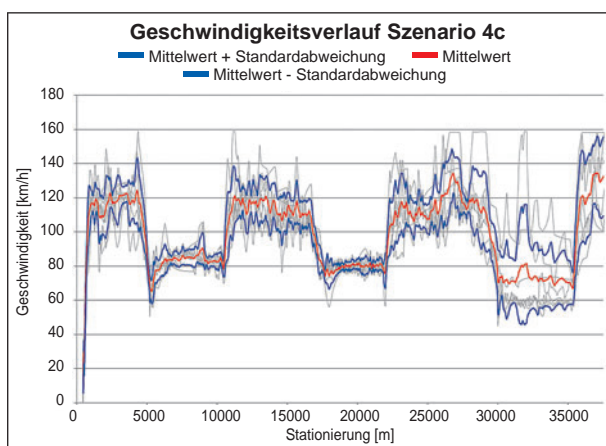


Bild 109: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 4c

verzichtet. Um Gewöhnungseffekten vorzubeugen wurde die Streckenauswahl für die Probanden immer randomisiert.

7.4.1 Geschwindigkeiten

Bei den Geschwindigkeitsganglinien für die Szenarien 4a, 4b und 4c sind die unterschiedlichen zuläs-

sigen Geschwindigkeiten in den einzelnen Arbeitsstellen ebenfalls gut zu erkennen. In Szenario 4a (vgl. Bild 107) ist die Anordnung der Arbeitsstellen nach Geschwindigkeiten für die erste Arbeitsstelle durchgehend 80 km/h, für die zweite Arbeitsstelle 60 km/h und für die dritte Arbeitsstelle erst 60 km/h in der Überleitung und im Vorlauf und 80 km/h in der Arbeitsstelle. Die Geschwindigkeiten in allen Arbeitsstellen können als recht homogen angesehen werden. Lediglich in der letzten Arbeitsstelle sind die Standardabweichungen vom Mittelwert leicht erhöht. Das Geschwindigkeitsverhalten in den Zwischenstrecken von zwei Arbeitsstellen unterscheidet sich kaum in dem von der Annäherung zur ersten Arbeitsstelle. Lediglich der Nachlauf zeigt im Vergleich zu den anderen freien Strecken einen erhöhten Geschwindigkeitsverlauf über die Probanden. Dies kann auch mit dem bevorstehenden Ende der Fahrt zusammenhängen.

Im Szenario 4b (vgl. Bild 108) ist hinsichtlich der freien Strecken kein großer Unterschied zu dem Szenario 4a zu erkennen. Lediglich die Standardabweichungen zu den Mittelwerten der Geschwindigkeiten über alle Probanden sind in Szenario 4b größer. Generell sind auch in den Arbeitsstellen größere Standardabweichungen festzustellen. Wohingegen die Mittelwerte, wie auch in Szenario 4a, sehr gut auf der zulässigen Geschwindigkeit liegen.

In Szenario 4c (vgl. Bild 109) liegen die ersten beiden Arbeitsstellen in den gleichen Geschwindigkeitsbereichen mit dem Mittelwert und der Standardabweichung wie die Arbeitsstellen in den Szenarien 4a und 4b. Lediglich die letzte Arbeitsstelle mit der zulässigen Geschwindigkeit von 60 km/h liegt im Mittelwert deutlich über der zulässigen Geschwindigkeit. Auch die Standardabweichungen der Geschwindigkeiten liegen sehr hoch. Dieser Umstand lässt sich darauf zurückführen, dass für einige Probanden nach zwei Arbeitsstellen mit den Geschwindigkeiten 80 km/h und 60/80 km/h die letzte Arbeitsstelle nicht mehr als gefährlich genug eingestuft wurde und die Geschwindigkeiten deutlich überschritten wurden.

7.4.2 Standardabweichung der lateralen Position

Auffällig an den Werten SDLP für das Szenario 4a (vgl. Bild 110) sind vor allem die hohen Werte für die Arbeitsstellen. Lediglich der Wert für die zweite Arbeitsstelle ist in etwa dem Bereich wie die Werte in den anderen Szenarien 4b und 4c. Wohingegen die Diagramme für die beiden anderen Szenarien

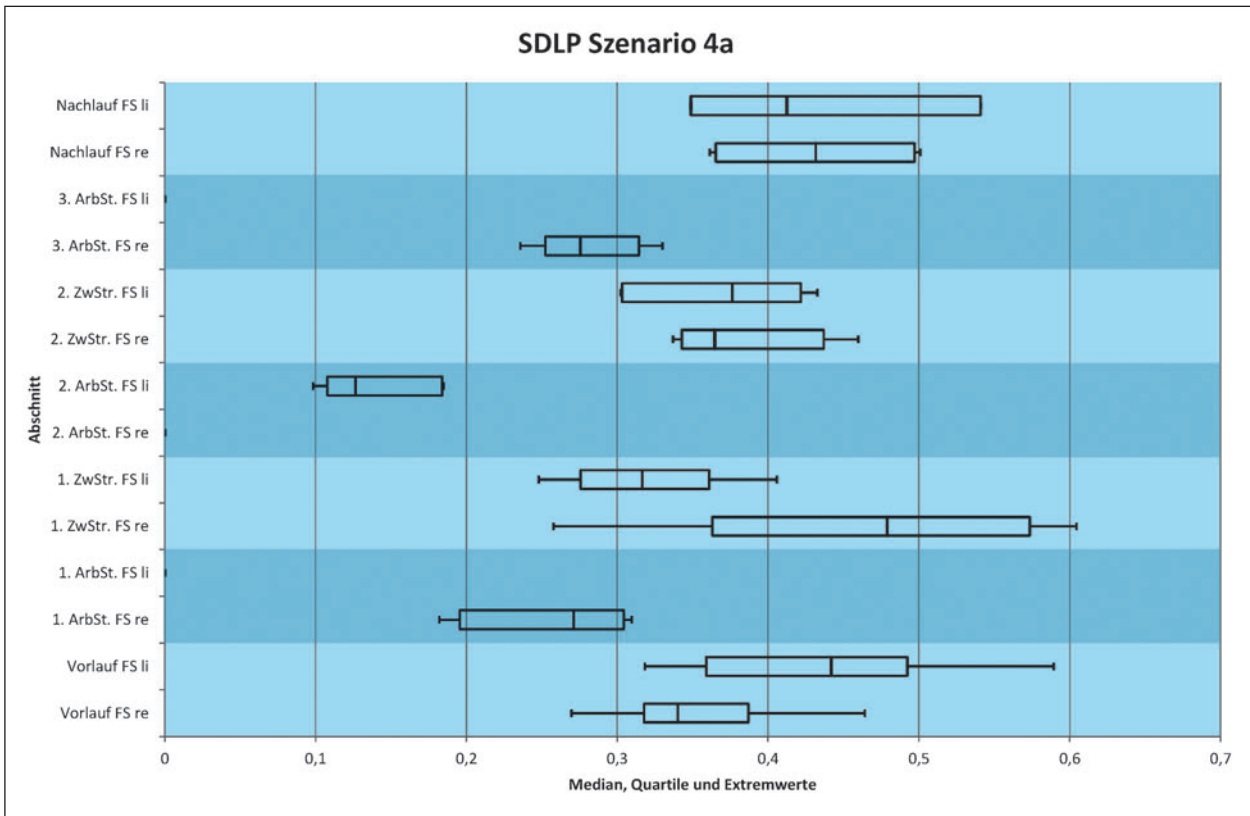


Bild 110: SDLP Box-Plot Szenario 4a

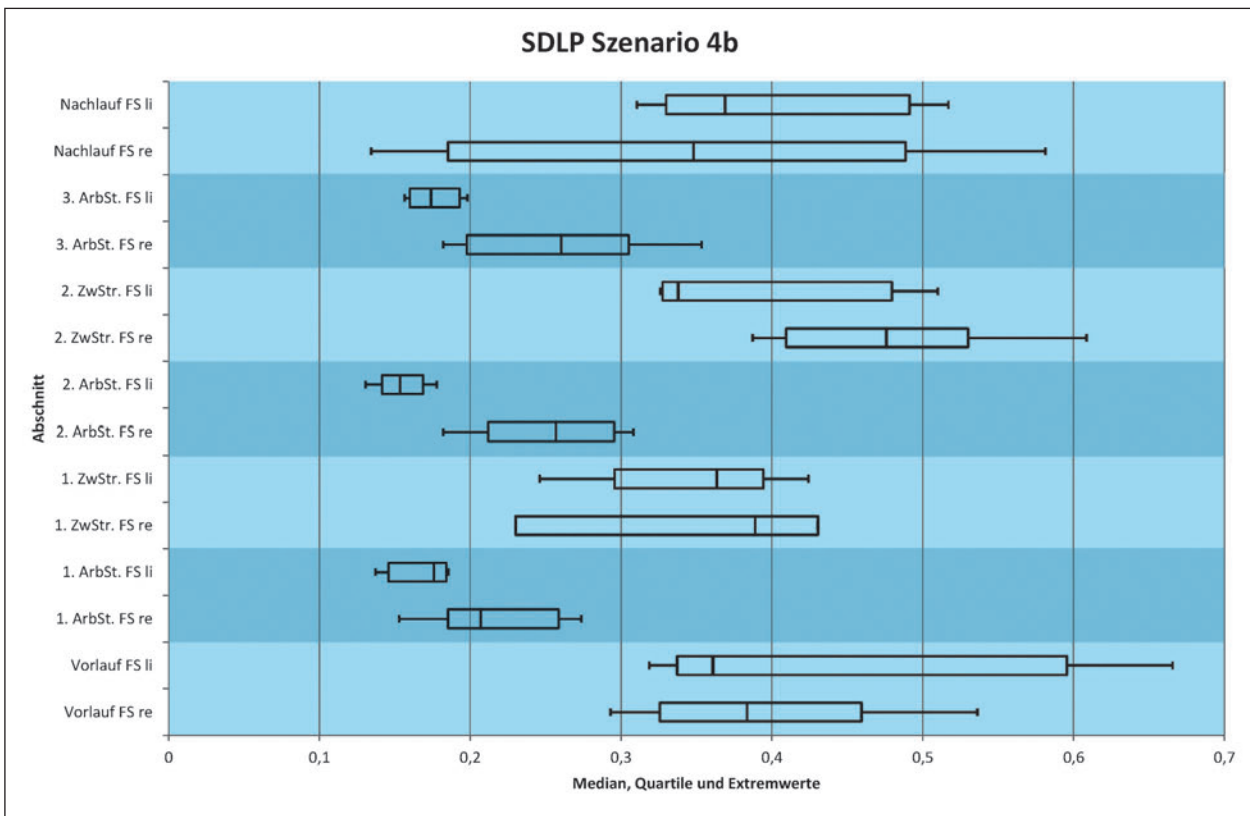


Bild 111: SDLP Box-Plot Szenario 4b

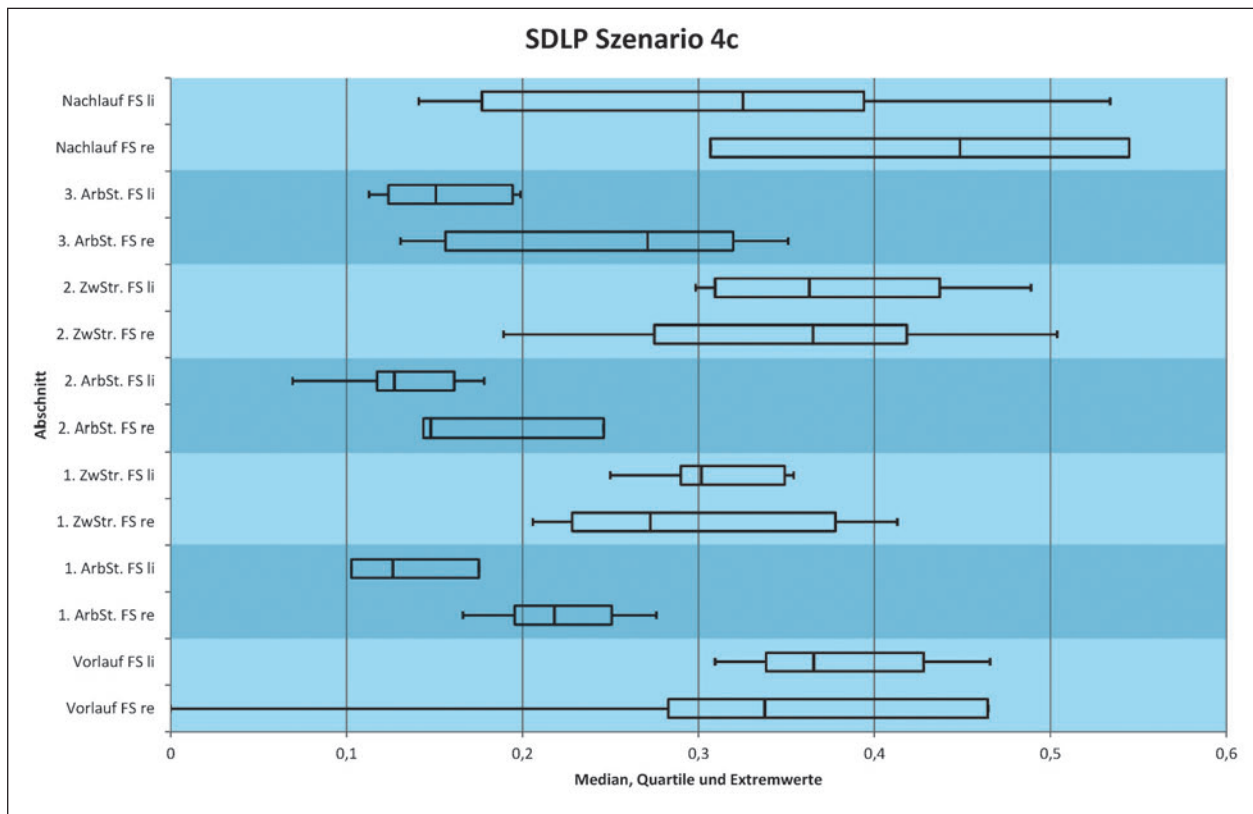


Bild 112: SDLP Box-Plot Szenario 4c

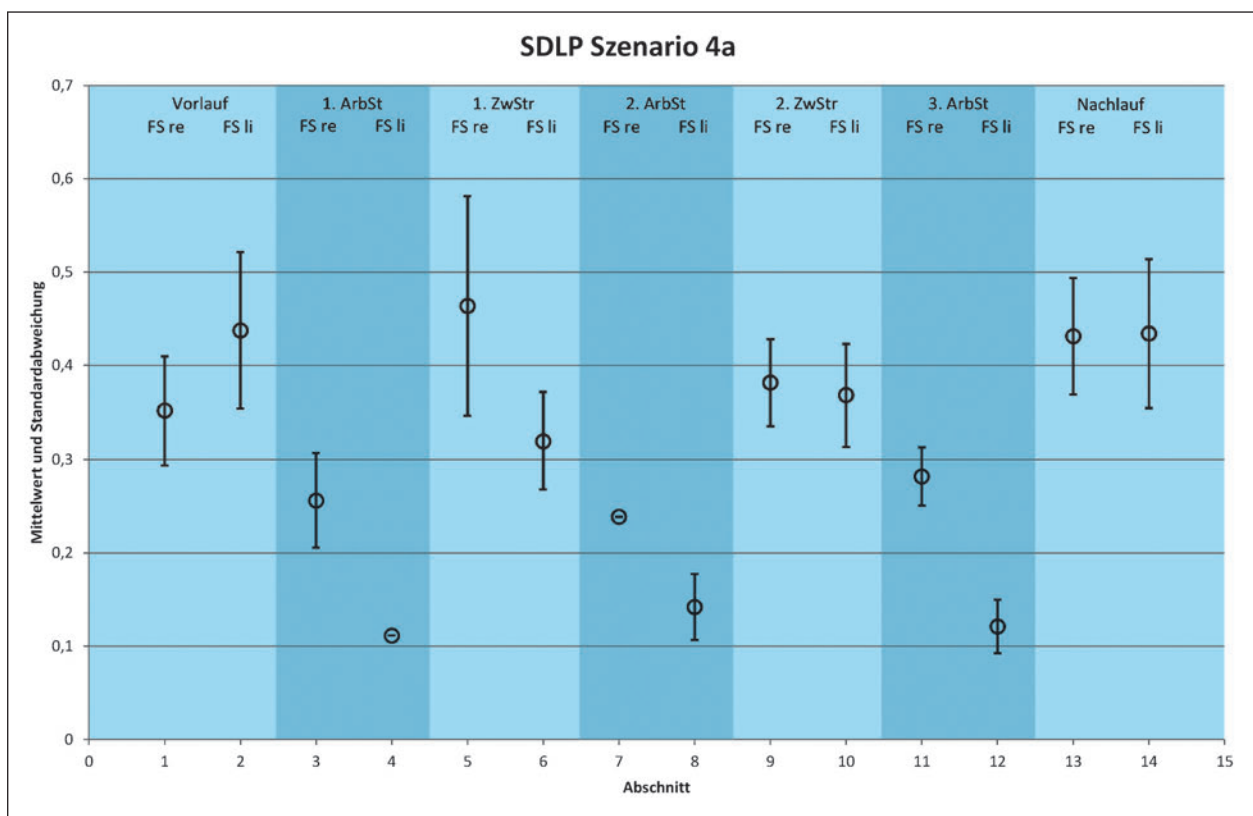


Bild 113: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 4a

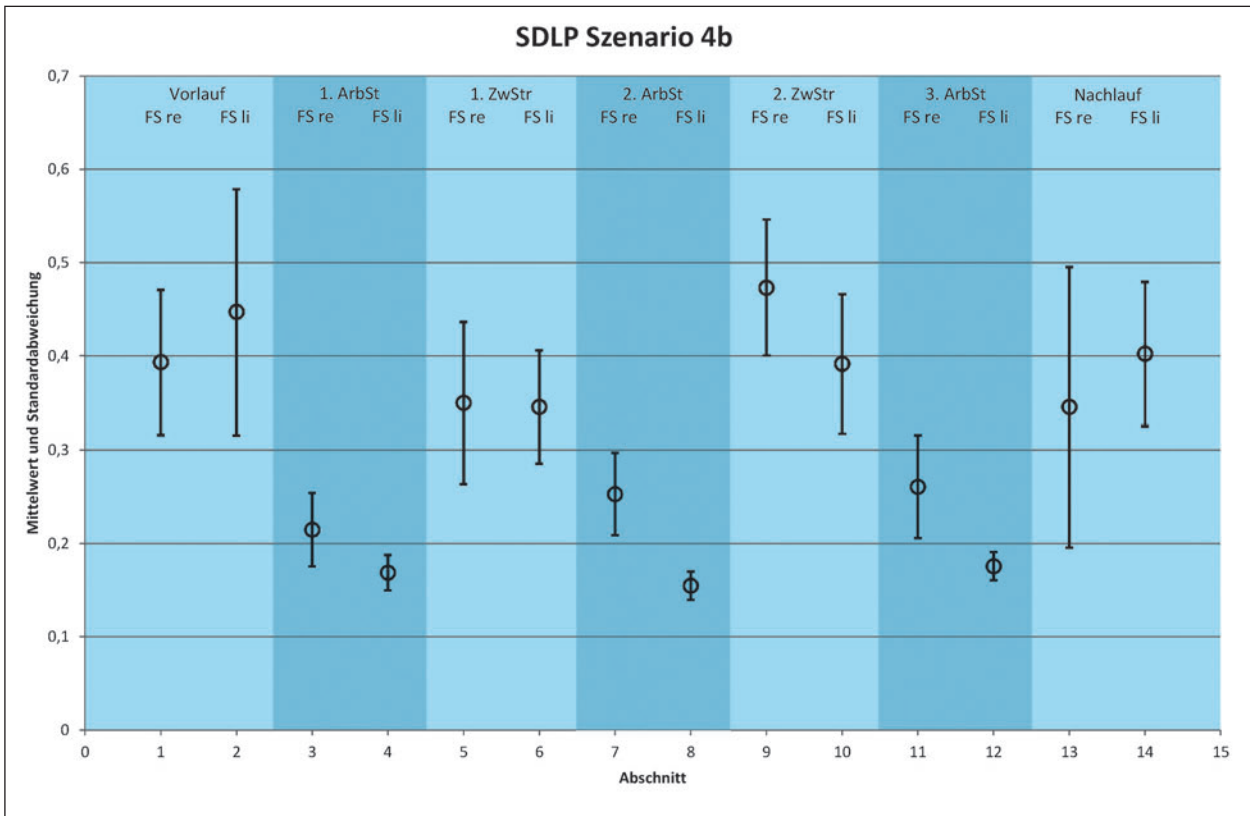


Bild 114: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 4b

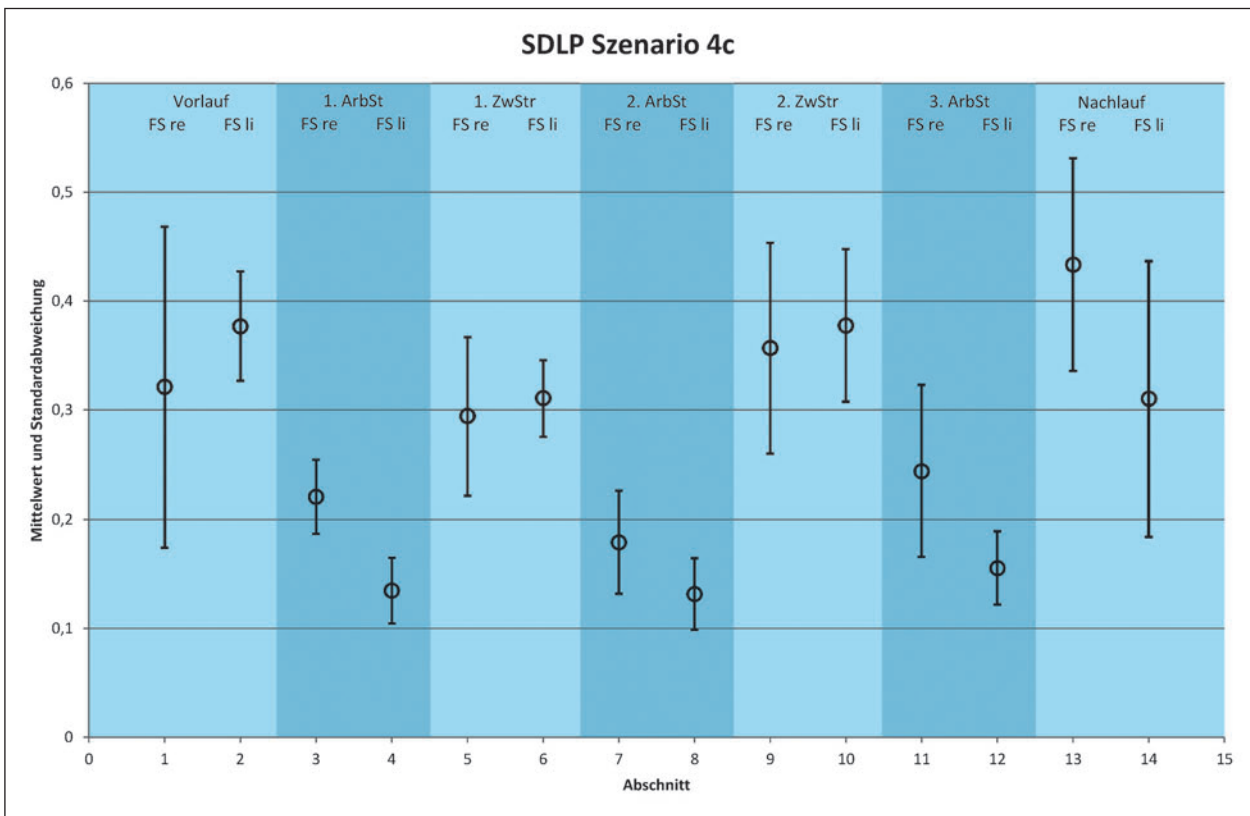


Bild 115: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 4c

(vgl. Bild 111 und Bild 112) wieder die zu erwartenden geringen SDLP-Werte in den Arbeitsstellen und hohen Werte in den freien Strecken zeigen. Auch in der Bild 113 bis Bild 115 zeigt sich die zu erwartenden höheren Werte in den rechten Behelfsfahrstreifen.

7.4.3 Abstand zur Mitteltrennung

Der Abstand zur Mitteltrennung zeigt, dass in der ersten Arbeitsstelle in Szenario 4a keiner der Probanden lange genug auf der linken Behelfsfahrs pur gefahren ist (vgl. Bild 116). Die geringsten Abstände finden sich hier in der dritten Arbeitsstelle mit dem Geschwindigkeitsprofil von 60/80 km/h. Hier brauchen über 70 % der Probanden weniger als 60 cm Abstand. Für Arbeitsstelle 2 (v-Profil durchgehend 60 km/h) liegt dieser Wert bei unter 50 %.

Auch in Szenario 4b hat die zweite Arbeitsstelle (v-Profil 60/80 km/h) den höchsten Anteil an den geringen Abständen (vgl. Bild 117). Die größten Abstände werden hier in der dritten Arbeitsstelle eingehalten (v-Profil durchgehend 80 km/h).

Wie in den beiden anderen Szenarien zeigt sich auch in Szenario 4c, dass die geringsten Abstände in der Arbeitsstelle mit dem Geschwindigkeitsprofil 60/80 km/h zu finden sind (vgl. Bild 118). Jedoch liegen hier in den mittleren Abstandsklassen die beiden ersten Arbeitsstellen nahezu bei den gleichen Anteilen. Lediglich die dritte Arbeitsstelle mit durchgehendem Geschwindigkeitsprofil von 60 km/h liegt hier eher in den oberen Abstandsklassen.

7.4.4 Blickbewegung

Im Vergleich zu den ähnlich aufgebauten Szenarien 3a, 3b, 3c so liegen auch in den Szenarien 4a, 4b und 4c in den Streckenabschnitten kurz vor der Überführung und während der Überführung Peaks in den Blickbewegungen der Probanden vor. In diesen Szenarien unterscheiden sich die Peaks in ihrer Ausprägung jedoch nicht so stark voneinander. Die Blickbewegungsrate ist in beiden Streckenabschnitten ca. 50 % höher als auf freier Strecke. Ein möglicher Grund für den leichten Unterschied zwischen den Szenarien 3 und 4 könnte in der unterschiedlichen Gestaltung der Streckenabschnitte mit Blick auf die farbliche Markierung sein (vgl. Bild 119).

7.4.5 Pupillometrie

Bezüglich der Veränderung der Pupillenweite auf die Wegstrecke, ist eine ähnliche Aussage in den

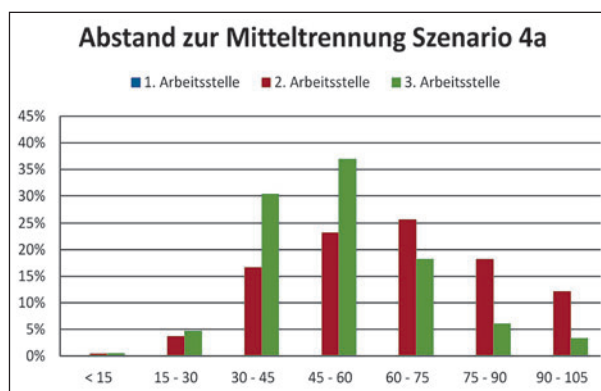


Bild 116: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 4a

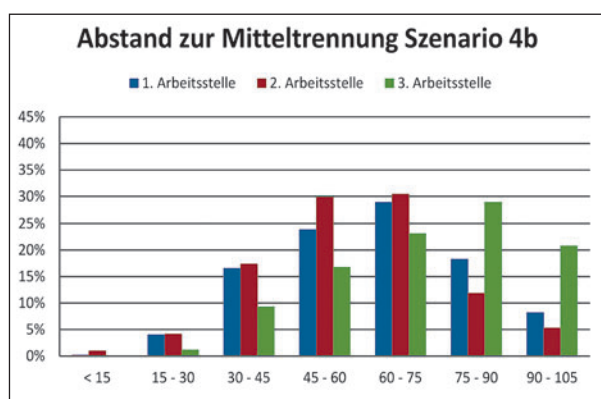


Bild 117: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 4b

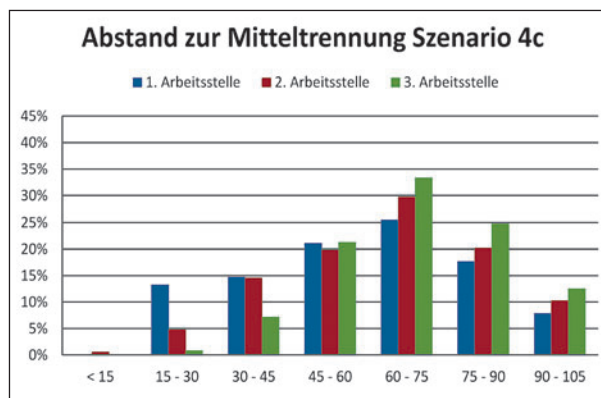


Bild 118: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 4c

Szenarien 4a, 4b und 4c wie in den zuvor beschriebenen Szenarien 3a, 3b und 3c zu erkennen. Ähnlich, wie bei den anderen beiden Szenarien, so zeigen sich auch hier zwar Veränderungen der Pupillengröße, jedoch lassen sich keine eindeutigen Muster für bestimmte Streckenabschnitte feststellen. Einzelne Peaks, die auf eine erhöhte Beanspruchung der Probanden hindeuten, sind tendenziell für die Überleitungen im direkten Umfeld vor und nach den Arbeitsstellen anzunehmen.

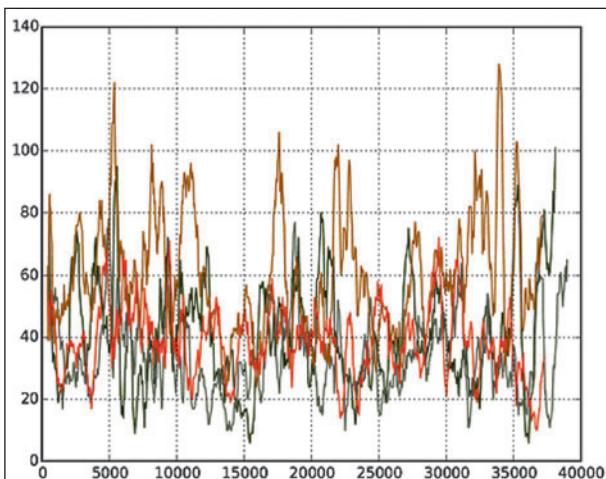


Bild 119: Exemplarischer Auszug aus der Analyse der Blickbewegungen aller Probanden (jeder fünfzigste Wert >10 Pixel innerhalb der letzten 20 Sekunden, Y-Achse) zur Wegstrecke (X-Achse) in Szenario 4b

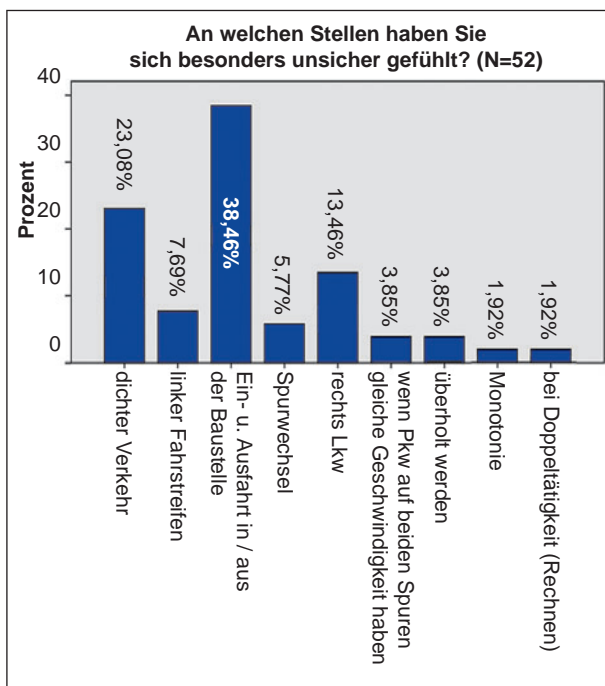


Bild 120: Ergebnis der Frage „An welchen Stellen haben Sie sich besonders unsicher gefühlt?“

7.4.6 Beanspruchungsabfrage

Die Beanspruchungsabfrage in Szenario 4 unterteilt sich in die folgenden Szenarien und jeweiligen Fälle: 4a (N=6), 4b (N=7) und 4c (N=6). Die mittlere Beanspruchung ist in Szenario 4c mit $M=2.26$ ($SD=.52$) am höchsten; gefolgt von Szenario 4a ($M=2.21$, $SD=.64$). Szenario 4b hebt sich mit einer relativ niedrigen mittleren Beanspruchung von $M=2.08$ ($SD=.55$) nach unten ab und weist nach Szenario 1 die geringste mittlere Beanspruchung aller Szenari-

en auf. Gleichfalls ist die maximale mittlere Beanspruchung in Szenario 4b (MaxBeanspruchung=2.57) relativ gering im Gesamtvergleich und hebt sich damit insbesondere von Szenario 4a (MaxBeanspruchung=3.43) ab (vgl. Tabelle 10).

Auf eine inferenzstatistische Betrachtung innerhalb der einzelnen Unterszenarien (d. h. Trends) wird wegen der geringen Probandenanzahl verzichtet.

7.4.7 Nebenaufgabe

Die mittlere Anzahl an Fehlern ist in Szenario 4 relativ hoch. Szenario 4a weist diesbezüglich einen mittleren Fehler in Höhe von $M=.22$ ($SD=.13$) auf, Szenario 4b in Höhe von $M=.19$ ($SD=.15$) und Szenario 4c in Höhe von $M=.26$ ($SD=.37$, höchste SD über alle Szenarien).

Dadurch kann festgehalten werden, dass im Gesamtvergleich aller Szenarien die höchsten mittleren Fehlerwerte in Szenario 4 auftreten. Ferner wird in Szenario 4c mit $MaxFehler=1.00$ der zweithöchste maximale mittlere Fehler aller übergeordneten Szenarien erzielt (vgl. Tabelle 10).

7.5 Ergebnisse der Befragungsdaten

Allen Probanden der Fahrsimulatoruntersuchung wird vor und nach der Simulatorfahrt ein Fragebogen gereicht. Insgesamt konnten 61 Fragebogen ausgewertet werden, wobei die szenarienspezifischen Fragen nur für die jeweiligen Subgruppen ausgewertet werden. Alle Probanden zusammen genommen haben einen Altersrange von 19-32 Jahren, wobei der Modalwert mit 19 Probanden bei 22 Jahren darstellt, was auf eine typische studentische Stichprobe hindeutet. Die Führerscheinbesitzdauer variiert von 1-14 Jahren (Modalwert: 5 Jahre). Die Streuung in den Angaben zu den gefahrenen Kilometern pro Jahr weisen eine sehr hohe Streuung auf (Range: 12-30.000 km/Jahr). Fast 50 % der Probanden geben an, dass sie häufiger Arbeitsstellen durchfahren würden, etwa 40 % geben an, dass sie dabei Ärger empfinden würden.

Für die subjektive Einschätzung von Gefahrenpotential ist das nachfolgende Ergebnis sehr aufschlussreich: 33 % der Probanden geben an, dass sie Ein- und Ausfahrten von Arbeitsstellen als besonders risikoreich empfunden haben, 20 % geben an, dass dichter Verkehr das Unsicherheitsgefühl erhöht hat. Nur 1,6 % geben an, dass die Rechen-

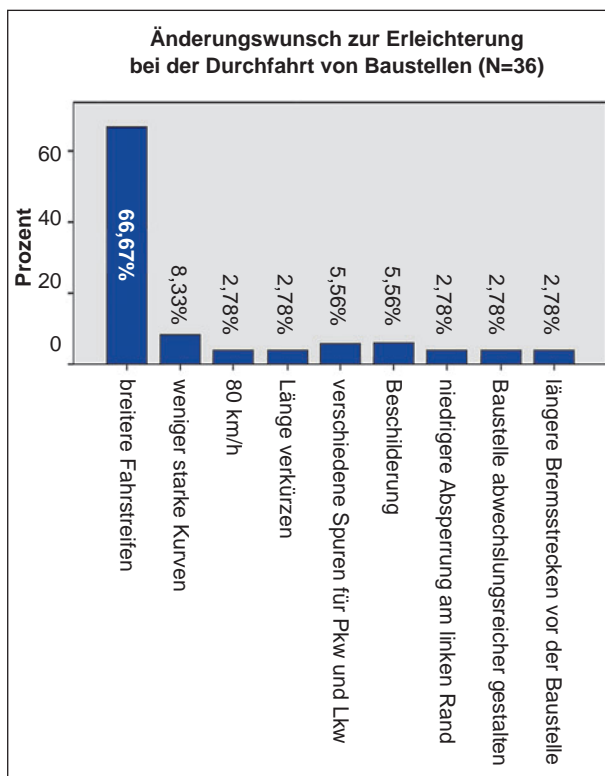


Bild 121: Ergebnis der Frage: „Änderungswunsch zur Erleichterung bei der Durchfahrt von Baustellen“

aufgabe zur Erhöhung der Unsicherheit beigetragen hat (vgl. Bild 120).

Fragt man die Probanden, was sie sich als Veränderung bei der Arbeitsstellengestaltung wünschen würden, so wird mit eindeutiger Mehrheit das Verbreitern der Fahrstreifen genannt (vgl. Bild 121).

Betrachtet man diejenigen Probanden, die Szenario 1 (lange Arbeitsstelle) durchfahren mussten und als weiteres Szenario eine Staffelung (2a, 2b), dann ergeben sich auf das Fragebogenitem „Die Staffelung der Arbeitsbereiche empfinde ich als angenehmer als eine durchgängige Baustelle gleicher Länge“ eine Zustimmung („trifft voll zu“ sowie „trifft eher zu“) von 70,5 % bei den Probanden, die Szenario 1 und Szenario 2a durchfahren sind, sowie eine Zustimmung von 52 % für die Probanden, die Szenario 1 mit Szenario 2b durchfahren sind. D.h. Szenario 2a wird im Vergleich zur langen Arbeitsstelle als deutlich besser bewertet.

7.6 Vergleichende Betrachtung der Szenarien

7.6.1 Geschwindigkeiten

Die Geschwindigkeitsganglinien der Szenarien 1 und 2 können Aufschluss über die Einrichtung von

sehr langen Arbeitsstellen geben. Hier ist zu erkennen, dass sowohl die Ganglinie in Szenario 1 als auch in Szenario 2a im letzten Teil eine höhere Standardabweichung aufweisen. Lediglich bei Szenario 2b liegt diese durchgehend niedrig.

Die Szenarien 3 und 4 unterschieden sich bis auf die dritte Arbeitsstelle in Szenario 4c kaum voneinander. Hier kann kein Einfluss der anderen gelben Markierung festgestellt werden.

7.6.2 Standardabweichung der lateralen Position

Auch in den Standardabweichungen der lateralen Position zeigt sich keine Abweichung der Werte in den einzelnen Szenarien. In allen Szenarien ist deutlich zu erkennen, dass auf der freien Strecke unruhiger gefahren wird und die wenigsten Schwankungen in der lateralen Position auf dem linken Behelfsfahrstreifen festgestellt werden.

7.6.3 Abstand zur Mittelrennung

Bei den Abständen zur Mittelrennung in den Arbeitsstellen zeigt sich im Vergleich von Szenario 3 und 4 ein fast einheitliches Bild. Es kann nur eine kleine Verringerung der Abstände im Szenario 4 festgestellt werden. Hier ist die gelbe Markierung auf der Mittelrennung aufgebracht. Der Querschnitt sieht somit großzügiger aus und verleitet den Probanden so zu einer Fahrlinie weiter links.

7.6.4 Blickbewegung

Aus den gegenwärtigen Auswertungen der Blickbewegungen auf die Strecke der vier übergeordneten Szenarien, kann zusammenfassend folgende zentrale Aussage getroffen werden: auffällige Anstiege der Anzahl der Blicke aller Probanden sind im Durchschnitt insbesondere an denjenigen Wegstellen der Szenarien zu erkennen, die die Überleitungsbereiche in eine Arbeitsstelle hinein und aus einer Arbeitsstelle hinaus betreffen. Entsprechend der unterschiedlichen oder ähnlichen Ausprägung der Arbeitsstellenlänge und -staffelung in den verschiedenen Szenarien 1, 2, 3 und 4, sind z. T. vergleichbare Muster pro Szenario über alle Probanden hinweg zu erkennen (vgl. Szenario 3 und Szenario 4).

7.6.5 Pupillometrie

Hinsichtlich der Auswertung der Pupillenweiten aller Probanden auf die Wegstrecke der Szenarien 1, 2,

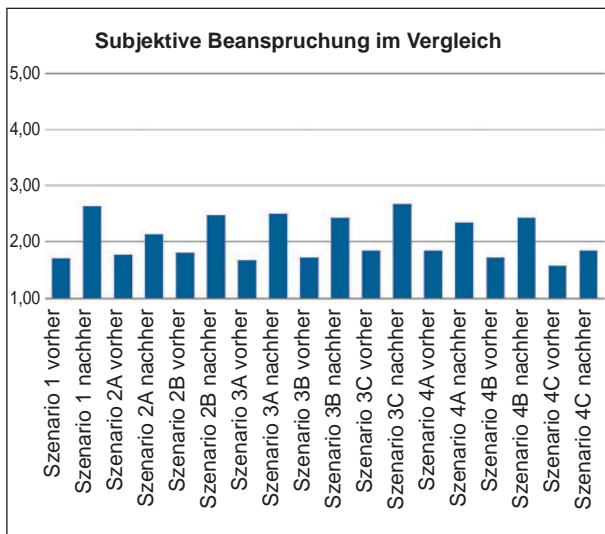


Bild 122: Subjektive Beanspruchung im Vergleich

3 und 4, lässt sich eine tendenzielle Zweiteilung beobachten. Diese ist mitunter durch die szenarienspezifische Gestaltung der Arbeitsstellenlänge und -staffelung zu erklären. So nimmt insbesondere in Szenario 1 die Größe der rechten Pupille im Verhältnis zur mittleren Größe der Pupille während der Kalibrierung (als Baseline) über weite Streckenabschnitte leicht ab und steigt erst mit der Ausfahrt aus der Arbeitsstelle wieder an. Dahingegen sind in den Szenarien 3a, 3b und 3c und den ähnlich strukturierten Szenarien 4a, 4b und 4c tendenzieller Peaks der Pupillengröße der Probanden in den Überleitungsbereichen zu erkennen, die auf eine im Durchschnitt erhöhte mentale Beanspruchung der Probanden hindeuten.

7.6.6 Beanspruchungsabfrage

Szenario 4b hebt sich mit einer relativ niedrigen mittleren Beanspruchung von $M=2.08$ ($SD=.55$) nach unten ab und weist nach Szenario 1 die geringste mittlere Beanspruchung aller Szenarien auf. Gleichfalls ist die maximale mittlere Beanspruchung in Szenario 4b ($MaxBeanspruchung=2.57$) relativ gering im Gesamtvergleich und hebt sich damit insbesondere von Szenario 4a ($MaxBeanspruchung=3.43$) ab (vgl. Tabelle 10).

Betrachtet man über alle Szenarien hinweg die Beanspruchungsentwicklung, so kann man in allen Szenarien einen Anstieg der subjektiven Beanspruchung am Ende der Arbeitsstellenfahrt im Vergleich zum Anfang beobachten (vgl. Bild 122). Die höchsten mittleren Beanspruchungswerte nach dem

Durchfahren der Arbeitsstelle zeigen sich in Szenario 1 und in Szenario 3c.

7.6.7 Nebenaufgabe

Im Gesamtvergleich aller Szenarien treten die höchsten mittleren Fehlerwerte in Szenario 4 auf. Ferner wird in Szenario 4c mit $MaxFehler=1.00$ der zweithöchste maximale mittlere Fehler aller übergeordneten Szenarien erzielt (vgl. Tabelle 10). Insgesamt muss an dieser Stelle aber nochmals betont werden, dass die Fehlerwerte im sehr niedrigen Bereich liegen und wenig Streuung aufweisen. D. h., dass die Nebenaufgabe gut zu bewältigen war.

8 Bewertung der Hypothesen

Die bereits in Kapitel 5 erarbeiteten Hypothesen sollen im Folgenden bewertet werden. Hierzu werden die Ergebnisse der Simulatorstudie aus Kapitel 7 herangezogen.

8.1 Hypothese 1

Hypothese 1 besagt, dass die Arbeitsstellenlänge vor allem bei sehr langen Arbeitsstellen einen Einfluss auf das Fahrerverhalten hat.

Diese Hypothese kann insbesondere in Bezug auf die höheren Geschwindigkeiten zum Ende einer langen Arbeitsstelle bestätigt werden. Ab etwa Kilometer 15 – 20 innerhalb der Arbeitsstelle werden die Geschwindigkeiten der Probanden inhomogener und weichen von der zulässigen Geschwindigkeit häufiger nach oben ab. Diese Abweichungen können bis zu dem 1,5-fachen der zulässigen Geschwindigkeiten betragen. Zudem haben bei einem Teil der Probanden die lateralen Abweichungen mit der Länge der Arbeitsstelle zugenommen, insgesamt allerdings nicht signifikant. Durch den Versuch im Fahrsimulator muss hier beachtet werden, dass der Proband sich der ungefährlichen Fahrsimulatorfahrt bewusst ist und der Effekt in der Realität anders ausfallen kann. Die aus diesem Versuch empfohlene maximale Arbeitsstellenlänge von etwa 15-20 km sollte in der Realität daher überprüft werden.

Auch bei RÜFFER/BRAUN, 2001 wird bereits eine maximale Arbeitsstellenlänge von 15 km gefordert (vgl. Kapitel 2.1.2).

8.2 Hypothese 2

Eine Arbeitsstellenstaffelung (mit vielen Staffeln) ist einer überlangen Arbeitsstelle aufgrund des Fahrerverhaltens nicht vorzuziehen.

Eine Arbeitsstellenstaffelung verursacht durch die damit verbundenen häufigen Überleitungen und Verschwenkungen eine hohe mentale Beanspruchung für den Verkehrsteilnehmer. Zu viele Einzelarbeitsstellen sollten somit vermieden werden. Das objektive Fahrerverhalten, gemessen an Spurführung, Geschwindigkeiten etc., zeigt jedoch keinerlei Grund für einen Vorzug einer langen Arbeitsstelle vor einer Arbeitsstellenstaffelung. Ab einer Arbeitsstellenlänge von etwa 15 km sind aber vermehrt inhomogene Geschwindigkeiten und größere laterale Schwankungen bei den überlangen Arbeitsstellen erkannt worden.

Ein aggressiveres Verhalten der Probanden wie bei MAAG et al., 2003 kann nicht festgestellt werden (vgl. Kapitel 2.3). Lediglich die Geschwindigkeiten sind in den am Ende liegenden Beruhigungsstrecken inhomogener.

8.3 Hypothese 3

Die Länge der Beruhigungsstrecke hat Einfluss auf das Fahrerverhalten in den einzelnen Arbeitsstellen in einer Staffelung.

Der Versuch hat gezeigt, dass mit zum Ende hin länger werdenden Beruhigungsstrecken, auch eine Arbeitsstellenstaffelung mit bis zu 6 Arbeitsstellen eingerichtet werden kann, ohne den Verkehrsteilnehmer zu sehr zu beanspruchen. Die längeren Beruhigungsstrecken zum Ende hin harmonisieren das Geschwindigkeitsniveau in den hinteren Arbeitsstellen der Staffelung. Auch hier sei wieder auf die alleinige Ableitung aus dem Fahrsimulatorversuch hingewiesen, die in einer Realsituation überprüft werden sollte.

8.4 Hypothese 4

Die Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen im Zulauf von Arbeitsstellen auf 60 km/h beruhigt den Verkehrsstrom innerhalb der Arbeitsstelle.

Zu dieser Hypothese konnten weder in den Geschwindigkeitsganglinien noch in der Auswertung

der Spurhaltung Belege gefunden werden. Somit kann diese Hypothese nicht bestätigt werden. Der in der Realität aufgetretene Effekt einer Beruhigung des Verkehrsablaufs bei Einrichtung von einer Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h im Zulauf der Arbeitsstelle kann im Fahrsimulator nicht erzeugt werden.

8.5 Hypothese 5

Die durchgehende Anordnung von 60 km/h verleitet den Fahrer zu einer stärkeren Überhöhung der Geschwindigkeit als eine durchgehende Anordnung von 80 km/h.

Auch bei dieser Hypothese lässt sich, wie bei Hypothese 4 kein Nachweis erbringen. Die Geschwindigkeiten werden in den Arbeitsstellen generell überschritten, egal ob mit oder ohne Reduzierung der Geschwindigkeiten auf 60 km/h.

8.6 Hypothese 6

Durch eine farbliche Gestaltung der Mitteltrennung werden die Fahrer zu einer höheren Abstandhaltung zur linken Fahrbahnlinie bewegt als ohne farbliche Gestaltung.

Diese Hypothese muss eindeutig verworfen werden. Der Effekt ist zumindest im Fahrsimulator eher gegenteilig, d.h. er bewirkt eine Fahrlinie weiter links und somit näher an der Mitteltrennung.

Da die Verkehrsteilnehmer bei Überholmanövern im Baustelleninnenbereich allerdings eher zur Fahrbahnmitte tendieren (vgl. KEMPER et al., 2015), könnten diese beiden Effekte sich ggfs. gegenseitig aufheben und somit zu einer zentrierten Fahrlinie führen.

Ebenso müsste nach BAKABA et al., 2012 das Maß an Konzentration höher sein, wenn ein geringerer Abstand zum Gegenverkehr besteht (vgl. Kapitel 2.1.4). Somit ist anzunehmen, dass nach der Theorie des Regelkreises von ECHTERHOFF, 1991 der Verkehrsteilnehmer eine Unfallgefahr erkennt und mehr Platz lassen würde um den Unfall zu vermeiden. Die Gefahr sieht der Verkehrsteilnehmer allerdings mehr auf der linken Seite, also in der Schutzeinrichtung zur Mitteltrennung. Abschließende Beurteilungen sollen hier aber auf Basis von weiterführenden Studien vorgenommen werden.

9 Fazit

Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben wurde das Ziel verfolgt Aussagen über die psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf den Verkehrsteilnehmer zu treffen und daraus insbesondere für Arbeitsstellenlängen, -staffelungen und -gestaltung Hinweise für eine zukünftige Einrichtung von Arbeitsstellen zu erhalten.

Die interdisziplinäre Herangehensweise mit einer Kooperation von Psychologen, Soziologen und Verkehrsingenieuren ermöglichte die Bearbeitung unter neuen Gesichtspunkten für alle Beteiligten mit dem Ergebnis, dass einige Regelungen beim Einrichten von Arbeitsstellen überdacht werden sollten. Auf Grundlage der mehrstufigen Untersuchungsmethodik basieren die Ergebnisse sowohl auf Erhebungen in realen Arbeitsstellen als auch im Fahrsimulator.

So kann einem Verkehrsteilnehmer nicht wie in den einschlägigen Regelwerken vorgesehen lediglich 12 Kilometer Arbeitsstellenlänge zugemutet werden, sondern nach vorliegenden Ergebnissen auch eine Arbeitsstellenlänge von 15-20 Kilometern sofern die Fahrstreifen eine ausreichende Breite aufweisen. Erst danach konnten in dieser Untersuchung Auffälligkeiten bezüglich der Geschwindigkeitswahl hin zu höheren Geschwindigkeiten und zum Teil auch größere laterale Schwankungen innerhalb der Fahrstreifen festgestellt werden.

Unter psychologischen Gesichtspunkten sind nach Analyse der Daten zum Fahrverhalten der Probanden im Fahrsimulator keine signifikanten Unterschiede zwischen einer überlangen Arbeitsstelle und gestaffelten Arbeitsstellen nachweisbar. Allerdings ist zu beachten, dass Überleitungen und Verschwenkungen für die Verkehrsteilnehmer grundsätzlich mental beanspruchend sind und bei Arbeitsstellenstaffelungen entsprechend häufiger auftreten. Sich hieraus ergebende Auswirkungen auf das Unfallgeschehen wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens nicht untersucht.

Aus Sicht der Verkehrssicherheit sollte daher die Anzahl der Verschwenkungen möglichst gering gehalten werden. Andererseits ermöglichen Beruhigungsstrecken zwischen zwei Arbeitsstellen ggf. Pausen von der anstrengenden Fahrt durch die Arbeitsstelle. Hier sollte nach den Ergebnissen der Studie eine Geschwindigkeitsbeschränkung in den Beruhigungsstrecken eingesetzt werden, um die

Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Arbeitsstellen und den Beruhigungsstrecken möglichst gering zu halten. Das aus der Empirie beobachtete Fahrverhalten, gegen Ende der Beruhigungsstrecken stärker abzubremsen, wohingegen vor langen Arbeitsstellen eine Geschwindigkeitsanpassung eher durch Ausrollen des Fahrzeugs erreicht wird, könnte jedoch ggf. auf ein höheres Sicherheitsrisiko hindeuten. Zudem können durch längere Beruhigungsstrecken zum Ende der Staffelung die Geschwindigkeiten harmonisiert und somit der Verkehrsfluss stabilisiert werden.

Die Einrichtung von langen Arbeitsstellen oder Arbeitsstellenstaffelungen muss daher im Einzelfall, je nach örtlichen Randbedingungen, Bauablaufplanung und Einrichtungsdauern, entschieden werden.

Bei den untersuchten Geschwindigkeitstrichtern konnte gezeigt werden, dass alle zulässigen Geschwindigkeiten gut eingehalten wurden. Hier wird kein weiterer Handlungsbedarf gesehen. Lediglich der Grund einer Geschwindigkeitsreduktion sollte erkennbar sein oder kommuniziert werden.

Der Einfluss der Fahrstreifenbreite konnte in diesem Forschungsvorhaben nicht untersucht werden. Hier wurden innerhalb der Fahrsimulatorstudie für den linken Fahrstreifen konstante Fahrstreifenbreiten von 2,5m verwendet, die im Simulator i. d. R. aber breiter empfunden werden als in der Realität. Aussagen zur Fahrstreifenbreite können daher für eine spätere Anwendung der RSA auf Basis dieser Studie nicht abgeleitet werden. Ob die Fahrstreifenbreite einen Einfluss auf die empfohlene Länge der Arbeitsstelle hat, sollte daher in weiterführenden Studien betrachtet werden. Auch die Untersuchung sinnvoller Längen von Beruhigungsstrecken bzw. Staffelungen bietet noch umfassenden Forschungsbedarf.

Generell sollten dem Verkehrsteilnehmer Informationen zum Baufortschritt und der aktuellen Situation zur Verfügung gestellt werden. Das derzeitige Arbeitsstellen-Informationsschild müsste hierzu dementsprechend erweitert werden. Hierdurch fühlt sich der Verkehrsteilnehmer in den Prozess der Arbeitsstelle integriert und bewertet die Maßnahme besser. Dies führt auch zu einer entspannteren Fahrt durch die Arbeitsstelle.

Bezogen auf die Möglichkeit einer geänderten farblichen Gestaltung der Mitteltrennung mit der linken

Markierung des linken Behelfsfahrtstreifens auf der Mittelrennung ist das Ergebnis der Fahrsimulatorstudie, dass diese Variante den Verkehrsteilnehmer eher dazu verleitet, sich mehr nach links denn nach rechts zu orientieren. Der Verkehrsteilnehmer sieht die Gefahr nicht im ihm entgegenkommenden Verkehr sondern eher bei dem Verkehr der in gleicher Richtung fährt. Hier sollten weitere Untersuchungen den Sachverhalt genauer analysieren und eventuell zur Empfehlung gelangen, dass eine Markierung auf der Fahrbahn angeordnet sein muss.

Zu dem Ergebnis der Fahrsimulatorstudie ist vor allem in Bezug auf die Ergebnisse zu den Geschwindigkeitstrichtern und der farblichen Gestaltung darauf hinzuweisen, dass die Stichprobe nur sehr klein war, da sich eher auf die Arbeitsstellenlänge und die Arbeitsstellenstaffelung fokussiert wurde. Somit sollte das Ergebnis hier kritisch hinterfragt und eventuell weiter untersucht werden.

Generell sollte der Rückschluss von der Fahrsimulatorstudie auf die Realität eher vorsichtig vollzogen werden. Die Empfehlungen sollten alle zunächst in Realversuchen getestet und evaluiert werden.

Literatur

- ARAND, 1982
Arand, W.: Anforderungen an Fahrsimulatoren zur Untersuchung des Fahrer-Fahrzeugs-Verhaltens sowie der verkehrstechnisch relevanten Eigenschaften von Straßenentwürfen. Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau (Bundesminister für Verkehr/Abteilung Straßenbau: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik; 375). Bonn-Bad Godesberg 1982
- BAKABA et al, 2012
Bakaba, J.E. ; Enke, M. ; Heine, A. ; Lippold, C. ; Maier, R. ; Ortlepp, J. ; Schulz, R.: Untersuchung der Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Bundesautobahnen, Unfallforschung der Versicherer (Forschungsbericht Nr. VI 04). Berlin: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., 2012
- BAIER et al, 2006
Baier, M. M.; Kemper, D.; Baur, O.; Steinauer, B.; Frank, H.: Sicherheitswirkung fluoreszierender Materialien bei Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 945, Bonn 2006
- BAST, 2013a
Automatische Zählstellen 2012 - Dauerzählstelle AK Gambach (S), Bundesanstalt für Straßenwesen, 2013
- BAST, 2013b
Automatische Zählstellen 2012 - Dauerzählstelle Buir, Bundesanstalt für Straßenwesen, 2013
- BAST, 2013c
Automatische Zählstellen 2012 - Dauerzählstelle Neusäß (W), Bundesanstalt für Straßenwesen, 2013
- BEATTY, 1982
Beatty, J.: Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources. *Psychological Bulletin* Vol 91(2). März 1982. S. 276-292. 1982
- BORNEMANN, 1942
Bornemann, E.: Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 12(2). S. 142-172. 1942
- BORTZ/DÖRING, 2004
Bortz, J.; Döring, N: *Forschungsmethoden und Evaluation* (4 Aufl.). Berlin: Springer, 2004
- BMVBS, 1997
BMVBS (Hrsg.): Technische Lieferbedingungen für transportable Schutzeinrichtungen (TL-Transportable Schutzeinrichtungen 97). Bd. FGSV 368/8. Köln, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., 1997
- BMVBS, 2011
Leitfaden zum Arbeitsstellenmanagement auf Bundesautobahnen, 2011
- CALVERT/WALKER, 2013
Calvert, M.; Walker, G.: *Modelling Driver Behaviour at Roadworks*. Research Project Report. Transport Scotland; Schottland 2013
- CORRSYS-DATRON, 2004
Corrsys-Datron: *Operating Manual DLS-1 Distance- and Speed Measurement*, 2004
- DATA COLLECT TRAFFIC SYSTEMS, 2009
DataCollect Traffic Systems: SDR Seitenradarmesssystem. URL http://www.datacollect.eu/index.php?article_id=35&clang=0. - abgerufen am 2013-07-10

- DE GRUYTER, 2013
 Pschyrembel - Klinisches Wörterbuch 2014. 265. Aufl. Berlin Boston : Walter de Gruyter GmbH, 2013
- DINER, 2011
 Diner, E.: Auswirkungen von Arbeitsstellen in dichter Folge auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf am Beispiel des Ausbauprojekts BAB 1. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen, Erd- und Tunnelbau der RWTH Aachen University (unveröffentlicht), Aachen 2011
- DONGES, 2012
 Donges, E.: Fahrerverhaltensmodelle. In: Hermann Winner, Stephan Hakuli und Gabriele Wolf (Hg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 2., korrigierte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, (Springer-Link: Bücher), S. 15–23. Wiesbaden 2012
- ECHTERHOFF, 1991
 Echterhoff, W.; Häcker, H. (Hrsg.): Verkehrspsychologie - Entwicklung, Themen, Resultate, Mensch - Fahrzeug - Umwelt. Bd. 26. Köln : TÜV Rheinland GmbH, 1991
- ELLMERS, 2012
 Ellmers, U.: Die neuen RSA - Neue Regelungen zu Fahrstreifenbreiten
- FISCHER/BRANNOLTE, 2006
 Fischer, L. ; Brannolte, U.: Sicherheitsbewertung von Maßnahmen zur Trennung des Gegenverkehrs in Arbeitsstellen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen - Verkehrstechnik. Bd. V 142. Bremen : Carl Schünemann Verlag GmbH, 2006
- FREEMAN et al, 2000
 Freeman, M.; Geston, J.; Coe, G.: Study into the causes and implications of accidents and incidents at roadworks: TRL. United Kingdom. 2000
- GOLDSTEIN, 2002
 Goldstein, E. B.; Ritter, M. (Hrsg.): Wahrnehmungspsychologie. 2. Aufl. Heidelberg Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 2002
- HESSEN MOBIL, 2013
 2+4-Verkehrsführung. URL: <http://a5-baustelle.de/fakten/42-verkehrsfuehrung-in-baustellen-auf-autobahnen/> abgerufen am 2013-07-27
- HMS, 1981
 Schönborn, H.D.; Dohmann, M.: Handbuch für die Markierung von Straßen (HMS). Darmstadt : Otto Elsner Verlagsgesellschaft, 1981
- HOSSINGER/BERGER, 2012
 Hossinger, R. & Berger, W.J.: Comprehension of new instructions for car drivers in merging areas. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 15(2), 152-161. Washington (USA) 2012
- HUSSY et al, 2009
 Hussy, W.; Schreiter, M.; Echterhoff, G.: Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften. Berlin: Springer, 2009
- H&T TRIMBORN-AVE GMBH, 2013a
 Plan Verkehrssicherung der Baumaßnahme BAB A4 km 47,100 - 48,575 6-streifiger Ausbau AS Düren und AS Kerpen BW DB AG / K39 Bauabschnitt 2 Bauphase 1 Bauzeit 03.08.2013 bis 14.09.2014, 2013
- H&T TRIMBORN-AVE GMBH, 2013b
 Plan Verkehrssicherung der Baumaßnahme BAB A4n 6-spuriger Ausbau und Verlegung zwischen AS Düren und AS Kerpen Bauabschnitt 7.1 Bauphase 3 Deckblatt 1 Bauzeit 16.07.2013 bis 15.03.2014, 2013
- INTERNATIONAL HUMAN FACTORS GUIDELINES FOR ROAD SYSTEMS DESIGN, 2000
 International human factors guidelines for road systems design: In: Schlag et al, 2002: Empfehlungen zur Berücksichtigung physiologischer und psychologischer Fähigkeiten und Grenzen der Kraftfahrer bei der Straßenplanung in Brandenburg (2000)
- IQBAL/ZHENG/BAILEY, 2004
 Iqbal, S.T.; Zheng, X.S.; Bailey, B.P.: Task Evoked Pupillary Response to Mental Workload. Human-Computer Interaction in CHI. S. 1477-1480. 2004
- ISAC, 2015
 Institut für Straßenwesen Aachen: Fahrsimulator des Institut für Straßenwesen Aachen. Hg. v. Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen. Aachen. Online verfügbar unter <http://www.fasi.isac.rwth-aachen.de/>, zuletzt geprüft am 10.03.2015. Aachen 2015

- JÄGER, 2004
 Jäger, R.: Konstruktion einer Ratingskala mit Smilies als symbolische Marken. *Diagnostica*, 50 (1) S. 31-38, 2009
- KEMPER, 2010
 Kemper, D.: Vergleichende Betrachtung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Arbeitsstellen kürzerer Dauer auf Autobahnen bei Tag und Nacht. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen. Aachen. 2010
- KEMPER et al, 2015
 Kemper, D.; Oeser, M.; Sümmermann, A.; Baier, M.M.; Klemps, A.: Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung FE 82.339/2007 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Entwurf Schlussbericht, 2015
- KNAPPE et al, 2006
 Knappe, G.; Keinath, A.; Meinecke, C.: Empfehlungen für die Bestimmung der Spurhaltegüte im Kontext der Fahrsimulation. In: *MMI-Interaktiv* (11). 2006
- MAAG et al, 2003
 Maag, C.; Krüger, H.-P.; Breuer, K.; Benmimoun, A.; Neunzig, D.; Ehmanns, D. (2003). Aggressionen im Straßenverkehr (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M151). Bremerhaven: Wirtschafts-verlag NW
- MAISTER, 2005
 Maister, D.: The Psychology of waiting lines. http://www.columbia.edu/~ww2040/4615S13/Psychology_of_Waiting_Lines.pdf (last accessed 23.06.2014); 2005
- MERKER, 2014
 Merker, A.: Untersuchung der Auswirkungen geringer Fahrstreifenbreiten in Arbeitsstellen längerer Dauer auf Verkehrsteilnehmer im Fahr-simulator. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenwesen der RWTH-Aachen University. Aachen 2014
- NEGELE, 2007
 Negele, H.J.: Anwendungsgerechte Konzipierung von Fahrsimulatoren für die Fahrzeugentwicklung. Dissertation. Technische Universität München. München 2007
- PETZOLDT et al, 2014
 Petzoldt, T.; Mair, C.; Roßner, P.; Bullinger, A.C.; Krems, J.F.: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf den Verkehrsteilnehmer. Schlussbericht zu FE01.00177/2011/ARB der Bundesanstalt für Straßenwesen. Chemnitz, 2014
- PHILIPP, 1990
 Philipp, P.A.: Forschungsinstrument Fahr-simulator. VDI-Verl. (Report / Daimler-Benz AG, 11). Düsseldorf 1990
- PROST et al, 2009
 Prost, R.: Fragebogen: Ein Arbeitsbuch, 2. Aufl., Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2009
- RAA, 2008
 BMVBS (Hrsg.): Richtlinie für die Anlage von Autobahnen (RAA-08). Bd. FGSV 202. Köln, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., 2008
- RAS-Q, 2006
 BMVBS (Hrsg.): Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS Teil: Querschnitte RAS-Q. Bd. FGSV 295. Köln, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., 2006
- RECARTE/NUNES, 2000
 Recarte, M.A.; Nunes, L.M.: Effects of verbal and spatial-imagery task on eye fixations while driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6, S. 31–43. 2000
- REUTER, 2013
 Reuter, P.: Tobii Training – Eye Tracking Glasses
- RIFFKIN et al, 2008
 Riffkin, M.; McMurtry, T.; Heath S.; Saito, M.: Variable Speed Limit Signs – Effects in speed and speed variation in work zones. InterPlan Co. angefertigt für Utah Department of Transportation Research an Innovation Division, Salt Lake City, Utah, USA. 2008
- RMS, 1993
 BMVBS (Hrsg.): Richtlinie für die Markierung von Straßen (RMS) - Teil 1: Abmessungen und geometrische Anordnung von Markierungszeichen (RMS-1). Bd. FGSV 330/1. Köln : Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., 1993
- RSA, 1995
 BMVBS (Hrsg.): Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA-95). Bd.

- FGSV 370. Köln : Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., 1995
- RÜFFER/BRAUN, 2001
Rüffer, G. ; Braun, W.: Verkehrssicherheit auf der BAB A2 im Baustellenbereich zwischen Magdeburg-Rothensee und Marienborn. In: Straße und Autobahn, Straße und Autobahn. Bd. 51, 2001
- SCHLAG et al, 2002
Schlag, B.; Heger, R.; Baier, M.M.; Steinauer, B.: Empfehlungen zur Berücksichtigung physiologischer und psychologischer Fähigkeiten und Grenzen der Kraftfahrer bei der Straßenplanung in Brandenburg (2002)
- SCHNELL et al, 2011
Schnell, R.; Hill, P.B.; Esser, E.: Methoden der empirischen Sozialforschung, (9 Aufl.). Oldenburg Verlag: München, 2011
- SCHLAG, 2005
Schlag, B.: Risikoverhalten im Straßenverkehr, 2005
- SCHUSTER et al, 2012
Suster, A.; Sattler, J.; Hoffmann, S.: Untersuchung, Zwickau. In: Ellmers, Uwe: Die neuen RSA – Neue Regelungen zu Fahrstreifenbreiten, 2012
- SCHWALM, 2009
Schwalm, M.: Pupillometrie als Methode zur Erfassung mentaler Beanspruchung im automotiven Kontext. Dissertation. Universität des Saarlandes. Saarbrücken 2009
- SECUTEC GMBH, 2013
Plan Verkehrssicherung der Baumaßnahme BAB A8 6-spüriger Ausbau zwischen AK Augsburg-West und AS Günzburg Bauzeit ab 16.09.2013, 2013
- SHINAR, 1999
Aggressive Driving: The contribution of the drivers and the situation. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 1(2), 137-160
- STEINAUER et al, 2011
Steinauer, B.; Sümmermann, A.; Kemper, D.; Baier, M. M.; Klemp-Kohnen, A.: Sicherheitsbewertung von Gegenverkehrstrennungen in Arbeitsstellen. FE 82.339/2007 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (in Bearbeitung), Aachen 2011
- StVO, 2013
Straßenverkehrs-Ordnung vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367). In: BMJ (Hrsg.), 2013
- SÜMMERMANN, 2012
Sümmermann, A.: Verkehrssicherheits- und Verkehrsablaufsuntersuchungen in Arbeitsstellen längerer Dauer auf Autobahnen in Deutschland. Dissertation am Institut für Straßenwesen Aachen, 2012
- VOLKENHOFF/KEMPER/STEINAUER, 2011
Volkenhoff, T.; Kemper, D.; Steinauer, B.: Pilothafte Verbesserung der Verkehrssicherheit einer Baustelle mittels moderner Systeme zur Verkehrserfassung zur Stauvermeidung im Zuge der A 1. FE 86.0063/2008 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (unveröffentlicht), Aachen 2011

Bilder

- Bild 1: Verkehrszeichen 505 (Überleitung) mit eingebundenem Verkehrszeichen 264 [ELLMERS, 2012]
- Bild 2: Pkw-Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von Fahrstreifenbreite und v_{zu} auf dem Überholfahrstreifen [SÜMMERMANN, 2012]
- Bild 3: Unfallverursachungsanteile von Fahrer – Straße – Fahrzeug [nach INTERNATIONAL HUMAN FACTORS GUIDELINES FOR ROAD SYSTEMS DESIGN, 2000, zitiert nach SCHLAG ET AL, 2002]
- Bild 4: Regelkreis Kraftfahrer – Fahrzeug – Straße [ECHTERHOFF, 1991]
- Bild 5: Fahrerverhalten als hierarchische Handlungsregulation [nach SCHLAG, 2005]
- Bild 6: Messaufbau Feldstudie
- Bild 7: Brustgurt mit Sensor und Armband-Einheit des Herzfrequenzmessgeräts
- Bild 8: Eye-Tracking-Brille getragen von einer Probandin
- Bild 9: Prinzipskizze des menschlichen Auges mit einfallenden Lichtstrahlen, welche in der Fovea centralis auf die Netzhaut treffen (GOLDSTEIN, 2002 und DE GRUYTER, 2013)
- Bild 10: Foveales Sichtfeld [nach REUTER, 2013]
- Bild 11: Funktionsweise der Eye Tracking Brille von Tobii Technology [nach REUTER, 2013]
- Bild 12: Videobild der Eye Tracking Brille mit den eingebetteten Fixationspunkten des Probanden innerhalb des Zeitraums von einer Sekunde
- Bild 13: Optischer Sensor, angebracht an einem Fahrzeug
- Bild 14: Auf dem Beifahrersitz des Probandenfahrzeugs installierte Kamera mit Blick nach vorne
- Bild 15: An einem Brückengelände installierte Radargeräte über der Fahrbahn der BAB A4
- Bild 16: Self-Assessment-Manikins
- Bild 17: Verkehrsführung und Fahrstreifenbreiten in der Arbeitsstelle auf der A5 (nach HESSEN MOBIL, 2013)
- Bild 18: Projekthomepage Baustelle des 21. Jahrhunderts (Quelle: www.A5-baustelle.de)
- Bild 19: Verkehrsinformationstafel Hessenkinder
- Bild 20: Übersicht Baustellenabfolge Düren - Kerpen
- Bild 21: Verkehrsführung und Fahrstreifenbreiten in den Arbeitsstelle auf der A4 (nach H&T TRIMBORN-AVE GMBH, 2013b), exemplarisch dem Querschnitt bei km 34,2 entnommen
- Bild 22: Verkehrsführung in der Arbeitsstelle bei Düren zwischen km 34,4 und km 35,15 (nach H&T TRIMBORN-AVE GMBH, 2013b)
- Bild 23: Verkehrsführung und Fahrstreifenbreiten in der Arbeitsstelle auf der A8 Betriebskilometer 61+800 (SECUTECH GMBH, 2013)
- Bild 24: Standortinformationstafel in der Arbeitsstelle
- Bild 25: dWiSta in der Arbeitsstelle
- Bild 26: Bisher eingesetztes und neues Arbeitsstellen-Informationsschild am Arbeitsstellenbeginn
- Bild 27: Bewertung verschiedener Aspekte der Arbeitsstelle A5 bei Butzbach (N=264)
- Bild 28: Angaben zu ‚Weg der Informationszufuhr
- Bild 29: Angaben zu ‚Umleitungsempfehlung gemäß dWiSta folgen
- Bild 30: Angaben zu der Interpretation der dWiSta Anzeigen
- Bild 31: Bewertung der A4-Arbeitsstelle bei Kerpen (N=65)
- Bild 32: Befragungsergebnisse zur Arbeitsstelle auf der A8 bei Augsburg (N=28)
- Bild 33: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Fahrstreifenbreite links
- Bild 34: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Fahrstreifenbreite rechts
- Bild 35: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich einfachem Fahrstreifenwechsel
- Bild 36: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich einfachem Überholen
- Bild 37: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Informationen über den Zweck der Arbeitsstelle
- Bild 38: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Informationen über die Dauer der Arbeitsstelle

- Bild 39: Vergleich der drei Arbeitsstellen A4 / A5 / A8 hinsichtlich Informationen über die Länge der Arbeitsstelle
- Bild 40: Geschwindigkeitsganglinien A5 FR Süd
- Bild 41: Geschwindigkeitsganglinien A5 FR Nord
- Bild 42: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A5 FR Süd
- Bild 43: Geschwindigkeitsganglinien A4 FR Ost Überblick
- Bild 44: Geschwindigkeitsganglinien A4 FR West Überblick
- Bild 45: Geschwindigkeitsganglinie A4 FR Ost Detail Arbeitsstelle Düren
- Bild 46: Geschwindigkeitsganglinie A4 FR Ost Detail Arbeitsstelle Kerpen
- Bild 47: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A4 FR Ost Detail Arbeitsstelle Düren
- Bild 48: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A4 FR Ost Detail Arbeitsstelle Kerpen
- Bild 49: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A4 FR West Detail Arbeitsstelle Düren
- Bild 50: Mittlere Geschwindigkeiten in der Arbeitsstelle A4 FR West Detail Arbeitsstelle Kerpen
- Bild 51: Geschwindigkeitsganglinie A4 FR West Detail Arbeitsstelle Düren
- Bild 52: Geschwindigkeitsganglinie A4 FR West Detail Arbeitsstelle Kerpen
- Bild 53: Geschwindigkeitsganglinien A8 FR West Überblick
- Bild 54: Geschwindigkeitsganglinien A8 FR Ost Überblick
- Bild 55: Geschwindigkeitsganglinie A8 FR West Detail Arbeitsstelle Adelsried
- Bild 56: Geschwindigkeitsganglinie A8 FR West Detail Arbeitsstelle Zusmarshausen
- Bild 57: Geschwindigkeitsganglinie A8 FR West Detail Arbeitsstelle Burgau
- Bild 58: Mittlere Geschwindigkeiten in den Arbeitsstellen A8
- Bild 59: Ereignisse, die zu Bremsmanövern führen (n = Anzahl der Bremsvorgänge je Arbeitsstelle)
- Bild 60: Dauer der Bremsvorgänge (n = Anzahl der Bremsvorgänge je Arbeitsstelle)
- Bild 61: Lage der verschiedenen Abstände im Querschnitt
- Bild 62: Abstand zur temporären (gelben) Markierung bei Fahrt links
- Bild 63: Abstand zur baulichen Trennung links
- Bild 64: Abstand zwischen den Fahrzeugen beim Passieren
- Bild 65: Spurhaltung bei den verschiedenen Manövern – A4 (inkl. Gegenverkehrsereignisse)
- Bild 66: Spurhaltung bei den verschiedenen Manövern – A8 (inkl. Gegenverkehrsereignisse)
- Bild 67: Fahrstreifenwahl in Arbeitsstellen und auf freier Strecke
- Bild 68: Fahrstreifenwahl innerhalb der Arbeitsstellen
- Bild 69: Herzfrequenzänderung bei steigender Herzrate
- Bild 70: Herzfrequenzänderung bei sinkender Herzrate
- Bild 71: Darstellung der Haupt-Fixation hier bei freier Fahrt.
- Bild 72: Darstellung eines häufigen Blickverhaltens bei Fahrt auf dem linken Fahrstreifen
- Bild 73: Darstellung des Wechselblicks
- Bild 74: Darstellung des Tunnelblicks
- Bild 75: Dynamischer Lkw-Fahrsimulator [NEGELE, 2007]
- Bild 76: Komponenten des „isacFaSi“ [ISAC, 2015]
- Bild 77: Darstellung der Visualisierung des IsacFaSi
- Bild 78: Ablaufschema der Probandenversuche im Fahrsimulator
- Bild 79: Beispielhafte Nebenaufgabe des isacFaSi
- Bild 80: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 1
- Bild 81: SDLP Box-Plot Szenario 1
- Bild 82: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 1
- Bild 83: Exemplarischer Auszug aus der Analyse der Blickbewegungen eines Probanden (jeder fünfzigste Wert >10 Pixel innerhalb der letzten 20 Sekunden, Y-Achse) zur Wegstrecke (X-Achse) in Szenario 1
- Bild 84: Belastungsverlauf während der Durchfahrt von Szenario 1
- Bild 85: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 2a
- Bild 86: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 2b

- Bild 87: SDLP Box-Plot Szenario 2a
- Bild 88: SDLP Box-Plot Szenario 2b
- Bild 89: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 2a
- Bild 90: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 2b
- Bild 91: Exemplarischer Auszug aus der Analyse der Pupillenweite (Größe der rechten Pupille im Verhältnis zur mittleren Größe der Pupille während der Kalibrierung als Baseline in Prozent, Y-Achse) in einem Liniendiagramm über die Strecke in Metern (X-Achse) über alle Probanden von Szenario 2b
- Bild 92: Belastungsverlauf während der Durchfahrt von Szenario 2a
- Bild 93: Belastungsverlauf während der Durchfahrt von Szenario 2b
- Bild 94: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 3a
- Bild 95: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 3b
- Bild 96: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 3c
- Bild 97: SDLP Box-Plot Szenario 3a
- Bild 98: SDLP Box-Plot Szenario 3b
- Bild 99: SDLP Box-Plot Szenario 3c
- Bild 100: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 3a
- Bild 101: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 3b
- Bild 102: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 3c
- Bild 103: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 3a
- Bild 104: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 3b
- Bild 105: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 3c
- Bild 106: Exemplarischer Auszug aus der Analyse der Pupillenweite (Größe der rechten Pupille im Verhältnis zur mittleren Größe der Pupille während der Kalibrierung als Baseline in Prozent, Y-Achse) in einem Liniendiagramm über die Strecke in Metern (X-Achse) über alle Probanden von Szenario 3c
- Bild 107: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 4a
- Bild 108: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 4b
- Bild 109: Geschwindigkeitsverlauf Szenario 4c
- Bild 110: SDLP Box-Plot Szenario 4a
- Bild 111: SDLP Box-Plot Szenario 4b
- Bild 112: SDLP Box-Plot Szenario 4c
- Bild 113: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 4a
- Bild 114: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 4b
- Bild 115: SDLP Mittelwert und Standardabweichung Szenario 4c
- Bild 116: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 4a
- Bild 117: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 4b
- Bild 118: Abstand zur Mitteltrennung Szenario 4c
- Bild 119: Exemplarischer Auszug aus der Analyse der Blickbewegungen aller Probanden (jeder fünfzigste Wert >10 Pixel innerhalb der letzten 20 Sekunden, Y-Achse) zur Wegstrecke (X-Achse) in Szenario 4b
- Bild 120: Ergebnis der Frage: „An welchen Stellen haben Sie sich besonders unsicher gefühlt?“
- Bild 121: Ergebnis der Frage: „Änderungswunsch zur Erleichterung bei der Durchfahrt von Baustellen“
- Bild 122: Subjektive Beanspruchung im Vergleich

Tabellen

- Tabelle 1: Mindestbreite von Behelfsfahrstreifen in Abhängigkeit von der Länge der Arbeitsstelle [RSA, 1995]
- Tabelle 2: Daten der Dauerzählstelle auf der A 5 beim AK Gambach, 2012 (nach BAST, 2013a)
- Tabelle 3: Daten der Dauerzählstelle auf der A4 bei Buir, 2012 (nach BAST, 2013b)
- Tabelle 4: Daten der Dauerzählstelle auf der A8 bei Neusäß, 2012 (nach BAST, 2013c)
- Tabelle 5: Anteile der Abstandsklassen bei Abständen unter 1,8 s
- Tabelle 6: Überholungsraten
- Tabelle 7: Distanz zwischen zwei Überholvorgängen
- Tabelle 8: Fahrstreifenwechselrate und Distanz zwischen Fahrstreifenwechseln
- Tabelle 9: Beispielhafte Übersicht über verschiedene Kategorisierungsgruppen
- Tabelle 10: Deskriptive Statistiken für die Beanspruchung und Fehler in der Nebenaufgabe

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2015

V 249: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen
Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder

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

V 250: Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw
Lippold, Schemmel

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

V 251: Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumgestaltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken
Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50

V 252: Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen
Gündra, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx, Peters, Reimer, Zipf € 15,00

V 253: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen

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

V 254: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw
Wellner, Uhlig

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

V 255: Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw
Zimmermann, Riffel, Roos

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

V 256: Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagenteile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements
Zander, Birbaum, Schmidt

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

V 257: Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen

Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier Hantschel, Otto € 18,00

V 258: Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten
Holldorb, Streich, Uhlig, Schäufele € 18,00

V 259: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten
Geistefeldt, Sievers

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

V 260: Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst
Hausmann € 15,50

V 261: Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung – Sicherheitsverbesserungen
Alrutz, Bohle, Busek € 16,50

V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

Maier, Pohle, Schmotz, Nirschl, Erbsmehl € 16,00

V 263: Verkehrstechnische Bemessung von Landstraßen – Weiterentwicklung der Verfahren

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 16,50

V 264: Qualitätsstufenkonzepte zur anlagenübergreifenden Bewertung des Verkehrsablaufs auf Außerortsstraßen

Weiser, Jäger, Riedl, Weiser, Lohoff € 17,00

V 265: Entwurfstechnische Empfehlungen für Autobahntunnelstrecken

Bark, Kutschera, Resnikow, Baier, Schuckließ
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden

V 266: Verfahren zur Bewertung der Verkehrs- und Angebotsqualität von Hauptverkehrsstraßen

Baier, Hartkopf € 14,50

V 267: Analyse der Einflüsse von zusätzlichen Textanzeigen im Bereich von Streckenbeeinflussungsanlagen

Hartz, Saighani, Eng, Deml, Barby
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 268: Motorradunfälle – Einflussfaktoren der Verkehrsinfrastruktur

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

2016

V 269: Identifikation von unfallauffälligen Stellen motorisierter Zweiradfahrer innerhalb geschlossener Ortschaften

Pohle, Maier € 16,50

V 270: Analyse der Auswirkungen des Klimawandels auf den Straßenbetriebsdienst (KliBet)

Holldorb, Rumpel, Biberach, Gerstengarbe, Österle, Hoffmann € 17,50

V 271: Verfahren zur Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien bei der Ausschreibung von Elementen der Straßeninfrastruktur

Offergeld, Funke, Eschenbruch, Fandrey, Röwekamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 272: Einsatzkriterien für Baubetriebsformen

Göttgens, Kemper, Volkenhoff, Oeser, Geistefeldt, Hohmann € 16,00

V 273: Autobahnverzeichnis 2016

Kühnen € 25,50

V 274: Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen

Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00

V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf Bundesautobahnen

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

V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die Verkehrsteilnehmer

Petzoldt, Mair, Krems, Roßner, Bullinger € 30,50

V 277: **Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen**
Kathmann, Roggendorf, Scotti
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 278: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014**
Fitschen, Nordmann € 30,50

V 279: **HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen**
Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug,
Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00

2017

V 280: **Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien**
Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

V 281: **Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren**
Maier, Berger, Kollmus € 17,50

V 282: **Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen**
Lippold, Vettors, Steinert € 19,50

V 283: **Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten**
Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen,
Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

V 284: **Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten**
Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 285: **Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz**
Kampfner, Thümmel, Ohmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 286: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung**
Kleine, Lehmann € 16,50

V 287: **Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle**
Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

V 288: **Überholungen von Lang-Lkw - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf**
Roos, Zimmermann, Köhler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 289: **Verkehrsqualität an verkehrabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen**
Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00

V 290: **Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung**
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz,
Kuhnimhof, Köhler € 19,00

V 291: **Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko**
Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz,
Kuhnimhof, Köhler € 18,50

V 292: **Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw**
Burg, Schrempf, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 293: **Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen**
Geistefeldt, Hohmann, Estel
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50

V 294: **Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB**
Maibach, Tacke, Kießig € 15,50

V 295: **Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss**
Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50

V 296: **Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße**
Lippold, Schemmel, Kathmann, Schroeder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 297: **Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plan gleicher Knotenpunkte an Landstraßen**
Zimmermann, Beeh, Schulz, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 298: **Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysesysteme**
Balck, Schüller, Balmberger, Rossol
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 299: **Einfluss von Fehlern auf die Qualität von Streckenbeeinflussungsanlagen**
Schwietering, Neumann, Volkenhoff, Fazekas, Jakobs, Oeser
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

V 300: **Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten**
Werkenthin, Kluge, Wessolek
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 301: **Sicherheitsbewertung von Arbeitsstellen mit Gegenverkehrstrennung**
Kemper, Sümmermann, Baier, Klemps-Kohnen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 302: **Entwicklung einer Fahrstreifenreduktionsbeeinflussungsanlage für Baustellen auf BAB**
Heinrich, Maier, Papageorgiou, Papamichail, Schober, Stamatakis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 303: **Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer**
Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter,
Jeschke, Skottke € 18,50

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

Fachverlag NW in der 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