Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 317

Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen

von

Bernhard Schlag
Juliane Anke

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr
Lehrstuhl für Verkehrspsychologie

Christian Lippold
Janette Wittig
Anne Walther

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr
Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 317

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 02.0366/2013/FGB
Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors)
von Kraftfahrern und deren Einfluss auf die Gestaltung von
Landstraßen

Fachbetreuung:
Thomas Jährig

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 978-3-95606-446-3

Bergisch Gladbach, August 2019

Kurzfassung – Abstract

Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen

Die Forschung im Straßenentwurf konzentriert sich vorrangig auf die Definition und Weiterentwicklung der entwurfstechnischen Parameter im Detail oder in deren Zusammenspiel. Fahrpsychologische Aspekte sind ein Bestandteil dieser Untersuchungen. Die explizite Betrachtung der menschlichen Fähigkeiten und Grenzen, z. B. der Informationsaufnahme und Wahrnehmung, sowie deren Einfluss auf das Fahrverhalten erfolgt allerdings bisher nicht hinreichend. Solche Aspekte werden heute im Allgemeinen als Human Factors bezeichnet.

Die vorliegende Arbeit soll es ermöglichen, wahrnehmungspsychologische Aspekte von Kraftfahrern zu untersuchen und Vorschläge zu erarbeiten, diese in allgemeingültiger Form verstärkt in das Regelwerk zur Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen einfließen zu lassen. Dazu erfolgte eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Fachgebieten der Verkehrspsychologie und des Straßenentwurfs.

Zunächst wurde eine umfangreiche Analyse der nationalen und internationalen Literatur zu im Straßenentwurf maßgebenden Human Factors durchgeführt. Darauf aufbauend wurden alle Entwurfsmerkmale recherchiert, die für die Berücksichtigung der Human Factors bei der Gestaltung von Landstraßen für die Fahraufgabe von Bedeutung sind. In der anschließenden Schnittstellenanalyse wurde überprüft, inwieweit die aus der Literaturanalyse als maßgebend identifizierten wahrnehmungspsychologischen Human Factors bereits in den aktuellen Regelwerken für den Entwurf von Landstraßen berücksichtigt werden oder zu ergänzen sind. Auf dieser Grundlage wurden Handlungsansätze formuliert, wie die für den Straßenentwurf relevanten Human Factors beim Entwurf und bei der Bewertung von Straßen des Bestandsnetzes berücksichtigt werden sollten. Die Erkenntnisse wurden exemplarisch auf Straßen des Bestandsnetzes angewendet. Im Ergebnis der vorliegenden Arbeit wurden Vorschläge für ein Wissensdokument erarbeitet, die neben den bisherigen Empfehlungen der Planungspraxis als ergänzendes Instrumentarium zur Verfügung gestellt werden können.

Perceptual-psychological aspects (human factors) and their influence on rural road design

Research in road design focuses primarily on the definition and further development of the design parameters in detail or in their interaction. Psychological aspects of driving are part of these investigations. The explicit consideration of the human capacities and limitations, such as sensation and perception, as well as their influence on driving behavior is not yet sufficient. Such aspects are generally referred to as human factors.

The aim of this thesis is to investigate the psychological aspects of drivers and to develop suggestions for integrating them into the guidelines on road design in a generalized form. For this purpose a close interdisciplinary collaboration between the subject areas of traffic and transportation psychology and road planning/ road design was carried out.

Firstly, a comprehensive analysis of the national and international literature was carried out on human factors relevant to rural road design. Based on this, all design elements relevant to the consideration of Human Factors in rural road design were researched. With the acquired knowledge, an interface analysis was carried out. It was examined to what extent the perceptual-psychological human factors identified as relevant by literature analysis have already been taken into account in the current guidelines on rural road design. On this basis, action proposals were formulated on how the human factors relevant to the road design can be used in the design and in the evaluation of existing roads of the network. The findings were applied by way of example to roads of the existing network. As a result of this thesis, suggestions for a knowledge document have been developed, which, in addition to the previous recommendations of planning practice, can be made available as a supplementary instrument.

Summary

Perceptual-psychological aspects (human factors) and their influence on rural road design

Reasoning and methodology

Research in road design focuses primarily on the definition and further development of the design parameters in detail or in their interaction. Psychological aspects of driving are part of these investigations. The explicit consideration of the human capacities and limitations, such as sensation and perception, as well as their influence on driving behavior is not yet sufficient. Such aspects are generally referred to as human factors.

The aim of this thesis is to investigate the psychological aspects of drivers and to develop suggestions for integrating them into the guidelines on road design in a generalized form. For this purpose a close interdisciplinary collaboration between the subject areas of traffic and transportation psychology and road planning/ road design was carried out.

Firstly, a comprehensive national and international literature analysis on human factors relevant to road design was carried out. Special cases, such as human factors at night or human factors of older persons have not been included in the present thesis. Based on this, all design elements relevant to the consideration of Human Factors in rural road design were researched. Subsequently, it was examined to what extent the perceptual-psychological human factors identified as relevant by literature analysis have already been taken into account in the current guidelines on rural road design (interface analysis). On this basis, action proposals were formulated on how the human factors relevant to the road design can be used in the design and in the evaluation of existing roads of the network. The findings were applied by way of example to roads of the existing network. As a result of this thesis, suggestions for a knowledge document have been developed, which, in addition to the previous recommendations of planning practice, can be made available as a supplementary instrument.

Human Factors in road design

In street design, human factors describe all physiological and psychological abilities and limitations of human beings that can influence the interplay of road and road users. Exceptions are temporary impairments, for instance by alcohol, the taking of medications, or illnesses. Human factors have been taken into account since the beginning of road construction, but not explicitly under the term human factors.

The human factors are derived from sensation and perception, information processing, attention, mental workload, expectations and mental models of the road user.

The driving task can be hierarchically structured in three levels which differ by the degree of awareness and mental load (MICHON, 1985; RASMUSSEN, 1983). Behavioral cues should be given at the maneuvering and control level.

For driving on rural roads, the visual, auditory, haptic and vestibular information intake is important. When driving most of the information is recorded via the visual channel (SIVAK, 1996). Therefore, the relevant indicative stimuli should be clearly visible even under poor visibility conditions. Auditory and haptic information processing are suitable for warning or alarm signals (e.g. rumble strips). The vestibular information processing is important for the perception of speed and acceleration of one's own vehicle.

The role of attention in perception can be described through the SEEV model. The influencing factors of attention are salience, effort, expectancy and value (WICKENS u. a., 2013). The bottom-up processing (data-based) describes the attraction of attention by physical properties of the object itself. The top-down processing (context-based), on the other hand, is dependent on the driver's mental models, schemes, and expectations. Both processes are interrelated and help to gradually improve models and schemas through experience. When driving, various tasks need to be addressed, which place different demands on the driver. Drivers are striving to keep their mental load at an optimum level (FULLER, 2005). DE WAARD (1996) has shown that both over- and underload have a negative effect on performance and thus the driving safety.

Expectations, schemata and mental models are decisive for the subjective perception of the road types (and the associated driving behavior). Problems occur when the development of the situation does not match the expectation of the driver. Therefore, roads should be as self-explaining as possible.

Relevant design elements for taking human factors into account

For consideration of human factors, it is above all a categorization of the road network as well as the definition of standardized and recognizable road types. For this, the streets of one road type should be uniform and the roads of different types of roads should be clearly distinguishable from each other. The recognizability of a road type can be ensured by a few unique identifiers. In order to implement standardized road types, relevant design features should be defined for each road type. In order to be able to achieve a homogenous driving profile which is adapted to the course of the route and thus safe, the design features should be determined according to the desired driving speeds.

In cross-section design, it should be taken into account that wider cross-sections are defined for desired higher vehicle speeds and narrower (optically) cross-sections for lower vehicle speeds. In doing so, an appropriate overtaking principle must always be present.

With regard to the alignment, it is important to pay attention that the course of the route is conforming to the drivers' expectation. Among other things, it is important to ensure the relationship between orientation and visibility. In addition, breaks in the route characteristics, but especially critical areas, should always be clearly visible.

For the road user, intersections should always be recognizable, clear, comprehensible, and accessible. In order to take into account the human factors, intersections should be error-forgiving and error-reversing in design.

Also the road equipment elements are important. These should be recognizable in a timely and recognizable manner. In order to avoid driver overload, only the most important equipment elements should be arranged.

The course of the route can be perceived visually better by the driver if the road side is adequately designed. In doing so, a varied road side design should be implemented. Possible glare effects and changing brightness should be avoided. For an appropriate recognizability of the curve, this should be edged parallel and without gaps, as well as be free from obstructions on the inside of the curve.

Interface analysis

The interface analysis examined the extent to which the human factors or design elements identified as relevant by the literature analysis have already been taken into account in the current guidelines on rural road design. It was also considered where amendments should be discussed or new empirical findings should be examined. As a result, it has been shown that the major part is already taken into account.

The following supplementary information is recommended:

- Ensure that the amount of information to be recorded corresponds to the speed level
- RWB: Ensuring adequate contrast between signage and background
- RWB: Optimization of the representation of the advance direction signs
- RAL: Introduction of the use of acoustic and tactile warning and alarm signals in critical areas
- RAL: Recommendation for road inspections with regard to glare or alternating brightness
- RAL: Ensuring adequate adaptation times by means of early speed reduction at avenues
- RAL: additions concerning the visual guidance through the road side design and with regard to the consistency of road and surroundings
- ESLa: Supplementation of specific information on visual guidance through planting
- RAL: Reference to ESLa with regard to the requirement to illustrate the curve through planting
- RAL: Reference to RASt 06 and ESLa with regard to the design of town entrances

- ESLa: additional information on the design of local entrances, e.g. the design of the approach area
- RAL: Reference to ESLa regarding the recognition of intersections in the course of an open road
- ESLa: additions concerning a varied road side design
- RAL: Reference to ESLa with regard to avoiding negative load consequences such as fatigue and monotony

The following research needs have been identified:

- Derivation of concrete measures to the useful field of view (UFOV)
- Selectivity between road types of EKL 2 and EKL 3
- Investigation as to whether the road user is interpreting a bike lane at an increased distance of the lateral road marks to the roads edge of road type EKL 4 and whether such an interpretation would have negative effects on the traffic safety of roads of road type EKL 4
- (long-term) effectiveness and possible application range of different variants of optical brakes
- Preparation of the findings on time-to-collision (TTC) as concrete measures
- error-forgiving and error-reversing intersection design
- Preparation of findings on drivers minimum distances from the lane boundary during curve passage
- Quantifiability and effects of higher centrifugal forces
- Quantifiability of the behavioral demand of a road
- Investigation on how subjectively perceived danger (with the same objective danger) can be consciously increased

Application of the measures

The results of the interface analysis were successfully applied to sample routes. The following findings were obtained:

- Not every design phase is covered by all relevant information on the consideration of human factors. In the iterative planning and design process, the course is developed and presented more and more in detail. Thus, the basic design elements and dimensions are defined in the preliminary planning. Aspects of the marking and of the optical guidance can only be described later on the basis of, for example, marking and planting plans. Therefore, the consideration of human factors must be evaluated iteratively, from the basic, general to the detailed requirements.
- No sight distance plans were presented in the planning documents of the execution planning. However, this would be necessary for a visual inspection across the entire planning process.
- In general, it has been found that, in the sections under investigation, the road planting has no significance or only a subsequent meaning. This is mainly due to the fact that these were roads of the existing network. Since it has been determined in the work that the planting can have a great influence on the driving behavior, this should be taken into account more intensively.
- Only by means of plans not all human factors can be checked. This applies, for example, for the recognizability of the marking and the signposting. For this purpose, a road inspection is necessary before commissioning or during operation. However, if the specifications of the relevant guidelines (e.g. ZTV M 13 or ZTV VZ) are implemented, this should also be ensured.
- There are extensive redundancies to the test procedure within the safety audits on roads. To this extent, a large part of the human factors aspects are already covered by the test criteria from the safety audit. A comparison of the developed approaches with the questionnaires of the safety audit showed that the following points (in the course of the preparation of the RSAS) could be included in the safety audit and / or formulated more clearly:
  - Verification of the recognizability of signs and marking (at night) (before traffic release)
  - Check the use of acoustic and tactile warning signals in places that require special attention

  - Avoid contradictions between road and roadside environment
  - Use the required sizes of the design elements and the cross section per EKL
  - Recognition of the lower and higher road at the junction
  - Avoiding the even arrangement of planting, especially with long straight road sections

- The extent to which human factors are taken into account is relatively higher in the case of comparatively newly planned roads than in the case of sections of the existing network. There are mainly deviations in the cross-section and in the alignment.
- An application of the approaches to existing roads could reveal shortcomings with regard to unresolved human factors. As a result, compensatory measures could be implemented to improve traffic safety if the road can not be designed completely according to the specifications of the RAL.

Conclusion

As a result, it can be stated that the human factors which are relevant for rural road design are already partly taken into account by the stipulations in the various guidelines. They are just not referred to as human factors.

The supplementary needs and/ or research requirements were shown for the human factors which have not yet been adequately included in the guidelines.

The action approaches generated can be applied to varying degrees in the individual planning stages. They can be used, above all, as a tool to develop measures to improve road safety of existing roads.

Based on the action approaches, proposals for a knowledge document have been developed, which, in addition to the previous recommendations of the planning practice, can be provided as a supplementary instrument.

Abkürzungen/Glossar

AOSI	Außerortsstraßensicherheit
AP	Ausführungsplanung
BMJV	Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz
BMVBW	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur
DFW	Durchfahrtwiderstand
DVR	Deutscher Verkehrssicherheitsrat
EKL	Entwurfsklasse
ESAS	Empfehlungen für das Sicherheitsaudit von Straßen
ESLa	Empfehlungen für die Einbindung von Straßen in die Landschaft
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HF	Human Factor(s)
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
HVO	Hinweise zur Verkehrslenkung und optischen Orientierung durch Bepflanzung an Bundes- und Landesstraßen (außerorts) im Land Brandenburg
LSA	Lichtsignalanlage
M EKLBest	Merkblatt zur Übertragung des Prinzips der Entwurfsklassen auf bestehende Straßen
MaKaU	Maßnahmenkatalog gegen Unfallhäufungen
MIL	Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg
MIV	motorisierter Individualverkehr
MLV	Merkblatt für die lichttechnischen Leistungsklassen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen
PIARC	World Road Association
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstraßen
RAL-K	Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Knotenpunkte
RAS-L	Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Linienführung
RAS-Q	Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Querschnitt
RASt 06	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen
RLPB	Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau
RMS	Richtlinien für die Markierung von Straßen
RSAS	Richtlinien für das Sicherheitsaudit von Straßen (Fortschreibung und Überarbeitung der ESAS)
RQ	Regelquerschnitt
RWB	Richtlinien für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen
SER	Selbsterklärende Straße(n)
SSD	Haltesichtweite (stoping sight distance)
StVO	Straßenverkehrsordnung
$SW_{Ü,erf}$,	erforderliche Überholsichtweite
t_g	Grenzzeitlücke
TLC	Time-to-Line-Crossing/ Zeit bis zum Erreichen der rechten oder linken Fahrbahnbegrenzung
t_{RT}	Reaktionszeit
TTC	Time-to-Collision/ Zeitspanne, in der ein Fahrer bei unverändertem Fahrverhalten ein Objekt erreichen wird
UDV	Unfallforschung der Versicherer
UFOV	tatsächlich nutzbares Sehfeld (useful field of view/vision)
Singularität	Abschnitt, der vom Straßennutzer besondere Aufmerksamkeit erfordert, z. B. Bahnübergänge, Haltestellen, Ein-/ Ausfahrten, Fahrbahnverengungen
V_{85}	Geschwindigkeit, die 85 % der unbehindert fahrenden Pkw auf nasser Fahrbahn nicht überschreiten
V_{zul}	zulässige Höchstgeschwindigkeit

Inhalt

Abkürzungen/Glossar 9

1 Einleitung 13

2 Ziel und Methodik der Untersuchung 14
2.1 Ziel der Untersuchung 14
2.2 Untersuchungsmethodik 14
2.2.1 Literaturanalyse 14
2.2.2 Schnittstellenanalyse 15
2.2.3 Handlungsansätze zur Bewertung von Straßenentwürfen 16
2.2.4 Textvorschlag für ein Wissensdokument 17

3 Human Factors 17
3.1 Die Fahraufgabe 17
3.2 Informationsaufnahme 19
3.2.1 Visuelle Verarbeitung 19
3.2.2 Auditive Verarbeitung 22
3.2.3 Haptische und vestibulare Verarbeitung 23
3.3 Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und Beanspruchung 24
3.3.1 Selektive und geteilte Aufmerksamkeit 24
3.3.2 Bottom-up und Top-down Wahrnehmung 25
3.3.3 Situationsbewusstsein nach Endsley 25
3.3.4 Gefahrenkognition nach Schlag 25
3.3.5 Beanspruchung, Workload und Ressourcen 26
3.4 Erwartungen, Mentale Modelle und SER-Konzept 27
3.5 Zusammenfassung 29

4 Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors 31
4.1 Entwurfsprinzip 31
4.2 Geschwindigkeiten 34
4.3 Querschnitte 37
4.4 Linienführung im Lageplan 39
4.5 Linienführung im Höhenplan 40
4.6 Räumliche Linienführung 41
4.7 Sichtweiten 42
4.8 Knotenpunkte 45
4.9 Ausstattung 48
4.9.1 Verkehrszeichen 48
4.9.2 Seitenraumgestaltung 51
4.10 Prüfung von Straßen auf deren Berücksichtigung von Human Factors 52
4.11 Zusammenfassung 53

5 Erfahrungsaustausch 54
5.1 European Workshop on International Human Factors Guidelines for Road Systems (2002) 54
5.2 Erfahrungsaustausch Niederlande 55
5.3 Erfahrungsaustausch Dänemark 57
5.4 Human Factors Workshop (2017) 59

6 Schnittstellenanalyse 61
6.1 Informationsaufnahme 61
6.1.1 Geschwindigkeit und Informationsmenge 61
6.1.2 Erkennbarkeit von Kurven 62
6.1.3 Erkennbarkeit von Singularitäten 62
6.1.4 Sichtbarkeit von Markierungen 64
6.1.5 Sichtbarkeit und Gestaltung von Beschilderung 65
6.1.6 Optische Täuschungen 66
6.1.7 Blendung und wechselnde Helligkeiten 67
6.1.8 Warn- und Alarmsignale 68
6.1.9 Neue Formen von Hinweisreizen 68
6.2 Aufmerksamkeit, Wahrnehmung 68
6.2.1 Straßenseitenraum und visuelle Führung 69
6.2.2 Aufmerksamkeitslenkung 71
6.3 Erwartungskonformität 71
6.3.1 Wiedererkennbarkeit 71
6.3.2 Einheitlichkeit 73

6.3.3 Übergänge zwischen Kategorien 74
6.3.4 Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke .. 75
6.3.5 Übergänge zur Ortschaft 76
6.3.6 Unter- und übergeordnete Straßen 77
6.3.7 Stetiger Streckenverlauf 78
6.3.8 Erwartung von Hinweisreizen 78
6.3.9 Förderung intuitiv richtigen Verhaltens durch die Straßengestaltung 79
6.3.10 Forschungsbedarf zur motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße 79
6.3.11 Forschungsbedarf zur Adaptation in Richtung vermehrter Vorsicht 79
6.4 Beanspruchung 80
6.4.1 Querschnitte und Geschwindigkeiten 80
6.4.2 Abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung 80
6.4.3 Beanspruchung und Überholmöglichkeiten 81
6.4.4 Fehlervermeidender und fehlerrückmeldender Knotenpunkt 82
6.4.5 Forschungsbedarf zur Time-to-Line-Crossing (TLC) 82
6.4.6 Forschungsbedarf zu wahrgenommenen Fliehkräften 83
6.5 Zusammenfassung 83
6.5.1 Informationsaufnahme 83
6.5.2 Aufmerksamkeit und Wahrnehmung 84
6.5.3 Erwartungskonformität 84
6.5.4 Beanspruchung 84
6.5.5 Forschungsbedarf 84
6.6 Tabellarische Übersicht - Schnittstellenanalyse 85

7 Prüfung der Anwendbarkeit an aktuellen Beispielfällen im Landstraßennetz 89
7.1 Straßen der EKL 1 89
7.1.1 B 112 in Brandenburg – Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd 89
7.1.2 B 178n in Sachsen – Abschnitt: Löbau Süd - Obercunnersdorf 91
7.2 Straßen der EKL 2 93
7.2.1 B 3 in Niedersachsen – Abschnitt: Elze Nord - Eimer Kreuz 93
7.2.2 B 327 in Rheinland-Pfalz – Ortsumgehung Kastellaun 96
7.3 Straßen der EKL 3 98
7.3.1 S 95 in Sachsen – Abschnitt: OA Dresden - OE Radeberg 98
7.3.2 S 222 in Sachsen – Abschnitt: OA Aue - OE Oberpfannenstiel .. 99
7.4 Straßen der EKL 4 101
7.4.1 K 6908 in Brandenburg – Abschnitt: OA Ferch - OE Petzow 101
7.4.2 S 47 in Sachsen – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna 103
7.5 Zusammenfassung 134

8 Wissensdokument 135

9 Zusammenfassung 139

Literatur **144**

Bilder **154**

Tabellen **157**

1 Einleitung

Die Forschung im Straßenentwurf konzentriert sich vorrangig auf die Definition, Bewertung und Weiterentwicklung der entwurfstechnischen Parameter im Detail oder in deren Zusammenspiel. Dabei sind die fahrpsychologischen Aspekte der Informationsaufnahme und -verarbeitung durch den Kraftfahrer ein immanenter Bestandteil dieser Untersuchungen. Die explizite Betrachtung der menschlichen Fähigkeiten sowie deren Beitrag für das Fahrverhalten und die -sicherheit sind bislang häufig in den Anfängen steckengeblieben. Insbesondere für die Bewertung der Unfallursachen können wahrnehmungspsychologische Aspekte eine wichtige Erklärungsvariable sein. Außerdem lassen sich daraus Rückschlüsse auf die Vermeidbarkeit von unfallbegünstigenden Situationen im Bestandsnetz ziehen, auf deren Basis wirkungsvolle Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit entwickelt werden können. Solche Aspekte werden heute als Human Factors bezeichnet.

Wie groß das Potenzial zur Verbesserung der Verkehrssicherheit bei Berücksichtigung der Human Factors ist, verdeutlicht das Unfallgeschehen. Im Jahr 2015 wurden in Deutschland 305.659 Unfälle mit Personenschaden erfasst. Für jeden dieser Unfälle konnten bis zu acht Ursachen eingetragen werden. Dabei wurde mit 87,6 % am häufigsten die Unfallursache „Fehlverhalten der Fahrzeugführer“ angegeben (Statistisches Bundesamt, 2016). Jedoch ist zu berücksichtigen, dass dies z. T. auch Unfälle sind, die durch den Einfluss von z. B. Alkohol und Übermüdung verursacht wurden. Aus den Untersuchungen von SINGH (2015) geht jedoch auch hervor, dass ca. 94 % der Unfälle auf Fehler des Fahrers zurückzuführen sind. Dabei kam es:

- zur fehlerhaften Wahrnehmung des Fahrraums (durch z. B. Unaufmerksamkeit des Fahrers),
- zu falschen Entscheidungen bzgl. des Fahrverhaltens (z. B. Wahl der Geschwindigkeit),
- zu Fehleinschätzungen der Leistungsfähigkeit (z. B. Überschätzung, schlechte Spurführung),
- zu Fehlern, die auf Ursachen wie Übermüdung u. ä. beruhen und
- zu sonstigen Fehlern der Fahrzeugführer.

Hinsichtlich des motorisierten Individualverkehrs (MIV) wird die Verantwortlichkeit für einen großen Anteil der allein den Fahrern zugeschriebenen Fehler häufig überschätzt (THEEUWES u. a., 2012). Vielmehr entstehen Fehler häufig dadurch, dass Bedürfnisse und Fähigkeiten der Fahrer bei der Planung und Gestaltung der Straßeninfrastruktur nicht ausreichend berücksichtigt wurden (Wissenschaftlicher Beirat des BMVI, 2010).

Über die Berücksichtigung der fahrphysikalischen Aspekte hinaus müssen somit die Aspekte der Fahrerorientierung und der Wahrnehmung sowie der physiologischen und psychologischen Fähigkeiten und Eigenschaften der Kraftfahrer mit einbezogen werden. Konkret schlägt sich dies bereits in den Entwurfsvorgaben der Regelwerke nieder, wie z. B. bei den Festlegungen zur Haltesichtweite, zur optischen Führung und zur Fahrerorientierung. Für die Festlegungen der im Regelwerk aufgeführten Entwurfsvorgaben wurden in der Vergangenheit verschiedene Untersuchungen mit interdisziplinären Ansätzen durchgeführt. Auf der Grundlage der umfangreichen Literaturanalyse von SCHLAG/HEGER (2002) zur Berücksichtigung physiologischer und psychologischer Fähigkeiten und Grenzen von Kraftfahrern baute u. a. die BASt-Grundlagenstudie Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen (BECHER u. a., 2006) auf, aus der konkrete Erkenntnisse für die „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen“ (RAL) abgeleitet werden konnten.

Mit der Einführung der RAL (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2012) wird das Ziel verfolgt, standardisierte und wiedererkennbare Landstraßentypen zu schaffen und so die Verkehrssicherheit zu verbessern. Diese neue Ausrichtung der Entwurfsgrundlagen ordnet sich in internationale Ansätze ein.

Die vorliegende Arbeit soll einen weiteren, wesentlichen Beitrag für eine bestmögliche Passung zwischen den Fähigkeiten und Kapazitäten der Straßennutzer und den durch die Straße und deren Umfeld erzeugten Anforderungen leisten.

Zur umfassenden Betrachtung der Human Factors und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen wurde eine enge, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Fachgebieten Verkehrspsychologie und Straßenentwurf realisiert. Die Grundlage des Projektes bildet eine umfangreiche nationale und internationale Literaturanalyse. Durch diese werden die bereits in der Literatur diskutierten Human Factors herausgearbeitet. Daran anschließend werden die für den Entwurf von Landstraßen

maßgebenden Regelwerke hinsichtlich ihrer Berücksichtigung der identifizierten Faktoren auf Schnittstellen untersucht. Auf dieser Grundlage werden Handlungsansätze formuliert, die exemplarisch auf Straßen des Bestandsnetzes angewendet werden sollen. Im Ergebnis wird ein Textvorschlag für ein Wissensdokument als praktisches Hilfsmittel für die Anwender erarbeitet.

2 Ziel und Methodik der Untersuchung

2.1 Ziel der Untersuchung

Durch das Forschungsvorhaben sollen die für den Straßenentwurf relevanten Human Factors erarbeitet werden. Darauf aufbauend soll geprüft werden, ob diese in den für den Entwurf von Landstraßen relevanten Regelwerken bereits Anwendung finden oder ggf. zu ergänzen sind. Für die zu ergänzenden Human Factors erfolgt eine synoptische Darstellung mit den möglichen Gestaltungsvarianten. Im Ergebnis des Vorhabens wird ein Vorschlag für ein Wissensdokument erarbeitet, das der Planungspraxis als ergänzendes Instrumentarium zur Verbesserung der Verkehrssicherheit dienen soll. Es wird dabei auch geprüft, ob bestimmte Aspekte direkt in die Entwurfsrichtlinien übernommen werden können.

Im Ergebnis der Untersuchungen sollen vor allem folgende Fragen beantwortet werden:

- Was wird unter Human Factors im Straßenentwurf verstanden und welche gibt es?
- Welche Anforderungen ergeben sich daraus für den Straßenentwurf?
- Welche Human Factors sollten beim Entwurf von Landstraßen berücksichtigt werden?
- Lassen sich Human Factors nur in qualitativen oder auch in quantitativen Vorgaben beschreiben?
- Welche Human Factors sind bereits auf bestehenden Landstraßen berücksichtigt?
- Welche Human Factors finden bereits im Entwurfsprozess und bei den Entwurfselementen Anwendung?
- In welcher Phase von Planung, Bau und Betrieb fließen die Aspekte ein?
- In welchen für Landstraßen maßgebenden Regelwerken sind diese Human Factors enthalten und wie sind sie für die Praxis aufgearbeitet?
- Welche Human Factors wurden in den Regelwerken noch nicht berücksichtigt und welche sollten davon übernommen werden?
- Können die identifizierten Human Factors als ergänzende Gestaltungs- oder Prüfvariable im Planungs- und Entwurfsprozess herangezogen werden?
- Können die für den Straßenentwurf als maßgebend identifizierten Human Factors als ergänzende Erklärungsvariable bei Unfallschwerpunkten verwendet werden?
- Wo liegen die Grenzen des Beitrages der Human Factors in der Straßenplanung und im Straßenentwurf?
- Wie lassen sie sich für die Praxis anwendbar aufarbeiten? Wo liegen die Grenzen?
- Können die gewonnenen Erkenntnisse in Form möglicherweise eines Arbeitspapiers der Praxis zur Verfügung gestellt werden?

2.2 Untersuchungsmethodik

Für das Forschungsvorhaben leiten sich aus der unter Kapitel 2.1 genannten Zielstellung folgende Arbeitsschritte ab (Bild 1).

2.2.1 Literaturanalyse

Über die nationale und internationale Literaturanalyse wird erarbeitet, wie Human Factors definiert werden können und welche Human Factors für den Entwurf von Straßen relevant sind. Weiterhin wird geprüft, ob Human Factors nur qualitativ oder auch quantitativ beschrieben werden können. Bei der Erarbeitung der für den Straßenentwurf maßgebenden Human Factors wird sich auf die Human Factors konzentriert, die auf den Großteil der Fahrzeugführer zutreffen. Sonderfälle, wie z. B. Human Factors bei Nacht (ausgenommen Markierung und Beschilderung), bei Nässe, Nebel, o. ä. oder von älteren Personen werden nicht betrachtet. Im Ergebnis werden die identifizierten Human Factors hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in den Planungsrichtlinien strukturiert.

Bild 1: Untersuchungsmethodik

Es wird weiterhin analysiert, ob und wie andere Länder in ihren Entwurfsrichtlinien Human Factors berücksichtigen. Auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wird eine Schnittstellenanalyse zwischen den erarbeiteten Human Factors und denen durchgeführt, die bereits in den Regelwerken verankert sind (Kapitel 2.2.2).

Ergänzend zur Literaturanalyse werden Vor-Ort-Expertengespräche zum internationalen Erfahrungsaustausch durchgeführt. Dabei wird u. a. auch geprüft, ob und in welchem Umfang die Erfahrungen aus dem Ausland auf die deutschen Verhältnisse übertragbar sind.

2.2.2 Schnittstellenanalyse

Auf der Grundlage der in der Literaturanalyse gewonnenen Erkenntnisse erfolgt eine Schnittstellenanalyse. Dabei wird überprüft, inwieweit die aus der Literaturanalyse als maßgebend identifizierten wahrnehmungspsychologischen Human Factors bereits in den aktuellen Regelwerken berücksichtigt werden.

Das Forschungsvorhaben beschränkt sich dabei zunächst nur auf Landstraßen und hier vorrangig auf die Gestaltung des Fahrbahnbandes und des Fahrraums. Dies erfolgt vor allem aus folgenden Gründen:

- Landstraßen sind vor allem im Bestand oft nicht nach den Anforderungen der derzeit gültigen Regelwerke gestaltet.
- Abweichungen von den Sicherheitsaspekten sind dort am größten (räumliche Linienführung, Einheitlichkeit der Knotenpunkte usw.).
- Daraus resultierend sind Unfälle mit schweren Personenschäden bzw. Getöteten am häufigsten. Insofern liegt hier das größte Unfallvermeidungspotential.
- Human Factors können hier womöglich eine Erklärungsvariable für Unfallhäufungsstellen im Bestand sein.
- Autobahnen unterliegen weitaus höheren Anforderungen an Standardisierung im Vergleich zu Landstraßen. Sie haben zudem den höchsten Sicherheitsstandard und eine sehr großzügige Linienführung.
- Innerortsstraßen unterliegen im Vergleich zu Landstraßen einer Vielzahl an Anforderungen und Nutzungskonflikten. Sie weisen sehr unterschiedliche Nutzergruppen auf. Die gestalterischen Anforderungen aus den Human Factors heraus umfassend zu erheben und zu bewerten bedarf anderer methodischer Ansätze als der in dem vorliegenden Forschungsvorhaben gewählten.

Es werden u. a. folgende Regelwerke analysiert:

- Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL; FGSV, 2012),
- Merkblatt zur Übertragung des Prinzips der Entwurfsklassen auf bestehende Straßen - Entwurf 2016 (M EKLBest; FGSV, 2016),
- Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS; FGSV, 1993),
- Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“ (HBS; FGSV, 2015),
- Richtlinien für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen“ (RWB; Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW), 2000),
- Empfehlungen des BMVI und der Ministerien der Länder sowie
- StVO (2013) und VwV-StVO (2015).

Die Analyse beschränkt sich auf die derzeit gültigen Regelwerke. Dabei ist zu berücksichtigen, dass de-

ren Grundlage vorangegangene Regelwerke sind. Somit sind die meisten Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors, die aus den Regelwerken herausgearbeitet werden, nicht neu. Auch in den vorangegangenen Regelwerken werden Human Factors berücksichtigt.

Bei der Analyse der Regelwerke wird auch geprüft, ob die in den Regelwerken enthaltenen Human Factors ausreichend berücksichtigt sind oder ob dazu weitere Ausführungen erforderlich sind.

Im Ergebnis der Schnittstellenanalyse wird eine konkrete Aufstellung der Faktoren erarbeitet, die in den Regelwerken zu ergänzen sind, und denen, die in den Regelwerken genauer ausgeführt werden sollten. Die aus der Schnittstellenanalyse gewonnenen Erkenntnisse werden abschließend im Rahmen eines eintägigen Workshops diskutiert. Dazu werden Experten auf dem Gebiet der Human Factors eingeladen, ihre Erfahrungen zu präsentieren und auf deren Grundlage die aus dem vorliegenden Vorhaben erarbeiteten Erkenntnisse zu diskutieren.

2.2.3 Handlungsansätze zur Bewertung von Straßenentwürfen

Erarbeitung der Handlungsansätze

Auf der Basis der Literaturanalyse und der Schnittstellenanalyse werden Handlungsansätze formuliert, wie die für den Straßenentwurf relevanten Human Factors beim Entwurf und bei der Bewertung von Straßen des Bestandsnetzes zur Anwendung kommen können. Die Handlungsansätze werden nach den Entwurfselementen differenziert, um deren Umsetzung für den Anwender zu erleichtern. Dabei wird sich an der inhaltlichen Gliederung der RAL (FGSV, 2012) orientiert.

Die Handlungsansätze werden anschließend validiert. Dazu werden Expertenbefragungen durchgeführt, bei denen die Handlungsansätze hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit beim Straßenentwurf und ihrer Übertragbarkeit auf den Bestand diskutiert werden. Im Ergebnis der Expertenvalidierung werden die Handlungsansätze auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse überarbeitet.

Prüfung der Anwendbarkeit der Handlungsansätze

Die erarbeiteten Handlungsansätze werden exemplarisch an geeigneten Untersuchungsstrecken umgesetzt, um deren Anwendbarkeit zu überprüfen. Dafür werden für jede EKL nach RAL (FGSV, 2012) mindestens zwei Beispielstrecken aus dem Bestandsnetz auf die Human Factors untersucht. Die Untersuchungsstrecken sollten dabei nach den RAS-L (FGSV, 1995) gebaut oder nach den RAL (FGSV, 2012) geplant sein, wobei mindestens ein genehmigter Vorentwurf vorliegen sollte.

Das Streckenkollektiv wird auf der Grundlage der in den folgenden Projekten erarbeiteten Erfahrungen und Daten zusammengestellt:

- FE 82.355/2008 Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraße (AOSI) (LIPPOLD u. a., 2011),
- FE 02.281/2007/AGB Wirkung, Akzeptanz und Dauerhaftigkeit von Elementen der Fahrtrichtungstrennung auf Landstraßen (LIPPOLD u. a., 2013),
- FE 82.0335/2007 Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen (SCHLAG u. a., 2015) und
- FE 18.0022/2013 Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest (LIPPOLD/ZÖSCH, 2015).

Es ist denkbar, dass die erarbeiteten Handlungsansätze für die Analyse von unfallauffälligen Punkten oder Abschnitten sowie zur Begründung von Maßnahmen, die der Verbesserung der Verkehrssicherheit dienen sollen, verwendet werden können. Daher werden auch auf den Untersuchungsstrecken ggf. vorhandene Unfallschwerpunkte bzw. -bereiche analysiert.

Im Ergebnis der Anwendung der Handlungsansätze an bestehenden Straßen werden konkret folgende Fragen beantwortet:

- Sind für den Planer in den verschiedenen Entwurfsphasen alle relevanten Informationen vorhanden, um die Human Factors ausreichend berücksichtigen zu können?
- Können Human Factors bereits während des Entwurfs berücksichtigt werden oder sind diese erst nach dem Bau erkennbar bzw. prüfbar?

Die Handlungsansätze können im Rahmen des vorliegenden Vorhabens ggf. nicht in der Praxis umgesetzt werden. Dadurch kann deren Nutzen für die Verkehrssicherheit nicht bewertet werden. Es kön-

nen jedoch Aussagen zu der Anwendbarkeit und der Handhabbarkeit der Ansätze getroffen werden.

2.2.4 Textvorschlag für ein Wissensdokument

Die erarbeiteten Handlungsansätze werden unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus der Expertenbefragung und der Prüfung auf Anwendbarkeit in Form von allgemeingültigen Empfehlungen aufbereitet. Auf der Grundlage der Empfehlungen wird ein Vorschlag für ein Wissensdokument erarbeitet. Dabei wird auch geprüft, ob Änderungen bzgl. der in den maßgebenden Regelwerken definierten Entwurfselemente erforderlich sind.

3 Human Factors

Marc Green ein amerikanischer Human Factors Experte umschreibt sehr treffend, was das Feld der Human Factors Forschung ausmacht. Er nimmt dabei Bezug auf eine berühmte Aussage von B. F. Skinner, der einmal sagte „The rat is always right“. “[..] Skinner wollte damit [seinen Studenten gegenüber] ausdrücken, dass in einem Experiment, in welchem die Ratte sich nicht verhält, wie gewollt, es nicht daran liegt, dass die Ratte dumm, faul oder unaufmerksam ist. Es liegt daran, dass das Experiment falsch aufgebaut wurde.“ (frei übersetzt nach GREEN, 2013).

Dieses Beispiel unterstreicht sehr gut die Bedeutung von Human Factors und wie wichtig es ist, die Erkenntnisse zur Wahrnehmung, Kognition und Reaktion bei der Interaktion des Menschen mit Designelementen einzubeziehen. Hiervon ist auch das Straßendesign nicht auszunehmen. Liegt ein Streckenabschnitt vor, den die Nutzer als schwierig und nicht intuitiv erleben und erweist sich dieser Abschnitt als fehleranfällig und nicht verkehrssicher, so liegt dies nicht an all den Fahrern, die dort Fahrfehler begehen. Es liegt an Fehlern im Design des Streckenabschnittes selbst. „The rat is always right“.

Um Fahrfehler und Unfälle bestmöglich zu verhindern, sollte also beim Design und damit beim ersten Schritt, der Planung angesetzt werden. Bezieht man in diesem frühen Stadium bereits Human Factors mit ein, erhöht dies die Wahrscheinlichkeit, eine an die Bedürfnisse und Voraussetzungen des Straßennutzers bestmöglich angepasste Straße zu erstellen. Darüber hinaus bietet die Einbeziehung von Human Factors-Wissen die Chance, den Nutzer in gewünschtem Verhalten zu bestärken.

In Anlehnung an die World Road Association ((PIARC), 2008) kann der Human Factors Begriff wie folgt definiert werden:

Human Factors im Straßenentwurf beschreiben alle physiologischen und psychologischen Fähigkeiten und Grenzen des Menschen, welche das Zusammenspiel von Straße und Straßennutzer beeinflussen können. Davon ausgenommen sind vorübergehende Beeinträchtigungen, wie sie etwa durch Alkoholgenuss, die Einnahme von Medikamenten oder Erkrankungen auftreten.

Das erklärte Ziel des Human Factors-Ansatzes ist es, unfallbegünstigende und -auslösende Straßenmerkmale zu identifizieren und damit wirksam zur Prävention von Unfällen beizutragen.

3.1 Die Fahraufgabe

Das Fahrverhalten eines Fahrzeugführers resultiert aus dem Zusammenwirken zwischen dem Fahrer, dem Fahrzeug und dem Fahrraum. DURTH (1974) beschreibt dies in Form eines Regelkreises (Bild 2). Dieser setzt sich aus den folgenden Komponenten zusammen:

- Regler (R): Fahrer,
- Regelstrecke (RS): Fahrzeug,
- Führungsgröße (W): Straße und ihre optische Führung sowie
- Störgröße (Z): Verkehr und Witterung.

Der Fahrer (R) nimmt die Informationen aus seiner Umwelt (W und Z) über die Sinnesorgane auf. Dabei haben die Augen (Optik) die größte Bedeutung (DURTH, 1974).

Von der insgesamt zur Verfügung stehenden Informationsmenge wird nur ein geringer Teil als verkehrsmaßgebende Information erkannt und für das Fahrverhalten verarbeitet. Im Gehirn werden diese in bewusstes und unbewusstes Handeln umgesetzt. Die resultierende Fahrerreaktion bestimmt schließlich die Längsregelung (Geschwindigkeit) und die Querregelung (Lenkradeinschlag) des Fahrzeuges innerhalb der Regelstrecke (RS). Dadurch wird das Fahrzeug und somit auch dessen Fahrlinie beeinflusst (DURTH, 1974).

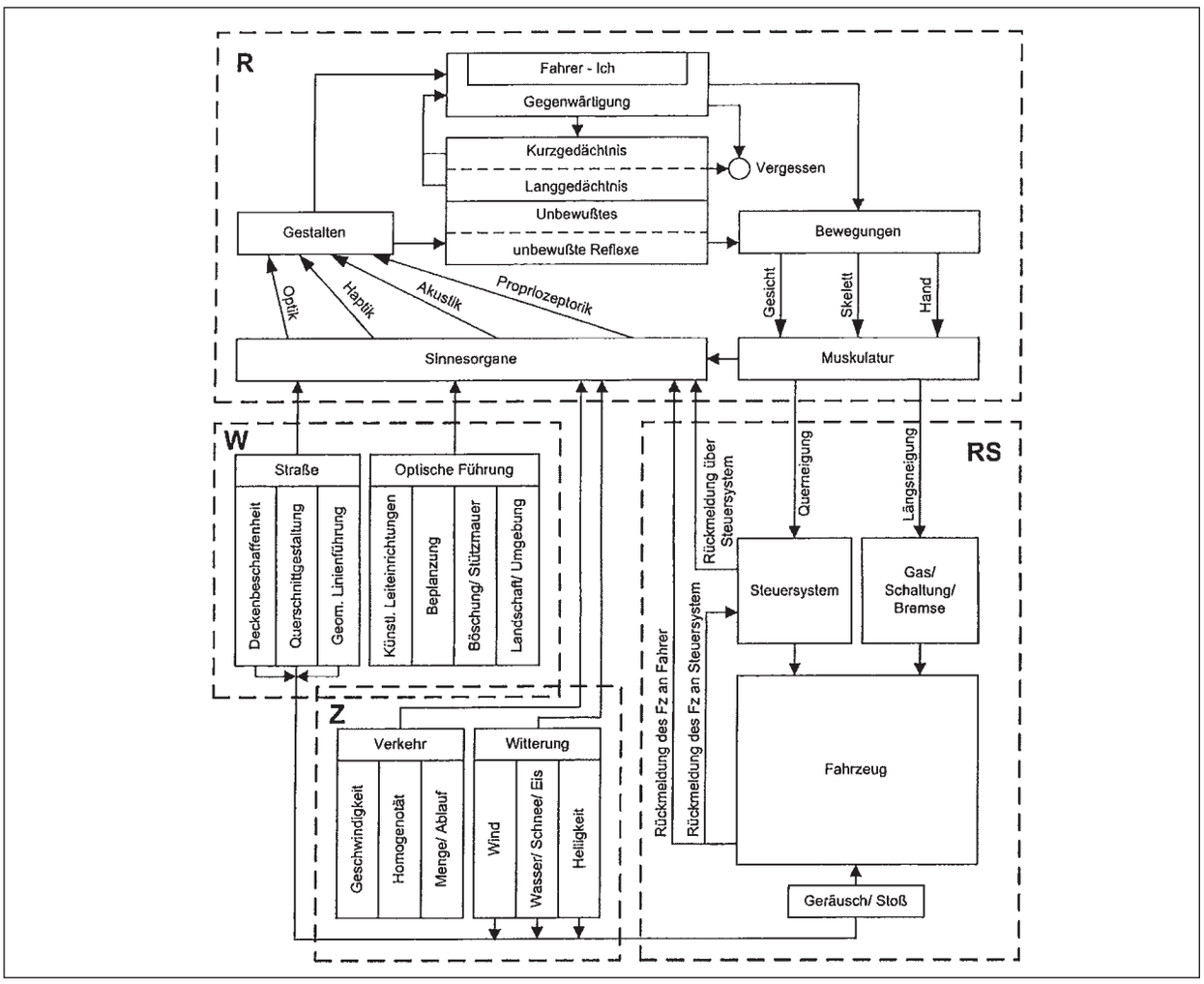


Bild 2: Regelkreis Fahrer - Fahrzeug - Straße (DURTH, 1974)

Die Aufgaben des Fahrers beim Führen eines Fahrzeugs können u. a. über hierarchische Modelle dargestellt werden. So beschreibt MICHON (1985) in seinem Modell der Fahraufgabe drei kognitive Regulationsebenen, welche sich durch einen unterschiedlichen Grad an Bewusstheit unterscheiden: die Navigationsebene, die Manöverebene und die Kontrollebene (Bild 3). Auf der Navigationsebene werden Entscheidungen getroffen, welche die Wahl des Fahrziels, die Route und die Zeit betreffen. Diese Ziele werden auf Manöverebene in der aktuellen Fahrsituation umgesetzt, z. B. durch Abbiegen, Überholen oder das Einlegen einer Pause. Während der Kontrollebene Handlungen zugeordnet werden, die direkt der Fahrzeugbedienung dienen, etwa das Wechseln in einen anderen Gang. Handlungen auf Kontrollebene werden über die Zeit automatisiert und erfordern so nur eine geringe Arbeitsgedächtniskapazität. So unterscheiden sich die verschiedenen Ebenen durch ihre spezifischen Anforderungen, den zeitlichen Rahmen ihrer Ausführung, sowie durch die kognitiven Prozesse, die

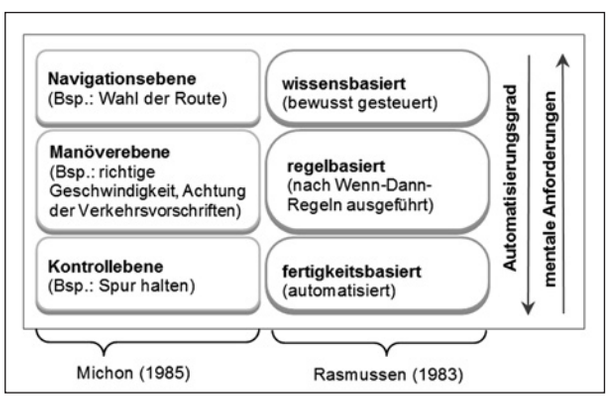


Bild 3: Eigene Darstellung eines kombinierten Drei-Ebenen-Modells der Fahrzeugführung

jeweils beteiligt sind. Den Ebenen von MICHON (1985) kann das Verhaltensmodell von RASMUSSEN (1983) zugeordnet werden (Bild 3). Er nimmt eine Unterteilung in wissensbasiertes, regelbasiertes und fertigkeitsbasiertes Verhalten vor. Betrachtet man beide Konzepte in einem kombinierten Modell beansprucht die strategische Planung auf Navigationsebene vergleichsweise viel Zeit und mentale

Ressourcen, da hier bewusste, wissensbasierte Entscheidungen getroffen werden. Auf Manöverebene hingegen werden Entscheidungen regelbasiert getroffen. Erscheint ein Stimulus, bzw. eine bestimmte Situation wird nach einer zutreffenden Wenn-Dann-Regel entschieden. Dabei werden weniger Zeit und weniger kognitive Ressourcen im Vergleich zur Navigationsebene aufgewendet. Durch Erfahrung bzw. Übung wird die reine Bedienung eines Fahrzeugs zu einer fertigkeitsbasierten Handlung. Auf der Kontrollebene sind Reaktionen und Handlungen aus diesem Grund weitgehend automatisiert. Es wird nur wenig Zeit aufgewendet und kaum mentale Ressourcen beansprucht.

Dem Minimalprinzip folgend werden Entscheidungen auf der zeit- und ressourcenintensiven, wissensbasierten Ebene vermieden, solange eine Wenn-Dann-Regel bzw. einfache Reiz-Reaktions-Muster angewendet werden können. Diesem Gedanken folgen HALE u. a. (1990) mit ihrer Feststellung, dass für einen homogenen Verkehrsfluss nötige Hinweise auf den unteren zwei Ebenen, also regel- oder fertigkeitsbasiert gegeben werden sollten. Im Hinblick auf die Straßengestaltung bedeutet dies z. B. den Aufbau sicherer Wenn-Dann-Verknüpfungen zu unterstützten, wie bereits durch die Einführung der vier Entwurfsklassen in den aktuellen RAL (FGSV, 2012) angestrebt.

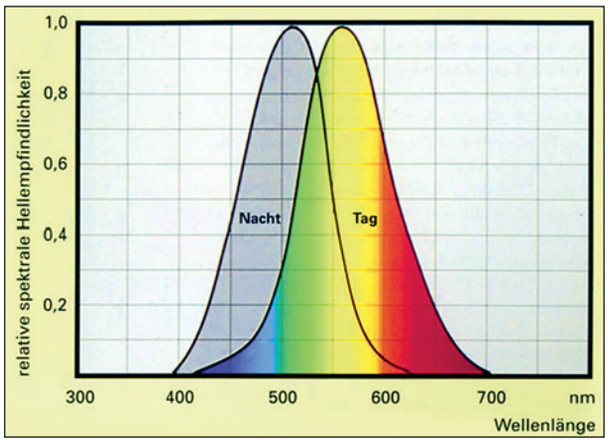


Bild 4: Relative spektrale Hellempfindlichkeit in Abhängigkeit der Wellenlänge (GREULE, 2014)

Bild 5: Kurventafeln oben nach StVO und Kurventafeln unten mit gelber Umrandung (PIARC,2012)

3.2 Informationsaufnahme

3.2.1 Visuelle Verarbeitung

Das Straßenverkehrsgeschehen stellt das menschliche Wahrnehmungssystem vor eine hochgradig komplexe Informationsverarbeitungs- und -integrationsaufgabe. Für das Fahren von besonderer Bedeutung sind dabei die visuelle, die auditive sowie die kinästhetische Wahrnehmung. Die Aufnahme der Informationen ist dabei an die Grenzen der verschiedenen Sinnesmodalitäten geknüpft. Die Grenzen des visuellen Systems werden uns u. a. bei Fahrten unter schlechten Sichtbedingungen (z. B. Dunkelheit, Nebel, Regen) bewusst. Als fernorientiertes Sinnesorgan ermöglicht der Sehsinn die Antizipation von Gefahren, gleichzeitig wirkt er verhaltensadaptiv. Im Zusammenhang mit der Informationsaufnahme im Straßenverkehr spielen zwei verschiedene Arten des Sehens eine Rolle: das foveale Sehen und das periphere Sehen. Beide Arten unterscheiden sich hauptsächlich durch die unterschiedliche Verteilung und Anordnung von Rezeptoren auf der Netzhaut, welche als Übergangsstelle der visuellen Information zum Gehirn dient. Das foveale Sehen beginnt mit dem Eintreffen der Lichtstrahlen auf die Sehgrube (Fovea centralis) in der Mitte der menschlichen Netzhaut. An dieser Stelle sitzt die größte Anzahl lichtempfindlicher Rezeptoren (Zapfen), welche im Verhältnis 1 : 1 auf Ganglienzellen konvergieren. Diese Art der Konvergenz führt zu einer höchstmöglichen Informationsauflösung, wodurch Sehschärfe und Farbqualität am größten sind. Das Sehen am Tag wird hauptsächlich über die Zapfen ermöglicht. Diese weisen die größte spektrale Hellempfindlichkeit im Bereich von 530 nm bis 590 nm auf (Bild 4).

Das visuelle System ist besonders empfindlich für hellgrüne bis gelbe Farbtöne. Diese können in der Folge durch den Betrachter schnell entdeckt werden. Ungünstige Lichtverhältnisse, z. B. aufgrund der umgebenden Landschaft können die Erkennbarkeit der Beschilderung beeinträchtigen (vgl. Bild 5, Bild 32). Der Einsatz von Trägertafeln in hellgrünen bis gelben Farbtönen kann die Erkennbar-

keit von Beschilderungen bei mangelndem Kontrast zum Hintergrund erhöhen (Bild 5). Die Kurventafeln im unteren Bild sind deutlich leichter zu erkennen als die Kurventafeln im oberen Bild.

In Deutschland ist die Gestaltung einer Kurventafel in dieser Weise nach StVO (2013) aktuell nicht zulässig.

Das hohe Auflösungsvermögen im Bereich der Sehgrube ist auf etwa 1 Grad um das fixierte Blickobjekt herum (JOOS u. a., 2003) begrenzt. So wird ein Übersehen wichtiger Informationen leicht möglich. Bei einer Vielzahl von Aufgaben (z. B. dem Autofahren) spielt neben dem fovealen Sehen auch das periphere Sehen eine entscheidende Rolle. Durch das Lenken der Aufmerksamkeit auf neu auftauchende und sich bewegende Stimuli, können diese erkannt und neue Ziele fixiert werden. Das periphere Sehen weist eine hohe Empfindlichkeit für Bewegungen und Veränderungen auf und beeinflusst so auch die Aufmerksamkeitszuwendung. Im Gegensatz zum fovealen Sehen erlaubt das periphere Sehen das Scannen eines wesentlich größeren Bereiches, monokular etwa 60 Grad bis 100 Grad um den Fixationsort (RANTANEN/GOLDBERG, 1999).

Dabei ist die genaue Ausdehnung des peripheren Sehens abhängig von verschiedenen Faktoren, wie Bewegung, Größe, Farbe und Kontrast des Betrachtungsobjekts. In verschiedenen Studien konnte auch ein Einfluss von Workload (siehe Kapitel 3.3.5) auf das periphere Sehen beschrieben werden (WILLIAMS, 1995a; 1995b). Im Zusammenhang mit dem peripheren Sehen wird häufig auch vom nutzbaren (funktionalen) Sehfeld oder useful field of view/of vision (UFOV) gesprochen. Damit wird die Begrenzung der peripheren Wahrnehmung auf einen Kegel bestimmter Ausdehnung um den Fixationsort beschrieben (vgl. z. B. RANTANEN/GOLDBERG, 1999). Die Größe dieses Kegels wird jedoch in verschiedenen Studien zum Thema unterschiedlich definiert und reicht von wenigen Grad um den Fixationsort (RANTANEN/ GOLDBERG, 1999) bis zur Betrachtung des gesamten Blickfeldes (z. B. MYERS u. a., 2000).

Nach BALL/OWSLEY (1993) beschreibt das UFOV den Bereich des Blickfeldes, aus dem der wesentliche Teil der Informationsaufnahme erfolgt. Versuche, u. a. von MIURA (1986) und COHEN (1987) legen nahe, dass auch komplexe Verkehrssituationen zu einer Verkleinerung (Tunnelblick) des UFOV führen können. MIURA (1986) stellte fest, dass dies

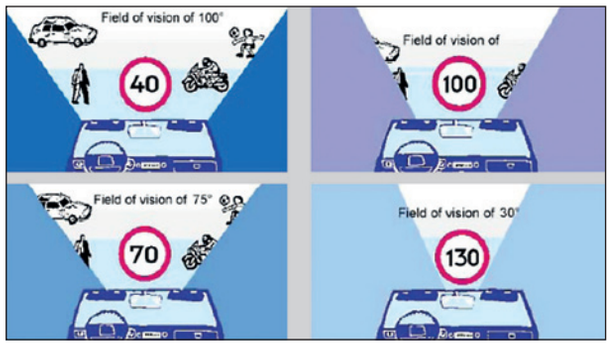


Bild 6: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Blickfeldweite (OECD/ECMT, 2006)

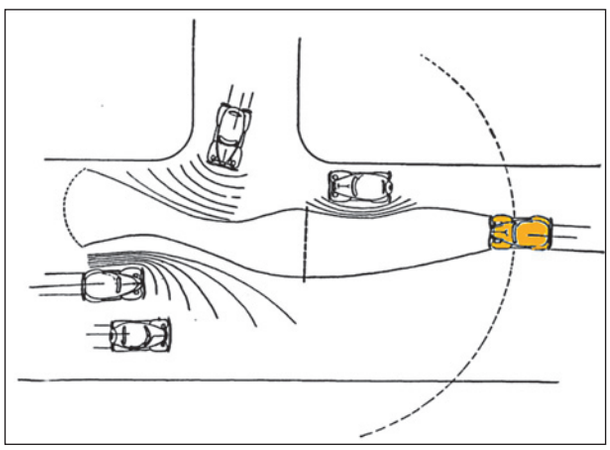


Bild 7: Field of safe travel und Fahrspur (GIBSON/CROOKS, 1938)

v. a. bei Entscheidungen, welche unter Beachtung vieler verschiedener Fixationsorte getroffen werden zu beobachten ist und schlussfolgerte, dass die Einengung des UFOV insofern eine situationsbedingte Adaptation des visuellen Systems darstellt. Wie SCHLAG u. a. (2009) berichten, wird die Informationsaufnahme auch durch die geschwindigkeitskorrelierte Blickfeldweite und Blickfeldtiefe maßgeblich beeinflusst (Bild 6). Je höher die Geschwindigkeit, desto entfernter liegen visuelle Orientierung und Fokus (SCHLAG u. a., 2009). Daher müssen kritische Objekte umso früher/umso weiter entfernt vom Fahrer wahrgenommen werden, je höher dessen Fahrgeschwindigkeit ist (SCHLAG u. a., 2009). Bei geringen Geschwindigkeiten dagegen wird das Blickfeld zurückverlagert und erweitert (SCHLAG u. a., 2009).

Nach GIBSON/CROOKS (1938) besteht die Hauptaufgabe beim Fahren darin, eine bestimmte Fahrspur, unter Berücksichtigung der Verkehrsinfrastruktur und unter Vermeidung von Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern beizubehalten. Durch Richtung und Geschwindigkeit der aktuellen Fahrspur bestimmt sich die wahrgenommene zukünftige Fahrspur des eigenen Fahrzeugs und wird von GIB-

SON/CROOKS (1938) als field of safe travel bezeichnet (Bild 7). Auf die Antizipation der Situationsentwicklung wird in Kapitel 3.3.3 näher eingegangen.

Ein weiterer Faktor der visuellen Wahrnehmung ist die Akkommodationsleistung des menschlichen Auges. Wenn Objekte in unterschiedlicher Entfernung nacheinander fixiert werden, muss die Linse im Auge weiter gekrümmt bzw. verflacht werden, um für das neu fixierte Objekt die optimale Sehschärfe zu erreichen. Dieser Prozess nimmt umso mehr Zeit in Anspruch, je größer der Entfernungsunterschied zum zuvor fixierten Objekt ist (zur Akkommodation siehe z. B. GOLDSTEIN, 2011). Wie RICHTER/SCHLAG (2000) beschreiben, hat auch die Adaptation des Auges an verschiedene Helligkeiten einen erheblichen Einfluss auf die Möglichkeiten der Informationsaufnahme. Unter ungünstigen Sichtbedingungen kann die Sehschärfe auf bis zu ein Zehntel der Tagessehschärfe sinken und durch Dämmerung bzw. Dunkelheit weiter verschlechtert werden (RICHTER/SCHLAG, 2000). Dabei dauert die Adaptation an eine erheblich geringere Leuchtdichte länger als an eine höhere Leuchtdichte (HENTSCHEL, 2002).

Mit der Adaptationsleistung verbunden ist die physiologische Blendung (disability glare). Sie tritt bei zu hohen Leuchtdichten, zu großen Leuchtdichteunterschieden oder ungleichmäßiger Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld auf (SCHLAG u. a., 2009). Bei Dunkelheit liegt die Blendempfindlichkeit höher, da die Umgebungsleuchtdichte, v. a. auf unbeleuchteten Straßen sehr gering ist und bei zu starker Änderung der Leuchtdichte die Rezeptoren sehr gereizt werden (Adaptationsdefekt) (vgl. HENTSCHEL, 2002). Doch auch am Tag kann Blendung eine Rolle spielen, etwa beim Befahren einer Allee bei tief stehender Sonne oder bei der Ausfahrt aus einem Tunnel bei hellem Sonnenschein. Dabei kann die Blendung verschiedene negative Auswirkungen haben, z. B. auf die Sehschärfe, das Form- und Gestalterkennungsvermögen, die Tiefenwahrnehmung oder die Wahrnehmungsgeschwindigkeit (SCHLAG u. a., 2009). Blendung hat auch einen psychologischen Aspekt (discomfort glare), da die Lichtquelle ungewollt Aufmerksamkeit auf sich zieht und so zu Ablenkung und Ermüdung führen kann. Zudem kann eine Blendlichtquelle als sehr unangenehm oder belästigend empfunden werden (SCHLAG u. a., 2009).

Die Bedeutung geringer Lichtverhältnisse auf die Unfallwahrscheinlichkeit bei nächtlichen Fahrten verdeutlichten z. B. JOHANSSON u. a. (2009). Sie zeigten, dass das Unfallrisiko während nächtlicher Stadtfahrten um 30 % höher liegt und bei nächtlichen Fahrten auf Landstraßen sogar um 40 % erhöht ist (JOHANSSON u. a., 2009). Ein Vergleich von beleuchteten und unbeleuchteten Landstraßenabschnitten deutet dabei auf einen positiven Effekt künstlicher Beleuchtung hin (WANVIK, 2009). Laut Verkehrssicherheitsrat (LERNER, 2003) sind 70 % der an Nachtunfällen beteiligten Verkehrsteilnehmer Pkw-Fahrer. Über 30 % der Nachtunfälle mit Pkws ereignen sich außerorts (ohne BAB), wobei hier die Anzahl Getöteter besonders hoch ist. Über ein Drittel aller verunfallten Pkw-Fahrer verunglücken bei Nacht auf Außerortsstraßen (ohne BAB) (LERNER, 2003).

Unter dem Punkt der visuellen Wahrnehmung wird im Folgenden auf die Wahrnehmung räumlicher Tiefe und Bewegung eingegangen, da hierzu in der Literatur hauptsächlich auf visuelle Hinweisreize Bezug genommen wird. Nach GOLDSTEIN (2011) können Tiefenreize in objektbasierte und betrachterbasierte Hinweisreize unterschieden werden. Objektbasierte Hinweisreize können auch monokular (mit nur einem Auge) genutzt werden. Sie umfassen folgende Reize:

- lineare Perspektive,
- Verdeckung (ein verdecktes Objekt ist weiter entfernt, als das verdeckende Objekt),
- relative Höhe,
- Licht und Schatten,
- vertraute Größe (bei zwei bekannten Objekten muss das kleinere weiter entfernt sein),
- Texturgradient (Die Textur wird mit der Entfernung feiner.) und
- atmosphärische Perspektive (Weiter entfernte Objekte wirken blaustichig und weniger scharf.).

All diese Hinweisreize sind in der Szenerie selbst zu finden und werden daher auch als piktorale Hinweisreize bezeichnet. Für das Fahren relevant sind jedoch auch bewegungsinduzierte Tiefenreize, die erst entstehen, wenn sich der Betrachter an Objekten vorbei bewegt. So scheinen unter Eigenbewegung nähere Objekte schneller vorbeizuziehen als weiter entfernte (sog. Bewegungsparallaxe) und Objekte oder Flächen werden zu- oder aufgedeckt, wenn sich der Betrachter relativ zu ihnen seitlich bewegt (Verdeckung/Aufdeckung durch Bewegung)

(vgl. GOLDSTEIN, 2011). Im Gegensatz dazu sind die betrachterbasierten Hinweisreize an die bio-physiologischen Gegebenheiten des Sehapparates gebunden. So wird über die binokulare Disparität (Querdisparität) räumliche Tiefe wahrgenommen, da in beiden Augen zwei etwas versetzte und damit unterschiedliche Bildausschnitte entstehen. Über den Unterschied der verschiedenen Abbilder zwischen linkem und rechtem Auge wird eine Tiefeninformation gewonnen (GOLDSTEIN, 2011). Auf die propriozeptiven Informationen, die durch Akkommodation und Konvergenz entstehen wird im Folgenden nicht eingegangen, da diese Tiefenreize nur bis zu einer Distanz von etwa Armeslänge wirksam sind (GOLDSTEIN, 2011).

Nach Gibsons Theorie der direkten Wahrnehmung (GIBSON, 1986) ist der Ausgangspunkt für die Bewegungswahrnehmung die umgebende optische Anordnung. Gibson beschreibt dabei das „optische Fließen“ der visuellen Anordnung auf den Betrachter zu bzw. an diesem vorbei, sobald sich dieser bewegt. Laut Gibson hilft der optische Fluss dabei, die eigene Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung festzustellen, da nahe Objekte schneller am Betrachter vorbeifließen als weiter entfernte (GIBSON, 1986). Unterbrochene Längsmarkierungen verbessern demnach die Geschwindigkeitswahrnehmung des Fahrers, da so zusätzliche Hinweisreize in unmittelbarer Umgebung verfügbar sind (SCHLAG u. a., 2015). Dabei findet in dem Punkt, auf den sich der Betrachter zu bewegt, dem Expansionspunkt, kein Fließen statt. Der Expansionspunkt ist zugleich Zielpunkt der Bewegung und liefert so Hinweise zur Bewegungsrichtung. Verschiedene Studien zeigen, dass sich Autofahrer zumindest teilweise am optischen Flussmuster orientieren und weitere Handlungen danach ausrichten (z. B. FAJEN, 2007).

Gibson und Crooks beschrieben bereits 1938, dass ein Fahrer bestimmte Abstände zu anderen Verkehrsteilnehmern einhält, um Kollisionen zu vermeiden (GIBSON/CROOKS, 1938). In diesem Zusammenhang etablierten sich die Begriffe der Time-to-Collision bzw. der Time-to-Contact (TTC). Die TTC beschreibt die Zeitspanne, in der ein Fahrer bei unverändertem Fahrverhalten ein Objekt erreichen wird und lässt sich unter der Annahme einer konstanten Annäherungsgeschwindigkeit nach Gibson und Crooks wie folgt beschreiben: TTC = Objektentfernung/Annäherungsgeschwindigkeit (GIBSON/CROOKS, 1938). Anhand mathematischer Berechnungen zeigte LEE (1976) später, dass man die TTC auch mithilfe der Ausdehnungsgeschwindigkeit des retinalen Abbildes des betreffenden Objekts bestimmen kann. Diese Variable bezeichnet er mit tau (LEE, 1976). Der Vorteil von tau liegt in der Möglichkeit, die TTC direkt aus dem retinalen Abbild zu gewinnen (vgl. CAVALLO/COHEN, 2001). Offensichtlich ist tau jedoch nicht der einzige Parameter, den der Betrachter zur Bestimmung der TTC nutzt (TRESILIAN, 1999a; TRESILIAN, 1999b). Cavallo und Cohen konnten zeigen, dass entgegen dem Konzept der direkten Wahrnehmung, Entfernungen und Geschwindigkeiten getrennt wahrgenommen und anschließend miteinander verrechnet werden (CAVALLO/COHEN, 2001).

Weiter kann auch die relative Objektgröße einen wichtigen Einfluss auf die Schätzung der TTC haben. Dabei wird die TTC zu kleineren Objekten oft überschätzt und ist mit der Wahl kleinerer Sicherheitsabstände verbunden (CAVALLO/COHEN, 2001). Eine solche Überschätzung der TTC wurde im Zusammenhang mit wenig vorhandenen Umweltstrukturmerkmalen festgestellt sowie im Zusammenhang mit höheren Eigen- und Fremdgeschwindigkeiten (CAVALLO/COHEN, 2001). Durch eine, mit zusätzlichen Elementen angereicherte Umgebung kann der Betrachter bei der Schätzung der TTC unterstützt werden. Generell jedoch zeigt sich eher eine Unterschätzung der TTC, was durch die Wahl größerer Sicherheitslücken meist einen zusätzlichen Sicherheitsgewinn darstellt (CAVALLO/COHEN, 2001).Entsprechend der TTC kann unter Annahme gleichbleibender Geschwindigkeit auch die Zeit bis zum Erreichen der rechten oder linken Fahrbahnbegrenzung berechnet werden. Dieses Maß wird als Time-to-Line-Crossing/Lane-Crossing (TLC) bezeichnet. Die TLC ist dabei umso geringer, je kleiner die Spurbreite, je größer der gewählte Lenkwinkel vom Straßenverlauf abweicht und je höher die gefahrene Geschwindigkeit ist. VAN WINSUM/GODTHELP (1996) zeigen, dass der minimale TLC-Wert durch Anpassen der Geschwindigkeit auf einem Niveau von zwei bis drei Sekunden gehalten wird. Demnach also ein engerer Kurvenradius durch eine reduzierte Geschwindigkeit kompensiert wird. So konnte gezeigt werden, dass die TLC bei Kurvendurchfahrten eine wichtige Rolle spielt.

3.2.2 Auditive Verarbeitung

Beim Autofahren gehen nicht alleine durch den visuellen Sinneskanal wertvolle Informationen ein. Auch akustische Hinweisreize tragen zu einer Einschätzung der Position des eigenen, aber auch an-

derer Fahrzeuge bei. Die auditive Informationsaufnahme kann der Fahrer nicht selektiv steuern, wodurch sich dieser Kanal für Warn- und Alarmsignale eignet. Durch das Gehör ist es möglich, auch hinter dem Fahrer liegende Objekte oder Gefahren zu identifizieren und so eine Aufmerksamkeitsverlagerung zu erreichen (z. B. die Warnung durch die Sirene eines sich nähernden Einsatzfahrzeuges). Dabei entsteht die Geräuschkulisse des Fahrers durch eine Kombination verschiedener Reize, wie dem Motorengeräusch des Fahrzeugs, den Abrollgeräuschen der Reifen, Windturbulenzen und Außengeräusche, die durch andere Verkehrsteilnehmer verursacht werden. Das Hören erfüllt drei grundlegende Funktionen: die Adaptation durch Anpassen der Hörschwelle, die Geräuschidentifizierung mithilfe auditorischer Mustererkennung sowie die akustische Raumorientierung über Positionsreize (GOLDSTEIN, 2011).

Bei der Lokalisation von Geräuschen werden binaurale (mit beiden Ohren) und monaurale (mit einem Ohr) Positionsreize genutzt. Signale einer Schallquelle, welche zum Hörer seitlich versetzt ist, erreichen ein Ohr zuerst. So wird binaural zur Lokalisation einer Geräuschquelle die Zeitdifferenz genutzt, die dabei zwischen beiden Ohren entsteht. Bei einer solchen Schallquelle entsteht zwischen beiden Ohren auch eine Pegeldifferenz, da der Kopf des Hörers einen akustischen Schatten wirft und so die Schallintensität auf der abgewandten Seite des Kopfes reduziert. Diese sog. interaurale Pegeldifferenz ist ebenfalls ein wichtiger Positionsreiz. Monaurale Positionsreize können im Gegensatz dazu auch mit nur einem Ohr ausgewertet werden. Sie entstehen, da der Schall nicht nur vom Kopf, sondern auch von der Ohrmuschel reflektiert wird. So stimmt der ursprünglich ausgesandte Schall der Signalquelle nicht mit dem Schall überein, der schließlich in den Gehörgang gelangt. Je nach Position der Geräuschquelle wird das Schallsignal anders wahrgenommen und ermöglicht so eine Lokalisation. So konnten MIDDLEBROOKS (1997), WIGHTMAN/KISTLER (1993) und auch YOST (2001) zeigen, dass Kopf und Ohrmuschel bestimmte Frequenzen in ihrer Intensität abschwächen und andere erhöhen (in GOLDSTEIN, 2011). Für den Straßenverkehr von besonderer Bedeutung ist der Einfluss akustischer Hinweisreize bei der Geschwindigkeitswahrnehmung.

In einem Experiment von EVANS (1970) sollten die Probanden als Beifahrer eine konstant gefahrene Geschwindigkeit unter verschiedenen Bedingungen (keine Einschränkung, verbundene Augen, Kopfhörer, Augenbinde und Kopfhörer) schätzen. Ohne visuelle Informationen tendierten die Probanden dazu, die Geschwindigkeit zu überschätzten. Dieser Effekt wurde größer bei höheren Geschwindigkeiten. Im Gegensatz dazu unterschätzten die Probanden die gefahrenen Geschwindigkeiten, wenn sie keine akustischen Hinweisreize erhielten. Das Geschwindigkeitsempfinden zeigte sich als deutlich vermindert, wenn auditive Informationen reduziert wurden.

Ähnliche Effekte zeigten sich in einer Simulatorstudie von (MERAT/JAMSON (2011) bei der die Probanden Geschwindigkeiten von 30 und 70 mph konstant halten sollten. Untersucht wurde, wie dies den Fahrern gelang, wenn Tacho und Fahrgeräusche, nur Fahrgeräusche und weder Tacho noch Fahrgeräusche verfügbar waren. Gab es keine Fahrgeräusche, so zeigte sich ein weit variableres Geschwindigkeitsprofil der Probanden. Diese Variationen vergrößerten sich bei den Abschnitten höherer Geschwindigkeit, wobei das Konstanthalten der höheren Geschwindigkeit auch mit akustischen Hinweisreizen generell schlechter gelang als bei der geringeren Geschwindigkeit. Durch das Fehlen akustischer Informationen, zeigte sich das Geschwindigkeitsempfinden als deutlich eingeschränkt.

3.2.3 Haptische und vestibulare Verarbeitung

Dem Bereich der haptischen Wahrnehmung sind der taktile sowie der kinästhetische Sinneskanal zuzuordnen. Die taktile Reizaufnahme erfolgt über Rezeptoren in und unter der Haut, über die Druck-, Berührungs- und Vibrationsempfindungen vermittelt werden. Der kinästhetische Kanal ermöglicht die Empfindung von Bewegungen des Körpers und der Stellung der Gliedmaßen zueinander mithilfe von Rezeptoren, welche die Dehnung von Gelenken und Muskeln detektieren. Die vestibulare Informationsaufnahme wird durch den Vestibularapparat im Innenohr ermöglicht. Hierüber erfolgt die Wahrnehmung der Orientierung im Raum über die Auswertung von linearen- und Winkelbeschleunigungen. Zudem dient der Vestibularapparat dem Halten des Gleichgewichts und der Auslösung von Stellreflexen zur Haltung des Kopfes und der Augen.

Im Zusammenhang mit der Fahrzeugführung ist die vestibulare Wahrnehmung von besonderer Bedeutung für die Wahrnehmung von Geschwindigkeit und Beschleunigung des eigenen Fahrzeugs

(ABENDROTH/BRUDER, 2012). Darüber hinaus eignet sich die taktile Reizaufnahme für die Vermittlung von Alarm- und Warnsignalen. Dies wird z. B. bei der Aufbringung von Rüttelstreifen genutzt, welche den Fahrer vibratorisch und akustisch auf ein Abkommen vom Fahrstreifen aufmerksam machen. Aber auch Lenkradbewegungen, z. B. durch Unebenheiten der Fahrbahn werden über den haptischen Kanal wahrgenommen und können so ggf. korrigiert werden. Auch REYMOND u. a. (2001) stellten die Bedeutung der vestibularen Informationen beim Fahren heraus. Sie vermuten, dass die vestibular und propriozeptiv wahrgenommenen Fliehkräfte in Kurven ein vom Fahrer akzeptiertes Limit nicht überschreiten sollen, nachdem in ihren Experimenten nicht alleine durch die TLC erklärt werden konnte, warum die Probanden ihr Geschwindigkeitsverhalten in bestimmter Weise bei der Kurvendurchfahrt anpassten (REYMOND u. a., 2001).

3.3 Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und Beanspruchung

3.3.1 Selektive und geteilte Aufmerksamkeit

Aufmerksamkeit wird nach GOLDSTEIN (2011) als Prozess beschrieben, bei dem ein interessierender Reiz ausgewählt und dadurch einer tieferen Verarbeitung durch Konzentration auf bestimmte Reizmerkmale zugänglich gemacht wird. Im Sinne selektiver Aufmerksamkeit werden störende Reize ausgeblendet, um sich auf ausgewählte Informationen konzentrieren und diese optimal interpretieren zu können. Wohin wir unsere Aufmerksamkeit lenken (Aufmerksamkeitsallokation) ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Nach dem SEEV-Model (Bild 8) (WICKENS u. a., 2013) wird dies durch vier Faktoren bestimmt: Auffälligkeit (Salience), Anstrengung (Effort), Erwartung (Expectancy) und Wert (Value).

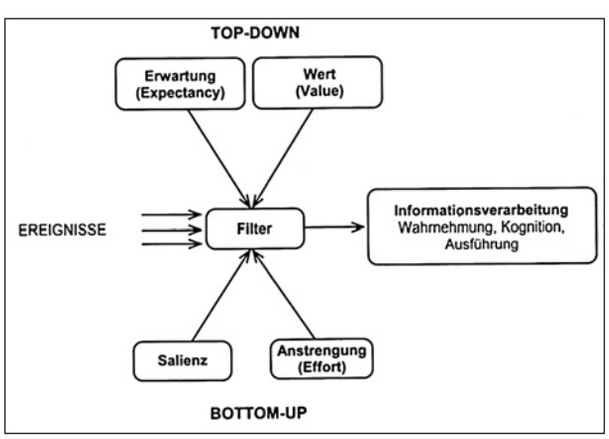


Bild 8: SEEV-Modell dargestellt (VOLLRATH/KREMS, 2011)

Das Modell konnte in Fahr- und Flugszenarien validiert werden (WICKENS/HORREY, 2009). Die Aufmerksamkeitsallokation in einer dynamischen Situation ist demnach abhängig von der bottom-up bedingten Aufmerksamkeitsbindung auffälliger Ereignisse, wird gehemmt durch den Aufwand, der benötigt wird, die Aufmerksamkeit zu verlagern (sowie dem Aufwand einer Aufmerksamkeitsverlagerung durch konkurrierende kognitive Aktivität) und ist auch bedingt durch die Erwartung an einer bestimmten Stelle eine wertvolle Information zu entdecken. Die Auffälligkeit eines sensorischen Reizes wird dabei z. B. durch seine Größe, Form oder Farbe bestimmt. Je stärker ein Reiz sich also durch ein oder mehrere Merkmale vom Untergrund abhebt, desto auffälliger ist er. Anstrengung beschreibt dagegen den Aufwand, der nötig ist, um die Aufmerksamkeit von einem Reiz zu einem anderen zu verlagern, z. B. beim Blick in den Seitenspiegel. Veränderungen einer Situation erwarten wir an den Stellen, an denen viele Aktionen stattfinden bzw. an denen viele Akteure beteiligt sind. So erwarten wir in dichtem Verkehr häufiger Veränderungen, die sich auf das eigene Fahrverhalten auswirken als in einer Situation mit weniger Reizen oder Beteiligten. Der vierte Faktor Wert bezieht sich auf die Nützlichkeit eines Reizes bezogen auf die Bewältigung der Fahraufgabe. Die Auffälligkeit und die Anstrengung eines Reizes sind bottom-up Einflüsse, welche durch physikalische Maße charakterisiert werden können. Erwartung und Wert werden durch die mentalen Modelle des Fahrers bestimmt, werden also top-down verarbeitet (zu bottom-up bzw. top-down-Verarbeitung siehe Kapitel 3.3.2). Aus dem SEEV-Modell kann abgeleitet werden, dass Informationen verstärkt aufmerksam wahrgenommen werden, wenn diese:

1. anstrengungsarm erkennbar,
2. auffällig und
3. erwartungskonform sind und
4. einen Wert für die Bewältigung der Fahraufgabe haben.

Einige Arbeiten sprechen in diesem Zusammenhang auch von exogenen (bottom-up) und endogenen (top-down) Einflussfaktoren auf die Aufmerksamkeitsallokation (vgl. z. B. UNDERWOOD u. a., 2003).

Neben der selektiven Aufmerksamkeit ist für das Autofahren auch die geteilte Aufmerksamkeit von Bedeutung, da beim Fahren oft Aufgaben der Navigations-, Manöver- und Kontrollebene parallel bewältigt werden müssen. Die Fähigkeit unsere Aufmerksamkeit zu teilen ist jedoch begrenzt. So kann es bei hohen Anforderungen zu Ressourcenmangel für eine zweite Aufgabe und damit zu Fehlern beim Multitasking oder zu Effekten wie Veränderungsblindheit und Blindheit durch Unaufmerksamkeit kommen. Ähnlich negative Effekte zeigen sich jedoch auch bei zu geringen Anforderungen. So kommt es in Situationen, in denen kaum Reize zu verarbeiten sind, die für die Fahraufgabe von Relevanz sind, zu einer Fahrerdeaktivierung (Monotonieerleben) und verlängerten Reaktionszeiten (BROOKHUIS/DE WAARD, 1993). Die Expertise und damit der Grad der Automatisierung, sowie die Schwierigkeit der Aufgabe bestimmen dabei maßgeblich die benötigte Anstrengung und die Ressourcenanforderungen (DE WAARD, 1996).

3.3.2 Bottom-up und Top-down Wahrnehmung

Bei der visuellen Wahrnehmung wird zwischen bottom-up und top-down Prozessen unterschieden. Die Gestalt der Umweltreize wirkt reizgesteuert oder bottom-up auf den Wahrnehmungsprozess ein. Bottom-up Verarbeitung meint, dass die Aufmerksamkeit durch Eigenschaften der betrachteten Objekte selbst bestimmt wird. Damit hängt eine Aufmerksamkeitszuwendung von den physikalischen Merkmalen eines Objektes ab. Die Top-down Verarbeitung beschreibt dagegen, wie die Wahrnehmung durch die kognitiven Faktoren des Betrachters beeinflusst wird. Durch Erfahrungen hat ein Betrachter bestimmte Erwartungen und Vermutungen darüber ausgebildet, welche Objekte in verschiedenen Situationen vorzufinden sind, wie sich die Situation entwickeln könnte und welche Handlungen auszuführen sind (vgl. Kapitel 3.4). Nach WICKENS u. a. (2013) greifen bottom-up und top-down Wahrnehmung ineinander. Es wird davon ausgegangen, dass mithilfe der top-down Verarbeitung (Kontext und Erfahrungen) selbst unter schlechten sensorischen Bedingungen (z. B. schlecht einsehbare Kurve) leicht eine Interpretation der Situation gelingt. Dabei werden top-down Prozesse genutzt, um die Verarbeitung einer visuellen Szene zu lenken und vorherzusagen. Die Informationen, die bottom-up eingehen, werden dann dazu genutzt diese Vorhersagen zu validieren oder zu widerlegen. So werden die Vorhersagen nach und nach verbessert.

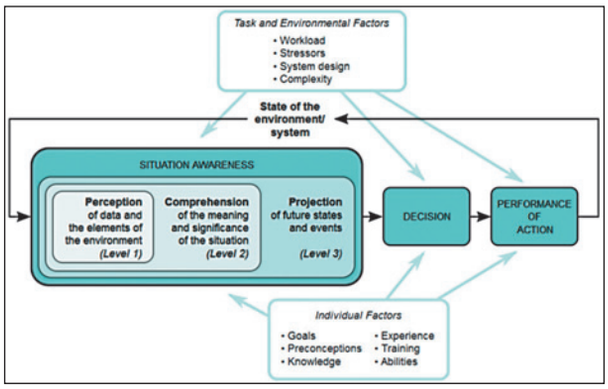


Bild 9: Modell der Situation Awareness (ENDSLEY u. a., 2003)

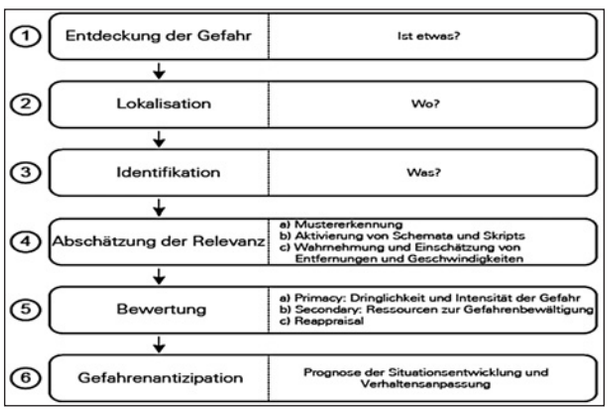


Bild 10: Gefahrenkognitionsmodell nach SCHLAG (SCHLAG u. a., 2009)

3.3.3 Situationsbewusstsein nach Endsley

ENDSLEY beschrieb in diesem Zusammenhang das Konstrukt des Situationsbewusstseins als „[…] die Wahrnehmung kritischer Umweltreize, das Verstehen ihrer Bedeutung und die Projektion ihres Status in der Zukunft“ (ENDSLEY, 1988). Situationsbewusstsein wird auch in den drei Ebenen perception (bemerken), comprehension (verstehen) und projection (antizipieren) dargestellt (Bild 9). Ein gutes Situationsbewusstsein befähigt uns, Aufgaben effizient zu bewältigen und auf der Ebene der Antizipation/Projektion die Einschätzung der Entwicklung dynamischer oder komplexer Situationen, in denen es besonders wichtig ist, rechtzeitige und richtige Reaktionen einzuleiten. Auch das Situationsbewusstsein ist durch die Grenzen der Aufmerksamkeitskapazität und der Anfälligkeit für Ablenkungen limitiert (WICKENS u. a., 2013).

3.3.4 Gefahrenkognition nach Schlag

In einem zusammengefassten Modell der Gefahrenkognition von SCHLAG werden sechs Stufen unterschieden (SCHLAG u. a., 2009). Auf den ersten beiden Stufen geht es darum, die Gefahr zu be-

merken und zu lokalisieren, bevor auf der nächsten Stufe die Identifikation erfolgt. Das Stufenmodell (Bild 10) von SCHLAG ergänzt nun den Bewertungsprozess, der abläuft nachdem eine Gefahr wahrgenommen wurde. Auf einer vierten Stufe wird die Relevanz der Gefahr abgeschätzt, dies geschieht mithilfe der Erkennung bekannter Muster, sowie durch aktivierte Schemata/Skripts (vgl. Kapitel 3.4), die eine Person durch Erfahrungen gewonnen hat. Danach folgt auf der fünften Stufe die Bewertung, wobei die Gefahr in Bezug auf die eigenen Handlungsmöglichkeiten eingeschätzt wird (eher leichter oder eher schwieriger zu bewältigen mit den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten). Die Gefahrenantizipation stellt die letzte Stufe dar. Auf dieser Stufe wird die Situationsentwicklung unter Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmer (Perspektivübernahme) prognostiziert und eine Verhaltensanpassung eingeleitet.

3.3.5 Beanspruchung, Workload und Ressourcen

Die Untersuchung von Belastung und Beanspruchung hat in der Arbeits- und Organisationspsychologie (RICHTER/HACKER, 2014) eine lange Tradition. Dabei wird davon ausgegangen, dass die unmittelbare Beanspruchung eine Auswirkung psychischer Belastung (Workload) darstellt, die auch von den Voraussetzungen und Auseinander-setzungsstrategien der Person abhängig ist (RICHTER/HACKER, 2014). Auch die Fahraufgabe stellt eine zu bewältigende Aufgabe dar, vergleichbar mit im Arbeitsprozess anfallenden Tätigkeiten. So beschreibt HACKER (1986) (Modell der Handlungsregulation), dass eine Tätigkeit für den Ausführenden die Beanspruchungsfolgen: Ermüdung, Monotonie, Stress und Sättigung nach sich ziehen kann.

Belastungen können in verschiedener Weise auf den Menschen einwirken, z. B. als mental, physical oder visual Workload. Dieser Unterscheidung tragen verschiedene Ressourcenmodelle Rechnung. Während frühe Studien dabei noch von einer zentralen Ressource ausgingen (z. B. KAHNEMAN, 1973) werden heute mehrdimensionale Ressourcenmodelle betrachtet. So entwickelte WICKENS (2002) ein multiples Ressourcenmodell in Form eines Würfels (Bild 11), bei welchem vier unabhängige Dimensionen von Ressourcen beschrieben werden: die Wahrnehmungsmodalität (visuell, auditiv), die Art der Aufgabe (verbal, räumlich), die kognitive Verarbeitungsstufe (perzeptuelle oder zentrale Ver-

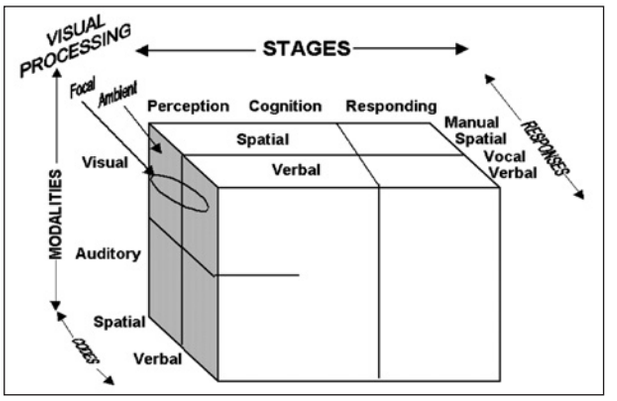


Bild 11: 4-D Multiple Ressourcenmodell nach (WICKENS, 2002)

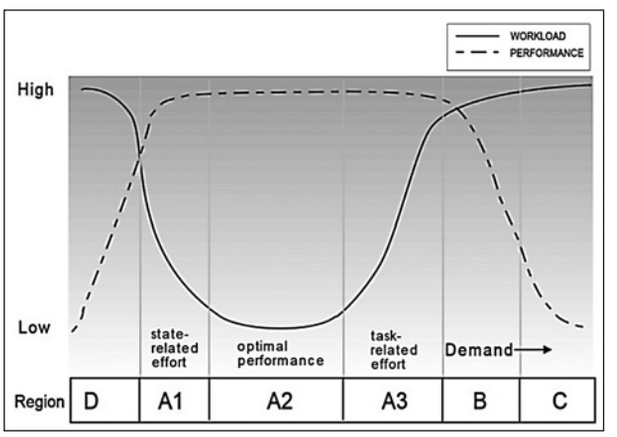


Bild 12: Regionenmodell nach (DE WAARD, 1996)

arbeitung, Reaktion) und die Reaktionsmodalität (sprachlich, manuell). Zudem wird bei der visuellen Ressource zusätzlich zwischen fokalem und ambientem Sehen differenziert (vgl. WICKENS, 2002).

WICKENS (2002) geht davon aus, dass bedingt durch die Unabhängigkeit der Ressourcen, zwei Aufgaben umso weniger Interferenzen erzeugen, je weniger sie sich ähneln und umgekehrt. Zwei sehr unähnliche Aufgaben erhalten so mehr Kapazität zur Bewältigung der Einzelaufgabe. Umgekehrt kommt es bei Aufgaben, die die gleichen Ressourcen benötigen zu Leistungseinbußen und folglich zu höherer Beanspruchung. Der Plausibilität dieser Annahmen stehen jedoch einige Untersuchung gegenüber die belegen, dass es unter Nutzung gleicher Ressourcen nicht zwingend zu Interferenzen kommen muss (vgl. NEUMANN, 1992).

Im Zusammenhang mit der Fahrerbeanspruchung wird oft auch die Aktivierung (Arousal) des Fahrers diskutiert. Arousal beschreibt das Erregungsniveau von hoher Alarmiertheit bis zu niedriger Aktivierung (Schläfrigkeit). Einen ersten Zusammenhang zwischen Arousal und Leistung zeigt das Yerkes-Dod-

son-Gesetz (YERKES/DODSON, 1908; in WICKENS u. a., 2013). Es beschreibt den Zusammenhang als umgekehrte U-Funktion und veranschaulicht, dass die Leistung bei einem mittleren Aktivierungs-Niveau am besten ist. In diesem Zusammenhang beschrieb FULLER (2005), dass ein Fahrer bestrebt ist, seine Beanspruchung auf einem, für sich, optimalen Niveau konstant zu halten. Diese Annahme wurde im Verlauf u. a. durch die Beobachtung gestützt, dass viele Fahrer ihre Geschwindigkeit erhöhen, wenn sie eine aufkommende Müdigkeit bemerken bzw. unterfordert sind oder die gefahrene Geschwindigkeit reduzieren, um mangelnde Bewältigungsstrategien auszugleichen (SCHLAG/HEGER, 2004). Auch DE WAARD (1996) beschäftigte sich, auf der Grundlage von YERKES/DODSON (1908) mit dem Zusammenhang zwischen Workload und Leistung. In seinem Regionenmodell (Bild 12) nimmt er dabei, ähnlich den Ressourcenmodellen, verschiedene Einflussfaktoren, wie Fahrerzustand, Fahrereigenschaften und Umweltfaktoren auf den Workload an (DE WAARD, 1996).

Durch den Einfluss dieser Faktoren kann der Workload erhöht oder verringert werden. Je nach Ausprägung der verschiedenen Faktoren kann der Fahrer folglich Monotonie erleben und ermüden (Underload) oder in einer Situation überfordert werden (Overload). DE WAARD beschreibt dabei sechs verschiedene Regionen, die durch eine Kombination von Zu- oder Abnahme des Workloads und der Leistung charakterisiert sind. Dabei zeigt sich ein Bereich optimalen Workloads, der zu minimaler Beanspruchung und gleichzeitig höchster Leistung führt. Auch FULLER (2005) zeigt, dass Aufgabenanforderungen im mittleren Bereich zu dem günstigsten Fahrverhalten bei gleichzeitig geringer Beanspruchung führen. Er beschreibt, dass der Fahrer über die Anpassung seiner Geschwindigkeit versucht ein gleichbleibendes Niveau der Aufgabenschwierigkeit beizubehalten. Gelungenes Straßendesign unterscheidet sich demnach von schlechtem Design durch ein konstantes Workload-Niveau nahe dem Optimum. Im Gegensatz dazu führt inkonsistentes Design zu höherer Beanspruchung sowie zu einer ungleichmäßigeren Geschwindigkeitsanpassung FULLER (2005).

3.4 Erwartungen, Mentale Modelle und SER-Konzept

In der Literatur finden sich verschiedene Definitionen zu den Begriffen Schema, mentales Modell oder Skript. Es wird in der Regel jedoch der gleiche Inhalt beschrieben, der darauf basiert, dass durch Lernerfahrungen Wissen darüber gesammelt wird, welche Handlungsabfolgen (Skriptabruf) und welche Situationen (Schemaaktivierung) den Fahrer im Kontext Fahren auf der Landstraße (mentales Modell) erwarten. In diesem Zusammenhang beschreibt BARTHELMESS (1999) das Fahrenlernen als Ausdifferenzierung verkehrsbezogener Skripte. Skripte sind kognitive Schemata (Gedächtnisinhalte) und ermöglichen Menschen, sich in (Verkehrs-) Situationen schnell und mühelos zurechtzufinden und angemessen zu verhalten. Sie bestimmen über das Wiedererkennen in Klassen von Situationen, die durch gemeinsame Merkmale gekennzeichnet sind und tragen so zur Bewältigung der Fahraufgabe bei. Nach ENDSLEY (2003) umfassen mentale Modelle Wissen darüber, wie bestimmte Systeme sich verhalten und so kann durch ihre Nutzung die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses verringert werden. Zudem tragen mentale Modelle zu einer effektiven Aufmerksamkeitszuwendung bei. Durch Schemata werden prototypische Zustände eines mentalen Modells beschrieben, die schon im Gedächtnis vorgeladen sind (ENDSLEY u. a., 2003). Skripte sind dagegen auf den Ablauf von Ereignissen bezogene Schemata (SCHANK/ABELSON, 1977), beinhalten Handlungssequenzen und werden oft mit Routinen gleichgesetzt (ENDSLEY u. a., 2003). Mentale Modelle, Schemata und Skripte bilden insofern Fehlerquellen, da ihre Anwendung inadäquat sein kann.

Hierzu beschreibt u. a. NORMAN (1981) verschiedene Handlungsfehler, hervorgerufen z. B. durch die Fehlauslösung eines Schemas unter sich ähnelnden Situationsbedingungen. Gebunden an unsere Erfahrungen und die dadurch entstandenen Modelle und Schemata bilden wir in verschiedenen Situationen bestimmte Erwartungen darüber aus, welches Verhalten in der aktuellen Situation angemessen ist. Nach SCHLAG/HEGER (2002) resultieren Erwartungen beim Befahren einer Landstraße zum einen aus den langfristig erworbenen Fahrerfahrungen und dem kürzlich befahrenen Streckenabschnitt. Ist die Strecke erwartungskonform, so steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass das Fahrverhalten dem geforderten, sicheren Verhalten entspricht (SCHLAG/ HEGER, 2002). Bild 13 veran-

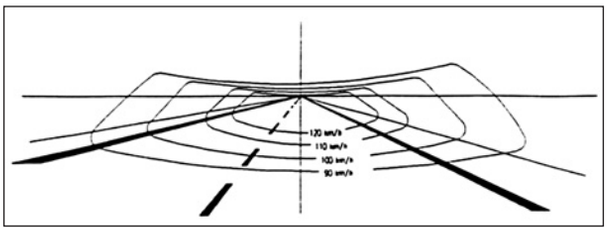


Bild 13: Antizipationsraum des Fahrers abhängig von der Geschwindigkeit (BABKOV, 1975, in SCHLAG/ HEGER, 2002)

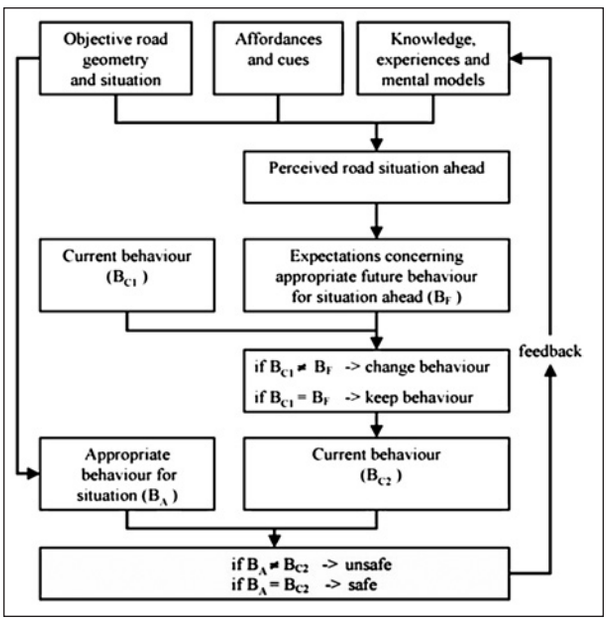


Bild 14: Fahrverhaltensmodell (WELLER u. a., 2008)

schaulicht den Antizipationsraum des Fahrers in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit.

HELMERS (2014) geht auf erfahrungsbasierte Erwartungen ausführlich ein und beschreibt, dass ein Fahrer selbst beim ersten Befahren einer unbekannten Straße bestimmte Erwartungen daran hat, wie diese gestaltet ist. „If the road is a national highway we expect the road standard to be relatively good. If the road is a local highway, our expectations are lower. If the road is a minor road in the countryside, we expect it to be small narrow and winding" (HELMERS, 2014, S. 19/20). Schon nach wenigen Kilometern auf einer unbekannten Straße hat der Fahrer eine Erwartung über den weiteren Verlauf ausgebildet. Ist die Fahrbahndecke z. B. in einem guten Zustand, könnte der Fahrer annehmen, dass sich der Zustand im Verlauf sogar noch verbessert. Kommt es nun zum Widerspruch zwischen dieser Erwartung und der tatsächlichen Gestalt des vorausliegenden Abschnittes wird der Fahrer überrascht, z. B. wenn die Fahrbahndecke im Verlauf einen sehr schlechten Zustand aufweist und

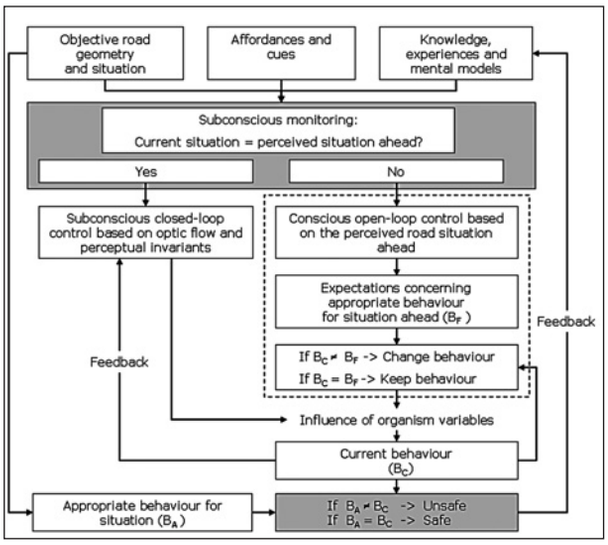


Bild 15: Modifiziertes Modell (WELLER, 2010)

könnte in der Folge ein unangemessenes Fahrverhalten zeigen, z. B. eine zu hohe Geschwindigkeit.

Auch WELLER u. a. (2008) kommen zu dem Schluss, dass Diskrepanzen zwischen der aktuellen Situation und den beim Fahrer ausgelösten Erwartungen dazu führen, dass der Fahrer schwer auf das geforderte Verhalten schließen kann bzw. im ungünstigsten Fall, ein für die Fahrsituation unangemessenes Verhalten ausführt. Das Modell (Bild 14) verdeutlicht den Einfluss der subjektiven Wahrnehmung, welche neben der objektiven Straßengeometrie einen großen Einfluss auf die wahrgenommene Situation und die Erwartungen hinsichtlich der Weiterentwicklung einer Situation hat (WELLER u. a., 2008).

Basierend auf weiteren Labor- und Simulatorstudien wurde das Modell später weiter modifiziert (Bild 15). Im Ergebnis wird zusätzlich zwischen:

- einem geschlossenen Prozess der Verhaltenskontrolle auf Basis wahrgenommener Invarianten und dem optischen Fluss und
- einem offenen Prozess der Verhaltenskontrolle auf Basis bewusster Bewertungen der vorausliegenden Straßensituation unterschieden.

In beiden Modellen wird betont, dass die Erwartungen sowie die Schemaaktivierung des Fahrers maßgeblich von Hinweisreizen (cues) und Affordanzen beeinflusst werden.

NORMAN (2002) beschreibt eine Affordanz als die Eigenschaft eines Objektes, zu einer Handlung einzuladen. So kann eine Türklinke den Aufforderungs-

charakter zum Herunterdrücken besitzen. Auf das Straßendesign übertragen, sollte der Fahrer durch die Gestaltung der Straße beim Abruf eines angemessenen Verhaltens unterstützt werden.

Dieses Ziel wird auch durch eine eindeutige Kategorisierung von Straßen verfolgt, wie sie sich in den aktuellen „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen“ wiederfinden (FGSV, 2012). Landstraßen mit gleichen Funktionen sollen demnach einheitlich gestaltet werden, um sie von Landstraßen mit anderen Funktionen klar trennen zu können.

Neben der objektiven Straßengeometrie wird das Fahrverhalten auch subjektiv durch eine Straßenkategorisierung bestimmt. Korrekte Schema- und Skriptaktivierung verbunden mit Erwartungen bilden auch die Grundlage des Konzeptes der selbsterklärenden Straße (SER) (THEEUWES/ GODTHELP, 1995). Selbsterklärende Straßen sind so gestaltet, dass sie alleine durch ihr erwartungskonformes Design ein sicheres Fahrverhalten erzeugen. Nach THEEUWES u. a. (2012) muss eine SER dabei die folgenden Kriterien erfüllen:

- leicht verständlich: Straßen gleicher Kategorie und Funktion sollten ähnlich aussehen (Homogenität innerhalb einer Kategorie)
- leicht unterscheidbar: Straßen unterschiedlicher Kategorie und Funktion sollten sich optisch klar voneinander unterscheiden (Heterogenität zwischen Kategorien)
- leicht interpretierbar: Straßen sollten das geforderte Verhalten beim Fahrer intuitiv hervorrufen

Diese Kriterien können gut durch einige der zuvor von THEEUWES/GODTHELP (1995) aufgestellten Punkte ergänzt werden:

- Die Gestalt von Knotenpunkten, Straßenabschnitten und Kurven sollte mit der übrigen Gestaltung der Kategorie übereinstimmen.
- Übergänge von einer Kategorie zu einer anderen sollten nicht abrupt erfolgen und deutlich gekennzeichnet sein.
- Die kategorisierenden Merkmale sollten die Kriterien der Sichtbarkeit erfüllen und auch bei Nacht erkennbar sein.
- Bei der Vermittlung der Kategorien sollte auch das zugehörige Verhalten vermittelt werden.

Auch betonen THEEUWES/GODTHELP (1995) die Rolle von Erwartungen, v. a. für das visuelle Erfassen einer Szenerie und das Entdecken wichtiger Hinweisreize. So sollten wichtige Hinweisreize auch an Orten platziert werden, an denen der Fahrer sie erwartet, da sie ansonsten erst sehr spät oder gar nicht entdeckt werden. Das SER-Konzept stellt eindeutige Hinweisreize als wichtiges Hilfsmittel für den Fahrer bereit, die Straßenkategorie und die damit verbundene Verhaltensanforderung zu erkennen, so dass schließlich eine adäquate Verhaltensweise aktiviert werden kann. Trotz der Wichtigkeit einzelner Hinweisreize (cues) sollte die Straße als Ganzes primäre Informationsquelle für den Fahrer sein. Dies beschreiben sehr gut RUMAR (1985) und FULLER (1984): The problem with single cues is that if they are not perceived, for example because of different “filters” (RUMAR, 1985), they are not effective. Therefore, it is preferable if the whole situation serves as an “integrated” discriminative stimulus (FULLER, 1984).

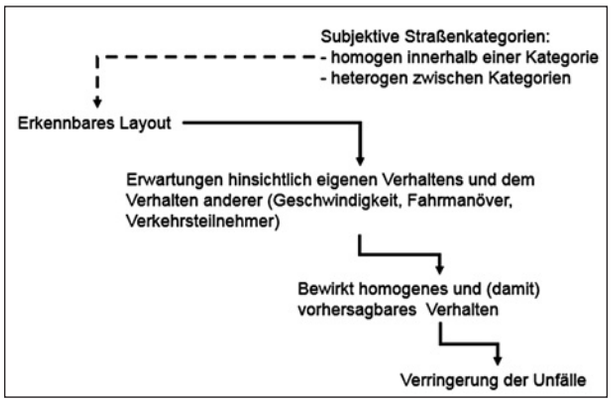


Bild 16: SER-Prinzip (RiPCORD-iSEREST Brochüre, CONSORTIUM RIPCORD-ISEREST, 2007)

Eine Veranschaulichung des Prinzips von SER zeigt Bild 16.

3.5 Zusammenfassung

Human Factors im Straßenentwurf beschreiben alle physiologischen und psychologischen Fähigkeiten und Grenzen des Menschen, welche das Zusammenspiel von Straße und Straßennutzer beeinflussen können. Davon ausgenommen sind vorübergehende Beeinträchtigungen, wie sie etwa durch Alkoholgenuss, die Einnahme von Medikamenten oder Erkrankungen auftreten. Human Factors wurden bereits früh in der Straßenplanung berücksichtigt (z. B. Regelkreismodell nach DURTH, 1974). Dabei arbeiten die bisherigen Empfehlungen der Regelwerke nicht explizit mit dem Begriff der Human Factors.

Anforderungen für den Straßenentwurf leiten sich aus der Fahraufgabe, der menschlichen Informationsaufnahme und -verarbeitung, der Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Beanspruchung, den Erwartungen und mentalen Modellen des Straßennutzers ab.

Die Fahraufgabe lässt sich hierarchisch in drei Ebenen gliedern, welche sich durch einen unterschiedlichen Grad an Bewusstheit und Beanspruchung unterscheiden (MICHON, 1985; RASMUSSEN, 1983). Verkehrsrelevante Hinweisreize sollten auf der Manöver- und der Kontrollebene, also regel- oder fertigkeitsbasiert gegeben werden. In den aktuellen RAL (FGSV, 2012) wird dies bereits über die vier Entwurfsklassen angestrebt. Für das Fahren auf Landstraßen sind die visuelle, auditive sowie die haptische und vestibulare Informationsaufnahme von Bedeutung. Die meisten Informationen werden beim Fahren über den visuellen Kanal aufgenommen (83 % bis 96 %; SIVAK, 1996). Die Informationsaufnahme ist dabei an die Limitationen der verschiedenen Sinnesmodalitäten geknüpft und besonders im Fall des visuellen Kanals auch an Aufmerksamkeit gebunden. Hinweisreize, wie Markierungen, Straßenelemente und Beschilderung sollten auch unter schlechten Sichtbedingungen (z. B. bei Nebel, Regen, Blendung) gut erkennbar sein. Zudem sollten sie so im Blickfeld des Fahrers platziert werden, dass sie nicht zu spät entdeckt oder übersehen werden oder andere Reize von ihnen ablenken. Auch konnte ein Einfluss von Workload auf das periphere Sehen nachgewiesen werden (WILLIAMS, 1995b; WILLIAMS, 1995a) und es wurde gezeigt, dass komplexe Verkehrssituationen das UFOV einschränken können (MIURA, 1986). Weiter zeigte die Literatur, dass mit zunehmenden Geschwindigkeiten, visuelle Orientierung und Fokus weiter entfernt vor dem Fahrer liegen (SCHLAG u. a., 2009). Hinweisreize, wie die visuelle optische Anordnung (GIBSON, 1986) werden zur räumlichen Orientierung genutzt und helfen Geschwindigkeiten und Bewegungsrichtung einzuschätzen. Auditive und taktile Informationsaufnahme eignen sich für Warn- oder Alarmsignale (z. B. in Form von Rüttelstreifen). Wie u. a. EVANS (1970) und MERAT/JAMSON (2011) zeigen konnten, ist die akustische Raumorientierung für die Geschwindigkeitswahrnehmung von Bedeutung. Durch das Fehlen akustischer Informationen zeigt sich das Geschwindigkeitsempfinden deutlich eingeschränkt. Auch die vestibulare Informationsaufnahme ist für die Wahrnehmung der Geschwindigkeit und Beschleunigung des eigenen Fahrzeugs von Bedeutung. Simulatorexperimente deuten darauf hin, dass Fahrer ein akzeptiertes Limit für die wahrgenommenen Fliehkräfte in Kurvendurchfahrten nicht überschreiten wollen (REYMOND u. a., 2001). Die Rolle der Aufmerksamkeit für die Wahrnehmung kann über das SEEV-Modell gut beschrieben werden, wonach Auffälligkeit, Anstrengung, Erwartung und Wert die bestimmenden Faktoren für die Zuwendung von Aufmerksamkeit darstellen (WICKENS u. a., 2013). Über bottom-up (datengestützte) Verarbeitung wird die Aufmerksamkeit durch physikalische Eigenschaften des Objektes selbst bestimmt. Top-down (kontextgestützte) Verarbeitung ist dagegen abhängig von den mentalen Modellen, Schemata und Erwartungen des Fahrers. Beide Prozesse greifen ineinander und helfen Modelle und Schemata nach und nach durch Erfahrung zu verbessern. Beim Autofahren müssen verschiedene Aufgaben bewältigt werden, die unterschiedliche Anforderungen an den Fahrer stellen. Vor allem mental Workload und die Aktiviertheit des Fahrers wurden in diesem Zusammenhang betrachtet. Dabei zeigte sich, dass Fahrer bestrebt sind, ihre Beanspruchung auf einem optimalen Niveau konstant zu halten (FULLER, 2005). In diesen Kontext sind verschiedene Verhaltensweisen der Kompensation einzuordnen (SCHLAG/HEGER, 2004). DE WAARD (1996) stellte heraus, dass sich sowohl Über- als auch Unterforderung negativ auf die Leistung auswirken und dass es einen Bereich optimalen Workloads gibt, der durch minimale Beanspruchung bei gleichzeitig höchster Leistung gekennzeichnet ist. Gelungenes Straßendesign unterscheidet sich demnach von schlechtem Design durch ein konstantes Workload-Niveau nahe dem Optimum. Im Gegensatz dazu führt inkonsistentes Design zu höherer Beanspruchung sowie zu einer ungleichmäßigeren Geschwindigkeitsanpassung (FULLER, 2005).

Erwartungen, Schemata und mentale Modelle sind vor allem für die subjektive Wahrnehmung der Straßenkategorien (und dem damit verbundenen Fahrverhalten) ausschlaggebend. Probleme treten demnach auf, wenn die Situationsentwicklung nicht mit den Erwartungen des Fahrers übereinstimmt. Daraus ergibt sich die Forderung, Hinweisreize so einzusetzen, dass sie im Sinne des SER-Konzeptes, die Straße möglichst selbsterklärend gestalten. Von WELLER u. a. (2008) wurden zuletzt fünf Merkmale erfolgreich genutzt, um Landstraßen so zu kategorisieren, dass es für das Fahrverhalten bedeutsam ist (Fahrbahnoberfläche, Straßenbreite, Leitlinie, Sichtweite, horizontale Linienführung).

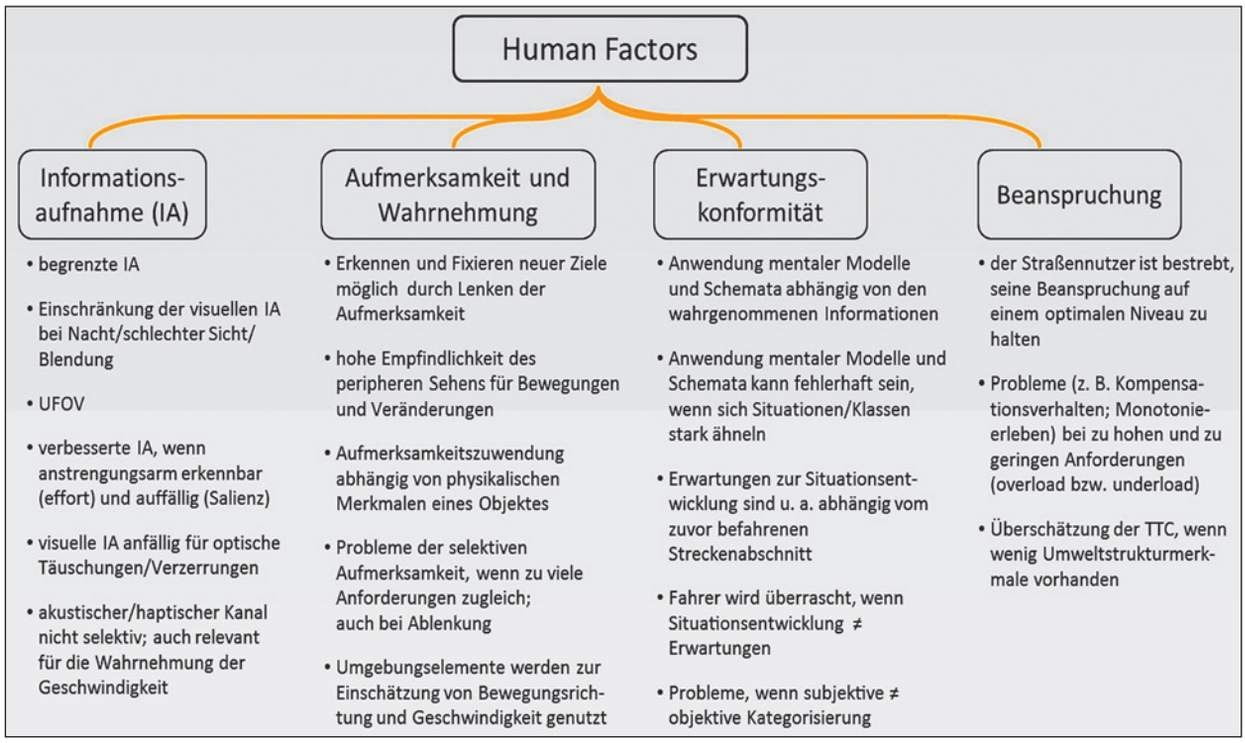


Bild 17: Überblick über die für den Straßenentwurf relevanten Human Factors, eigene Darstellung

Ein schematischer Überblick der für den Straßenentwurf relevanten Human Factors ist in Bild 17 dargestellt. Es wird angenommen, dass die aufgeführten Faktoren für das Fahrverhalten auf Landstraßen von Bedeutung sind und beim Entwurf von Landstraßen berücksichtigt werden sollten.

4 Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors

4.1 Entwurfsprinzip

In einigen Nachbarländern erfolgt der Straßenentwurf nach dem Prinzip der selbsterklärenden Straßen. Unter selbsterklärenden Straßen werden dabei Straßen verstanden, die so gestaltet sind, dass sie ein angemessenes Fahrverhalten in Bezug auf die bestehenden Streckenbedingungen bei den Fahrzeugführern erzeugen. Dabei benötigt eine perfekt gestaltete selbsterklärende Straße keine Beschränkungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit oder Verkehrszeichen, die auf Gefahrenstellen in der Linienführung hinweisen (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA), 2005).

Das Prinzip der selbsterklärenden Straßen dient dabei der sicheren Gestaltung des Straßennetzes. Nach THEEUWES/GODTHELP (1995) ist für die Umsetzung des Prinzips die Schaffung von einheitlichen Straßentypen erforderlich. Durch die Art und Weise der Gestaltung der Straßentypen soll dem Fahrzeugführer das von ihm erwartete Fahrverhalten vermittelt werden. Dafür müssen ihm jedoch die an ihn gestellten Erwartungen verständlich gemacht werden. Dies soll über wenige wiedererkennbare Merkmale der Straßentypen erfolgen, da der Fahrzeugführer den Fahrraum stets auf typische Eigenschaften reduziert und sein Fahrverhalten daran anpasst. Da der Fahrzeugführer den Fahrraum zum größten Teil optisch wahrnimmt (SIVAK, 1996), sollten optische Merkmale die Wiedererkennbarkeit der Straßentypen herstellen.

KAPTEIN u. a. (1998) haben eine Methode entwickelt, die für das Detektieren von Merkmalen, die zu einer besseren Wiedererkennbarkeit und Unterscheidbarkeit von Straßenkategorien beitragen, genutzt werden kann. Sie haben in ihrer Untersuchung ermittelt, dass für den Fahrzeugführer ein bis zwei markante Merkmale ausreichend sind, um Straßen kategorisieren zu können. Weiter haben KAPTEIN u. a. (1998) festgestellt, dass die Mittelmarkierung, die Fahrstreifenbreiten, die Farbe der Straßenoberfläche, vorhandene rote Radfahrstreifen und vorhandene Leitpfosten die Fahrgeschwindigkeiten beeinflussen. Nach KAPTEIN u. a. (1998) kann eine richtige Klassifizierung der Straßentypen gewähr-

leistet werden, wenn kontinuierlich umgesetzt wird, dass wenige markante Merkmale stets erkennbar sind und dem Fahrzeugführer die richtigen Informationen über den Straßentyp bereitstellen. Stimmt die kognitive Straßenkategorisierung des Fahrers mit den objektiven Straßenkategorien überein, können die Kategorien auch dafür genutzt werden, bestimmte gewollte Verhaltensweisen zu wecken (KAPTEIN u. a., 1998).

Nach VAN SCHAGEN u. a. (1999) ist für die Umsetzung des Prinzips der selbsterklärenden Straßen eine begrenzte Anzahl an Straßentypen erforderlich. Sie haben Anforderungen definiert, die diejenigen Merkmale einhalten müssen, die eine Wiedererkennbarkeit der Straßentypen gewährleisten sollen. Die Merkmale sollen stets sichtbar, geeignet und anwendbar sein sowie keine negativen Einflüsse auf die Verkehrssicherheit haben. Im Ergebnis der Untersuchungen von VAN SCHAGEN u. a. (1999) wurden folgende Merkmale herausgearbeitet, die die o. g. Anforderungen erfüllen:

- Längsmarkierungen,
- Fahrtrichtungstrennung,
- Fahrstreifenbreite,
- angrenzende Radfahrstreifen,
- Straßenoberflächengestaltung,
- Gestaltung der Bankette und
- Straßenumfeld.

Am besten eignet sich laut VAN SCHAGEN u. a. (1999) die Längsmarkierung.

Auch aus der Literaturanalyse von BECHER u. a. (2006) ging hervor, dass sich verschiedene Straßentypen eindeutig voneinander unterscheiden sollten. Ziel muss sein, eine Übereinstimmung dieser objektiven Kategorisierung der Straßentypen mit der subjektiven Kategorisierung durch den Fahrer zu erreichen. Gelingt dies nicht oder unzureichend, ist damit zu rechnen, dass das gezeigte Fahrverhalten nicht dem jeweils geforderten Fahrverhalten, v. a. hinsichtlich der Wahl einer angemessenen Geschwindigkeit, entspricht. Die Autoren schlagen vor, die neuen Landstraßentypen während einer Übergangszeit zusätzlich auch symbolisch anzuzeigen, da aktuell noch ein sehr heterogenes Landstraßennetz mit vielen Bestandsstrecken vorliegt (BECHER u. a., 2006).

Auch nach MATENA u. a. (2006) soll zur Umsetzung des Prinzips der selbsterklärenden Straßen zunächst eine Straßenkategorisierung erfolgen. Dabei sollen sich die Straßen einer Kategorie gleichen, sich aber deutlich von den Straßen anderer Kategorien unterscheiden. Für jede Kategorie soll eine wiedererkennbare Gestaltung der Straßen definiert werden. Über diese sollen gleichmäßige und dadurch vorhersehbare Fahrweisen der Fahrzeugführer realisiert und so die Anzahl der Unfälle gesenkt und damit die Verkehrssicherheit verbessert werden. Als die wesentlichsten Wiedererkennungsmerkmale haben sich die Straßenmarkierung und die Fahrstreifenbreite herausgestellt. Diese haben ebenfalls einen Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten, die Fahrlinie und das Überholverhalten.

Bei Ihrer Untersuchung zur subjektiven Straßenkategorisierung durch Autofahrer, aufbauend auf STEYVERS (1993), konnten WELLER u. a. (2008) mithilfe der Faktoren Fahreranforderung, Monotonie und Komfort drei Straßencluster identifizieren. Abschließend gelang es, die präsentierten Landstraßenszenen anhand der fünf Merkmale:

- Fahrbahnoberfläche,
- Straßenbreite,
- Leitlinie,
- Sichtweite und
- horizontale Linienführung

so zu kategorisieren, dass es für das Fahrverhalten relevant war (WELLER u. a., 2008). Die Autoren betonen, dass die Verkehrssicherheit durch die Gestaltung der Verkehrsumgebung mit eindeutigen Hinweisreizen (cues) erhöht werden kann, wenn diese zu korrekten Erwartungen über den Streckenverlauf führen.

HELMERS (2014) geht ebenfalls auf die Gefahr einer nichterwartungskonformen Straßengestaltung ein. Der Fahrer wird verwirrt und überrascht, wenn er merkt, dass seine Erwartungen an Straßendesign und Funktionalität nicht mit dem tatsächlichen, physikalischen Design der Straße übereinstimmen. Die Straße muss folglich so gestaltet sein, dass die Erwartungen der Fahrer auch erfüllt werden. In der Folge wird ein klares, konsistentes und standardisiertes Design für die Gestaltung gefordert.

In der Review von BLUMENTRATH/TVEIT (2014) werden visuelle Gestaltungsmerkmale von Straßen systematisiert (Tabelle 1). Es wurden zwölf visuelle

Dimensionen der Straßengestaltung	Visuelle Merkmale	Visuelle Gestaltungsprinzipien
I Visuelle Merkmale der Straße als unabhängige Struktur betrachtet (Merkmale beziehen sich auf die Straße selbst und auf die Straße als Konstruktion)	1. Kohärenz	• Gestaltung folgt einer grundlegenden Idee (1) • Einheitlichkeit von Straßenelementen (2) • ganzheitliche Gestaltung (3) • gute Linienführung (4) • gute Proportionen (5)
	2. Identität	• Gestaltung folgt einer grundlegenden Idee • Abschnitte (6) • Kunstelemente (Licht, Tafeln, Skulpturen) (7) • vorhandene Materialien (8) • markante Punkte betonen und schaffen (9) • markante Ausblicke ermöglichen (10)
	3. Einfachheit	• Einfachheit der Gestaltung (11) • so wenig Ausstattung wie möglich (12)
	4. Sichtbarkeit	• Gestaltung angepasst an die menschlichen Fähigkeiten (13) • offene, transparente Formen/Materialien (14) • Beleuchtung und leuchtende Farben (15)
	5. Hohe Qualität & Instandhaltung	• Anforderungen an Materialien (16) • Qualität der Ausführung (17) • Erhaltung der ursprünglichen Gestaltung (18) • regelmäßige Instandhaltungsarbeiten (19)
	6. Natürlichkeit	• Austausch technischer Elemente durch natürliche Elemente (20) • Begrünung/Straßenbegleitgrün (21)
II Visuelle Merkmale der Straße in Beziehung zur Straßenumgebung (Merkmale, die die Eingliederung der Straße in die umgebende Landschaft betreffen)	7. Eingliederung	• Begrünung/Straßenbegleitgrün • minimale Eingriffe (22) • neutrale Gestaltung (23) • vorhandene Materialien • gute Linienführung • Gestaltung des Straßenseitenraums (24) • Austausch technischer Elemente durch natürliche Elemente
	8. Kontrast	• markante Punkte betonen und schaffen • Kunstelemente (Licht, Tafeln, Skulpturen)
III Visuelle Merkmale der Straße, die mit der Bewegung des Straßennutzers auf der Straße zusammenhängen (Merkmale, die die Muster und die Struktur der Straße betreffen und die das Erleben des Straßennutzers stimulieren und beeinflussen während dieser auf der Straße reist)	9. Abwechslung	• Vielfalt der (landschaftlichen) Elemente (25) • Förderung variierender und ausreichender Ausblicke (26) • Abschnitte • markante Punkte betonen und schaffen • zeitweilige Effekte (Vegetation) (27) • Kunstelemente (Licht, Tafeln, Skulpturen)
	10. Ästhetik des Eindrucks	• Gestaltung folgt einer grundlegenden Idee • Förderung variierender und ausreichender Ausblicke • Abschnitte • gute Linienführung • Anpassung von Verhältnis und Details an die Geschwindigkeit (28)
	11. Wahrnehmbarkeit	• optische Führung (29) • gute Linienführung • Einfachheit der Gestaltung • so wenig Ausstattung wie möglich • Beleuchtung und leuchtende Farben
	12. Orientierung	• Förderung variierender und ausreichender Ausblicke • Abschnitte • markante Punkte betonen und schaffen • Kunstelemente (Licht, Tafeln, Skulpturen)

Tab. 1: Visuelle Gestaltungsmerkmale und -prinzipien (BLUMENTRATH/TVEIT, 2014)

Merkmale identifiziert, von denen erwartet wird, dass sie einen Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung von Straßen haben. Obwohl diese Merkmale drei Dimensionen zugeordnet werden, soll diese Zuordnung laut den Autoren nicht als fix gelten. Auch die dargestellten 29 Gestaltungsprinzipien tragen oft zu mehreren der zwölf visuellen Merkmale bei bzw. sind für diese relevant.

4.2 Geschwindigkeiten

KAYSER u. a. (1990) haben aufgrund von nicht angepassten Geschwindigkeiten im Übergangsbereich zwischen der freien Strecke und Ortschaften Untersuchungen zur sicherheitsfördernden Gestaltung des Straßenraumes in diesen Bereichen durchgeführt. Sie haben festgestellt, dass kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Fahrgeschwindigkeiten und der Straßenraumstruktur besteht. Die Geschwindigkeit im Übergangsbereich wird eher durch die Gestaltung der bereits durchfahrenen freien Strecke und des vorausliegenden Fahrraums sowie durch die persönliche Risikoakzeptanz beeinflusst.

Weiterhin konnten durch KAYSER u. a. (1990) folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Das Ende der Verzögerung ist im Ort stets an einer Stelle, bei der eine erhöhte Anforderung an die Fahraufgabe besteht.
- Eine gestreckte Linienführung kurz vor einer Ortschaft führt zu hohen Geschwindigkeiten bis in die Ortschaft hinein.
- Die Akzeptanz der in Ortschaften zulässigen Höchstgeschwindigkeit ist bei Fahrzeugführern höher, wenn die Ortstafel auch am Beginn der Bebauung angebracht ist.
- Mit zunehmender Strukturvielfalt des Seitenraumes auf Landstraßen sinkt die Geschwindigkeit.

SCHLAG/HEGER (2002) und BECHER u. a. (2006) haben die international vorhandenen Erkenntnisse über physiologische und psychologische Fähigkeiten und Grenzen der Kraftfahrer, die bei der Straßenplanung berücksichtigt werden sollten, recherchiert, systematisiert und evaluiert. Sie weisen im Ergebnis u. a. auf folgende Zusammenhänge hin:

- Die gefahrenen Geschwindigkeiten nehmen nach Deckenerneuerungen (Verbesserung des Zustandes der Fahrbahnoberfläche) zu (LIPPARD/MEEWES, 1994; SCHNÜLL u. a., 1997).
- In Geraden sind mögliche Einflussgrößen auf die Geschwindigkeit die Länge der Geraden, die Fahrbahn- und die Randstreifenbreite, die Gradiente, die allgemeine Topografie sowie die vorhandenen Sichtweiten (ZWIELICH u. a., 2001).
- In Kurven sind mögliche Einflussgrößen auf die Geschwindigkeit die Größe des Radius, der Richtungsänderungswinkel, die Querneigung und die Klothoiden (LIPPOLD, 1997; ZWIELICH u. a., 2001).
- Durch ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen können Geschwindigkeiten gesenkt werden (LIPPOLD u. a., 2012; MEEWES, 1993; SCHLAG/HEGER, 2002).

In SHINAR (2007) sind die folgenden Faktoren der Straßengestaltung aufgeführt, die einen Einfluss auf die Wahl der gefahrenen Geschwindigkeit haben (nach WHO, 2004):

- Straßenbreite
- Anstieg
- Straßenverlauf
- Straßenumgebung
- Straßenentwurf
- Markierungen
- Qualität der Fahrbahndecke

KÄMPFE u. a. (2005) haben über Fahrversuche Fahrfehler erfasst, klassifiziert und verschiedenen Randbedingungen für deren Auftreten zugeordnet. Sie haben ermittelt, dass die Fahrgeschwindigkeit bei einem längeren Fahren mit hohen Geschwindigkeiten unterschätzt wird. Daher sind vor allem Übergangsbereiche (z. B. zwischen freier Strecke und Ortschaft, Knotenpunkt oder freier Strecke mit einer anderen Streckencharakteristik) sicher zu gestalten. Weiterhin bestätigen sie die Erkenntnisse von SCHNÜLL u. a. (1997) und LIPPARD/ MEEWES (1994), dass bei neuen Fahrbahndecken schneller gefahren wird.

WELLER u. a. (2008) konnten drei Cluster identifizieren (Bild 18). Dabei war der Faktor „comfort“ der wichtigste Prädiktor für die Geschwindigkeit, welche subjektiv als angemessen bewertet wurde.

	Factor I: monotony	Factor II: comfort	Factor III: demand
Cluster I	Low	Low	High
Cluster II	Low	High	Low
Cluster III	High	High	Low

Bild 18: Identifizierte Cluster (WELLER u. a., 2008)

Im Ergebnis wurde abgeleitet, dass es effektiver ist, den wahrgenommenen Komfort zu mindern um die Geschwindigkeit zu senken als die subjektive Sicherheit zu mindern oder die subjektiven Anforderungen/Belastungen zu erhöhen.

Ähnliche Angaben finden sich bei (SCHLAG, 2015). Er beschreibt, dass Fahrer einen „trade-off zwischen der Anstrengung, die sie für Sicherheit und Komfort aufwenden, und ihrer Fahrgeschwindigkeit vollziehen. Je geringer die für ein gewünschtes Niveau an Sicherheit und Komfort notwendige Anstrengung, umso höher wird tendenziell die Geschwindigkeit gewählt“ (SCHLAG, 2015, F. 28). Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, ein möglichst geringes Beanspruchungsniveau herzustellen, sondern ein optimales (vgl. Kapitel 3.3.5). Nach SCHLAG „muss das Verhalten einmal proaktiv über klare, selbst erklärende Hinweisreize (cues) und zum anderen bei Abweichungen reaktiv über eindeutige Rückmeldungen kontrolliert werden“ (SCHLAG, 2015, F. 28).

LIPPOLD u. a. (2011) und JÄHRIG (2012) untersuchten die Wirksamkeit von linienhaft angeordneten ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen. Sie stellten fest, dass dadurch die zulässige Höchstgeschwindigkeit durchgesetzt werden kann, wodurch wiederum das Unfallgeschehen sinkt.

Weiterhin haben LIPPOLD u. a. (2011) und JÄHRIG (2012) Streckenabschnitte mit sicheren Überholmöglichkeiten (Anordnung von Überholfahrstreifen) in Kombination mit Überholverbot in den dazwischenliegenden Abschnitten untersucht. Im Ergebnis stellte sich heraus, dass dadurch die Anzahl der Längsverkehrsunfälle aufgrund von fehlerhaftem Überholen reduziert werden konnte, die Maßnahme jedoch nicht zu einer Senkung des Geschwindigkeitsniveaus beiträgt.

In den Human Factors Guidelines von CAMPBELL u. a. (2012) werden analog dem Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Straße nach DURTH (1974) (vgl. Kapitel 3.1) die Einflussgrößen der Fahrgeschwindigkeiten dargestellt (Bild 19). Konkret wurden folgende Einflussgrößen recherchiert:

- Alter, Geschlecht, sozioökonomischer Status und Bildungsgrad des Fahrers,
- Persönlichkeit des Fahrers (Einstellungen, Gewohnheiten, Normen usw.),
- zulässige Höchstgeschwindigkeit,
- Kategoriengruppe der Straße (Stadt- oder Landstraße) und
- Motorisierung und Alter des Fahrzeugs.

Nach CAMPBELL u. a. (2012) sollten Fahrer die von ihnen beabsichtigte Geschwindigkeit auch so wahrnehmen und dem Streckenverlauf angemessen wählen. Der Fahrer nimmt seine gefahrene Geschwindigkeit über den Tacho, akustisch (Motorgeräusch) und taktil (Vibrationen durch das Fahrzeug) wahr. Die meisten Informationen erhält er jedoch durch das visuell Wahrgenommene, wie die Straßengeometrie und Objekte aus unmittelbarer Nähe. Der Fahrzeugführer unterschätzt seine Fahrgeschwindigkeit, wenn u. a. folgende Randbedingungen vorliegen:

- höherer als erforderlicher Entwurfsstandard der Straße,
- breitere als erforderliche Fahrbahnbreite und
- Alleenstraße.

Folgende weitere Faktoren können die Wahl einer höheren Geschwindigkeit begünstigen (CAMPBELL u. a., 2012):

- Längsneigung der Strecke,
- höhere Dichte an Elementen im Seitenraum und
- Fahrstreifenanzahl.

Die Gestaltungsmerkmale der Straße haben somit einen großen Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten. Dies hebt die Bedeutung der Einheit von Planung, Bau und Betrieb hervor. Ist diese nicht gegeben, kann als Kompensationsmaßnahme die zulässige Höchstgeschwindigkeit beschränkt werden.

Nach CAMPBELL u. a. (2012) bewirken Geschwindigkeitsbeschränkungen jedoch keine dauerhafte Verhaltensänderung. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit wird ausschließlich kurz vor und nach dem Verkehrszeichen eingehalten. Es sollte eine angemessene Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erfolgen, welche konsistent mit den Erwartungen des Fahrers sein muss. Dabei sind die Gestaltungsmerkmale der Straße sowie die verkehr-

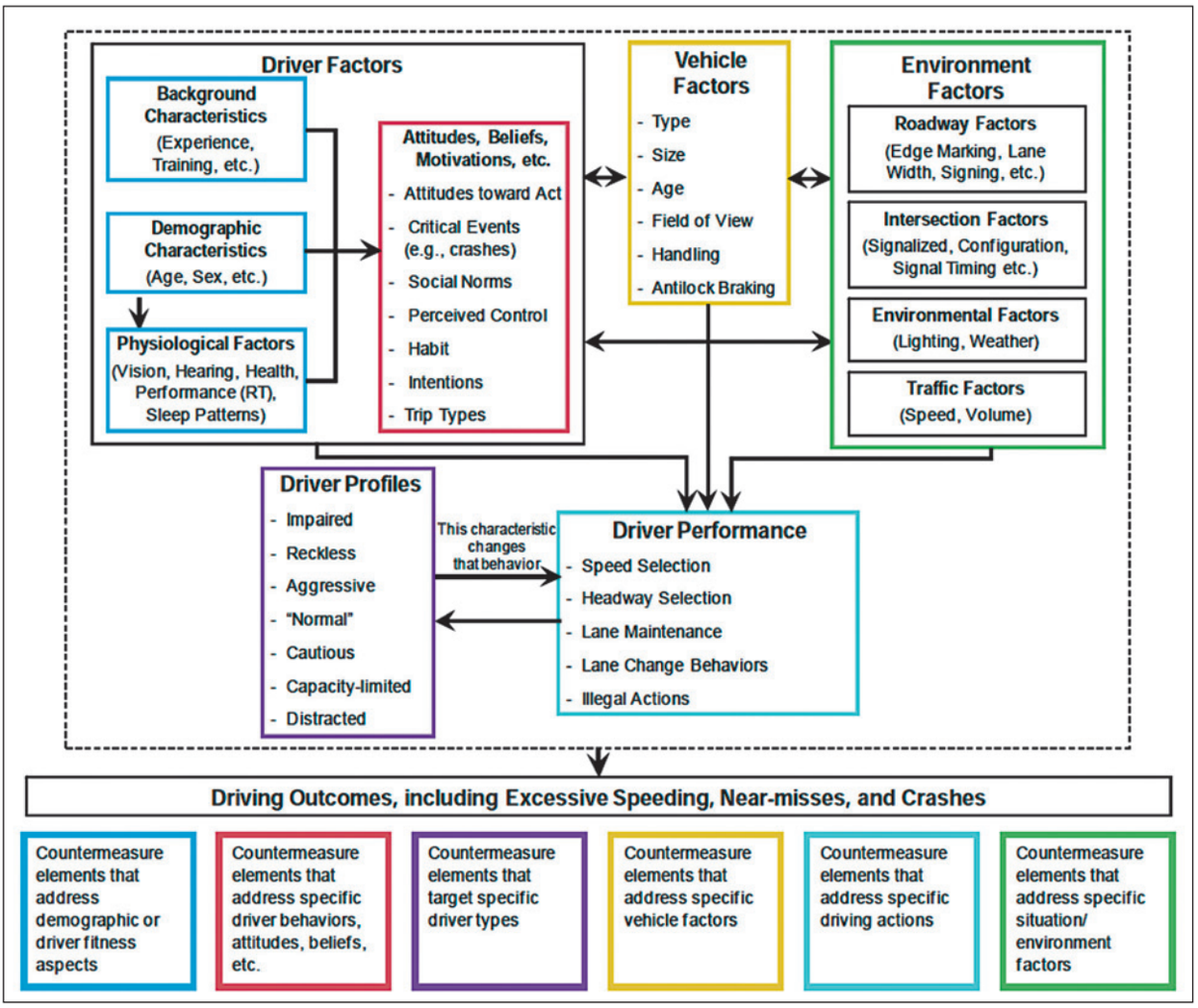


Bild 19: Einflussgrößen der Fahrgeschwindigkeit (CAMPBELL u. a., 2012)

lichen und umfeldbedingten Randbedingungen zu beachten. Weiterhin sollten die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten z. B. je nach Witterung variabel sein und nach der Art des Fahrzeuges (landwirtschaftliches Fahrzeug, Pkw usw.) differenziert werden. Dem Fahrer sollen die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten dabei über Verkehrszeichen deutlich gemacht werden. Die Verkehrszeichen sollen erkennbar und an Stellen, wo sie erwartet werden, angeordnet werden. Weiterhin sind ggf. Vorwarnschilder, wie z. B. „Geringe Geschwindigkeit voraus" anzuordnen, um den Fahrer auf sich ändernde zulässige Höchstgeschwindigkeiten aufmerksam zu machen.

Nach CAMPBELL u. a. (2012) sollten an Stellen, wo auch Werbetafeln o. ä. aufgestellt sind, Verkehrszeichen, die die zulässige Höchstgeschwindigkeit anzeigen, deutlich größer gestaltet sein. In besonderen Bereichen sollten aktive Warnschilder zum Einsatz kommen (z. B. blinkende Schilder, Schilder mit digitaler Anzeige). Weiterhin können bauliche Maßnahmen, wie z. B. rumble strips, dem Fahrer die Bereiche verdeutlichen, in denen er seine Geschwindigkeit reduzieren sollte.

In Deutschland wird durch das Bundesfernstraßengesetz jedoch auch eine Werbeverbotszone festgelegt, in der das Anbringen von Außenwerbung untersagt ist.

Eine angemessene Fahrweise kann auch durch Verkehrsinformationsdisplays unterstützt werden, z. B. bei Baustellen oder Unfällen. Ein möglicher Gewöhnungseffekt wird allerdings nicht diskutiert. Weiterhin ist die Trassierung der Straße maßgebend. Angemessene Verhältnisse zwischen aufeinanderfolgenden Trassierungselementen sind dabei von Vorteil (CAMPBELL u. a., 2012).

Diese Hinweise stehen jedoch in Widerspruch zu der Aussage, dass die Fahrer selbst eine dem Stre-

ckenverlauf angemessene Geschwindigkeit wählen sollen (CAMPBELL u. a., 2012), was eher dem Prinzip der selbsterklärenden Straße entspricht. Die Maßnahmen sind eher zur Beseitigung kritischer Stellen im Bestand geeignet.

LANTIERI u. a. (2015) untersuchten die Wirksamkeit verschiedener Umgestaltungsmaßnahmen an zwölf Ortseingängen. Dabei variierten sie den Winkel (0°, 3°, 4°) der Schikane (leichte Kurve zur Erschwernis) um die Mittelinsel.

Es wurden zwei Typen von Mittelinseln untersucht: markierte und baulich erhabene. Alle Ortseingänge waren zudem mit „Haifischzähnen" und „erweiterten" Ortstafeln ausgestattet (Bild 20). Dabei wurden die Ortstafeln über der Fahrbahn (Überkopf) angebracht. Die Überprüfung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen folgte über Vorher-Nachher-Messungen von Geschwindigkeitsparametern und Unfallstatistiken sowie anhand von Blickbewegungsanalysen. Im Ergebnis zeigte sich die größte Wirksamkeit bei den baulich erhabenen Mittelinseln. Hier wurde im Vergleich mit der markierten Mittelinsel (- 2,23 km/h) die größere Reduktion der durchschnittlichen Geschwindigkeit (- 7,24 km/h) erreicht und sie wurde im Vergleich der Komponenten am häufigsten von den Fahrern betrachtet. Die Anzahl der Blicke zu den Komponenten der Ortseingänge korrelierte signifikant mit der Geschwindigkeitsreduktion bei Einfahrt in den Ortseingangsbereich. Durch die Interventionen gelang es, die Unfälle auf der 15 km langen Route um die Hälfte und die Zahl der Verletzten um 61 % zu reduzieren. Andere Studien konnten eine noch höhere Wirksamkeit dieser und ähnlicher Maßnahmen nachweisen. So führten z. B. die Maßnahmen bei GALANTE u. a. (2010) zu einer Verringerung der Durchschnittsgeschwindigkeit um 11,1 km/h bzw. 17,06 km/h.

Bild 20: Ortseingang vor der Umgestaltung (links), Ortseingang mit Haifischzähnen, markierter Mittelinsel und Ortseingangsschild nach der Umgestaltung (rechts) (LANTIERI u. a., 2015)

4.3 Querschnitte

Im Ergebnis der Literaturanalyse von SCHLAG/ HEGER (2002) und BECHER u. a. (2006) weisen diese auf folgende Zusammenhänge hin:

- Sichere Fahrlinien können bei Defiziten in der Linienführung durch ausreichende Fahrbahnbreiten gewährleistet werden (SCHLAG/HEGER, 2002).
- Geringe Fahrbahnbreiten können den Fahrer überfordern und große unterfordern BECHER u. a. (2006).

KÄMPFE u. a. (2005) haben festgestellt, dass Fahrer auf der Geraden auf breiten Straßen ihr eigenes Tempo unterschätzen. Die Fahrer neigen zu höheren Geschwindigkeiten. Bei schmalen Straßen neigen die Fahrer zu geringen Geschwindigkeiten.

LIPPOLD u. a. (2011) und JÄHRIG (2012) haben im Rahmen des Großversuches AOSI Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen untersucht. Eine davon war die Kombination von sicheren Überholmöglichkeiten (Anordnung von Überholfahrstreifen) mit Überholverbot in den dazwischenliegenden Abschnitten. LIPPOLD u. a. (2011) und JÄHRIG (2012) haben ermittelt, dass durch diese Maßnahme die Verkehrssicherheit deutlich erhöht werden kann. Die Anzahl als auch die Schwere, v. a. von Überholunfällen kann dabei stark reduziert werden.

LIPPOLD u. a. (2011) und JÄHRIG (2012) haben Überholfahrstreifen mit Längen zwischen 600 m und 1.200 m untersucht. Es hat sich gezeigt, dass unterhalb der Mindestlänge nach den RAS-Q (FGSV, 1996) auch kurze Überholfahrstreifenlängen (600 m bis 750 m) zu einer effektiven Entflechtung von Fahrzeugpulks beigetragen haben, woraus sich der Überholdruck in den angrenzenden Abschnitten deutlich reduziert und sich die Verkehrssicherheit verbessert hat. Bei diesen kurzen Längen wurden zwar vergleichsweise häufigere Überfahrten der Sperrflächen am Ende der Überholabschnitte festgestellt, die sich aber nicht negativ auf das Unfallgeschehen ausgewirkt haben.

Aus Verkehrsteilnehmerbefragungen hat sich ergeben, dass die Anordnung von sicheren Überholmöglichkeiten in Kombination mit Überholverbot einer sehr hohen Akzeptanz unterliegt.

Im Ergebnis des Forschungsvorhabens geben LIPPOLD u. a. (2011) und JÄHRIG (2012) für den Ein-

satz von Überholfahrstreifen in Kombination mit Überholverbot unter anderem folgende Empfehlungen:

- Die Anordnung ist vor allem auf unfallauffälligen Landstraßen sinnvoll, bei denen das Unfallgeschehen auf Unfälle im Längsverkehr (Überholunfälle) zurückzuführen ist.
- Überholfahrstreifen sollen mindestens eine Länge von 600 m haben.
- Für die Signalisierung des Endes des Überholfahrstreifens ist die Markierung von breiten Vorankündigungspfeilen besser geeignet.
- Die Längen der dreistreifigen Abschnitte sollten durch vertikale Zeichen gekennzeichnet sein.
- Zweistreifige Abschnitte (mit Überholverbot) sollten maximal 4 km lang sein.
- Die Überholfahrstreifen sind vor plangleichen Knotenpunkten rechtzeitig einzuziehen.

Die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsvorhabens von LIPPOLD u. a. (2011) wurden in die RAL übernommen (dazu auch LIPPOLD u. a., 2003; LIPPOLD u. a., 2008).

LIPPOLD u. a. (2013) untersuchten unterschiedliche Möglichkeiten der Fahrtrichtungstrennung bei Straßen der EKL 1 gemäß RAL hinsichtlich ihrer Wirkung, Akzeptanz und Kosten. Nach ihnen kann das Konzept wiedererkennbarer Straßen, wie es in den RAL verfolgt wird, nur erreicht werden, wenn die geometrische Gestaltung mit einer eindeutigen Markierung und Beschilderung kombiniert wird. Nach den RAL ist für Straßen der EKL 1 ein RQ 15,5 vorgesehen. Für diesen stellt neben der Dreistreifigkeit der verkehrstechnische Mittelstreifen das wesentliche Wiedererkennungsmerkmal dar. Daher ermittelten LIPPOLD u. a. (2013) im Rahmen ihres Forschungsvorhabens eine wirksame Variante zur Kennzeichnung des verkehrstechnischen Mittelstreifens. Dazu führten sie neben einer ausführlichen Literaturanalyse zu nationalen und internationalen Erfahrungen Untersuchungen zu den fünf verschiedenen Markierungsarten

- Schrägstrichgatter,
- orange Markierung,
- grüne Markierung,
- Bischofsmützen und
- Bischofsmützen in Kombination mit Farbe

nach den Kriterien

- der sicheren Befahrbarkeit,
- der Akzeptanz der Maßnahmen,
- den Kosten der Maßnahmen,
- der Lebensdauer der Maßnahmen und
- zur Verkehrssicherheit durch.

Sie haben unter anderem festgestellt, dass die Gestaltung der Fahrtrichtungstrennung keinen bzw. größtenteils keinen Einfluss auf

- das Geschwindigkeitsverhalten frei fahrender Fahrzeuge im einstreifigen Bereich des 2+1-Querschnitts,
- das Spurverhalten,
- regelwidrige Überholungen und
- das Unfallgeschehen hat.

Die Fahrtrichtungstrennung wurde weiterhin nur durch sehr wenige Fahrzeuge überfahren. Des Weiteren konnte kein Zusammenhang zwischen der Breite des verkehrstechnischen Mittelstreifens und dem Abstand der Fahrzeuge zur Fahrtrichtungstrennung hergestellt werden (LIPPOLD u. a., 2013).

Im Ergebnis empfehlen LIPPOLD u. a. (2013) eine farbige Variante für die Gestaltung der Fahrtrichtungstrennung der EKL 1, da sie die Wiedererkennbarkeit von Straßen der EKL 1 fördern, von den Straßen- und Verkehrsbehörden akzeptiert werden und eine lange Haltbarkeit aufweisen. Hinsichtlich der Farbe hat sich das „Verkehrsgrün“ bewährt.

Als begleitende Forschung zur Erarbeitung der RAL haben SCHLAG u. a. (2015) die Querschnittsgestaltung von Straßen der EKL 4 untersucht. Der RQ 9 hat eine Fahrbahnbreite von 6,00 m, bei dem die Fahrtrichtungen nicht durch eine Leitlinie in Fahrbahnmitte getrennt werden. Stattdessen werden zwei, vom Rand der befestigten Fläche abgerückte Leitlinien markiert.

SCHLAG u. a. (2015) haben überprüft, wie die Verkehrsteilnehmer auf neue Arten der Querschnittsaufteilung und der Markierung reagieren. Dazu haben sie auf verschiedenen Untersuchungsstrecken unterschiedliche Markierungsformen (Abrückung, Strich-Lücke-Verhältnis) getestet und das Fahrverhalten der Fahrzeugführer vor und nach der Ummarkierung beobachtet. Dies erfolgte im Fahrsimulator und auf realen Untersuchungsstrecken.

Hinsichtlich des Spurverhaltens konnte nachgewiesen werden, dass Fahrzeugführer bei unbeeinflusster Fahrt zum rechten Fahrbahnrand einen größeren Abstand halten. Dieser hängt u. a. auch von der Fahrbahnbreite ab. Bei einer Fahrbahnbreite von 6,00 m konnten größere Abstände im Vergleich zu Fahrbahnbreiten von 5,00 m verzeichnet werden. Auch bei der Kurvenfahrt konnten größer werdende Abstände zum Fahrbahnrand ermittelt werden (SCHLAG u. a., 2015).

Die Probanden fuhren bei Gegenverkehr während der Begegnung unmittelbar am Fahrbahnrand. Der Abstand zu diesem vergrößerte sich nach der Begegnung wieder. Bei Überholvorgängen von Radfahrern waren die Überholabstände größer (SCHLAG u. a., 2015).

In den Untersuchungen im Fahrsimulator konnte weiterhin festgestellt werden, dass vor allem bei gestreckter Linienführung bei einem größeren Abstand der seitlichen Leitlinien zum Fahrbahnrand (1,00 m) geringere Geschwindigkeiten im Vergleich zu geringeren Abständen (0,75 m) gefahren wurden. Des Weiteren konnten bei einer Fahrbahnbreite von 6,00 m und geringen Verkehrsstärken im Vergleich zu Strecken mit einer Fahrbahnbreite von 5,00 m höhere Geschwindigkeiten ermittelt werden (SCHLAG u. a., 2015).

Auf den Untersuchungsstrecken wurden Verfolgungsfahrten und Querschnittsmessungen durchgeführt. Bei den Verfolgungsfahrten wurden bei den Strecken mit Fahrbahnbreiten von 5,00 m und 6,00 m in die eine Richtung eine leichte Zunahme und in die andere Richtung eine leichte Abnahme der V_{85} ermittelt. Auf den Strecken mit einer Fahrbahnbreite von 5,50 m nahm die V_{85} in beiden Richtungen zu. Aus den Querschnittsmessungen ging hervor, dass stets eine Abnahme der v_{85} zu verzeichnen war (SCHLAG u. a., 2015).

Aus den Untersuchungen zum Blickverhalten zeigte sich, dass der Fahrzeugführer durch die neue Art der Markierung auch in Begegnungsfällen keinen zusätzlichen Beanspruchungen unterliegt (SCHLAG u. a., 2015).

Aus Befragungen der Probanden haben SCHLAG u. a. (2015) festgestellt, dass die Mehrheit eher gut mit der neuen Art der Markierung zurechtkommt. Begegnungsfälle werden von den Probanden aufgrund der schmalen befestigten Straßenbreite als kritisch bewertet.

Bei der Markierung von Randstreifen, die 0,75 m breit oder größer sind, kommt es zu Konflikten mit der StVO. Radfahrer könnten den Randstreifen als einen für sie angelegten Schutzstreifen interpretieren. Diese dürfen nach den StVO jedoch ausschließlich innerhalb bebauter Gebiete angeordnet werden. Daher wurde für Straßen der EKL 4 nach den RAL (FGSV, 2012) ein Fahrstreifen mit einer Breite von 5,00 m und Randstreifen mit einer Breite von jeweils 0,50 m festgelegt (Niederschrift über die Sitzung des Bund-Länder-Fachausschusses Straßenverkehrsordnung/-ordnungswidrigkeiten am 21./22.09.2011 in Saarlouis (BLFA-StVO/OWi III/2011), 2011).

4.4 Linienführung im Lageplan

LIPPOLD (1997) hat im Rahmen seiner Untersuchungen ermittelt, dass die Kurvigkeit[1] allein nicht ausreicht, um die Sicherheit der Trassierung beurteilen zu können. Diese muss in Zusammenhang mit der Relationstrassierung betrachtet werden. Ein Ziel der Dissertation von LIPPOLD (1997) war, die Entwurfsgrundlagen der Relationstrassierung weiterzuentwickeln. Ein Bestandteil der Arbeit war dabei eine Analyse des Unfallgeschehens. Der Geschwindigkeitsverlauf der Fahrzeugführer wird durch die Relationen aufeinander folgender Radien beeinflusst. Treten in den Elementfolgen hohe Geschwindigkeitsdifferenzen auf, sind diese häufig durch ein erhöhtes Unfallgeschehen gekennzeichnet. Relationstrassierte Strecken weisen ein deutlich geringeres Unfallgeschehen im Vergleich zu unstetig trassierten Strecken auf (LIPPOLD, 1997).

Aus der Unfallanalyse ergab sich weiterhin, dass Unfälle, welche im Bereich des Überganges von Geraden auf Kreisbögen zu verzeichnen waren, mit den dort registrierten Geschwindigkeitsdifferenzen übereinstimmen. Demnach ist eine Anbindung von Radien kleiner als R = 200 m an längere Geraden zu vermeiden (LIPPOLD, 1997).

Nach KÄMPFE u. a. (2005) bestehen Zusammenhänge zwischen Fahrfehlern von Fahrzeugführern und der Größe des Radius einer Kurve sowie der Kurvigkeit einer Strecke. In engen Linkskurven kommt es häufig zu Fehlern im Spurverhalten (Kurvenschneiden). Weiterhin kommt es in kurvigen Strecken verstärkt in den Linkskurven zu Fahrfeh-

1 Unter der Kurvigkeit (KU) wird das Verhältnis aus der Summe der absoluten Winkeländerungen bezogen auf die Länge des Teilabschnittes verstanden (WEISE/DURTH, 1997).

lern. KÄMPFE u. a. (2005) nehmen an, dass der Fahrer in kurvenreichen Strecken auf die Kurven vorbereitet ist und seinen Fahrstil entsprechend anpasst.

Nach BECHER u. a. (2006) belegen verschiedene Studien, den Einfluss von geometrischen Größen von Kurven und deren zugehörigen Übergangsbögen sowie die Kurvenfolgen auf das Fahrverhalten. Die wesentlichen Erkenntnisse sind nach BECHER u. a. (2006) nachfolgend aufgeführt:

- Besonders in unteren Radienbereichen (bis 150 m) wird die Geschwindigkeit durch den Kurvenradius beeinflusst.
- Die Schwierigkeit der Kurvendurchfahrt steigt mit der Krümmung an.
- Eine unstetige Strecke zwingt zu ständiger Anpassung der Geschwindigkeit.
- Eine stetige Streckenführung und die Relationstrassierung dagegen ermöglichen ein gleichmäßigeres Geschwindigkeitsprofil.
- Zwischengeraden haben einen beschleunigenden Effekt.
- Vor Kurveneintritt benötigt der Fahrer 3 s bis 5 s Vorbereitungszeit.
- Unabhängig vom Kurvenradius wird bei Kurvendurchfahrt ein Mindestabstand zur Fahrstreifenbegrenzung (TLC) eingehalten.
- Fahrer orientieren sich im Kurvenbereich an den Markierungen der Fahrbahnränder.
- Unabhängig von der Straßenbreite wird im Fahrstreifen links versetzt gefahren.

Auch in CAMPBELL u. a. (2012) werden Hinweise zur Gestaltung von Kurven gegeben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass

- 75 m bis 100 m bzw. 4 s bis 5 s vor der Kurve dem Fahrer ausreichend Informationen über diese bereitgestellt werden,
- in der Kurve ausreichend navigierende und regelnde Informationen vorhanden sind (Markierung, Leitpfosten usw.),
- mögliche Ablenkungen durch Objekte im Seitenraum minimiert werden sowie
- der Fahrer die Größe des Radius erkennen und begreifen kann.

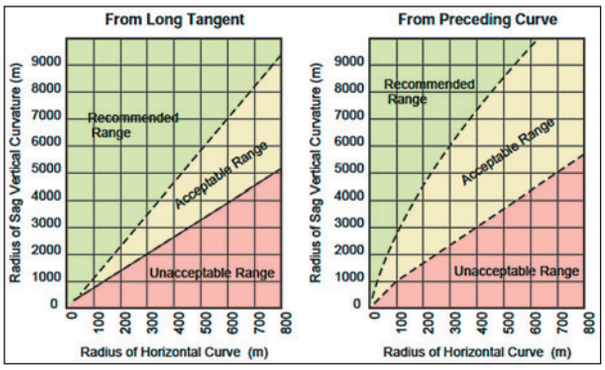


Bild 21: Empfohlene Radienverhältnisse nach den Human Factor Guidelines (APPELT, 2000 in CAMPBELL u. a., 2012)

Analog zu den Untersuchungen von (LIPPOLD, 1997) und BECHER u. a. (2006) geben CAMPBELL u. a. (2012) Empfehlungen zu einzuhaltenden Radienverhältnissen (Bild 21).

Nach CAMPBELL u. a. (2012) sollte die zulässige Höchstgeschwindigkeit ggf. je nach Radiengröße beschränkt werden. Weiterhin kann ein sicheres Befahren der Kurve u. a. durch folgende Maßnahmen gewährleisten werden:

- Anwendung von Klothoiden,
- keine Anordnung von kurzen Zwischengeraden,
- Anordnung einer Überhöhung,
- kontinuierliche Streckencharakteristik und
- Anordnung von Markierung zur Fahrerorientierung.

Die WORLD ROAD ASSOCIATION (PIARC, 2008) fordern mit dem Logic-Axiom, dass die Straße der Wahrnehmungslogik des Fahrers folgen muss, also erwartungskonform verläuft (vgl. Kapitel 3.4). Um dies zu erreichen, wird eine kontinuierliche Linienführung gefordert und die Vermeidung von Stolpersteinen. In Bezug auf Kurven wird im Weiteren auf die Vorteile der Relationstrassierung verwiesen.

4.5 Linienführung im Höhenplan

KOY/SPACEK (2003) haben das Geschwindigkeitsverhalten von ungehindert fahrenden Pkw und Lkw in Gefälle- und Steigungsstrecken untersucht. Sie haben auf Steigungsstrecken im Vergleich zu Gefällestrecken eine leichte Abhängigkeit zwischen der Längsneigung und der Geschwindigkeit festgestellt. Mit zunehmender Längsneigung nimmt die Geschwindigkeit ab. Die-

ser Effekt konnte dabei bei den Lkw deutlicher beobachtet werden als bei den Pkw.

Weitere spezifische Studien, welche sich direkt mit der Linienführung im Höhenplan beschäftigen, konnten nicht ausfindig gemacht werden. In der Regel wird dieses Gestaltungsmerkmal im Zusammenhang mit der räumlichen Linienführung betrachtet, weshalb an dieser Stelle auf Kapitel 4.6 und die dort beschriebenen Untersuchungen verwiesen wird.

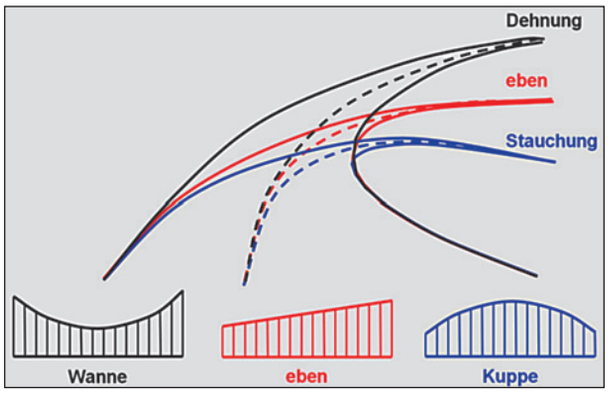


Bild 22: Dehnung und Stauchung (APPELT, 2000)

4.6 Räumliche Linienführung

Das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit werden stark von dem räumlichen Verlauf der Straße beeinflusst. Daher sollte dieser keine Defizite aufweisen. Defizite in der räumlichen Linienführung können jedoch auch dann auftreten, wenn die Trassierung in den Entwurfsebenen Lageplan und Höhenplan fehlerfrei ist. Sie können nach sicherheitsrelevanten und gestalterischen Defiziten unterschieden werden.

Sicherheitsrelevante Defizite sind unter anderem:

- Sichtschatten,
- Dehnung,
- Stauchung und
- verdeckter Kurvenbeginn.

Gestalterische Defizite sind unter anderem:

- Knickwirkung,
- Brettwirkung,
- Flattern,
- Verzerrung der Längsneigung sowie
- Widerspruch zwischen Straße und Umfeld.

Bei Streckenabschnitten, die sich im Sichtschatten befinden, besteht die Gefahr, dass Hindernisse auf dem eigenen Fahrstreifen und bei Überholvorgängen auf dem Gegenverkehrsfahrstreifen nicht rechtzeitig erkannt werden können und es somit zum Unfall kommen kann.

Nach APPELT (2000) wird der Fahrer in Kurven in einer Wanne besonders beansprucht, da der optische Eindruck dieser verzerrt wird und sie größer wirken, als sie tatsächlich sind (Dehnung, Bild 22). Dabei besteht die Gefahr, dass der Fahrer zu schnell in die Kurve einfährt und somit von der Fahrbahn abkommt. APPELT (2000) empfiehlt derartige Verzerrungen zu vermeiden. Weiterhin entsteht der Eindruck einer engeren Kurve, wenn sich diese mit einer Kuppe überlagert (Stauchung, Bild 22). Es gibt jedoch keine Unfallzahlen, die belegen, dass dies die Verkehrssicherheit beeinträchtigt (APPELT, 2000 in CAMPBELL u. a., 2012).

WEISE u. a. (2002) können die Ergebnisse von APPELT (2000) bestätigen. Sie haben unter anderem die Zusammenhänge zwischen den Raumelementen und dem Unfallgeschehen betrachtet. Im Rahmen der Auswertungen haben sie zwischen Wanne und Senke[2] sowie Kuppe und Buckel[3] differenziert, da sich zwischen diesen Raumelementen unterschiedliche Auswirkungen auf das Unfallgeschehen ergaben. Bei dem Unfalltyp 1 (Fahrunfälle) sind die Raumelemente gekrümmte Senke und gekrümmter Buckel als kritisch zu bewerten. Aus den Auswertungen hat sich ergeben, dass ein höheres Unfallniveau bei einer Überlagerung von Lageplankurven mit Höhenplanausrundungen zu erkennen ist. Hinsichtlich des Unfalltyps 6 (Unfälle im Längsverkehr) sind vor allem bei Überholunfällen die Raumelemente Gerade mit konstanter Längsneigung, gerade Wanne und gerade Senke als kritisch einzustufen.

Auch HASSAN/EASA (2003) bestätigen diese Annahme. Bei deren Untersuchungen stellte sich ein unterschiedliches Fahrverhalten der Probanden je nach Elementkombination ein, welches sich in einer unterschiedlichen Wahl der Geschwindigkeiten

2 Eine Senke entspricht einer Wanne, wobei beide Längsneigungen der Tangenten ein negatives Vorzeichen (Gefälle) haben.

3 Ein Buckel entspricht einer Kuppe, wobei beide Längsneigungen der Tangenten ein positives Vorzeichen (Steigung) haben.

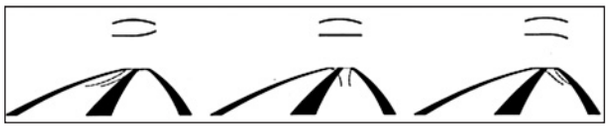


Bild 23: Verdeckter Kurvenbeginn (LORENZ, 1971)

zeigte. Während Überlagerungen mit Kuppen Anlass zur Reduktion der Geschwindigkeit gaben, konnten in Wannen gegenteilige Zusammenhänge beobachtet werden.

Ein verdeckter Kurvenbeginn tritt auf, wenn sich in Fahrtrichtung der Beginn eines Kreisbogens im Lageplan hinter dem Hochpunkt einer Kuppe im Höhenplan befindet (Bild 23).

Gestalterische Defizite haben nur einen geringen Einfluss auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit (FGSV, 2012). Daher werden sie im Folgenden nur knapp definiert und nicht weiter ausgeführt.

Im Lageplan entsteht eine Knickwirkung, wenn in der Achse zwischen zwei langen Geraden eine kurze Kurve angeordnet wird. Analog kann im Höhenplan eine Knickwirkung entstehen, wenn in der Gradiente zwischen zwei langen Geraden eine kurze Wanne angeordnet wird (LORENZ, 1971).

Wird in der Gradiente zwischen zwei gegenseitig gekrümmten oder geraden Gefällestrecken eine kurze Gerade (z. B. in Form einer Brücke) angeordnet, wirkt diese wie ein Brett (LORENZ, 1971).

Flattern entsteht, wenn über eine lange Gerade oder einen langen Kreisbogen in der Achse mehrere Wannen und Kuppen in der Gradiente angeordnet werden (LORENZ, 1971).

Unter dem Defizit Widerspruch zwischen Straße und Umfeld wird verstanden, dass dem Fahrzeugführer ein falscher Streckenverlauf vorgetäuscht werden kann, wenn sich im Umfeld der Straße aufragende Elemente, wie z. B. Bäume oder Masten, befinden, die dem Streckenverlauf folgen, jedoch später von diesem abweichen (KÜHN u. a., 2007).

4.7 Sichtweiten

Die Sichtweite hat auf die Verkehrssicherheit einen maßgebenden Einfluss. Dabei sind im Straßenentwurf neben den geometrischen auch die psychologischen und physiologischen Sichtweiten von Bedeutung.

Im Straßenentwurf werden die Anforderungen an die Sichtqualität als erforderliche Sichtweiten bezeichnet. Die erforderlichen Sichtweiten werden über geometrische Modellvorstellungen und fahrdynamische Gesetze oder über Messungen ermittelt. Die Modelle bilden nur annähernd die tatsächlichen Verhältnisse ab, da Vereinfachungen getroffen und optische sowie wahrnehmungspsychologische Gesetzmäßigkeiten nicht berücksichtigt werden. Daher sollten geometrische Sichtweiten eher als technische Hilfsgrößen für die Bemessung von Straßen verstanden werden (HIERSCHE, 1968).

Bei den geometrischen Sichtweiten sind für die freie Strecke die Halte- und die Sichtweite zum Überholen von Bedeutung. Die erforderliche Haltesichtweite ist die Sichtweite, bei der Hindernisse auf der Fahrbahn an jeder Stelle mindestens aus einer Entfernung erkennbar sein müssen, aus der dem Fahrzeugführer auch auf nasser Fahrbahn beim Befahren mit der gemäß der für die EKL geltenden Planungsgeschwindigkeit ein rechtzeitiges Anhalten ermöglicht werden kann (FGSV, 2012). Die erforderliche Haltesichtweite entspricht dem Anhalteweg eines frei fahrenden Personenkraftwagens (Pkw). Dieser setzt sich aus dem zurückgelegten Weg während der Reaktions- und Auswirkzeit sowie dem Bremsweg zusammen. Das Modell zur Bestimmung der erforderlichen Haltesichtweite ist in Bild 24 dargestellt.

Die Sichtweiten werden auch in den internationalen Human Factors Guidelines thematisiert. Die PIARC (2008) definieren ein 6-Second Axiom. Nach diesem benötigt der Fahrer anstatt der zwei Sekunden Reaktionszeit, wie sie oft in der Literatur angegeben wird, vier bis sechs Sekunden, um eine neue Situation im Fahrraum adaptieren und auf diese reagieren zu können. Dabei benötigt der Fahrer zunächst zwei bis drei Sekunden, um sich zu orientieren und das Problem zu erkennen. Anschließend sind zwei bis drei Sekunden erforderlich, um die Reaktion auf die Situation zu planen und einzuleiten. Auf Landstraßen beträgt die zulässige Höchstgeschwindigkeit i. d. R. V_{zul} = 100 km/h. Um auf ein Hindernis auf dem eigenen Fahrstreifen reagieren und rechtzeitig vor diesem abbremsen zu können, sind somit unter Berücksichtigung des „6-Second Axioms“ folgende Weglängen erforderlich (PIARC, 2008):

- Orientierung: 55 m bis 85 m,
- Einleitung: 55 m bis 85 m und
- Bremsweg: 115 m.

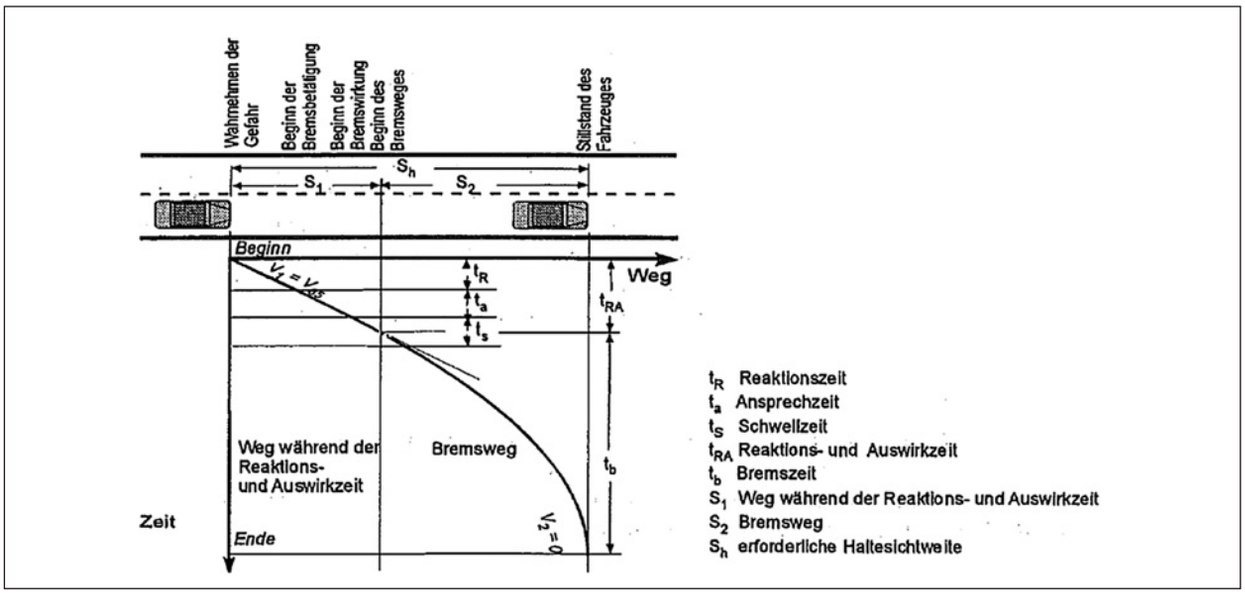


Bild 24: Modell zur Bestimmung der erforderlichen Haltesichtweite (WEISE/DURTH, 1997)

Factors that affect the different Components of Perception-Reaction Time		
Activity	Factor	Explanation
Seeing/ Perceiving	Low contrast (e.g., night)	Drivers take longer to perceive low-contrast objects.
	Visual glare	Objects are perceived less quickly in the presence of glare.
	Older age	Older drivers are less sensitive to visual contrast and are more impaired by visual glare (e.g.,oncoming headlights).
	Object size/height	Smaller objects/text require drivers to be closer to see them.
	Driver expectations	Drivers take substantially longer to perceive unexpected objects.
	Visual complexity	Drivers take longer to perceive objects „buried“ invisual clutter.
	Driver experience/familiarity	PRT to objects and situations will generally be faster with increased experience and/or familiarity.
Cognitive Elements	Older age	Older drivers require more time to make decisions.
	Complexity	Drivers require more time to comprehend complex information or situations and to initiate more complex or calibrated maneuvers.
Initiating Actions	Older age	Older drivers require more time to make vehicle control movements and their range of motion may be limited.

Tab. 2: Einflussgrößen der Reaktionszeit (nach CAMPBELL u. a., 2012)

In Summe ist somit eine Sichtweite von 225 m bis 285 m erforderlich, um rechtzeitig halten zu können.

Die Empfehlungen der PIARC (2008) stützen sich dabei auf die Befunde von KLEBELSBERG (1988)

CAMPBELL u. a. (2012) definieren für den Entwurf von Straßen verschiedene erforderliche Sichtweiten. Diese basieren neben Erfahrungswerten auf empirischen Daten. Die erforderlichen Sichtweiten setzen sich dabei stets aus einer Reaktionszeit und einer Handlungszeit zusammen. Die Reaktionszeit umfasst dabei die Zeit, die zur Reaktion auf eine neue Situation sowie zur Entscheidung und zur Einleitung der geplanten Handlung erforderlich ist. Die Handlungszeit ist die, die der Fahrer benötigt, um seine geplante Handlung vollständig umsetzen zu können. Nach CAMPBELL u. a. (2012) kann für die Reaktionszeit kein einheitlicher Wert definiert werden, da sie von vielen Einflussgrößen abhängig ist, wie z. B. dem Alter des Fahrers, der Komplexität der zu erfassenden Situation usw. (vgl. Tabelle 2).

CAMPBELL u. a. (2012) geben die in Bild 25 dargestellte Gleichung zur Berechnung der Haltesichtweite an (mit a = 5,4 m/s^2; t_{RT} = 1,6 s bei guten Sichtverhältnissen; t_{RT} ≥ 5 s bei schlechten Sichtverhältnissen). Nach CAMPBELL u. a. (2012) beträgt somit bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von V = 100 km/h je nach Sichtverhältnissen die Haltesichtweite 117 m bis 211 m.

Unter der psychologischen Sichtweite wird die Tiefe des Verkehrsraumes verstanden, von dem der

$$SSD = 0.278 V t_{RT} + 0.039 \frac{V^2}{a}$$

Where:

t_{RT} = perception-reaction time
V = design speed, km/h
a = deceleration level, m/s^2 (see discussion)

Bild 25: Gleichung zur Berechnung der Haltesichtweite (CAMPBELL u. a., 2012)

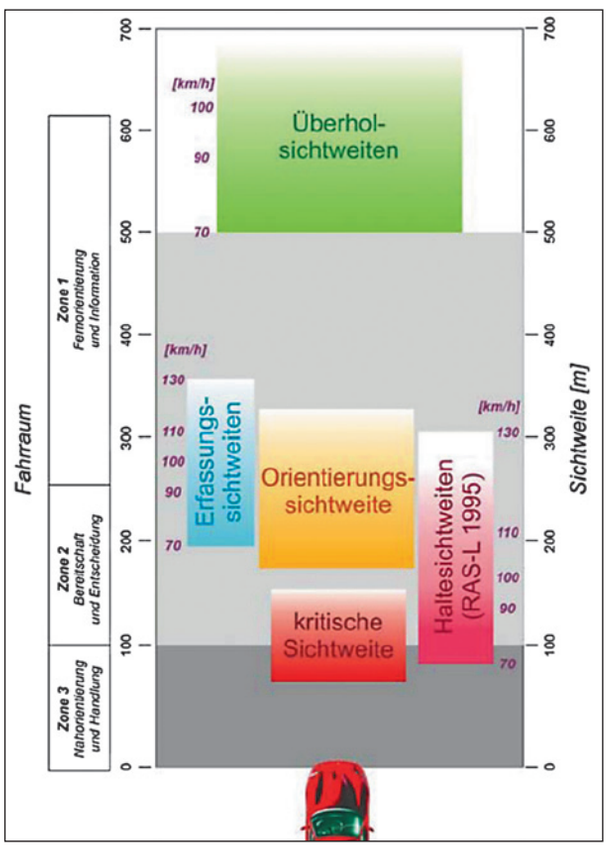


Bild 26: Zusammenhang Fahrraum – Sichtweiten (LIPPOLD u. a., 2007b)

Fahrzeugführer den Eindruck hat, ihn für die Fahraufgabe einwandfrei überschauen beziehungsweise erfassen zu können. Der Verkehrsraum muss so gestaltet sein, dass die Menge der aufzunehmenden Informationen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau entspricht. Es soll demnach ausreichend Zeit zur Verfügung stehen, den vor ihm liegenden Fahrraum wahrzunehmen und zu erfassen sowie die dazu entsprechende Fahrweise wählen zu können. Diese Vorgänge sollen möglichst ohne Überschreiten der Bewusstseinsschwelle erfolgen (HIERSCHE, 1968).

AULHORN (1971) hat die wahrnehmungsphysiologische Sichtweite als Abstand definiert, aus dem ein Objekt mit gegebener optischer Charakteristik (Kontrast, Form und Größe) vom Fahrer mit gegebener Sehschärfe bei vorhandenen Witterungs- und Lichtverhältnissen wahrgenommen oder erkannt werden kann. LORENZ (1971) fordert eine Sichtweite, mit der der Fahrer in der Lage sein soll, den Straßenverlauf und das Verkehrsaufkommen so beurteilen zu können, dass unvermittelte Bremsmanöver vermieden werden. Weiterhin soll durch diese eine vorausschauende Beurteilung des Fahrraums möglich sein. Diese Sichtweite bezeichnet er als Erfassungssichtweite. DILLING (1973) definiert die Erkennbarkeitssichtweite als Entfernung, in der ein Streckenabschnitt uneingeschränkt überschaubar ist.

Die vorangegangenen Erkenntnisse werden von LEUTNER (1974) zusammengefasst. Er unterteilt den Fahrraum in drei Zonen, die durch wachsende Anspannung und Aufmerksamkeit des Fahrers bestimmt sind:

- Zone 1: Fernorientierung und Information (600 m bis 250 m),
- Zone 2: Bereitschaft und Entscheidung (250 m bis 75 m) und
- Zone 3: Nahorientierung und Handlung (bis 75 m).

LIPPOLD u. a. (2007b) haben das Fahrverhalten in Abhängigkeit von der Straßenraumgestaltung mit dem maßgebenden Faktor Sichtweite untersucht. Dafür haben sie einen interdisziplinären Ansatz von Ingenieurwissenschaft und Verkehrspsychologie gewählt. Dieser analysiert das Zusammenwirken entwurfstechnischer, fahrdynamischer und verhaltenspsychologischer Größen sowie ihre Auswirkungen auf das Fahrverhalten. Als Ergebnis haben sie ein Modell für die Orientierungssichtweite entwickelt. Unter der Orientierungssichtweite wird die Sichtweite verstanden, die notwendig ist, ohne abrupte Reaktionen die Streckencharakteristik erfassen und sein Fahrverhalten darauf anpassen zu können (LIPPOLD u. a., 2007b).

Der Zusammenhang zwischen den Sichtweiten und dem Fahrraum ist in Bild 26 dargestellt.

Die PIARC (2012) hat neun internationale Entwurfsrichtlinien analysiert und dabei u. a. Bassans Model und Evaluation zur Entscheidungssichtweite dargestellt (BASSAN, 2011). Das Modell beschreibt drei Phasen: die Manövervorbereitung (Entdecken/Erkennen und Entscheiden), die Verzögerung (von der Richtgeschwindigkeit auf die Manövergeschwindigkeit) und die Manöverausführung. Nach Bassan

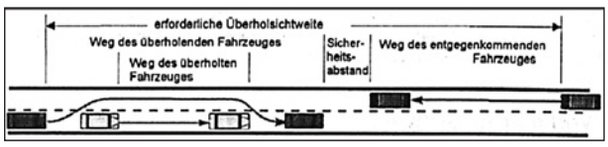


Bild 27: Überholsichtweite (WEISE/DURTH, 1997)

ergibt sich bei einer Vzul = 100 km/h eine Entscheidungssichtweite von 290 m.

Die erforderliche Überholsichtweite entspricht der Streckenlänge, die ein Fahrer auf einer einbahnig zweistreifigen Straße mit Gegenverkehr einsehen können muss, um einen sicheren Überholvorgang ausführen zu können (WEISE/DURTH, 1997). Sie setzt sich aus der Länge des Überholwegs, der vom Gegenverkehr während der Überholzeit zurückgelegten Strecke und einem Sicherheitsabstand zwischen dem Überholenden und dem entgegenkommenden Fahrzeug zusammen (Bild 27).

LIPPOLD u. a. (2015) haben die Annahmen zum Überholmodell aus den vorangegangenen Untersuchungen und aus den RAL überprüft. Dazu haben sie Überholvorgänge über ein luftgestütztes Messdatenerfassungssystem (Drohne) aufgenommen und ausgewertet. Im Ergebnis haben sie eine erforderliche Überholsichtweite von $SW_{Ü,erf}$ = 570 m ermittelt. Mit dieser können sie die nach RAL geforderte Sichtweite zum Überholen eines LKW von 600 m grundsätzlich bestätigen.

In den Human Factors Guidelines (CAMPBELL u. a., 2012) werden differenziert nach verschiedenen Geschwindigkeiten erforderliche Überholsichtweiten angegeben. Für eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von V = 100 km/h ist demnach eine Sichtweite von 670 m erforderlich.

CAMPBELL u. a. (2012) definieren auch erforderliche Sichtweiten für Knotenpunktbereiche. Diese werden nach den verschiedenen Knotenpunktarten und nach den geplanten Handlungen differenziert. Wird eine gefahrene Geschwindigkeit von V = 100 km/h vorausgesetzt, ergeben sich folgende Sichtweiten:

- Haltesichtweite: 156 m (t_{RT} = 3 s) und
- Sichtweite zur Geschwindigkeits-, Fahrstreifen- und Richtungsänderung: 284 m bis 311 m (t_{RT} = 10,2 s bis 11,2 s).

Es werden zusätzlich für links- und rechtsschiefe Knotenpunkte einzuhaltende Sichtweiten definiert. Diese werden in dem vorliegenden Bericht jedoch nicht weiter ausgeführt, da nach den RAL sich querende Straßen möglichst im rechten Winkel zu verknüpfen sind. Diese Art der Verknüpfung gewährleistet eine höhere Verkehrssicherheit.

Alle von CAMPBELL u. a. (2012) angegebenen Sichtweiten werden u. a. in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit berechnet. Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Wahl der Geschwindigkeit stets berücksichtigt werden sollte, dass diese vielen Einflussgrößen unterliegen, wie z. B. Fahrbahnbreite, Linienführung, Zustand der Straßenoberfläche und Gestaltung des Seitenraums. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit sollten daher mindestens die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten in die Berechnungen der Sichtweiten eingehen.

In diesem Zusammenhang weisen BECHER u. a. (2006) darauf hin, dass ein separater Sichtweitenparameter in einem Modell gefahrener Geschwindigkeit enthalten sein sollte. Dies gilt allerdings nur für bestimmte Radien, da die Sichtweite in Abhängigkeit von der Kurvigkeit der Strecke mit dem Kurvigkeitsparameter korreliert ist und insofern bereits indirekt berücksichtigt wird.

4.8 Knotenpunkte

BECHER u. a. (2006) formulierten für ihre Literaturanalyse folgende Hypothese zu Knotenpunkten: „Knotenpunkttypen und -abstände wirken auf das Fahrerverhalten, insbesondere auf die Geschwindigkeitswahl und das Überholverhalten“. Diese Hypothese konnte aufgrund fehlender Befunde nur in ihrer Tendenz bestätigt werden. Aus diesem Grund werden weitergehende Studien zum Einflussbereich von Knotenpunkten auf die freie Strecke sowie Untersuchungen zum Einfluss von Übergangsbereichen von der freien Strecke zum Knotenpunkt auf das Fahrverhalten von den Autoren vorgeschlagen (BECHER u. a., 2006).

In den amerikanischen Human Factors Guidelines (CAMPBELL u. a., 2012) werden je nach Knotenpunktart Anforderungen an die Knotenpunkte definiert. Für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage sind u. a. Grenzzeitlücken festgelegt. Unter der Grenzzeitlücke wird dabei die kleinste Zeitlücke im übergeordneten Strom verstanden, die vom wartepflichtigen Fahrzeug zur Ausführung des beabsichtigten Fahrmanövers angenommen wird. Für Pkw beträgt die Grenzzeitlücke bei einem Fahrmanöver von einer untergeordneten Straße auf eine einbahnig zweistreifige übergeordnete Straße

- t_g = 7,5 s beim Linkseinbiegen und
- t_g = 6,5 s beim Rechtseinbiegen.

CAMPBELL u. a. (2012) weisen darauf hin, dass die Grenzzeitlücke dabei vom Fahrer, dem Umfeld und weiteren situativen Randbedingungen abhängig ist. Dabei sind u. a. das Alter des Fahrers, die Wartezeit, die beabsichtigte Fahrtrichtung und der Bekanntheitsgrad der Fahrtroute maßgebende Einflussgrößen.

Für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage führen CAMPBELL u. a. (2012) Maßnahmen zur Reduzierung von Rotlichtverstößen auf. Diese beziehen sich auf die Charakteristik des vorhandenen Verkehrs, die Betriebsform und die Gestaltung des Knotenpunktes, auf die Art der Signalisierung sowie auf die Fahrerinformation am Knotenpunkt.

CAMPBELL u. a. (2012) geben auch Hinweise zur Gestaltung von planfreien Knotenpunkten. Dabei erläutern sie u. a. folgende Fahraufgaben und Einflussgrößen beim Einfädeln in die übergeordnete Straße:

- einleitende Lenkbewegung (Phase 1, Bild 28): keine Einflussgrößen,
- Beschleunigung (Phase 2, Bild 28): Radius der Rampe,
- Suche einer Lücke zwischen den Fahrzeugen des übergeordneten Verkehrsstromes (Phase 3, Bild 28): Geschwindigkeit, Verkehrsdichte und Verkehrszusammensetzung der Fahrzeuge des übergeordneten Verkehrsstromes, Beschleunigung und individuelle Grenzzeitlücke des Fahrers,
- Einfädelung (Phase 4, Bild 28): Rampenlänge, kurze Rampenlängen provozieren Aggressivität und
- Abbruch (Phase 5, Bild 28): keine Einflussgrößen.

Es werden weiterhin Ansätze, die zu Falschfahrten beitragen und Maßnahmen zur Vermeidung von Falschfahrern genannt. Dabei sollen u. a.

- die Zufahrten auffällig durch z. B. eine rote Markierung gestaltet,
- schwach frequentierte Anschlussstellen überwacht,
- eine Beleuchtung der Fahrbahn vorgesehen,
- Verkehrszeichen mit der Aufschrift „Nicht Einfahren“ oder „Falscher Weg“ angeordnet,
- Ausfädelungsvorgänge zur linken Seite vermieden und
- bauliche Fahrtrichtungstrennungen angeordnet werden (CAMPBELL u. a., 2012).

Bei Ausfädelungsstreifen in Anschlussstellen sind nach CAMPBELL u. a. (2012) u. a. folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Gewährleistung der Erkennbarkeit,
- keine weiteren Veränderungen in der Streckencharakteristik (Überforderung des Fahrers),
- Gewährleistung einer ausreichenden Länge der Verziehungsstrecke,
- Gestaltung des Ausfädelungsstreifens so, dass der Fahrer nicht den Eindruck erhält, dass nach der Anschlussstelle der Fahrstreifen fortgesetzt wird,
- Gewährleistung der Verkehrssicherheit und der -qualität im Bereich des Ausfädelungsstreifens,
- Verdeutlichung, dass der zusätzliche Fahrstreifen (Ausfädelungsstreifen) nicht kontinuierlich zur Verfügung steht und
- Verbesserung der Erkenn- und Begreifbarkeit durch Verkehrszeichen.

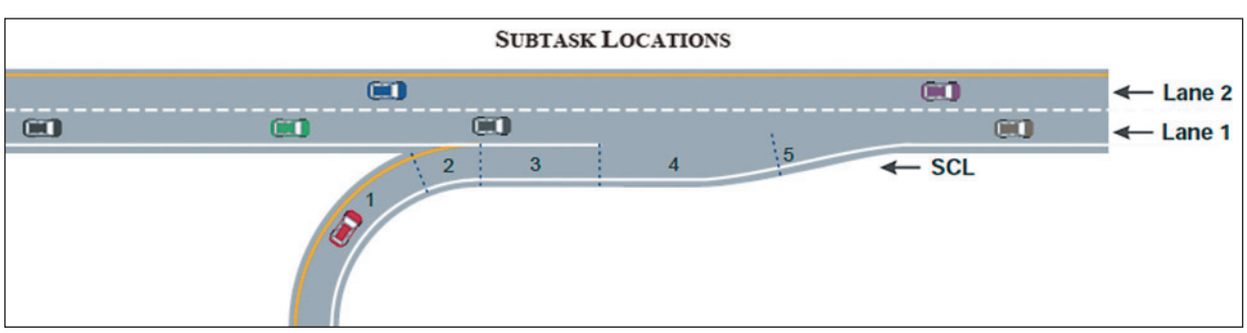


Bild 28: Fahraufgaben beim Einfädeln in eine übergeordnete Straße (AHAMMED u. a., 2006 in CAMPBELL u. a., 2012)

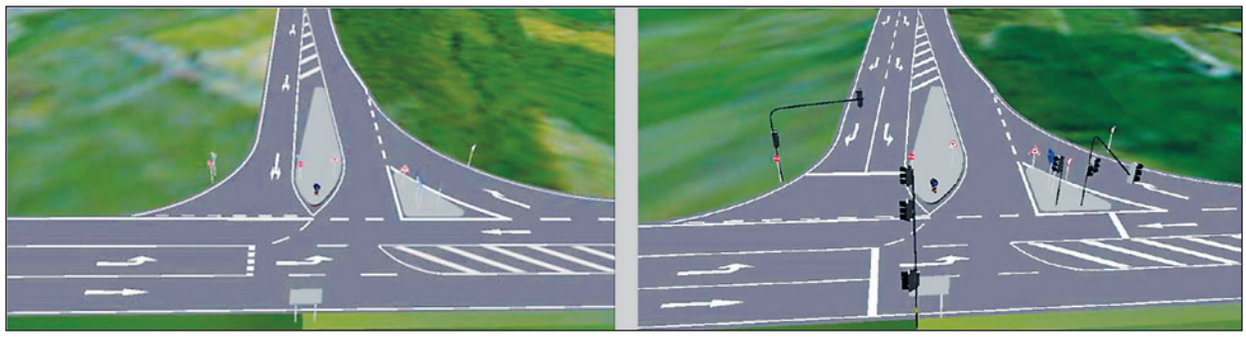


Bild 29: Empfohlene Markierungsvarianten für Knotenpunkte ohne (links) und mit LSA (rechts) (MAIER u. a., 2015)

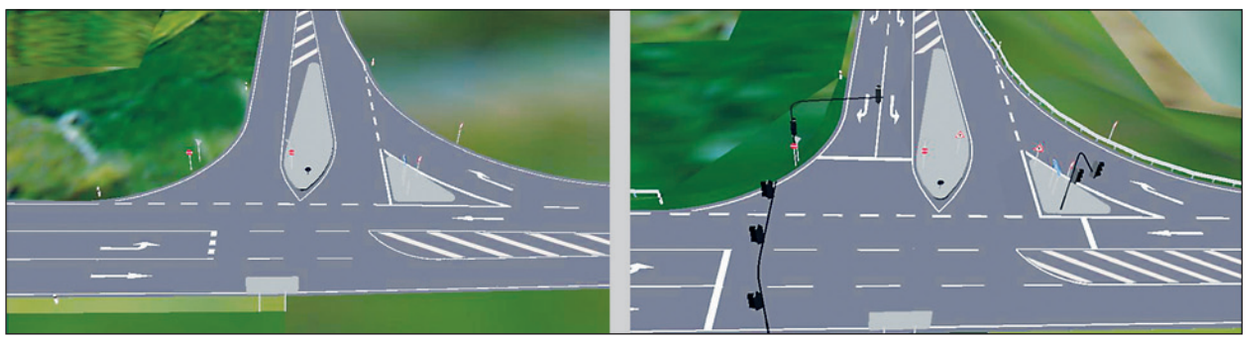


Bild 30: Standardsituation nach RMS (1980) ohne LSA (links) und mit LSA (rechts), ergänzt durch Leitplatte (Z 626 StVO) an Z 222 StVO (MAIER u. a., 2015)

Weiterhin ist im Bereich von Anschlussstellen auf eine ausreichende Fahrerinformation zu achten. Die Fahrstreifen sollten so angeordnet werden, dass unnötige Fahrstreifenwechsel vermieden werden können. Dies gilt vor allem für die durchgehenden Fahrstreifen. Auch ist die Anzahl der Fahrstreifen vor und nach der Anschlussstelle möglichst gleich zu halten. Der Abstand zwischen den Ein- und Ausfädelungssteifen sollte so groß sein, dass die Anschlussstelle für den Fahrer übersichtlich gestaltet ist und keine Behinderungen durch den Schwerverkehr entstehen können. Die geometrische Gestaltung des Knotenpunktes sollte zudem fehlerverzeihend sein. Die Verkehrszeichen im Anschlussstellenbereich sollten so gestaltet werden, dass Fehlinformationen vermieden werden. Dies kann u. a. auch dadurch unterstützt werden, dass keine unwichtigen Informationen angezeigt werden. Wichtige Informationen sollten jedoch wiederholt werden. Die Fahrerinformationen sind dabei verständlich zu formulieren. Für die Gewährleistung einer ausreichenden Fahrerinformation ist vor allem sicher zu stellen, dass diese für den Fahrer gut sichtbar ist.

Von MAIER u. a. (2015) wurden zur Vorbeugung von Falschfahrten verschiedene Markierungs- und Beschilderungsvarianten an BAB-Anschlussstellen untersucht. Zu Beginn wurde das Orientierungs- und Abbiegeverhalten im Realverkehr an konventionell gestalteten Anschlussstellen analysiert (siehe Bild 30). Darauf aufbauend wurden verschiedene Markierungs- und Beschilderungsvarianten entwickelt, welche durch eine verbesserte visuelle Führung das Erkennen der Auffahrt auf die Autobahn erleichtern sollen. Diese Varianten wurden abschließend auf ihre Wirksamkeit hin untersucht. Im Ergebnis konnte je eine Variante für signalisierte und nicht - signalisierte Knotenpunkte vor BAB - Auffahrten empfohlen werden (siehe Bild 29). Die empfohlenen Varianten bieten den Fahrern eine verbesserte visuelle Führung durch eine zur Knotenpunktmitte verschobene Warte- bzw. Haltlinie, zusätzliche Richtungspfeile nach der Warte- oder Haltlinie und eine innere Abbiegeleitlinie. Durch diese Maßnahmen konnte der Abbiegepunkt wirksam zur Knotenpunktmitte verschoben und so die Gefahr von Falschfahrten reduziert werden. Neben den objektiven Parametern des Orientierungs- und Abbiegeverhaltens wurden auch subjektive Probandenurteile eingeholt. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Probanden fast alle modifizierten Anschlussstellen als vergleichsweise leichter befahrbar einschätzten. Diese Untersuchung setzt beim Prinzip der (visuellen) Führung an und ist ein gutes Beispiel für die konkrete Berücksichtigung von Human Factors in der Straßengestaltung.

Nach dem Logic-Axiom der PIARC (2008) wird darauf hingewiesen, dass Übergangsbereiche vor kriti-

schen Punkten wichtig sind. Diese sollten klar und so früh wie möglich die bevorstehenden Änderungen ankündigen, damit der Fahrer Gelegenheit hat sich auf diese einzustellen. So sollte bspw. ein Ortseingang auch rechtzeitig als solcher erkennbar sein und nicht gestaltet sein wie der zurückliegende Landstraßenabschnitt.

4.9 Ausstattung

Der Verlauf der Straße und die optische Führung der Kraftfahrer werden durch die Verkehrszeichen und die Gestaltung des Seitenraumes, d. h. durch die Gestaltung des Umfeldes beeinflusst.

In den Ausführungen zum Blickfeld-Axiom der PIARC (2008) wird gefordert, dass die Straße dem Fahrer ein sicheres Blickfeld bieten muss. So sollten zur besseren Abschätzung vorausliegender Radien die Kurvenaußenseiten gut eingerahmt sein (z. B. durch Büsche). Die Straße sollte weiter visuelle Orientierungspunkte zum weiteren Verlauf für den Fahrer bereithalten, damit dieser eine sichere Fahrspur beibehalten kann. Ein monotones Blickfeld mit wenig Helligkeits- und Farbkontrasten im seitlichen Blickfeld führt zu einem Absinken des Aktivierungsniveaus des zentralen Nervensystems - die Folge ist ein monotoniebedingtes Absinken der Reaktionsfähigkeit. Besser ist eine abwechslungsreiche Gestaltung des Blickfeldes mit einer ausreichenden Menge an Farb- und Helligkeitskontrasten, z. B. durch abwechslungsreiche Bepflanzung, Fixationsobjekte im seitlichen Straßenraum oder Sondermarkierungen zur Erhöhung der Reizdichte (z. B. Haifischzähne vor Ortseingängen vgl. Bild 20). Abschließend wird auf optische Illusionen hingewiesen, wie sie bspw. entstehen, wenn Baumspiegel und Fahrbahnbegrenzungslinien nicht parallel verlaufen oder bei ungleichem Beginn von Bepflanzungen und Kuppen/Senken.

4.9.1 Verkehrszeichen

Nach COHEN (1994) können zwei Informationssysteme unterschieden werden, welche der Fahrer zur Informationsgewinnung bei der Fahraufgabe nutzt. Primäre Informationen entstammen direkt der Straße, der Verkehrskonstellation usw., d. h. von realen Objekten. Im Gegensatz dazu entstehen sekundäre Informationen aus dem künstlichen System der Verkehrszeichen und Markierungen. In kritischen Situationen, in denen schnelle Reaktionen erforderlich

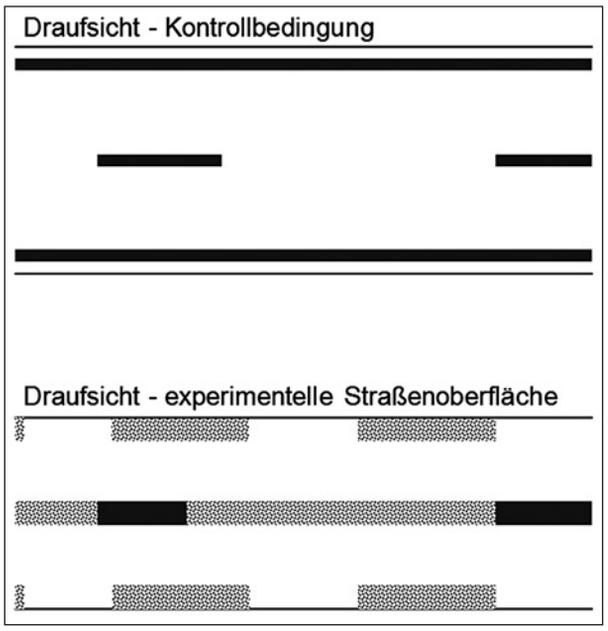


Bild 31: Bedingungen bei Kontrolle und Experiment von DE WAARD u. a. (1995)

sind, wendet sich der Fahrer eher primären Informationsquellen zu (COHEN, 1994). Nach DURTH (1974) lassen sich die wichtigsten primären Informationen aus der Geometrie des Fahrbahnbandes gewinnen.

Nach LAMM/KUPKE (1977), DENTON (1980) und TRIGGS (1986) wird die Wahrnehmung der Geschwindigkeit stark beeinflusst, wenn auf der Fahrbahn quer zur Fahrtrichtung Markierungen angeordnet sind. Dabei werden die Geschwindigkeiten höher eingeschätzt und infolgedessen geringere Annäherungsgeschwindigkeiten an Gefahrenpunkte gewählt, wie z. B. enge Kurven.

DE WAARD u. a. (1995) veränderten Streckenabschnitte auf Landstraßen (V_{zul} = 80 km/h) mit dem Ziel, Geschwindigkeitsüberschreitungen zu reduzieren. Die weißen Randmarkierungen erhöhen die visuelle Führung, welche wichtig für die Kontrolle der lateralen Position ist (v. a. bei hohen Geschwindigkeiten). DE WAARD u. a. (1995) entfernten diese Randmarkierungen und brachten Schotterstreifen auf die Fahrbahnränder sowie auf die Mittellinie auf (Bild 31). Dadurch reduzierte sich die ebene Fahrbahnoberfläche von 2,70 m Breite auf 2,25 m.

Durch die Schotterstreifen sollte zusätzlich Diskomfort über akustisches und vibratorisches Feedback beim Überfahren erzeugt werden. Die Maßnahmen sollten den mental load beim Schnellfahren erhöhen und so die gefahrenen Geschwindigkeiten reduzieren. Zudem sollte die schmalere Fahrspur ei-

Sicherheitsdefizite / Umgestaltungsmaßnahmen	Eingeschränkte Wahrnehmbarkeit	Unangepasste Geschwindigkeit	Gefährliches Geschwindigkeiten	Kraftschlussdefizite
Fahrbahnmartkierungen – quer –	❍	✔	–	✔
Fahrbahnmartkierungen – längs –	✔✔	❍	✔✔	✔
Horizontale Leiteinrichtungen	✔✔	✔	✔	❍
Vertikale Leiteinrichtungen	✔✔	✔	❍	❍
Verkehrszeichen	✔	✔	✔	❍
Geschwindigkeits-überwachung	–	✔✔	✔	✔✔
Passive Schutzeinrichtungen	✔	❍	✔	❍

✔✔ gut geeignet ✔ geeignet
❍ bedingt geeignet – ungeeignet

Tab. 3: Eignung verkehrsorganisatorischer Umgestaltungsmaßnahmen in kritischen Kurven (nach STEYER, 2000)

Bild 32: Unzureichend erkennbare Kurventafeln (SCHLAG/HEGER, 2002)

Bild 33: Ungeeignete Beschilderung eines Unfallschwerpunktes (SCHLAG/HEGER, 2002)

nen Anstieg des Workloads bewirken, der ebenfalls durch eine Reduzierung der Geschwindigkeit kompensiert wird. Im Hinblick auf die Maßnahmen wurden auch die Effekte verschiedener Straßenumgebungen (bewaldet vs. offene Moorlandschaft) untersucht. Auf den umgestalteten Abschnitten fuhren die Probanden mit signifikant geringerer Geschwindigkeit im Vergleich zu den Kontrollabschnitten. Zudem wurden bei den umgestalteten Abschnitten geringere Abweichungen in der lateralen Position der Fahrer festgestellt. Die Autoren führten dies darauf zurück, dass Fahrer unter der veränderten Bedingung einer korrekten Spurhaltung mehr Aufmerksamkeit schenken. Die Effekte wurden unabhängig vom Landschaftstyp, sowohl auf dem bewaldeten, umgestalteten Teil der Strecke, als auch auf der umgestalteten Moorland-Strecke gefunden. Mit diesen Maßnahmen konnte die Unfallhäufigkeit um bis zu 35 % gesenkt werden (STEYVERS, 1999).

STEYER (2000) untersuchte Maßnahmen zur Erhöhung der Fahrsicherheit in Kurvenbereichen zweistreifiger Außerortsstraßen. Im Ergebnis erarbeitete er u. a. die in Tabelle 3 dargestellte Übersicht über die Eignung von verschiedenen verkehrsorganisatorischen Maßnahmen in kritischen Kurven. Die Wahrnehmbarkeit von Kurven kann dabei v. a. durch Längsmarkierungen sowie horizontale und vertikale Leiteinrichtungen verbessert werden. Durch Längsmarkierungen kann auch das Spurverhalten der Fahrer verbessert werden. Unangepasste Geschwindigkeiten konnten v. a. durch Geschwindigkeitsüberwachungsmaßnahmen beeinflusst werden. STEYER (2000) empfiehlt zur Verbesserung der Fahrsicherheit in kritischen Kurven, dass jede Kurve eine Einzelfallentscheidung sein sollte und maßgeschneiderte Maßnahmenkombinationen zu wählen sind.

Auch SCHLAG/HEGER (2002) weisen auf die Straße als primäre Informationsquelle hin. Aus diesem Grund sollten Verkehrszeichen nur eingesetzt werden, wo es unbedingt notwendig ist. Vorzuziehen ist die Beseitigung der Mängel, die Grund der Beschilderung sind, da die Beachtungsquote (besonders bei geringer polizeilicher Kontrolle) gering ist (SCHLAG/HEGER, 2002). Davon ausgenommen sind Richtzeichen. Zudem ist die richtige Platzierung entscheidend. Die Beschilderung sollte gut sichtbar sein, ohne selbst Sichthindernis zu sein. Auch die Anzahl der Schilder sollte sorgfältig betrachtet werden sowie die Umgebung, in der Beschilderung angebracht werden soll. Bild 32 zeigt beispielsweise eine schlecht erkennbare Beschilderung, verursacht durch einen ungenügenden Kontrast zum Hintergrund (vgl. Kapitel 3.2.1, Bild 5).

Weiter weisen die Autoren darauf hin, dass eine Beschilderung, welche auf allgemeine Gefahren hinweist problematisch ist, da sich für den Fahrer hier-

aus keine direkte Geschwindigkeitsreduktion ableiten lässt (Bild 33).

Mit der Angabe Unfallschwerpunkt wird dem Fahrer eine Geschwindigkeit von 30 km/h auf einer Landstraße vorgegeben. Auf die Unfallursachen wird dabei nicht eingegangen. So hat der Fahrer keine Möglichkeit, sich auf die ursächlichen Mängel und Gefahren des Streckenabschnittes einzustellen und sein Fahrverhalten entsprechend anzupassen (SCHLAG/HEGER, 2002).

Hinsichtlich der gestalterischen Beeinflussung des Spurverhaltens betonen SCHLAG/HEGER (2002), dass die Erwartungen über den weiteren Verlauf einer Strecke durch die Straßenführung entstehen. „Sollte diesen Erwartungen nicht entsprochen werden können, so muss dem Fahrer zumindest genug Zeit für die Erfassung der neuen Situation eingeräumt werden“ (SCHLAG/HEGER, 2002, S.63).

SCHLAG/HEGER (2002) führen folgende Erkenntnisse zum Spurverhalten im Zusammenhang mit der Straßenausstattung auf:

- Markierungen des rechten Fahrbahnrandes bewirken eine Verlagerung der Fahrlinie nach rechts.
- Auf Geraden führt die ausschließliche Markierung der Fahrbahnmitte zur Verlagerung der Fahrspur zur Mitte hin.
- In unübersichtlichen Linkskurven wirkt eine Mittelmarkierung als Barriere (KLEBELSBERG, 1982).
- Bei Dunkelheit nimmt der Seitenabstand zum rechten Fahrbahnrand allgemein zu (KNOFLACHER, 1976). Dieser Effekt ist besonders bei nichtmarkierten Fahrbahnen deutlich und kann durch weiße Randmarkierungen gut kompensiert werden.
- Eine scheinbare optische Verengung des Fahrstreifens kann durch peripher angeordnete Quermarkierungen oder Fischgräten erreicht werden (GODLEY u. a., 1999). Diese Maßnahme scheint dazu geeignet, um das Spurverhalten, besonders in Geraden, in die Mitte des Fahrstreifens zu konzentrieren und die Geschwindigkeit zu reduzieren (GODLEY u. a., 1999).
- Rechte Baumspiegel vergrößern den Seitenabstand auf Geraden bis zu 10 cm und in Linkskurven bis zu 20 cm (ZWIELICH u. a., 2001). In Rechtskurven wurde eine Abstandsvergrößerung bis 56 cm nachgewiesen (ZWIELICH u. a., 2001).
- Dagegen hatten in Rechtskurven untersuchte Schutzplanken keinen nachweisbaren Einfluss auf das Seitenabstandsverhalten.
- ZWIELICH u. a. (2001) konnten zudem zeigen, dass durch Leittafeln eine Abstandsverringerung um 14 cm in Links- und 31 cm in Rechtskurven erzielt werden kann.
- Fahrbahnprofilierungen geben eine klare Rückmeldung über abweichendes Verhalten, warnen und machen Abweichungen unkomfortabel. Je nach Bauart können drei Typen unterschieden werden:

  - gefrästes Profil (milled rumble strips),

  - geprägtes Profil (rolled rumble strips) und

  - erhöhtes Profil (raised rumble strips).
- Die Vor- und Nachteile für den Einsatz der Fahrbahnprofilierungen müssen wegen der Geräuschemissionen, v. a. in bebauten Gebieten sorgsam abgewogen werden (SCHLAG/HEGER, 2002).
- HEGEWALD/LERNER (2009) untersuchten die Sicherheitswirksamkeit eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A 24. Durch einen Vorher-Nachher-Vergleich konnte gezeigt werden, dass Rüttelstreifen die Unfälle mit Abkommen von der Fahrbahn nach rechts um 43 % reduzieren können.
- Fahrbahnprofilierungen sind international erprobt und ihr Beitrag zur Verkehrssicherheit nachgewiesen. Vor allem vor Knotenpunkten, Baustellen und Ortseingängen ist der Einsatz sinnvoll. Auf Abschnitten mit Unfallhäufungen im Längsverkehr bieten sich auch Profilierungen im Bereich der Mittelmarkierungen an.

In Bezug auf den Einsatz von rumble strips soll auch auf die Möglichkeit des Einsatzes von anamorphen Illusionen hingewiesen werden. Es handelt sich um aufgebrachte Markierungen, welche in einer bestimmten Entfernung den realistischen Eindruck einer dreidimensionalen Bodenschwelle erwecken und so als optische Bremsen wirken (Bild 34).

Zur Beeinflussung der Fahrgeschwindigkeit durch die Straßenausstattung können nach SCHLAG/

Bild 34: Beispiele anamorpher Illusionen (ULLEBERG, 2016)

HEGER (2002) Quermarkierungen vor Knotenpunkten, Baustellen und Ortseinfahrten zur Geschwindigkeitsreduktion genutzt werden. Besonders Quermarkierungen mit abnehmenden Abständen erzielen im Anfangsbereich die höchsten Geschwindigkeitsabnahmen (GODLEY u. a., 1999).

UZZELL/MUCKLE (2005) untersuchten vier verkehrsberuhigende Maßnahmen für einen Landstraßenausschnitt mit nahräumiger Verbindungsfunktion. Den Untersuchungsteilnehmern wurden bearbeitete Fotos des Landstraßenausschnittes präsentiert. Die Teilnehmer wurden zu ihrem Geschwindigkeitsverhalten in der gezeigten Situation befragt. Dadurch sollte eine Verhaltensvorhersage für die Auswirkungen von ingenieurtechnischen Maßnahmen, welche auf eine Geschwindigkeitsreduzierung abzielen, möglich werden. Die vier digital umgesetzten Maßnahmen beinhalteten:

1. die Verbreiterung des Grünstreifens am Fahrbahnrand, um die Fahrbahn schmaler wirken zu lassen;
2. eine Durchfahrt mit einem Hinweisschild mit der Optik eines offenen Weidezauns;
3. weiße Randmarkierungen, um die Fahrbahn schmaler wirken zu lassen sowie
4. den Austausch der Mittellinie durch eine Grasnarbe.

Es wurden insgesamt über 1.000 Personen zu den Bildervarianten befragt. Im Ergebnis zeigte sich für alle modifizierten Varianten eine Geschwindigkeitsabnahme im Vergleich zum nichtmodifizierten Originalbild. Erwartungsgemäß am größten war der Effekt der Bildvariante, in der die Mittellinie durch eine Grasnarbe ersetzt wurde.

BECHER u. a. (2006) berichten, dass Ausstattungsmerkmale zur optischen Linienführung insbesondere das Spurverhalten beeinflussen. Die Erkenntnisse fassten sie wie folgt zusammen:

- Entgegen der Vermutung zur Risikokompensation konnte kein Anstieg der Unfallrate durch Markierung zuvor nichtmarkierter Strecken festgestellt werden.
- Auf schmalen Straßen scheinen Fahrer durch Markierungen „abgestoßen“ zu werden, während sie auf breiteren Straßen von diesen „angezogen“ werden.
- Die Markierung zuvor nichtmarkierter Strecken hat einen positiven Effekt auf die Unfallzahlen.
- Bei Markierungsänderungen sind die Ergebnisse weniger eindeutig.
- Durch optische Bremsen und haptische Fahrbahnverengungen können positive Effekte auf die Geschwindigkeitsreduzierung festgestellt werden.

CAMPBELL u. a. (2012) geben an, dass Fahrer auf eine Hervorhebung von Markierungen, wie Mittelstreifen oder Seitenstreifen reagieren, indem sie ihre laterale Position in die Gegenrichtung orientieren. Wird also der Mittelstreifen prominent gestaltet so folgt eine Orientierung zum Fahrbahnrand und umgekehrt. Darüber hinaus wird beschrieben, dass in Rechtskurven durch eine Verbreiterung der Randmarkierung ein Driften zum Fahrbahnrand am Tangentenpunkt vermindert werden kann (CAMPBELL u. a., 2012).

HELMERS (2014) betont, dass Verkehrszeichen vom Fahrer nur dann beachtet werden, wenn der Fahrer auch ein Informationsbedürfnis hat. Aus diesem Grund sollten Hinweise vor Knotenpunkten oder anderen Übergängen möglichst frühzeitig gegeben werden. Zudem sollte die Anzahl von Namen auf Wegweisern begrenzt sein, damit der Fahrer auch alle Informationen während der Fahrt erfassen kann.

4.9.2 Seitenraumgestaltung

ANTONSON u. a. (2009) untersuchten in einer Simulatorstudie den Effekt dreier Landschaftstypen (offen, bewaldet, variierend) auf das Fahrverhalten und auf die Wahrnehmung der Fahrsituation. Dazu wurden die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Variation der lateralen Fahrzeugposition und die Häufigkeit der Griffe an das Lenkrad erfasst. Zudem wurde eine Nachbefragung der Teilnehmer durchgeführt, um zu ermitteln, wie die dargestellten Strecken von den Fahrern wahrgenommen wurden. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Probanden in der offenen Landschaftsbedingung schneller fuhren, nicht so nah zur Straßenmitte, häufiger ans Lenkrad grif-

fen und subjektiv weniger Stress erlebten im Vergleich zu den anderen Bedingungen. Die Autoren folgern, dass Straßenplaner, wo immer möglich, Landstraßen durch offenes Gelände führen sollten. Bei Bestandsstraßen sollten Sträucher und Bäume dort entfernt werden, wo der Blick in die Landschaft blockiert wird. Kritisch zu bewerten ist, wie sich diese Maßnahmen auf Monotonieerleben und Vigilanz auswirken würden.

BECHER u. a. (2006) betonen das Unfallpotenzial, welches von Alleenbäumen ausgeht und stellen heraus, dass Fahrer sich dieser Gefahr nicht bewusst sind und es in ihrem Verhalten beim Befahren von Alleen entsprechend nicht berücksichtigen. Den Autoren zufolge besteht die bisher wirksamste Maßnahme in der Durchführung intensiver Geschwindigkeitskontrollen (BECHER u. a., 2006).

LIPPOLD u. a. (2005, 2007a) haben die Wirkung unterschiedlicher Straßenbepflanzungsarten im Straßenseitenraum untersucht. Sie analysierten dabei die Fahrerorientierung, das Fahrverhalten und das Unfallgeschehen in Landstraßenkurven. Im Ergebnis empfehlen sie im Allgemeinen ausreichend Sichtfelder von Bepflanzungen freizuhalten. Aus der Unfallanalyse ergab sich, dass im Vergleich zu Bäumen im Seitenraum bei einem freien Straßenraum weniger und weniger schwere Fahrunfälle und Unfälle im Längsverkehr vorliegen.

LIPPOLD u. a. (2005, 2007a) weisen auch darauf hin, dass die optische Führung der Trasse durch z. B. Büsche, Kurventafeln und passive Fahrzeugrückhalteeinrichtungen verbessert werden kann. Weiterhin leiten sie für Einzelkurven u. a. Folgendes ab:

- Der Richtungssinn von Kurven kann durch eine außenseitige Bepflanzung besser erkannt werden. Damit bestätigen sie die Erkenntnisse von Schlag/Heger (2002).
- Bepflanzte Kurveninnenseiten haben einen Einfluss auf das Fahrverhalten. Dieses wird an die Charakteristik der Strecke angepasst.
- In Kurven, deren Radien mindestens R = 200 m betragen, bestehen keine Unterschiede im Fahrverhalten.
- In Kurven, deren Radien kleiner als R = 200 m sind, sind Bepflanzungen nicht zwingend notwendig. Die Erkennbarkeit ist durch z. B. Kurventafeln ausreichend gewährleistet, wenn diese angeordnet sind.

In Abschnitten mit geringer Kurvigkeit beeinflussen Bepflanzungen im Seitenraum nur unwesentlich das Fahrverhalten (LIPPOLD u. a., 2007a).

4.10 Prüfung von Straßen auf deren Berücksichtigung von Human Factors

Eine Überprüfung von Straßen hinsichtlich der ausreichenden Berücksichtigung von Human Factors sollte nach CAMPBELL u. a. (2012) iterativ erfolgen. Verkehrsteilnehmer nehmen auch die für sie relevanten Informationen des Fahrraumes schrittweise auf (Bild 35). Die Schrittweite ist dabei von mehreren Faktoren abhängig, wie z. B.

- Verkehrsteilnehmer (Alter, Erfahrungen usw.),
- Betriebsform der Straße (zulässige Höchstgeschwindigkeit, zulässige Nutzergruppen, vorhandene Verkehrsstärke usw.),
- Streckencharakteristik (Funktion im Netz, Fahrbahnbreite, Sichtweiten usw.) und
- Bedingungen des Umfeldes (Wetter, Landschaft, Bebauung usw.).

BIRTH (2015) entwickelte auf der Grundlage von technisch bisher nicht erklärbaren Unfällen das sog. Human Factors Man-Road-Interface-Exploration Tool. Dabei handelt es sich um einen Prüfbogen, der die Auslöser von straßenbedingten Fehlhandlungen und Fahrfehlern unter den folgenden Fehlerklassen behandelt:

- 6 Sekunden-Regel (vgl. Kap. 4.7)
- Blickfeldregel (vgl. Kap. 4.9)
- Erwartungskonformität (vgl. Kap. 4.4).

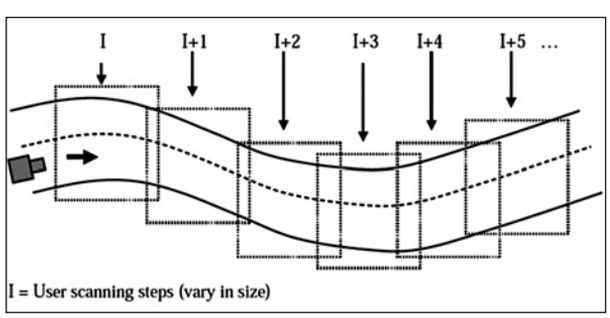


Bild 35: Schrittweise Aufnahme der maßgebenden Informationen des Fahrraums vom Verkehrsteilnehmer (CAMPBELL u. a., 2012)

Ein vorhandener oder auch ein geplanter Streckenabschnitt kann damit anhand von ca. 100 Human Factors - Merkmalen bewertet werden, um festzustellen, ob Human Factors im betrachteten Streckenausschnitt ausreichend berücksichtigt wurden. Weitergehende Betrachtungen des Tools können gewinnbringend sein, da der Anwendungsbereich weit gefasst ist. Erste Testanwendungen zeigen, dass in ca. 75 % der ausgewählten Fälle auffällige Streckenabschnitte oder Örtlichkeiten identifiziert werden konnten.

4.11 Zusammenfassung

National und international liegen zahlreiche Erkenntnisse zu Entwurfsmerkmalen vor, die bei der Berücksichtigung von Human Factors im Straßenentwurf maßgebend sind. In Bild 36 ist dazu eine Übersicht dargestellt.

Aus der Literatur ging hervor, dass vor allem eine Kategorisierung des Straßennetzes sowie die Definition von standardisierten und wiedererkennbaren Straßentypen für die Berücksichtigung von Human Factors von Bedeutung sind. Dabei sollen die Straßen eines Straßentypes einheitlich und die Straßen unterschiedlicher Straßentypen eindeutig voneinander unterscheidbar sein. Die Wiedererkennbarkeit eines Straßentypes kann durch wenige eindeutige Merkmale, wie z. B. die Längsmarkierung, gewährleistet werden. Für die Gewährleistung von standardisierten Straßentypen sollten für jeden Straßentyp die maßgebenden Gestaltungsmerkmale definiert werden. Um bei den Fahrern eine gleichmäßige, dem Streckenverlauf angepasste und damit sichere Fahrweise erreichen zu können, sollten die Gestaltungsmerkmale entsprechend der angestrebten Fahrtgeschwindigkeiten definiert werden. Übergangsbereiche, d. h. Übergänge zwischen verschiedenen Straßentypen sowie Übergänge von der freien Strecke zum Knotenpunkt bzw. zur Ortschaft, sollten dabei rechtzeitig erkennbar sein und somit deutlich gekennzeichnet werden.

Bei der Querschnittsgestaltung sollte berücksichtigt werden, dass für angestrebte höhere Fahrtgeschwindigkeiten auch breitere Querschnitte bzw. für angestrebte geringere Fahrtgeschwindigkeiten (optisch) schmalere Querschnitte je Straßentyp definiert werden. In Abhängigkeit von der Verbindungsfunktion ist dabei auch das entsprechende Überholprinzip anzuwenden (vgl. Kapitel 6.4.3).

Bei der Gestaltung der Linienführung ist zur Berücksichtigung von menschlichen Fähigkeiten und Grenzen vor allem auf einen stetigen, kontinuierlichen und erwartungskonformen Streckenverlauf zu achten. Dies kann u. a. auch durch die Vermeidung von gestalterischen und sicherheitsrelevanten Defiziten gewährleistet werden. Um eine sichere Straße zu gestalten, ist vor allem die Gewährleistung maßgebender Sichtweiten von Bedeutung, wie z. B. der Halte-, Überhol- und Orientierungssichtweite. An Knotenpunkten sollte dabei der Übergang zwischen der freien Strecke und dem Knotenpunkt sichtbar sein bzw. sollte ein übersichtlicher Annäherungsbereich gewährleistet werden. Zudem sollten Brüche in der Streckencharakteristik, vor allem aber Singularitäten[4] wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge, Haltestellen oder Fahrbahnverengungen, rechtzeitig und eindeutig erkennbar sein.

Für den Verkehrsteilnehmer sollten Knotenpunkte rechtzeitig erkennbar, übersichtlich, begreifbar, befahr- und begehbar gestaltet sein. Dabei sollte für den Fahrer auch eindeutig erkennbar sein, ob er sich auf der übergeordneten oder der untergeordneten Straße befindet. Zur Berücksichtigung der Human Factors sollten Knotenpunkte weiterhin fehlervermeidend und fehlerrückmeldend gestaltet sein. Zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit sollte zudem bei signalisierten Knotenpunkten die Grenzzeitlücke eingehalten werden, unter der die kleinste Zeitlücke im übergeordneten Strom verstanden wird, die vom wartepflichtigen Fahrzeug zur Ausführung des beabsichtigten Fahrmanövers angenommen wird.

Aus der Literaturanalyse ging hervor, dass vor allem auch die Ausstattungsmerkmale einer Straße für die Berücksichtigung von menschlichen Fähigkeiten und Grenzen maßgebend sind. Dabei sollten die Markierung und die Beschilderung stets rechtzeitig erkennbar und auffällig gestaltet sein. Um Überforderungen des Fahrers zu vermeiden, sollten nur die wichtigsten Beschilderungen angeordnet werden. Zur Gewährleistung der Erkennbarkeit ist bei der Beschilderung auf eine ausreichende Größe, einen angemessenen Kontrast, eine angemessene Leuchtdichte sowie den Standort (keine Verdeckung) zu achten. Für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit haben sich an den entsprechenden Stellen optische, akustische und taktile Warn- und Alarmsignale bewährt.

4 Bezeichnung für einen Streckenabschnitt, der vom Straßennutzer besondere Aufmerksamkeit erfordert, z. B. Bahnübergänge, Haltestellen, Ein-/Ausfahrten, Fahrbahnverengungen.

Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors

Entwurfsprinzip und Geschwindigkeiten	Querschnitte	Linienführung	Knotenpunkte	Ausstattung
• Homogenität innerhalb eines Straßentyps, Heterogenität zwischen den Typen • wenige eindeutige Wiedererkennungsmerkmale je Straßentyp • einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente eines Straßentyps • Entwurfselemente je Straßentyp entsprechend der gewünschten Fahrgeschwindigkeiten • rechtzeitige, deutliche Kennzeichnung der Übergänge zwischen den Straßentypen sowie von der freien Strecke zu Orten und Knotenpunkten	• ausreichende und sichere Überholmöglichkeiten durch zusätzlichen Fahrstreifen • breitere Querschnitte für angestrebte höhere Geschwindigkeiten und (optisch) schmalere Querschnitte für geringe Geschwindigkeiten	• stetiger/kontinuierlicher/erwartungskonformer Streckenverlauf • Ausschluss sicherheitsrelevanter und gestalterischer Defiziten • Einhaltung der Halte-/Gewährleistung der Überholund Orientierungssichtweite • besondere Stellen, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen stets erkennbar • Gewährleistung eines ausreichende langen Annäherungsbereichs und eines sichtbaren Übergangs von der freien Strecke zum Knotenpunkt	• erkennbar, übersichtlich, begreifbar, befahr- und begehbar • eindeutige Erkennbarkeit der unter- und übergeordneten Straße • fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung • Einhaltung der Grenzzeitlücke bei Knotenpunkten mit LSA	• Markierungen und Beschilderung stets rechtzeitig erkennbar und auffällig • Beschilderung: so wenig wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast, Leuchtdichte • Einsatz optischer, akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale • visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums, abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung • Kurven außen parallel und lückenlos gefasst, innen frei von Sichthindernissen • Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden

Bild 36: Überblick über maßgebende Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors (eigene Darstellung)

Der Streckenverlauf kann durch den Fahrer visuell besser wahrgenommen werden, wenn der Seitenraum angemessen gestaltet ist. Dabei sollte auf eine abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung geachtet und mögliche Blendwirkungen und wechselnde Helligkeiten vermieden werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass durch die Seitenraumgestaltung keine Sichthindernisse entstehen und die Seitenräume nicht im Widerspruch zum Streckenverlauf stehen. Dies gilt vor allem im Kurvenbereich. Für eine angemessene Erkennbarkeit der Kurve sollte diese außen parallel und lückenlos gefasst sowie innen frei von Sichthindernissen sein.

5 Erfahrungsaustausch

5.1 European Workshop on International Human Factors Guidelines for Road Systems (2002)

Im Jahr 2002 fand in Brüssel ein europäischer Workshop zu internationalen Human Factors Leitlinien statt (HORST/HAGENZIEKER, 2002). VAN DER HORST beschrieb einführend die Regeln eines nachhaltig sicheren Straßennetzes nach dem sustainable safety concept (z. B. WEGMAN u. a., 2008). Laut diesen Regeln sollte die ungewollte Nutzung der Straße (z. B. mit einer wesentlich höheren als der Planungsgeschwindigkeit) sowie Zusammenstöße mit großen Geschwindigkeitsdifferenzen und unsicheres Fahrverhalten vermieden werden. Zudem sollten die Straßen hinsichtlich ihrer Funktion kategorisiert werden (flow, distributor, access). Die Betonung liegt dabei auf der Vorhersagbarkeit, d. h., dass das Straßennetz und das Straßenlayout einzelner Straßen klar und unmissverständlich gestaltet sind. HAGENZIEKER stellte heraus, dass das Straßenverkehrssystem an die

Kapazitäten und Limitationen aller Nutzer angepasst werden muss, nicht nur an den 40-Jährigen, erfahrenen prototypischen Autofahrer, sondern auch an Kinder, Ältere, Unerfahrene oder Personen mit Handicap.

Unter der Überschrift „Grundlegende Prinzipien menschlichen Verhaltens mit Relevanz für die Straßengestaltung“ stellten die Mitglieder der ersten Gruppe Erwartung und Konsistenz in den Mittelpunkt ihrer Ergebnisse. Gefordert wird, dass Straßen gleicher Funktion auch gleich gestaltet sind, während Straßen unterschiedlicher Funktion sich gestalterisch unterscheiden sollten. Die Anzahl an Straßenklassen sollte dabei auf drei bis vier begrenzt sein. Auf die Gestaltung von Übergängen sollte besonderer Wert gelegt werden. Um mehr Klarheit zu schaffen, können dabei auch neue Designelemente eingeführt werden.

DIJKSTRA und HAKKERT (SWOV, NL) leiteten die Arbeit der Gruppe II zum Thema „Grundlegende Prinzipien der Straßennetzgestaltung“ mit einer Aufstellung von Human Factors ein, die in aktuellen Richtlinien bereits enthalten sind, darunter:

- Reaktionszeit
- Haltesichtweite
- Entscheidungs-/ Überholsichtweite
- Erwartungen
- Kreisverkehrsregeln
- Designkonsistenz
- Geschwindigkeitskonsistenz

Im Ergebnis sprach sich die Gruppe dafür aus, Human Factors direkt in die Regelwerke aufzunehmen, um deren Anwendung sicher zu stellen. Davon unabhängig wurde empfohlen, ein zusätzliches Dokument zu erarbeiten, in dem das verfügbare Wissen im Zusammenhang mit dem Fahrverhalten, dem Straßenverkehr und dem Unfallgeschehen zusammengefasst wird und das auch auf künftige Forschung hinweist. Zudem wurde das SER-Konzept betont, v. a. im Zusammenhang mit einer sicheren Straßenkategorisierung aus Fahrersicht.

VOLLPRACHT (BMVI, DE) und RÄSÄNEN (VTT, FI) starteten in Gruppe IV zum Thema „Bedürfnisse der Straßennutzer an Knotenpunkten“ ebenfalls mit einer Auflistung verschiedener Human Factors:

- Fahrer neigen zu Fehlern bei sich plötzlich ändernder Situation (z. B. Linienführung, Verkehrsdichte, Geschwindigkeit, Funktion der Straße).
- Fahrer benötigen für neue Situationen Zeit.
- Der Fahrer verfügt nur über eine begrenzte Informationsaufnahmekapazität.
- Die Fähigkeit, Entscheidungen in kurzer Zeit zu treffen ist begrenzt.
- Je ferner der Fahrer fokussiert, umso schneller fährt er.
- Die Geschwindigkeit sich annähernder Fahrzeuge wird unterschätzt; die Entfernung des eigenen Fahrzeuges zum sich annähernden überschätzt.

Für die Gestaltung von Knotenpunkten wurden die drei Kernthemen Aufmerksamkeit, Geschwindigkeit und Erwartungen diskutiert. Um dem Fahrer genügend Zeit zu geben, alle Informationen über einen vorausliegenden Knotenpunkt aufzunehmen, sollte die Lenkung der Aufmerksamkeit auf den Knotenpunkt frühzeitig erfolgen, z. B. durch geeignete Beschilderung. Hinweisschilder und Vorwegweiser sollten den Straßenverlauf und die Winkel einer vorausliegenden Kreuzung möglichst korrekt abbilden (nicht zu schematisch). Ein Übergang zum Knotenpunkt könnte durch einen „optischen Bruch“, blinkende Vorwarnsignale oder rumble strips deutlich gemacht werden, so dass der Fahrer sich auf den Knotenpunkt einstellen kann. Die Länge eines solchen Übergangsbereiches hängt von der Geschwindigkeit auf dem zurückliegenden Streckenabschnitt ab.

KÄPPLER (FGAN, DE) und BROOKHUIS (Uni Groningen, NL) präsentierten die Ergebnisse von Gruppe V zum Thema „Dynamische Informationssysteme und Visualisierungswerkzeuge für Planer und Straßennutzer“. Um einen größtmöglichen Nutzen zu erzielen, sollte eine Standardisierung der Art der präsentierten Informationen, der Präsentationsform (vorzugsweise grafisch/symbolisch, nicht schriftlich) und des Timings der Präsentation angestrebt werden. Abschließend wurde das Thema der Visualisierungswerkzeuge für Planer und Nutzer diskutiert.

5.2 Erfahrungsaustausch Niederlande

Zum Forschungsprojekt fand am 26. Mai 2016 ein Erfahrungsaustausch mit Marjan Hagenzieker und

Sustainable Safety Principle	Beschreibung
Funktionalität der Straßen	Monofunktionalität der Straßen, entweder als through roads, distributor roads oder access roads in einem hierarchisch strukturierten Straßennetz
Homogenität der Masse und / oder Geschwindigkeit und Richtung	Gleichheit der Geschwindigkeit, Richtung und Masse bei moderaten und hohen Geschwindigkeiten
Fehlerverzeihende Umwelt und Straßennutzer	Begrenzung des Verletzungsrisikos durch eine fehlerverzeihende Straßenumgebung und die Antizipation des Verhaltens der Straßennutzer
Vorhersagbarkeit des Straßenverlaufs und des Verhaltens der Straßennutzer durch eine wiedererkennbare Straßengestaltung	Die Straßenumwelt, das Verhalten der Straßennutzer und die Erwartungen der Straßennutzer sollen durch Kohärenz und Kontinuität in der Straßengestaltung unterstützt werden
Selbsteinschätzung des Straßennutzers	Fähigkeit, die Bewältigung der Fahraufgabe einschätzen zu können

Tab. 4: Sustainable Safety Principles, frei übersetzt (nach WEGMAN u. a., 2008)

Entwurfsklasse	Unique Identifier
Access road	fehlende Leitlinie in Fahrbahnmitte; seitlich eingerückte, unterbrochene Leitlinien
Distributor road	gelückte Fahrbahnbegrenzung, doppelte (unterbrochene) Leitlinie
Through road	bauliche oder farbige Fahrtrichtungstrennung

Tab. 5: Unique identifiers der niederländischen Entwurfsklassen (WELLER/DIETZE, 2010)

Letty Aarts von SWOV statt. SWOV ist das unabhängige, nationale Institut für Verkehrssicherheitsforschung in den Niederlanden. Der Austausch verfolgte das Ziel, für die Niederlande relevante Human Factors kennenzulernen und deren wissenschaftlichen und empirischen Hintergrund zu diskutieren. Zusätzlich wurden Beispiele und praktische Umsetzungen besprochen. Zentral für die niederländische Verkehrssicherheit und den Straßenentwurf ist das Sustainable Safety Principle, das in fünf Prinzipien formulierte Anforderungen an das System Straße-Umwelt-Mensch stellt (Tabelle 4). Das SWOV hat bereits mehrere Forschungsprojekte abgeschlossen, die das Konzept der self-explaining roads betrachtet haben. Das Konzept geht davon aus, dass wenige unique identifiers (eindeutige Wiedererkennungsmerkmale) ausreichen, um den Straßennutzer in der eindeutigen Zuordnung der Straße zu einer Entwurfsklasse und so in der Auswahl des jeweils angemessenen Verhaltens zu unterstützen. Eine eindeutige Identifizierung der Entwurfsklassen ist dabei trotz Abweichungen in den Querschnitten (innerhalb einer Entwurfsklasse) möglich (vgl. WELLER/DIETZE, 2010).

In den Niederlanden kommen unterschiedliche Gestaltungsvarianten einer Entwurfsklasse vor (Bild 37 bis Bild 39). Jedoch sind die, für die Entwurfsklasse relevanten unique identifiers, unabhängig vom Querschnitt, stets vorhanden (vgl. Tabelle 5).

Bild 37: Gestaltungsvarianten der access roads (Bilder zur Verfügung gestellt von HAGENZIEKER, 2016)

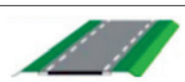
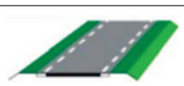
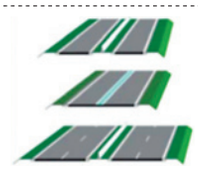
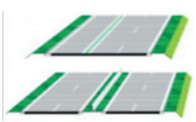
Bild 38: Gestaltungsvarianten der distributor roads (gebiedsontsluitingsweg); (Bilder zur Verfügung gestellt von HAGENZIEKER, 2016)

Bild 39: Gestaltungsvarianten der through roads (stroomweg); (Bilder zur Verfügung gestellt von HAGENZIEKER, 2016)

Dabei ist anzumerken, dass die einheitliche Gestaltung der Querschnitte und Markierungsabstände die Eindeutigkeit und Wiedererkennbarkeit der Entwurfsklassen zusätzlich fördert.

Für den Entwurf von Landstraßen ist in den Niederlanden vor allem das Straßendesignmanual HWO (Handboek Wegontwerp, CROW[5]) entscheidend. Das HWO beschreibt drei Entwurfsklassen von Landstraßen. Die through roads haben den höchsten Entwurfsstandard und eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 100 km/h. Distributor roads machen den größten Anteil im Landstraßennetz aus, die Geschwindigkeitsbegrenzung liegt bei 80 km/h. Die niedrigste Entwurfsklasse bilden die access roads. Diese zeichnen sich durch geringere Geschwindigkeiten (Limit bei 60 km/h) aus. Die Querschnitte der Entwurfsklassen sind in Tabelle 6 im Vergleich zu den entsprechenden Entwurfsklassen der RAL (FGSV, 2012) dargestellt.

5 Niederländisches Wissenszentrum für Verkehr, Transport und Infrastruktur

	NL	D
Access road		
Distributor road		
Through road		

Tab. 6: Fahrbahnquerschnitte der niederländischen Entwurfsklassen (Bilder aus RIPCORD-ISEREST, 2007)

Die verschiedenen Ausgestaltungsvarianten der vorgegebenen Entwurfsklassen in den Niederlanden sind durch die verschiedenen regionalen Zuständigkeiten und Entscheidungsspielräume hinsichtlich der Planung nach dem Straßendesignmanual HWO bedingt. Zusätzlich zu den HWO gibt es verschiedene andere Dokumente, die den Planer unterstützen sollen. Im Bezug zu Human Factors sind dabei die „10 goldenen Regeln zur Berücksichtigung des Verkehrsteilnehmers“ (RIJKSWATERSTAAT, MINISTERIUM FÜR INFRASTRUKTUR UND UMWELT, 2008) besonders hervorzuheben. Diese „Regeln“ (vgl. Tabelle 7) geben dem Planer Hinweise zu den Gewohnheiten des Straßennutzers, den Anforderungen, denen er bei der Straßenbenutzung gegenübersteht, und den Reaktionen des Nutzers auf die Straßenumgebung.

5.3 Erfahrungsaustausch Dänemark

Zum Forschungsprojekt fand am 21.06.2016 ein Erfahrungsaustausch mit Lene Herrstedt von Trafitek, dem dänischen Forschungszentrum für den Straßenverkehr und Kenneth Kjemtrup von der dänischen Straßenbaubehörde statt. Bereits 2007 starteten die skandinavischen Länder Dänemark, Schweden und Norwegen ein gemeinsames, interdisziplinäres Projekt unter der Nordic Road Geometry Group. Zu den Zielen des Projektes zählt es, Anwender und Forscher sowie Ingenieure und Psychologen zusammenzubringen, das umfangreiche Wissen zum Verhalten von Straßennutzern aus der Forschung zusammenzutragen sowie dieses Wissen in einer kurzen, nutzbaren Form für die praktische Anwendung durch Planer aufzubereiten. Insgesamt wurden vier Teilprojekte realisiert:

Eigenschaften und Gewohnheiten der Verkehrsteilnehmer	1	Der Straßennutzer ist ziemlich egoistisch.
	2	Der Straßennutzer kann nicht alles auf einmal.
	3	Es kann dem Verkehrsteilnehmer gesagt werden, aber das heißt nicht, dass er es auch tut.
Wie funktioniert das Verhältnis zwischen Verkehrsteilnehmer und Verkehrsmaßnahmen?	4	Der Verkehrsteilnehmer akzeptiert Maßnahmen, die er als sinnvoll empfindet.
Wie reagieren Verkehrsteilnehmer auf die Straßenumgebung?	5	Der Verkehrsteilnehmer sollte nicht überrascht werden.
	6	Das Verhalten des Verkehrsteilnehmers orientiert sich an seinen Erwartungen.
	7	Was ist, wenn das System oder der Verkehrsteilnehmer einen Fehler macht?
Anforderungen des Verkehrsteilnehmers an die dargebotenen Informationen	8	Sagen Sie dem Straßennutzer, was wirklich von Bedeutung ist.
	9	Verwirren Sie den Verkehrsteilnehmer nicht. Alle Informationen (Linienführung, VZ, etc.) müssen übereinstimmen in ihrer Aussage.
Die Anforderungen müssen den Angaben entsprechen.	10	Die Informationen müssen für den Nutzer sichtbar, klar und verständlich sein.

Tab. 7: 10 goldene Regeln zur Berücksichtigung des Verkehrsteilnehmers (Rijkswaterstaat, 2008)

1. Zusammenstellung des vorhandenen Wissens (umfangreiche Literaturstudie) in Form von fünf thematischen Heften zu den physischen und mentalen Fähigkeiten der Straßennutzer:

   - Reaktionszeit - Bremsreaktionszeit und Entscheidungsreaktionszeit (HERRSTEDT, 2007)
   - Lesesichtweite und Lesezeit von Fahrern (HERRSTEDT, 2008b)
   - Gehgeschwindigkeit (HERRSTEDT, 2008a)
   - Einschätzung von Geschwindigkeit und Entfernung (SAGBERG, 2006b)
   - Unaufmerksamkeit und Ablenkung (SAGBERG, 2006a; SAGBERG/MÅRDH, 2008)

2. Entwicklung eines Erklärungsmodells für das Verhalten des Straßennutzers (HELMERS, 2014) mit dem Ziel eines wachsenden Verständnisses dafür, wie Fahrer im Straßenverkehr handeln und wie ihre Handlungen dabei vom Straßendesign und der Verkehrsumwelt beeinflusst werden. Schlussfolgerungen aus diesem Modell bilden die Grundlage der „selbsterklärenden Straße“.

3. Durchführung von Fallstudien zur Überprüfung der Anwendbarkeit des Erklärungsmodells als Instrument der Problemanalyse und -lösung konkreter Straßenverkehrsprobleme in der Praxis (Beispiel - Rampenanlage der E20 Ringsted Ost, folgende Seite).

4. Drei Power-Point Präsentationen mit begleitenden Aufzeichnungen für die Bekanntmachung der Forschungsergebnisse des Projektes und für die Schulung der Anwender (in nordischen Sprachen).

   - Physische Voraussetzungen der Straßennutzer (HELMERS, 2013; TRAFITEC, 2011)
   - Psychologische Voraussetzungen der Straßennutzer (SAGBERG, 2011; TÖI, 2011)
   - Erklärungsmodell für das Verhalten der Straßennutzer (HELMERS, 2013; NORDIC ROAD GEOMETRY GROUP, 2012a; 2012b)

Den Mittelpunkt des Gesamtprojektes bildet das Erklärungsmodell für das Verhalten der Straßennutzer. Es definiert grundlegende Prinzipien, die in einprägsamen Aussagen, z. B. „maximum benefit at minimum cost“ (maximaler Nutzen bei minimalem Einsatz), zusammengefasst werden (HELMERS, 2014).

Das Erklärungsmodell geht von einer evolutionären Perspektive aus und beschreibt, dass der Mensch im Laufe der Zeit einen sehr effektiven und rationalen Weg entwickelt hat zu handeln und mit der physikalischen Umwelt zu interagieren. Dabei bezieht sich HELMERS sowohl auf CHARLES DARWIN (1859) als auch auf J.J. GIBSON (1986). Weiter wird beschrieben, dass durch die Rückmeldung der Umwelt die Konsequenzen von Handlungen gelernt werden, „[…] man is born virtually with no skills and will have to learn practically everything.“ (der Mensch wird nahezu ohne Fähigkeiten geboren und muss praktisch alles lernen) (HELMERS, 2014). So wird z. B. gelernt, dass eine Kurvendurchfahrt mit hoher Geschwindigkeit gefährlich sein kann. Dass dieser Lernprozess mit Risiken verbunden ist, zeigen Studien, die sich mit dem Zusammenhang zwischen Unfallrisiko und Fahrerfahrung beschäftigen. Das Modell beschreibt eine unmittelbare, holistische Wahrnehmung: „Drivers perceive the road and the traffic conditions as a whole.“ (Fahrer nehmen die Straße und die Verkehrsbedingungen als Ganzes wahr.) (HELMERS, 2014). Diese ist zugleich dynamisch und ermöglicht so die Wahrnehmung von Geschwindigkeiten und Entfernungen und auch die Antizipation dessen, was im unmittelbar vorausliegenden Abschnitt folgen wird. HELMERS beschreibt das Beispiel eines Fahrers, der geradewegs auf einen Fußgänger zufährt, weil er „sieht“, dass dieser die Straße bis zu seinem Eintreffen gequert haben wird.

In der Richtlinie finden sich zudem umfassende Ausführungen zum Grundgedanken, die Perspektive des Straßennutzers einzunehmen. Betont wird, dass der Straßennutzer einen Aufbau vorfinden sollte, der seiner Wahrnehmungslogik folgt und ihn so in intuitiv, richtigem Verhalten unterstützt. In diesem Zusammenhang wurden die Sätze “It should be easy to go right and difficult to go wrong.“ (Es sollte leicht sein, es richtig zu machen und es sollte schwer fallen, einen Fehler zu begehen.) und “What you can’t see isn’t there.” (Was nicht gesehen werden kann ist nicht da.), geprägt, welche den Ansatz gut auf den Punkt bringen (HELMERS, 2014, S.31, S.35).

Da die Human Factors Guideline das Ziel verfolgt, den Blickwinkel der Anwender so zu verändern, dass diese die Straße durch die Augen des Nutzers betrachten, sollte die Guideline in einem dritten

Schritt praktisch angewendet werden. Zu diesem Zweck wurde in den Straßenverzeichnissen der drei Länder nach Unfall- und Problemstellen gesucht. So wurden schließlich für jedes Land drei Fälle ausgewählt. Es folgten Vor-Ort-Analysen anhand der Guideline und der Manuale, wobei die Defizite erkannt und korrigiert werden konnten. In Dänemark wurden eine Autobahnauffahrt, sowie zwei große Kreisverkehre betrachtet.

Bei allen Fallstudien wurde nach dem gleichen Prinzip vorgegangen. Zunächst wurde eine Begehung der Problemstelle durchgeführt, dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Straßengeometrie und die Markierungen aus Fahrerperspektive gelegt. Anschließend folgte eine kurze Beobachtung des Fahrverhaltens, woraufhin eine Analyse des Problems vor dem Hintergrund des Erklärungsmodells aus der Nordic Human Factors Guideline und mögliche Lösungen erarbeitet wurden.

Beispiel - Rampenanlage der E20 Ringsted Ost

Im untersuchten Fall wurde von der Einmündung an das nachgeordnete Netz mehrfach falsch in die Rampe abgebogen, nämlich in die Ausfahrt- und nicht in die Auffahrtrampe (Falschfahrer) (Bild 40 und Bild 41). Ziel war es, zukünftig das richtige Auffahren zu erleichtern. In Folge der Analyse wurde festgestellt, dass die vorliegende Situation dem Grundsatz „It should be easy to go right and difficult to go wrong“ entgegensteht, da es dem Fahrer leicht gemacht wird einen Fehler zu begehen. Dies wurde auf die Geometrie und die Gestaltung der Markierung zurückgeführt, die den Fahrer zum Befahren der Ausfahrtrampe einladen. Zusätzlich ist die eigentliche Auffahrt nicht gut sichtbar, da sie teilweise durch die Verkehrsinsel verdeckt wird und sich nicht in Richtung des Abbiegepunktes hin öffnet. Die Autoren schlussfolgern, dass die Auffahrt in diesem Sinne nicht vom Fahrer „gesehen“ werden kann. Das Risiko einer visuellen Fehlinterpretation wird zudem durch die beiden C19-Tafeln (Verbot der Einfahrt) auf beiden Seiten der ersten Ausfahrtspur verstärkt, da beide Spuren nicht einheitlich in dieser Weise gekennzeichnet wurden. Zusätzlich wird die weit nach hinten gezogene Haltelinie der Abbiegespur kritisiert.

Bild 40: Zufahrt auf Rampenanlage der E20 Ringsted Ost (HERRSTEDT/HELMERS, 2014)

Bild 41: Zufahrt auf Rampenanlage der E20 Ringsted Ost (HERRSTEDT/HELMERS, 2014)

Um die Situation zu verbessern werden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

- die Haltelinie der Abbiegespur zur Auffahrtrampe hin zu verlegen,
- die Auffahrtrampe mit Öffnung der Auffahrtrampe in Richtung der Abbiegespur trichterförmig zu gestalten
- sowie die Öffnungswinkel der Ausfahrtrampe in Richtung der Abbiegespur zu verkleinern.

Die länderübergreifende Kooperation der skandinavischen Länder ist das wohl bislang beste Beispiel erfolgreicher, interdisziplinären Human Factors Forschung. Das Projekt schaffte es, ausgehend von einer umfassenden Literaturstudie, über die Entwicklung eines Erklärungsmodells und dessen Überprüfung in Fallstudien, anwenderorientiertes Informations- und Schulungsmaterial zu entwickeln und erfolgreich einzusetzen. So konnte eine gute Grundlage für die praktische Berücksichtigung von Human Factors-Wissen in der Planungspraxis geschaffen werden.

5.4 Human Factors Workshop (2017)

Ziel des Workshops

Das Forschungsvorhaben hat zum Ziel maßgebliche Human Factors zu identifizieren, die bei der Planung und dem Entwurf von Landstraßen berücksichtigt werden sollten. Zu diesem Zweck soll in einem ersten Schritt geprüft werden, welche Human Factors in den dafür maßgebenden Regelwerken bereits Berücksichtigung finden und welche bisher noch unberücksichtigt sind.

Der am 18. Januar 2017 in der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführte Expertenwork-

shop ist Bestandteil des Forschungsvorhabens. Über diesen Wissens- und Erfahrungsaustausch galt es insbesondere diejenigen Themenbereiche zu diskutieren, welche sich bei der bisherigen Bearbeitung des Forschungsvorhabens als offene Punkte ergeben haben:

- Kann das Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit der Entwurfsklassen noch verbessert werden?
- Welche Elemente der Straßengestaltung und der Seitenraumgestaltung haben den stärksten Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl?
- Wird der Einsatz von Quermarkierungen im Bereich von Singularitäten als nutzbringend betrachtet und wie könnte dieser erfolgen?
- Wie wird der Einfluss der Seitenraumgestaltung auf das Fahrverhalten eingeschätzt?

Darüber hinaus sollte der Workshop Gelegenheit für einen allgemeinen Erfahrungsaustausch zum Thema der Human Factors im Straßenentwurf bieten und Hinweise generieren, wie diese Erkenntnisse praxistauglich und anwenderfreundlich aufbereitet werden können.

Organisation des Workshops

Der im Rahmen des Forschungsprojektes vom Forschungsnehmer organisierte und durchgeführte Expertenworkshop konzentrierte sich auf die Zielgruppen der Planungsingenieure, Straßenbaubehörden, Verkehrspsychologen und Institutionen der Verkehrssicherheit, wie der Unfallforschung der Versicherer (UDV) und dem Deutschen Verkehrssicherheitsrat (DVR). Die Einladungen wurden u. a. auch über die Verteiler der Arbeitsausschüsse der FGSV versendet.

In Vorbereitung der Gruppenarbeit wurde zu Beginn ein Überblick zum Stand des Forschungsprojekts gegeben. Für einen Blick in die Human Factors - Forschung unserer Nachbarländer erfolgte durch Herrn BRUCKS (Stadt Zürich) ein Gastbeitrag zum aktuellen Stand der Human Factors - Forschung in der Schweiz, gefolgt von der Vorstellung der Human Factors - Betrachtungen in den Niederlanden und in Dänemark. Dabei wurde u. a. ein schweizer Forschungsprojekt vorgestellt, das sich mit der Frage befasste, wie Straßenraumbilder den Verkehr beeinflussen. Dabei wurde der „Durchfahrtswiderstand“ (DFW) als Arbeitsinstrument für die bauliche Gestaltung von Straßenräumen entwickelt (DIETIKER, 2009). Im Anschluss bildeten die Workshop - Teilnehmer drei Arbeitsgruppen, die jeweils durch einen Moderator betreut wurden. Nach der Gruppendiskussion der eingangs genannten Fragestellungen, wurden die Ergebnisse abschließend im Plenum vorgestellt.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Im Ergebnis der Diskussionen wurde die Bedeutung und das Interesse an der Betrachtung von Human Factors im Straßenentwurf noch einmal unterstrichen. Wesentliche Diskussionspunkte sind im Folgenden dargestellt:

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeit liegt auf der Analyse bestehender Regelwerke hinsichtlich der Berücksichtigung bereits bekannter Human Factors. Das bestehende Straßennetz entspricht in weiten Teilen jedoch nicht dem aktuellen Stand des Wissens und der Technik. Daher können Handlungshilfen, die wahrnehmungspsychologische Defizite adressieren, ebenfalls zu geeigneten Lösungen beitragen, diese zu erkennen und effektiv zu beseitigen. Betont wird dabei die integrierte Betrachtung des gesamten Fahrraumes, um Wechselwirkungen zwischen einzelnen Bestandteilen zu berücksichtigen. Innerhalb der Gruppen wurde auch herausgearbeitet, dass geschwindigkeitsbeeinflussende Elemente nicht nur optische Merkmale umfassen, sondern hier im Besonderen ein Einfluss der Fahrbahnoberfläche (Rauigkeit) beachtet werden sollte. Daneben hat die visuelle Führung einen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl. Es wurde angeregt, dass im Fall einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit diese zum Beispiel durch bauliche Elemente unterstützt werden kann. Diese Elemente sollten bei Übertritt eine negative Rückmeldung (z. B. gefräste Rüttelstreifen) geben und so regelkonformes Verhalten fördern (self-enforcing). Der Einsatz dieser Maßnahmen wurde vor allem auf den Bestand bezogen.

Zur Optimierung von Standardisierung und Wiedererkennbarkeit der Entwurfsklassen (EKL) wäre streng genommen die Verknüpfung mit einer festen Anzahl an Fahrstreifen als Unterscheidungsmerkmal [2+1; 1+1; 2-1 und 2+2 als Sonderfall] und nur einer Knotenpunktart je EKL, sowie für die EKL 2 eine ununterbrochene doppelte Leitlinie geeignet. In einem weiteren Punkt wurde die Einpassung der Straße in das Umfeld angesprochen. Widersprüche werden als besonders problematisch im Zusammenhang mit Kurven eingeschätzt. Das Fahrbahnband sollte durch den Seitenraum daher möglichst parallel gefasst sein. Auch Sichtachsen aus frühe-

ren Straßenverläufen, die einen anderen Straßenverlauf andeuten, können sich negativ auswirken und durch Sichtbarrieren vermieden werden. Um Mängel möglichst früh in der Planung zu entecken, wären ergänzende Visualisierungen hilfreich, die auch unterschiedliche Licht- und Witterungsverhältnisse berücksichtigen.

Es sollte ein (länder-) einheitliches Instrumentarium zur optischen Führung angestrebt werden. Wenn sich im Bestand Unstetigkeitsstellen durch bauliche Maßnahmen nicht beheben lassen, so sollten diese (z. B. enge Kurven) immer mit in Größe, Farbe und Anordnung gleichartig gestalteten Elementen (z. B. Kurventafeln) ausgestattet sein.

Gemäß den Erfahrungsberichten der Teilnehmer wird der Einsatz von quer zur Fahrbahn aufgebrachten Rüttelstreifen im Vergleich zum Einsatz rein optischer Quermarkierungen bei entsprechender Unfallkonstellation als wirksamer eingeschätzt. Diese Einschätzung deckt sich auch mit bereits vorliegenden Untersuchungsergebnissen (LANK u. a., 2009). Favorisiert wurde durch die Teilnehmer ein Einsatz dieser Maßnahmen direkt am Kurvenbeginn (z. B. bekannte Problemkurven auf beliebten Motorradstrecken).

Bei der Frage zum Aufbau und möglichen Inhalt eines Wissensdokumentes, wurde darauf hingewiesen, kurze, textliche Beschreibungen zu nutzen und diese durch bildhafte, skizzierte Beispiele zu illustrieren. Den Inhalten sollte eine Erklärung einzelner Begriffe vorangestellt werden. Auch der Aufbau in Form einer Checkliste oder eines Katalogs (ähnlich dem Maßnahmenkatalog gegen Unfallhäufungen - MaKaU) sollte geprüft werden, um die Anwendung zu vereinfachen. Das Wissensdokument soll dabei anwenderbezogen und so konkret wie möglich Angaben dazu machen, wie Maßnahmen sinnvoll aufeinander abgestimmt werden können bzw. welche Maßnahmen aus wahrnehmungspsychologischer Sicht nicht kombiniert werden sollen. Es wird betont, dass das Wissensdokument deutschlandweit einheitlich angewendet werden sollte, um zu gewährleisten, dass der Straßennutzer überall ein gleichartig gestaltetes Landstraßennetz vorfindet. Der Workshop hat darüber hinaus aufgezeigt, dass aktuell noch Forschungsbedarf zu spezifischen Entwurfsparametern und -variablen sowie deren Interaktion (z. B. Überlagerungen von Lageplankurven, Kuppen und Knotenpunkten) besteht. Die Ergebnisse des Workshops fließen in das aktuelle Forschungsprojekt ein und werden so bei der Erstellung allgemeiner und konkreter Handlungsansätze direkt Berücksichtigung finden.

6 Schnittstellenanalyse

Innerhalb der Schnittstellenanalyse werden im Folgenden die in der Literaturanalyse identifizierten und für den Straßenentwurf relevanten Human Factors beschrieben. Aus den einzelnen Human Factors wurden verschiedene Anforderungen an den Straßenentwurf abgeleitet. Es wurde geprüft, ob und in welcher Form diese Anforderungen bereits durch die Regelwerke berücksichtigt werden und wo ggf. Ergänzungsbedarf besteht. Zusätzlich werden Empfehlungen zu festgestelltem Forschungsbedarf aufgeführt.

6.1 Informationsaufnahme

Für das Fahren auf Landstraßen sind die visuelle, auditive sowie die haptische und vestibulare Informationsaufnahme von Bedeutung. Die meisten Informationen werden beim Fahren über den visuellen Kanal aufgenommen (83 bis 96 %; SIVAK, 1996). Die Informationsaufnahme ist dabei an die Limitationen der verschiedenen Sinnesmodalitäten geknüpft und besonders im Fall des visuellen Kanals auch an Aufmerksamkeit gebunden. Hinweisreize, wie die visuelle optische Anordnung (GIBSON, 1986) werden zur räumlichen Orientierung genutzt und helfen Geschwindigkeiten und Bewegungsrichtung einzuschätzen. Wie u. a. EVANS (1970) und MERAT/JAMSON (2011) zeigen konnten, ist die akustische Raumorientierung für die Geschwindigkeitswahrnehmung von Bedeutung. Auch die vestibulare Informationsaufnahme ist für die Wahrnehmung der Geschwindigkeit und Beschleunigung des eigenen Fahrzeugs relevant.

6.1.1 Geschwindigkeit und Informationsmenge

Die Menge der aufzunehmenden Informationen sollte dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau entsprechen.

Je höher die Geschwindigkeit ist, desto geringer ist die Blickfeldweite und desto entfernter liegt der Fokus. Nach BALL/OWSLEY (1993) beschreibt das useful field of view (UFOV) den Bereich des Blickfeldes, aus dem der wesentliche Teil der Informationsaufnahme erfolgt. Aus Untersuchungen ging

hervor, dass das UFOV nicht nur durch hohe Geschwindigkeiten, sondern auch durch komplexe Verkehrssituationen verkleinert wird (Tunnelblick) (MIURA, 1986; COHEN, 1987). Daher sollte der Straßenentwurf gewährleisten, dass das UFOV angemessen groß ist bzw. Singularitäten (Ein-/Ausfahrten, Bahnübergänge, Haltestellen, Zwangspunkte) umso früher/umso weiter entfernt vom Fahrer wahrgenommen werden, je höher dessen Fahrgeschwindigkeit ist (SCHLAG u. a., 2009).

Die RAL berücksichtigen, dass die erforderliche Haltesichtweite u. a. in Abhängigkeit von der EKL (und damit in Abhängigkeit der angestrebten Fahrtgeschwindigkeit) zu bestimmen ist. Bei Straßen der EKL 1 sind demnach höhere Haltesichtweiten einzuhalten als z. B. bei Straßen der EKL 4. Entsprechend den Ergebnissen von LIPPOLD u. a. (2007b) sollen nach RAL größere Sichtweiten als die Haltesichtweiten gewährleistet werden, um dem Fahrer eine rechtzeitige Orientierung über den Streckenverlauf zu ermöglichen. Diese sollten mindestens 30 % über den erforderlichen Haltesichtweiten liegen und auf dem größten Teil der Strecke eingehalten werden (FGSV, 2012, S. 46).

Die Anforderung an den Straßenentwurf, die aufzunehmende Informationsmenge dem Geschwindigkeitsniveau anzupassen wird durch die RAL indirekt berücksichtigt. Eine konkrete Aussage hierzu ist jedoch nicht enthalten und sollte ergänzt werden. Gegebenenfalls ist zu prüfen, wie eine Überführung der Erkenntnisse zum UFOV in konkrete Maßzahlen für den Anwender erfolgen kann.

6.1.2 Erkennbarkeit von Kurven

Kurven sollten einsehbar und außen parallel und lückenlos gefasst gestaltet sein. Kurveninnenseiten sollten frei von Sichthindernissen sein.

Vor Kurveneintritt benötigt der Fahrer 3 s bis 5 s Vorbereitungszeit (BECHER u. a., 2006). Auch nach CAMPBELL u. a. (2012) müssen dem Fahrer 75 m bis 100 m bzw. 4 s bis 5 s vor der Kurve ausreichende Informationen bereitgestellt werden, damit der Fahrer Gelegenheit hat, das angemessene Fahrverhalten zu wählen. Der Richtungssinn von Kurven kann durch eine außenseitige Bepflanzung besser erkannt werden (SCHLAG/HEGER, 2002; LIPPOLD u. a., 2005, 2007b; PIARC, 2008).

Die Erkennbarkeit von Kurven wird durch die Einhaltung der erforderlichen Haltesichtweite/ Orientierungssichtweite gewährleistet (FGSV, 2012, S. 45/46).

Zudem ist in den Ausführungen zur RAL geregelt, dass bei einer Überlagerung von Lage- und Höhenplan der Kurvenbeginn vor dem Hochpunkt liegen sollte. Dadurch wird die Erkennbarkeit des Kurvenanfangs ebenfalls sichergestellt (FGSV, 2012, S. 40).

Nach den ESLa sollten zur Verbesserung der optischen Führung Bepflanzungen an der Kurvenaußenseite vorgenommen werden. Für die Gewährleistung einer ausreichenden Sichtweite sind die Kurveninnenseiten frei von Gehölzen zu halten (FGSV, 2003, S. 25).

Die Anforderung wird innerhalb der Regelwerke ausreichend berücksichtigt. Ein Verweis der RAL auf die ESLa wird empfohlen.

6.1.3 Erkennbarkeit von Singularitäten

Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen sollten rechtzeitig erkennbar sein.

Unter schlechten Sichtbedingungen kann die Sehschärfe auf bis zu ein Zehntel der Tagessehschärfe sinken und durch Dämmerung bzw. Dunkelheit weiter verschlechtert werden (RICHTER/ SCHLAG, 2000). Aus diesem Grund sollten v. a. Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge, Haltestellen oder Zwangspunkte für den Fahrer rechtzeitig, auch unter schlechten Sichtbedingungen (z. B. bei Regen), erkennbar sein.

Nach den RAL sollten folgende Sichtweiten und Sichtfelder eingehalten werden: erforderliche Haltesichtweite, Orientierungssichtweite, Annäherungs- und Anfahrsicht (FGSV, 2012, S. 45 ff., S. 77 ff.). Es sollte dem Fahrer ermöglicht werden, Hindernisse rechtzeitig erkennen und auch auf nasser Fahrbahn vor diesen rechtzeitig zum Halten zu kommen. Daher werden in den RAL Haltesichtweiten angegeben. Diese werden in Abhängigkeit von der EKL und der Längsneigung angegeben (Bild 42). Die visuelle Führung unter schlechten Sichtbedingungen wird v. a. durch die Markierungen gewährleistet.

Nach den internationalen „Human Factors Guidelines“ sollten die erforderlichen Haltesichtweiten

- nach PIARC (2008) 225 m bis 285 m und
- nach CAMPBELL u. a. (2012) 117 m bis 211 m

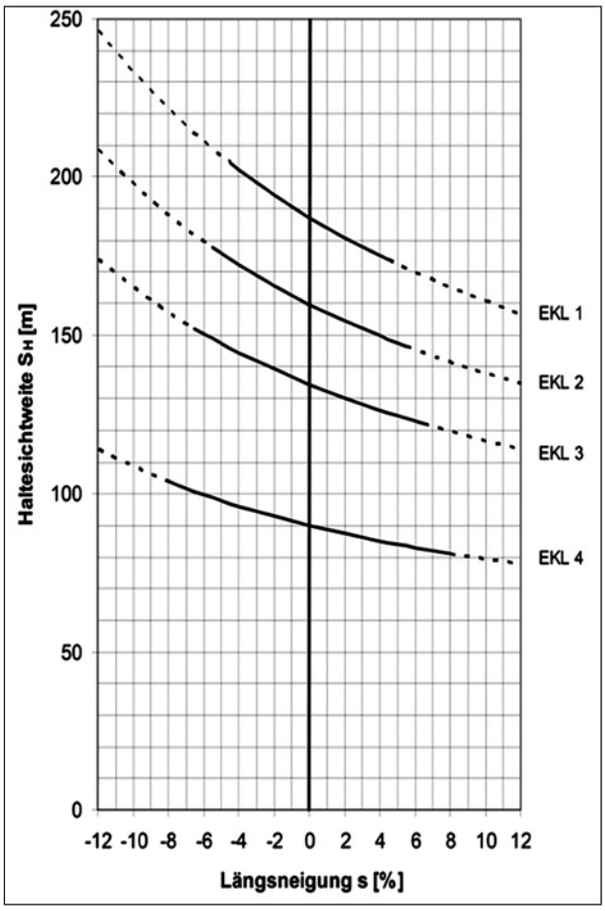


Bild 42: Erforderliche Haltesichtweiten (FGSV, 2012, S. 46)

bei einer Geschwindigkeit von V = 100 km/h betragen. Nach der StVO sind auf allen Landstraßen Geschwindigkeiten bis zu V_{zul} = 100 km/h zugelassen. Den jeweiligen Entwurfsparametern der EKL unterliegen jedoch unterschiedliche Planungsgeschwindigkeiten. Diese orientieren sich an der jeweiligen Netzfunktion der Straße. Damit wird angestrebt, dass der Fahrer mit einer für die jeweilige Netzfunktion angemessenen Geschwindigkeit fahren kann. Das hat zur Folge, dass die Planungsgeschwindigkeit bei Straßen der EKL 3 und 4 unter der V_{zul} liegt. Bei einer Längsneigung von s = 0 % beträgt die erforderliche Haltesichtweite bei Straßen der EKL 3 135 m, der EKL 2 160 m und bei Straßen der EKL 1 ca. 188 m. Diese Werte liegen in der Größenordnung nach CAMPBELL u. a. (2012). Die PIARC (2008) führt deutlich höhere erforderliche Grenzwerte auf.

Die RAL fordern keine Überholsichtweite. Sie weisen jedoch darauf hin, dass eine Sichtweite von mindestens 600 m erforderlich ist, um einen Lkw sicher überholen zu können. Weiterhin empfehlen sie, bei vorhandenen Sichtweiten zwischen 300 m und 600 m zu prüfen, ob das Überholen aus Gründen der Verkehrssicherheit verboten oder auf langsame Fahrzeuge beschränkt werden sollte. Diesen Empfehlungen liegt ein Überholmodell zugrunde, das von LIPPOLD u. a. (2015) überprüft wurde. Im Ergebnis konnten die nach RAL empfohlenen 600 m empirisch belegt und bestätigt werden. Nach CAMPBELL u. a. (2012) sollte für eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von V= 100 km/h eine Überholsichtweite von 670 m empfohlen werden. Dieser Wert ist höher als der nach RAL. Die Sichtweite nach RAL kann jedoch aufgrund der Untersuchungen von LIPPOLD u. a. (2015) dennoch als ausreichend betrachtet werden. Knotenpunkte und Querungsstellen müssen nach den RAL rechtzeitig erkennbar sein. Der Kraftfahrer soll dabei die Möglichkeit haben, ggf. vor kreuzenden bzw. ein- oder abbiegenden Kraftfahrzeugen sowie vor Fußgängern und Radfahrern rechtzeitig halten zu können. Weiterhin müssen für wartepflichtige Verkehrsteilnehmer bestimmte Sichtfelder ständig von Sichthindernissen freigehalten werden. Die RAL definieren drei Sichtfelder: Haltesicht, Anfahrsicht und Annäherungssicht. Die Größe der Sichtfelder hängt dabei von der EKL bzw. der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Knotenpunkt ab. Das Sichtfeld für die Haltesicht bezieht sich auf die nach RAL definierten erforderlichen Haltesichtweiten (Bild 42, Bild 43).

Das Anfahrsichtfeld muss so breit sein, dass ein Fahrer aus dem Stand in die übergeordnete Straße mit einer zumutbaren Behinderung der bevorrechtigten Fahrer einfahren kann. Es entspricht einem Bereich, der drei Meter vor dem Rand der bevorrechtigten Fahrbahn einsehbar ist und eine Schenkellänge von L = 110 m (V_{zul} = 70 km/h) bzw. L = 200 m (V_{zul} > 70 km/h) aufweist (Bild 44). Unter der Voraussetzung einer ausreichend großen Annäherungssicht kann der Kraftfahrer ohne Halt in die übergeordnete Straße einfahren. Das Annäherungssichtfeld entspricht einem Bereich, der 15 m vor dem Rand der bevorrechtigten Fahrbahn einsehbar ist und unter der Voraussetzung einer V_{zul} = 70 km/h eine Schenkellänge von L = 110 m aufweist (Bild 45).

Die RAL gehen ausführlich darauf ein, dass die erforderliche Haltesichtweite, Orientierungssichtweite und die Sichtfelder an Knotenpunkten stets einzuhalten sind. Es werden konkrete Angaben dazu gemacht, wie dies im Entwurf umgesetzt werden muss. Die Anforderung der Erkennbarkeit von Singularitäten wird damit durch das aktuelle Regelwerk ausreichend berücksichtigt.

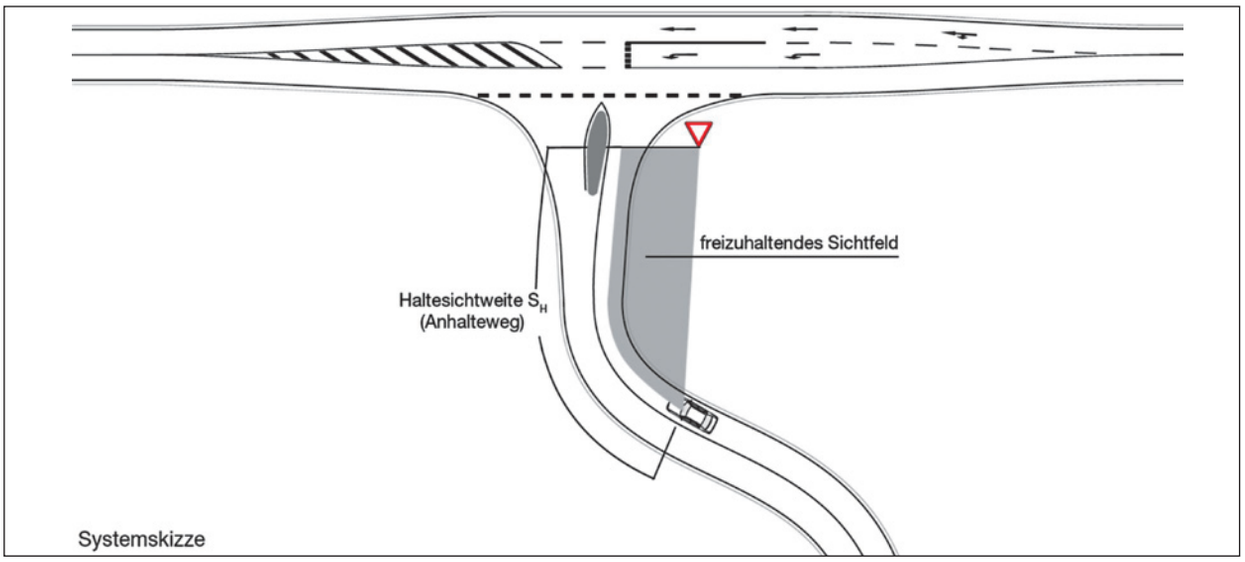


Bild 43: Sichtfeld für die Haltesicht (FGSV, 2012, S. 78)

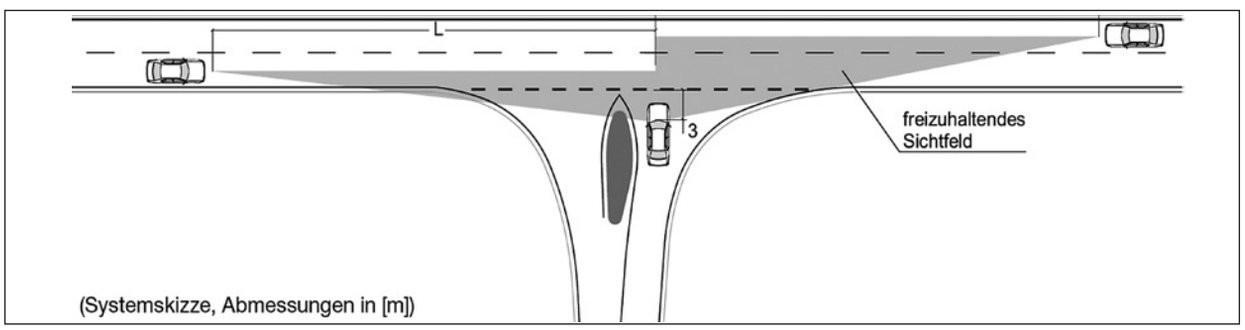


Bild 44: Sichtfeld für die Anfahrsicht (FGSV, 2012, S. 78)

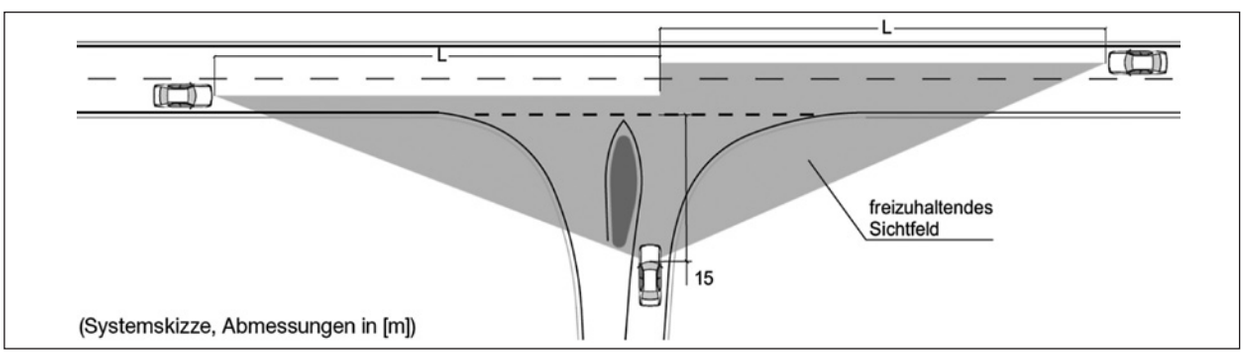


Bild 45: Sichtfeld für die Annäherungssicht (FGSV, 2012, S. 78)

6.1.4 Sichtbarkeit von Markierungen

Markierungen sollten auch unter schlechten Sichtbedingungen anstrengungsarm erkennbar und auffällig sein.

Aus dem SEEV-Modell kann u. a. abgeleitet werden, dass Informationen verstärkt aufmerksam wahrgenommen werden, wenn sie anstrengungsarm erkennbar (effort) und auffällig (hohe Salienz) sind (WICKENS u. a., 2013). Die Auffälligkeit eines sensorischen Reizes wird dabei z. B. durch seine Größe, Form oder Farbe bestimmt. Je stärker ein Reiz sich also durch ein oder mehrere Merkmale vom Untergrund abhebt, desto auffälliger ist er. Anstrengung beschreibt dagegen den Aufwand, der nötig ist, um die Aufmerksamkeit von einem Reiz zu einem anderen zu verlagern.

Festlegungen zu Markierungen finden sich in mehreren Regelwerken. Nach den RAL müssen Markierungen stets ausreichend erkennbar sein. Vor allem nachts und bei schlechten Witterungsbedingungen

sind Fahrbahnmarkierungen das wesentliche Führungselement im Nahbereich. Bei Nacht relevante Human Factors werden nicht betrachtet. Aus Gründen der Verkehrssicherheit sollten auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzungen zur Trennung der Fahrtrichtungen zusätzlich profiliert sein (FGSV, 2012, S. 82).

Für die Anordnung von Markierungen sind die RMS gültig (FGSV, 1993). Die Richtlinien führen folgende Eigenschaften auf, die Markierungen haben sollten:

- hohe Tagessichtbarkeit zur Gewährleistung eines hohen Kontrastes zur Fahrbahndecke,
- hohe Nachtsichtbarkeit in Form von Retroreflektion,
- Griffigkeit,
- randscharfe und vollflächig gleichmäßige Geometrie sowie
- angemessene Haltbarkeit.

Die RMS enthalten Festlegungen zu im Straßenentwurf verwendeten Markierungen, um diese zu standardisieren und so den Fahrer bei seiner Fahraufgabe zu unterstützen:

- mögliche Markierungsarten,
- Abmessungen der Markierungszeichen und
- Anwendungsbereich der Markierungszeichen.

Die konkreten Hinweise zur Erfüllung der genannten Anforderungen sind in den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen“ (ZTV M 13, FGSV, 2013) geregelt.

Die Regelwerke berücksichtigen die Anforderung der Sichtbarkeit von Hinweisreizen in ausreichendem Umfang.

6.1.5 Sichtbarkeit und Gestaltung von Beschilderung

Einsatz von so wenig Beschilderung wie möglich. Die Beschilderung sollte folgende Eigenschaften besitzen: ausreichende Größe, hoher Kontrast zum Hintergrund und hohe Leuchtdichte.

Die Straße selbst ist die primäre Informationsquelle für den Fahrer (DURTH, 1974; FULLER, 1984; RUMAR, 1985): Verkehrszeichen sollten daher nur eingesetzt werden, wo es unbedingt notwendig ist. Die Beschilderung sollte gut sichtbar sein, ohne selbst Sichthindernis zu werden. Auch die Anzahl der Schilder sollte sorgfältig betrachtet werden sowie die Umgebung, in der Beschilderung angebracht werden soll (SCHLAG/HEGER, 2002).

Für die Ausstattung von Straßen mit Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen bilden die StVO (2013) und die VwV-StVO (2015) die rechtlichen Grundlagen (FGSV, 2012).

Die wegweisende Beschilderung muss aus Gründen der Information für die Verkehrsteilnehmer und der Vermeidung gefährlicher Fahrmanöver nach den RAL rechtzeitig erkennbar sein. Die Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern. Die Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung soll dabei nach den RWB (BMVBW, 2000) erfolgen (FGSV, 2012, S. 83). Für die Gestaltung und Ausführung der wegweisenden Beschilderung gelten weiterhin das „Merkblatt für die lichttechnischen Leistungsklassen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtgungen“ (M LV; FGSV, 2011) sowie folgende DIN-Normen (BMVBW, 2000):

- DIN 1450: Schriften, Leserlichkeit,
- DIN 1451: Schriften, Serifenlose Linear-Antiqua,
- DIN 6171-1: Aufsichtsfarben für Verkehrszeichen. Farben und Farbgrenzen bei Beleuchtung mit Tageslicht und
- DIN 67520 (Teil 1 bis 4): Retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung.

Nach den RWB sollten bei der wegweisenden Beschilderung u. a. folgende Aspekte eingehalten werden (BMVBW, 2000):

- frühzeitige Hinweise für Fahrentscheidung zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern,
- erkennbare, begreifbare und eindeutige Beschilderung,
- einheitliche Systematik der Wegweisung,
- begrenzte Informationsinhalte, um Aufnahmefähigkeit des Kraftfahrers nicht zu überfordern.

Zur Gewährleistung der Erkennbarkeit soll eine möglichst längs und quer zur Fahrbahn hohe Auffälligkeit der Beschilderung erreicht werden. Dazu sind einzuhaltende Sichtweiten definiert. Weiterhin sind Standorte definiert, wo die Beschilderung auf

der freien Strecke und im Knotenpunkt anzuordnen ist (BMVBW, 2000).

Die Informationsinhalte der wegweisenden Beschilderung sind begrenzt. Es gibt Vorgaben für die Anzahl, die Auswahl und die Schreibweise der Ziele. Weiterhin gilt die Kontinuitätsregel. Sie besagt, dass ein einmal in die Beschilderung aufgenommenes Ziel bis zum Erreichen des Zieles in jeder Wegweisung vorhanden sein muss (BMVBW, 2000).

Die RWB führen weiterhin Gestaltungsregeln zur Gewährleistung folgender Aspekte auf:

- einfache Lesbarkeit,
- Orientierung innerhalb des Schildes,
- Darbietung der Informationen nach Rangfolge und Bedeutung sowie
- Sicherstellung des eindeutigen Bezugs zur Verkehrsführung.

Dazu legen die RWB u. a. das Material, die Farben, die Beschriftung (Schriftart, -größe usw.), die Darstellung der Pfeilsymbole und grafischen Symbole sowie die Anordnung der Beschilderung fest. Weiterhin gilt die Umklappregel. Diese besagt, dass die Pfeilspitzen in die jeweilige Fahrtrichtung zeigen müssen, wenn ein Schild auf den Boden umgeklappt wird (Bild 46).

Die Ausführungen der Regelwerke gehen umfangreich auf die Ausgestaltung der Beschilderung ein. Dabei wird konkret auf die Größe, Farbe und Beschriftung, sowie auf die Anzahl von Zielangaben eingegangen. Die Erkennbarkeit soll durch festgelegte Standorte und vorgegebene Sichtweiten gewährleistet werden. Angaben zu einem ausreichenden Kontrast der Beschilderung zum Hintergrund sind nicht gegeben und sollten ergänzt werden. Ungünstige Lichtverhältnisse, z. B. aufgrund der umgebenden Landschaft können die Erkennbarkeit der Beschilderung beeinträchtigen. Der Einsatz von Trägertafeln in hellgrünen bis gelben Farbtönen kann die Erkennbarkeit von Beschilderungen bei mangelndem Kontrast zum Hintergrund erhöhen. In Deutschland ist die Gestaltung einer Kurventafel in dieser Weise nach StVO (2013) aktuell nicht zulässig. Die Gestaltung der wegweisenden Beschilderung kann unter Berücksichtigung der Human Factors verbessert werden. So sind die Richtungspfeile in ihrer Gestaltung unabhängig vom Streckenverlauf. Der in Bild 47 dargestellte übliche Vorwegweiser wird unabhängig davon angeordnet, ob der angezeigte Knotenpunkt in einer Geraden oder in einer Kurve liegt. Für den Fahrer wäre es eindeutiger, wenn die Pfeile analog zur Streckenführung dargestellt sind. Dies ist nach den RWB jedoch nur im Ausnahmefall möglich (Bild 47).

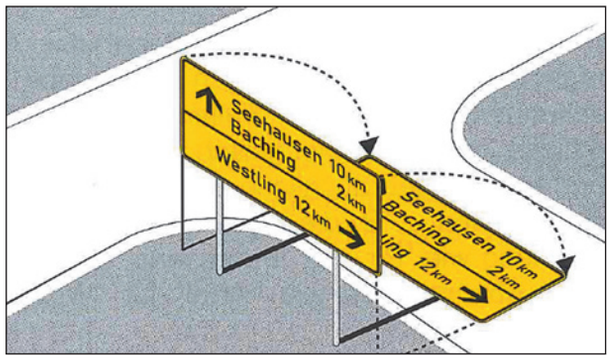


Bild 46: Umklappregel (BMVBW, 2000)

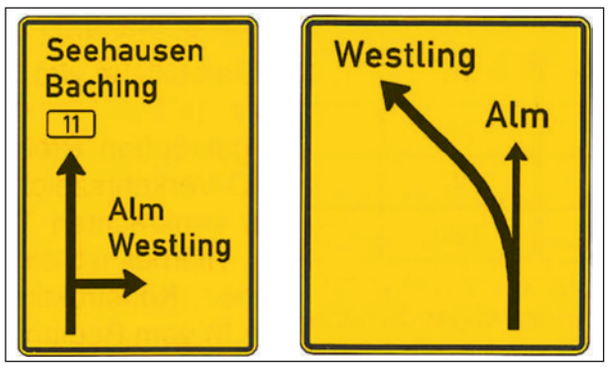


Bild 47: Vorwegweiser üblich (links) und mit Anzeige des tatsächlichen Streckenverlaufs (rechts) (BMVBW, 2000)

6.1.6 Optische Täuschungen

Optische Täuschungen/Verzerrungen/Verdeckungen sollten vermieden werden.

Aus der Literaturanalyse ist bekannt, dass das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit stark vom räumlichen Verlauf der Straße beeinflusst werden. Optische Täuschungen, die z. B. durch Verdeckungen oder die lineare Perspektive entstehen, sollten vermieden werden, damit dem Fahrer möglichst exakte Informationen für die Bewältigung der Fahraufgabe zur Verfügung stehen.

Nach RAL sollte der Fahrraum rechtzeitig erkennbar, begreifbar, übersichtlich und eindeutig sein (FGSV, 2012, S. 40). Defizite in der räumlichen Linienführung sollten somit vermieden werden. Die RAL haben dazu Grundregeln definiert, wie z. B. die Wendepunktregel. Nach dieser sollte die Anzahl und die Lage der Wendepunkte im Lage- und im Höhenplan möglichst gleich sein (Bild 48).

Bekannte Defizite in der räumlichen Linienführung sind in den RAL definiert und nach deren Einfluss auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit bewertet (Tabelle 8).

Die RAL geben darüber hinaus Empfehlungen, wie Defizite in der räumlichen Linienführung vermieden und somit u. a. die wahrnehmungspsychologischen Grenzen und Fähigkeiten der Fahrer berücksichtigt werden können.

Ein Sichtschatten liegt nach den RAL vor, wenn für den Fahrzeugführer der Streckenverlauf im Nahbereich nicht einsehbar und erst im Fernbereich wieder erkennbar ist. Erstreckt sich die Verdeckung über eine Länge von mindestens 75 m und ist das Fahrbahnband innerhalb einer Entfernung von weniger als 600 m wieder sichtbar, gilt der Sichtschatten als problematisch. Ist der Sichtschatten zusätzlich mehr als 0,75 m tief, ist er v. a. in den Bereichen kritisch, in denen der Gegenverkehrsfahrstreifen für Überholvorgänge genutzt wird. Nach den RAL sind diese Bereiche zu vermeiden oder mit einem Überholverbot zu versehen (FGSV, 2012, S. 42).

Zur Vermeidung von verdeckten Kurvenbeginnen sind in den RAL ggf. erforderliche Verschiebungen des Kuppenbeginns hinter den Kurvenbeginn bei dem Übergang Gerade - Klothoide - Kreisbogen definiert, um die Erkennbarkeit des Kurvenbeginns gewährleisten zu können.

Weiterhin sollte der Kurvenbeginn nicht hinter dem Wannenbeginn liegen, um kritische Dehnungen im Kurvenbeginn bei Überlagerungen von Kurven mit Wannen in einem Verhältnis von R : H > 1 : 10 vermeiden zu können (FGSV, 2012, S. 43).

Die Effekte der Dehnung und Stauchung treten auf, wenn sich ein Kreisbogen im Lageplan mit einer Wanne bzw. einer Kuppe im Höhenplan überlagert. Dabei erscheint der Radius einer Lageplankurve größer, wenn diese mit einer Wanne überlagert wird und kleiner, wenn sich diese mit einer Kuppe überlagert. Nach den RAL hat die Dehnung einen mittleren Einfluss und die Stauchung einen geringen Einfluss auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit (FGSV, 2012, S. 43).

Die RAL geben auch Hinweise zur Vermeidung von gestalterischen Defiziten (Knick im Lage und/ oder im Höhenplan, Abplattung und Aufwölbung) in der räumlichen Linienführung. Diese haben jedoch nur einen geringen Einfluss auf das Fahrverhalten (Tabelle 8).

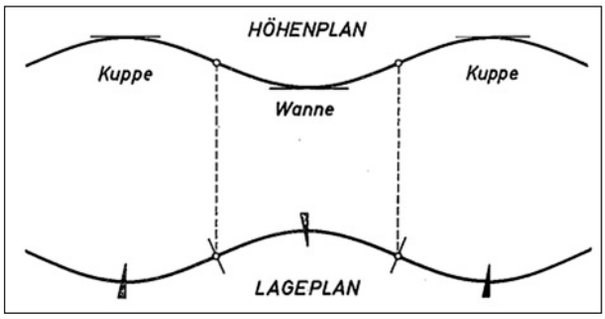


Bild 48: Wendepunktregel (LORENZ, 1971)

Defizit	**Einfluss auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit**
Sichtschatten	hoch
verdeckter Kurvenbeginn	hoch
Dehnung	mittel
Stauchung	gering
gestalterische Defizite	gering

Tab. 8: Auswirkungen von Defiziten der räumlichen Linienführung (nach FGSV, 2012)

Nach RAL sollte, unter Verwendung von Perspektivbildern, eine qualitative Analyse von Lage- und Höhenplan auf Defizite erfolgen (FGSV, 2012, S. 41 - 45).

Das Regelwerk macht umfassende Angaben zu möglichen Defiziten der räumlichen Linienführung und wie diese zu vermeiden sind, so dass die Anforderung umfassend berücksichtigt wird.

6.1.7 Blendung und wechselnde Helligkeiten

Blendung und wechselnde Helligkeiten sollten vermieden werden.

Physiologische Blendung tritt bei zu hohen Leuchtdichten, zu großen Leuchtdichteunterschieden oder ungleichmäßiger Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld auf (SCHLAG u. a., 2009). Bei Dunkelheit liegt die Blendempfindlichkeit höher, da die Umgebungsleuchtdichte, v. a. auf unbeleuchteten Straßen sehr gering ist und bei zu starker Änderung der Leuchtdichte die Rezeptoren sehr gereizt werden (Adaptationsdefekt) (SCHLAG u. a., 2009). Auch am Tag kann Blendung eine Rolle spielen, etwa beim Befahren einer Allee bei tief stehender Sonne. Dabei kann die Blendung verschiedene negative Auswirkungen haben, z. B. auf die Sehschärfe, das Form- und Gestalterkennungsvermögen, die Tiefenwahrnehmung oder die Wahrnehmungsgeschwindigkeit (SCHLAG u. a., 2009). Blendung hat auch einen psychologischen Aspekt, da die Lichtquelle ungewollt Aufmerksamkeit auf sich zieht und

so zu Ablenkung und Ermüdung führen kann. Zudem kann eine Blendlichtquelle als sehr unangenehm oder belästigend empfunden werden (SCHLAG u. a., 2009). Aus diesem Grund sollten Blendung und wechselnde Helligkeiten für den Fahrer vermieden werden. Im Fall von Alleen kann dies nicht vermieden werden. Hier sollten ausreichende Adapatationszeiten durch frühzeitige Geschwindigkeitssenkungen gewährleistet werden.

Nach den RAL kann an zweibahnigen Straßen ein Blendschutz für den Pkw-Verkehr angeordnet werden. Dabei ist jedoch auch auf die Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten zu achten (FGSV, 2012, S. 84). Zusätzlich wird darauf hingewiesen, dass durch lange Geraden die Blendung bei Nacht erhöht wird (FGSV, 2012, S. 35).

Die Regelwerke machen Angaben zur Vermeidung von Blendungen. Es wird empfohlen, auch auf die Gewährleistung von Adaptationszeiten beim Befahren von Alleen hinzuweisen.

6.1.8 Warn- und Alarmsignale

Der Einsatz akustischer und taktiler sowie vibratorischer Warn- und Alarmsignale sollte berücksichtigt werden.

Beim Autofahren werden nicht alleine über den visuellen Sinneskanal wertvolle Informationen aufgenommen. Auch über den auditiven, taktilen und vibratorischen Sinneskanal findet Informationsaufnahme statt, wodurch sich diese Kanäle für Warn- und Alarmsignale eignen. Ein Beispiel dafür sind Fahrbahnprofilierungen, die eine klare Rückmeldung über abweichendes Verhalten geben und unkomfortabel machen (SCHLAG/HEGER, 2002).

Auch in Deutschland kommen in besonderen Bereichen bauliche Maßnahmen, wie z. B. Rüttelstreifen oder eingefräste und aufgesetzte Markierungen zum Einsatz, um dem Fahrer zu verdeutlichen, dass er seine Geschwindigkeit reduzieren sollte. Diese wurden von LANK u. a. (2009) hinsichtlich ihrer Wirksamkeit untersucht. Die Autoren empfehlen Rüttelstreifen als wirkungsvolle und kostengünstige Maßnahme, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Auf allen untersuchten Strecken konnte eine Geschwindigkeitssenkung um mehrere Stundenkilometer (Mittel 3 - 6, Spitze 6 - 12) erreicht werden. Dabei lag die längste Zeitspanne für die Nachhermessung bei 279 Tagen.

Die RAL geben an, dass aus Gründen der Verkehrssicherheit auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzungen zur Trennung der Fahrtrichtungen zusätzlich so zu profilieren, dass der Kraftfahrer dies deutlich spürt (FGSV, 2012, S. 82).

Die Regelwerke weisen bereits auf den Einsatz profilierter Fahrstreifenbegrenzungen hin. Ergänzt werden können Angaben zur Anwendung profilierter Markierungen oder Rüttelstreifen im Bereich von Unstetigkeitsstellen oder Singularitäten.

6.1.9 Neue Formen von Hinweisreizen

Straßenseitige Reizgegebenheiten können so gestaltet werden, dass sie angemessenes Fahrverhalten fördern: optische Bremsen, Quermarkierungen, dreidimensional wirkende Markierungen (anamorphe Darstellungen).

Durch den Einsatz optischer Bremsen soll ein positiver Effekt auf die Geschwindigkeitsreduzierung vor Singularitäten (z. B. Haltestellen, oder Bahnübergänge) bewirkt werden (BECHER u. a., 2006; DENTON, 1980; GODLEY u. a., 1999; LAMM/KUPKE, 1977; TRIGGS, 1986). Dabei könnten optische Täuschungen, z. B. in Form von Quermarkierungen mit abnehmenden Abständen, die Geschwindigkeitswahrnehmung des Fahrers beeinflussen. Es sollte untersucht werden, in welcher Ausgestaltung eine optische Bremse für einen bestimmten Standort geeignet ist, langfristig einen Geschwindigkeitsrückgang zu bewirken.

Innerhalb der Regelwerke gibt es aktuell keine Festlegungen zum Einsatz optischer Bremsen. Es besteht aktuell noch Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen).

6.2 Aufmerksamkeit, Wahrnehmung

Aufmerksamkeit wird nach GOLDSTEIN (2011) als Prozess beschrieben, bei dem ein interessierender Reiz ausgewählt und dadurch einer tieferen Verarbeitung durch Konzentration auf bestimmte Reizmerkmale zugänglich gemacht wird. Die Wahrnehmung umfasst nach GOLDSTEIN (2011) die korrekte Entschlüsselung der eingegangenen Informationen. Dabei kann zwischen bottom-up und top-down Verarbeitung unterschieden werden (vgl. Kapitel 3.3.2).

6.2.1 Straßenseitenraum und visuelle Führung

Unterstützung der visuellen Führung durch die Gestaltung des Straßenseitenraums. Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld.

Das Lenken der Aufmerksamkeit auf neu auftauchende und sich bewegende Objekte im Sichtfeld des Fahrers ermöglicht das Erkennen und das Fixieren neuer Ziele. Das periphere Sehen weist eine hohe Empfindlichkeit für Bewegungen und Veränderungen auf und beeinflusst so auch die Aufmerksamkeitszuwendung. Aus diesem Grund sind Fahrbahnränder und Straßenseitenräume besonders geeignet, den Straßennutzer über visuelle Informationen in seiner Fahraufgabe, z. B. bei der Wahrnehmung des Streckenverlaufs, zu unterstützen. Entsprechend können Widersprüche zwischen Straße und Umfeld einen falschen Streckenverlauf vortäuschen, wenn sich im Umfeld der Straße Elemente befinden, wie z. B. Bäume oder Masten, die dem Streckenverlauf folgen, jedoch später von diesem abweichen (KÜHN u. a., 2007, PIARC, 2008). In diesem Fall werden Fixationsort und Aufmerksamkeit abgelenkt und so das Spurhalten negativ beeinflusst.

Nach den RAL soll der Verlauf der Straße und die optische Führung der Kraftfahrer durch die Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessert werden. Zur optischen Führung der Verkehrsteilnehmer im Fernbereich sind nach den RAL senkrechte Leiteinrichtungen in Form von Leitpfosten anzuordnen. Weiterhin sind im Straßenseitenraum zur Unterstützung der räumlichen Linienführung Gehölzpflanzungen einzubeziehen. Vor allem in Kuppenbereichen und in nicht einsehbaren Kurvenbereichen soll der Straßenverlauf durch Aufragendes verdeutlicht werden (FGSV, 2012, S. 40, S. 83/84). Bei der Anordnung von Bäumen ist auf die Gewährleistung der Verkehrssicherheit zu achten. Es sind in diesem Zusammenhang ggf. Schutzmaßnahmen erforderlich (FGSV, 2012, S. 84/85). Neben der Seitenraumgestaltung kann die optische Linienführung auch durch Verkehrszeichen verbessert werden. Dabei sind vor allem die Längsmarkierungen und die senkrechten Leiteinrichtungen in besonderen Bereichen maßgebend (z. B. in engen Kurven; vgl. Kapitel 4.9). Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Notwendigkeit von flankierenden verkehrstechnischen Maßnahmen stets auf bauliche Defizite hinweist.

Bild 49: Bepflanzung an Kurvenaußenseite (FGSV, 2003)

Neben den RAL finden sich v. a. in den ESLa Hinweise zu dieser Thematik. Diese sind jedoch allgemein und wenig detailliert. So geben die ESLa bspw. an, dass durch Grüngestaltung der Straßennebenflächen „technische Elemente verdeckt oder die Straßenführung betont (optische Führung)“ werden kann (FGSV, 2003, S. 22). Daneben findet sich ein konkreter Hinweis dazu, durch Bepflanzung an der Kurvenaußenseite den Verkehr optisch zu führen (Bild 49) (FGSV, 2003, S. 25).

Das Land Brandenburg hat unter Berücksichtigung von Human Factors „Hinweise zur Verkehrslenkung und optischen Orientierung durch Bepflanzung an Bundes- und Landesstraßen (außerorts) im Land Brandenburg“ (HVO) herausgegeben. Es werden fünf Human Factors - Leitsätze definiert und entsprechende Maßnahmen genannt (SPORBECK u. a., 2002):

1. Geschwindigkeit vor besonderen Stellen,
2. bepflanzte Fahrbahnteiler in untergeordneter Straße mit Versatz der Fahrspur,
3. Vorfahrterwartung an Knotenpunkten
   - Auflösung der optischen Leitfunktion alter Straßenführungen durch Bepflanzung
   - Bepflanzung zur optischen Unterbrechung der alten Straßenführung
   - Bepflanzung quer zu den Zufahrten der untergeordneten Straßen
   - optische Barrieren in der Mitte von Kreisverkehren
   - Auslichtung vorhandener Bepflanzung
4. Vorbereitungs-, Übergangsbereich vor Kurven/ Knotenpunkten
   - abnehmende Abstände der Bepflanzung zur besonderen Stelle hin

- kontrastreiche Bepflanzung auf freier Strecke vor Vorbereitungsbereich
- Anordnung von optischen Bepflanzungs-Querriegeln
- Freihaltung des Übergangsbereichs von Neubepflanzung
- Auslichtung vorhandener Bepflanzung im Übergangsbereich

5. Stabilisierung eines Fahrzeugs in der Kurve

- Freihaltung der Innenränder einer Kurve von Bepflanzung
- geschlossene Bepflanzung in der Außenkurve
- trassenbegleitende abwechslungsreiche Bepflanzung in den nachfolgenden Abschnitten

6. Erwartungskonformität der Streckenführung

- Anordnung von optischen Bepflanzungs-Querriegeln auf Kuppen
- Anordnung von Hecken im Scheitelpunkt von Wannen
- abnehmende Abstände der Bepflanzung vor unerwartet engen/weiten Kurven/ Ortschaften
- bepflanzte Mittelinseln im Ortseingangsbereich oder in untergeordneter Straße mit Versatz der Fahrspur

Die Festlegungen der Regelwerke über die Berücksichtigung von Human Factors bei der Seitenraumgestaltung sollten um weitere Aspekte ergänzt werden. Es werden Hinweise zur Bepflanzung von Kurven gegeben (vgl. Kapitel 6.1.2). Diese sind jedoch allgemein. So sollten die ESLa konkret darauf eingehen, dass die Gestaltung des Straßenseitenraums ein wesentliches Element für die visuelle Führung des Verkehrsteilnehmers ist. Hierzu sollten weitere Beispiele, ähnlich Bild 49 eingefügt werden. In Bild 50 sind zwei mögliche Probleme bei der Bepflanzung von Kurven dargestellt. Die Darstellungen auf der linken Seite zeigen eine Straße, bei der im Zuge einer Umbaumaßnahme der Kurvenradius geändert wurde. Das linke Bild oben zeigt, dass die Bepflanzung nicht an den neuen Radius angepasst wurde. Dies kann zu optischen Täuschungen führen, so dass der reale Streckenverlauf nicht richtig wahrgenommen wird. Die Darstellung rechts oben zeigt eine inkonsequente Umsetzung der Bepflanzung der Außenkurve. Auch dies kann zu einer optischen Täuschung für den Fahrer führen. In den beiden unteren Darstellungen wird jeweils ein Vorschlag zur Reduzierung der vorhandenen Defizite gemacht. Ähnliche Beispiele sollten auch in die ESLa eingefügt werden.

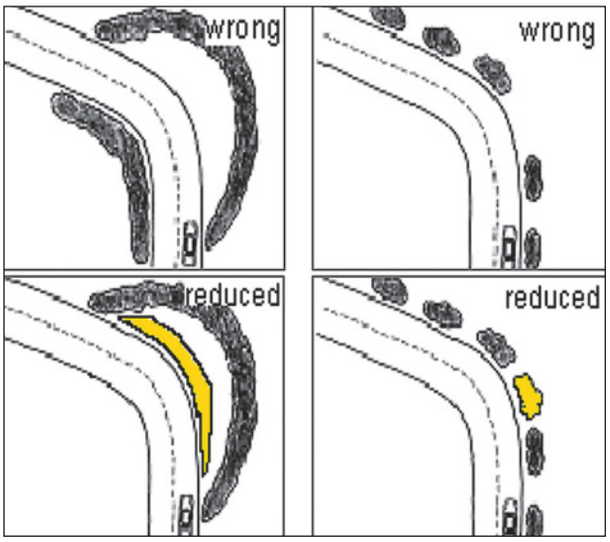


Bild 50: Bepflanzung in Kurven (PIARC, 2008)

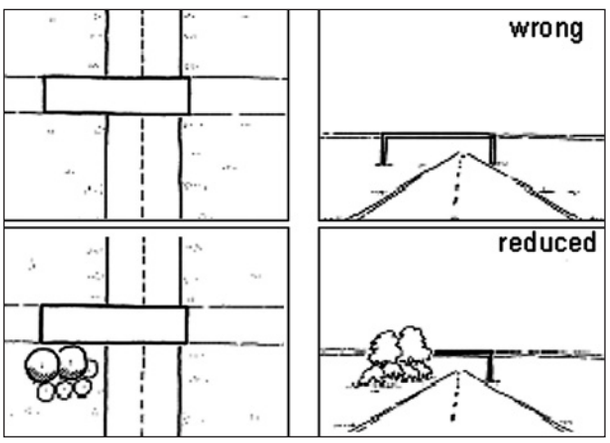


Bild 51: Unsymmetrische (oben) und verdeckte unsymmetrische (unten) Unterführung der Straße (PIARC, 2008)

Werden Brückenbauwerke über die zu gestaltende Straße geführt, sollten auch dabei verschiedene gestalterische Aspekte berücksichtigt werden (Bild 51). Diese sollten ebenfalls in die ESLa aufgenommen werden. So sollten die Widerlager/Pfeiler einer Brücke so angeordnet sein, dass die Straße symmetrisch durch diese geführt wird. Andernfalls könnte das Spurverhalten des Fahrers negativ beeinflusst werden. Die Abbildungen unten zeigen, wie bei einer bestehenden Konstellation mit diesem Defizit umgegangen werden kann.

Darüber hinaus könnten o. g. Hinweise auch in die Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (RLPB; BMVI, 2011) integriert werden.

6.2.2 Aufmerksamkeitslenkung

Berücksichtigung von selektiver und geteilter Aufmerksamkeit.

Die selektive Aufmerksamkeit ermöglicht das Ausblenden störender Reize, um sich auf ausgewählte Informationen konzentrieren und diese optimal interpretieren zu können (GOLDSTEIN, 2011). Neben der selektiven Aufmerksamkeit ist für das Autofahren auch die geteilte Aufmerksamkeit von Bedeutung, da beim Fahren verschiedene Aufgaben parallel bewältigt werden müssen. Die Fähigkeit, unsere Aufmerksamkeit zu teilen, ist jedoch begrenzt. So kann es bei hohen Anforderungen zu Ressourcenmangel für eine zweite Aufgabe und damit zu Fehlern beim Multitasking oder zu Effekten wie Veränderungsblindheit und Blindheit durch Unaufmerksamkeit kommen (GOLDSTEIN, 2011). Der Fahrer sollte durch die Gestaltung der Straße nicht von seiner Fahraufgabe abgelenkt werden.

Im Straßenentwurf soll die Aufmerksamkeit des Fahrers durch bewusste Gestaltung, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung von Kurven und Knotenpunkten durch Schilder und Bepflanzung, beeinflusst werden.

Dafür sollten konkrete Hinweise für den Anwender diskutiert werden, wie z. B. Mittel zur Verdeckung ablenkender Reize in den Straßenentwurf eingebettet werden können bzw. wie ein Verweis erfolgen kann.

6.3 Erwartungskonformität

Durch Erfahrungen werden in verschiedenen Situationen bestimmte Erwartungen, Schemata bzw. Skripte und mentale Modelle darüber ausgebildet, welches Verhalten in zukünftigen ähnlichen Situationen angemessen bzw. erfolgreich ist (ENDSLEY u. a., 2003). Die Erwartungen resultieren aus den langfristigen Fahrerfahrungen, die auf den befahrenen Streckenabschnitt angewendet werden. Ist die Strecke erwartungskonform, so steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass das Fahrverhalten dem geforderten, sicheren Verhalten entspricht (SCHLAG/HEGER, 2002) (vgl. Kapitel 3.4 und 4.1).

Um eine Strecke aus Nutzersicht erwartungskonform zu gestalten, sollten die im Folgenden beschriebenen Anforderungen im Straßenentwurf berücksichtigt werden.

6.3.1 Wiedererkennbarkeit

Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale (unique identifiers). Standardisierung fördert die Wiedererkennung durch den Nutzer.

Aus der Literaturanalyse geht hervor, dass die Verkehrssicherheit auf Landstraßen verbessert werden kann, wenn die Straßen standardisiert und wiedererkennbar gestaltet werden. Dazu sollten sich Straßen einer Kategorie gleichen, sich aber deutlich von den Straßen anderer Kategorien unterscheiden. Für jede Straßenkategorie sollten somit Festlegungen für eine wiedererkennbare Gestaltung getroffen werden. Entscheidend sind dabei wenige, aber kontinuierlich umgesetzte markante Merkmale. Wesentliche Wiedererkennbarkeitsmerkmale sind dabei die Straßenmarkierung und die Fahrstreifenbreite (MATENA u. a., 2006).

Nach den RAL sollen Landstraßen möglichst so ausgebildet sein, dass der Fahrzeugführer diese gleichmäßig und mit einer für die Netzfunktion angemessenen Geschwindigkeit befährt. Dazu definieren die RAL vier verschiedene Entwurfsklassen (EKL). Straßen einer EKL sollen dabei möglichst gleichartig sein (wiedererkennbar) und Straßen unterschiedlicher EKL sollen dabei deutlich voneinander unterscheidbar sein (FGSV, 2012, S. 18 - 22). Das wesentliche Wiedererkennungsmerkmal der EKL ist die kontinuierlich erkennbare Längsmarkierung. Diese ist für jede EKL unterschiedlich definiert (FGSV, 2012, S. 27 - 29). Die EKL werden durch die Straßenkategorien und die vorhandenen Verkehrsstärken der Landstraßen bestimmt. Es sollte also zunächst eine Kategorisierung im vorhandenen Straßennetz erfolgen. Das Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit der RAL wird v. a. durch die für jede EKL vorgesehenen Querschnitte deutlich. Ein Bestandteil der Querschnitte sind die Fahrstreifen. Die in den RAL vorgesehenen Fahrstreifenbreiten setzen sich aus den Fahrzeuggrundmaßen sowie Bewegungsspiel- und Sicherheitsräumen zusammen. Bei den Festlegungen wurden u. a. zu den Querschnitten Untersuchungen von BECHER u. a. (2006), KÄMPFE u. a. (2005), LIPPOLD u. a. (2013), SCHLAG/HEGER (2002) und SCHLAG u. a. (2015) berücksichtigt.

Für Straßen der EKL 1 ist ein RQ 15,5 vorgesehen. Dies ist ein durchgängig dreistreifiger Querschnitt, wobei die Fahrtrichtungen durch einen verkehrs-

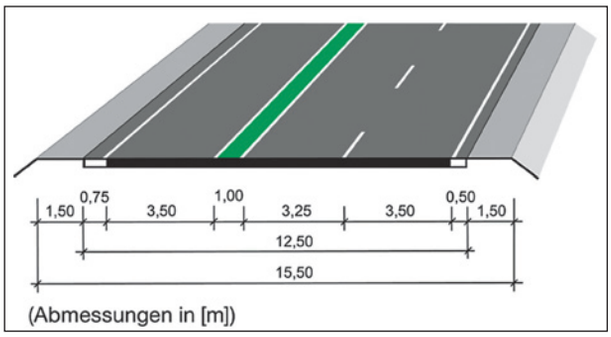


Bild 52: Regelquerschnitt RQ 15,5 (FGSV, 2012)

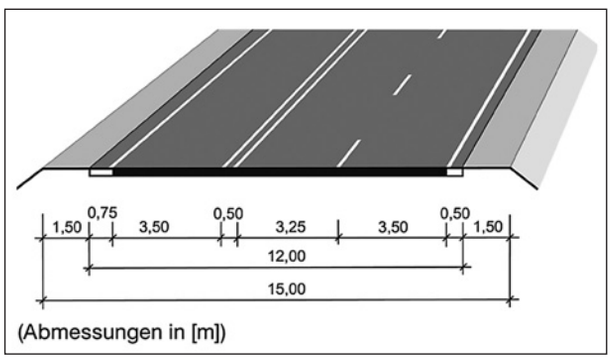


Bild 53: Regelquerschnitt RQ 11,5+ mit Überholfahrstreifen (FGSV, 2012)

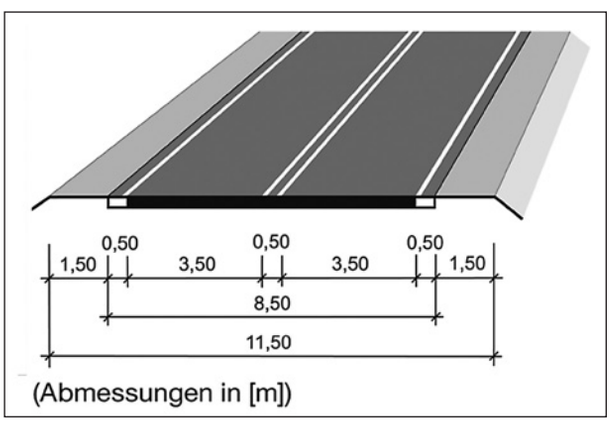


Bild 54: Regelquerschnitt RQ 11,5+ ohne Überholfahrstreifen mit durchgehender Doppellinie (FGSV, 2012)

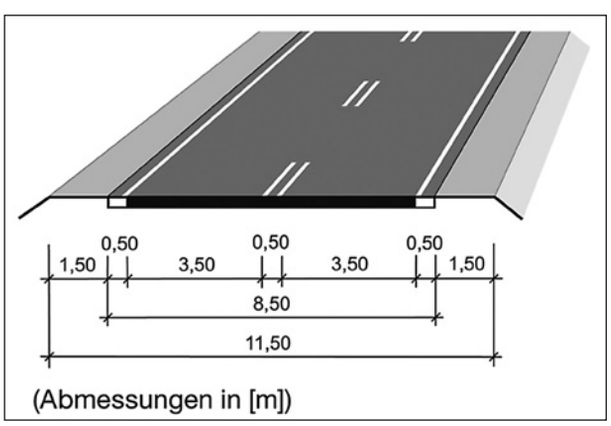


Bild 55: Regelquerschnitt RQ 11,5+ ohne Überholfahrstreifen mit doppelter Leitlinie (FGSV, 2012)

technischen Mittelstreifen voneinander getrennt sind (Bild 52). Die farbige Gestaltung des RQ 15,5 beruht auf den Ergebnissen der Untersuchungen von LIPPOLD u. a. (2013). Nach diesen unterbindet eine farbige Variante der Fahrtrichtungstrennung die regelwidrigen Überholvorgänge und fördert die Wiedererkennbarkeit von Straßen der EKL 1 am besten.

Die Gestaltung des Querschnitts RQ 11,5+ von Straßen der EKL 2 beruht vor allem auf den Untersuchungen von LIPPOLD u. a. (2003, 2008 und 2011) und JÄHRIG (2012). Der RQ 11,5+ ist ein einbahnig zweistreifiger Querschnitt, bei dem abschnittsweise abwechselnd für beide Fahrtrichtungen Überholfahrstreifen angeordnet werden (Bild 53 - Bild 55). Für jede Fahrtrichtung sollen so mindestens auf 20 % des Streckenzuges verkehrstechnisch gesicherte Überholmöglichkeiten geschaffen werden. Im Vergleich zu den Untersuchungsstrecken ist bei Straßen der EKL 2 in den zweistreifigen Abschnitten zur Trennung der Fahrtrichtungen eine doppelte Leitlinie angeordnet (Bild 55). Überholverbot bzw. eine durchgehende Doppellinie soll in den zweistreifigen Abschnitten nur angeordnet werden, wenn besondere Risiken wie z. B. unzureichende Sichtweiten vorliegen (Bild 54).

Nach den RAL sind bei Straßen der EKL 1 und der EKL 2 Überholfahrstreifen vorgesehen, um dem Fahrer einen gesicherten Überholvorgang ermöglichen zu können. Sie sollen gleichmäßig verteilt sein und frühzeitig dem Verkehrsteilnehmer angekündigt werden.

Bei der Anordnung von Überholfahrsteifen ist nach den RAL Folgendes zu berücksichtigen (FGSV, 2012):

- Anordnung von Wechselstellen in gut überschaubaren und in nicht abflussschwachen Bereichen,
- keine Anordnung unmittelbar vor dem Ausbauende bei sich wesentlich ändernder Streckencharakteristik,
- möglichst keine Anordnung in engen Rechtskurven und
- Gestaltung einer abrupten und deutlich erkennbaren Querschnittsänderung aus wahrnehmungspsychologischen Gründen.

Straßen der EKL 3 sind zweistreifig und werden mit dem RQ 11 ausgebildet. Die Fahrtrichtungstren-

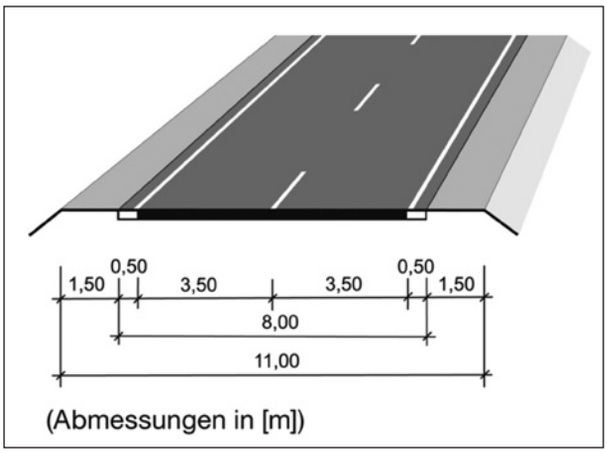


Bild 56: Regelquerschnitt RQ 11 (FGSV, 2012)

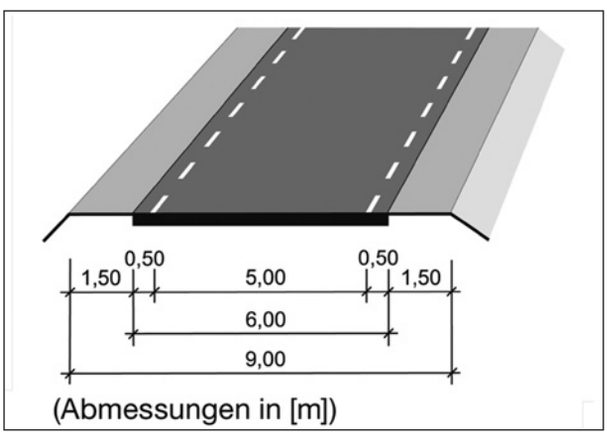


Bild 57: Regelquerschnitt RQ 9 (FGSV, 2012)

nung erfolgt über eine einfache Leitlinie, wodurch das Überholen unter Mitbenutzung des Gegenverkehrsfahrstreifens zugelassen ist (Bild 56). Soll das Überholen aufgrund von z. B. unzureichenden Sichtweiten untersagt werden, ist aus Sicherheitsgründen eine einfache Fahrstreifenbegrenzung anzuordnen.

Straßen der EKL 4 dienen dem nahräumigen Verkehr. Sie sind einbahnige Straßen und werden mit dem RQ 9 ausgebildet. Bei diesem wird keine Markierung zur Trennung der Fahrtrichtungen aufgebracht. Stattdessen werden auf den beiden Seiten Leitlinien angeordnet, die im Begegnungsfall überfahren werden können (Bild 57).

Die Gestaltung des RQ 9 beruht auf den Empfehlungen aus der Untersuchung von SCHLAG u. a. (2015). Fahrzeugführer halten bei unbeeinflusster Fahrt bei Fahrbahnbreiten von B = 6,00 m zum rechten Fahrbahnrand einen größeren Abstand im Vergleich zu schmaleren Fahrbahnbreiten. Bei Querschnitten mit seitlichen Leitlinien fahren die Fahrer im Vergleich zu Querschnitten mit Fahrbahnbegrenzungslinien und einer Trennung der Fahrtrichtungen in Fahrbahnmitte weiter in Fahrbahnmitte. Bei Gegenverkehr kam es zu keinen Sicherheitsdefiziten, die Fahrer fuhren während der Begegnung unmittelbar am Fahrbahnrand. Zudem unterlagen die Fahrer keinen zusätzlichen Beanspruchungen (SCHLAG u. a., 2015).

Die RAL gehen umfassend auf die Anforderung der Homogenität/Heterogenität der Straßenkategorien ein. Es sollte diskutiert werden, ob die Heterogenität der EKL noch optimiert werden kann. Im Vergleich zu EKL 1 und EKL 4 sind die Wiedererkennungsmerkmale der EKL 2 und EKL 3 weniger einzigartig. Es wird darauf hingewiesen, dass für den Straßennutzer die EKL 2 und EKL 3 daher ggf. nicht ausreichend trennscharf und damit eindeutig unterscheidbar gestaltet sind. Um die Frage zu beantworten, wie die Heterogenität der EKL 2 und EKL 3 befördert werden kann (z. B. durch ein verändertes oder zusätzliches markantes Merkmal oder eine Reduzierung auf nur drei EKL wie in Dänemark und den Niederlanden), wird ein Forschungsvorhaben empfohlen.

6.3.2 Einheitlichkeit

Alle Entwurfselemente (freie Strecke, Knotenpunkte) sollten innerhalb einer Entwurfsklasse einheitlich gestaltet sein.

Die Gestaltung der Linienführung, der Knotenpunkte und freien Streckenabschnitte muss mit der übrigen Gestaltung der Landstraßenklasse übereinstimmen (THEEUWES/GODTHELP, 1995). Im Sinne selbsterklärender Straßen müssen diese leicht verständlich, leicht unterscheidbar und leicht interpretierbar sein (THEEUWES u. a., 2012). Im Zusammenspiel aller Entwurfselemente muss ein konsistentes mentales Modell beim Straßennutzer entstehen.

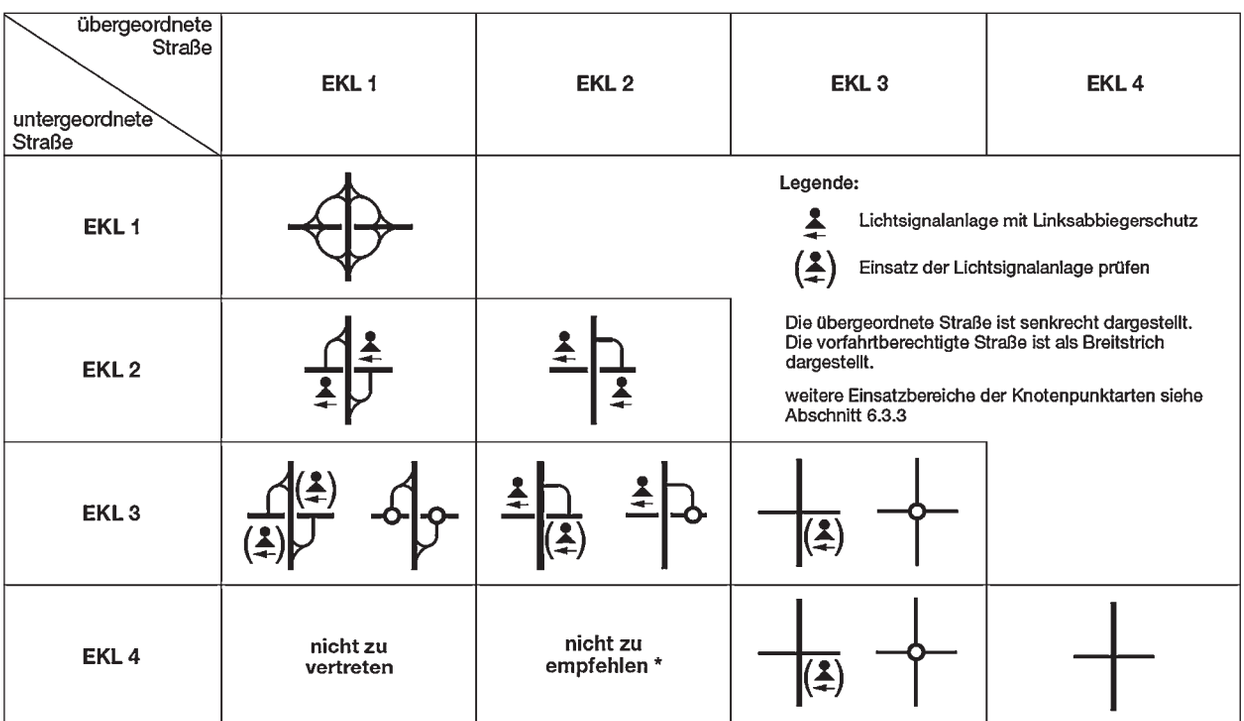
Die RAL definieren für jede EKL alle wesentlichen, die Geschwindigkeit beeinflussenden Entwurfs- und Betriebsmerkmale, um eine gleichmäßige Fahrweise gewährleisten zu können. Dazu sind auch alle Merkmale innerhalb einer EKL einheitlich aufeinander abgestimmt (standardisiert) (Tabelle 9).

Die Knotenpunkte sollen unter Berücksichtigung der Standardisierung im Verlauf einer Straße möglichst einheitlich gestaltet sein. Weiterhin sollte aus Gründen der Verkehrssicherheit der Abstand der Knotenpunkte möglichst groß gewählt werden. Dieser sollte bei Straßen der EKL 1 mindestens 3 km und bei Straßen der EKL 2 mindestens 2 km betragen (FGSV, 2012, S. 53). Aus Gründen der Standardisierung und

Entwurfs-klasse	Entwurfs-/Betriebsmerkmale					Führung auf der Strecke				Führung im Knotenpunkt
	Planungs-geschwindigkeit [km/h]	Betriebsform	Querschnitt	gesicherte Überhol-abschnitte pro Richtung	Führung des Radverkehrs	Linienführung	empfohlener Radien-bereich R [m]	Höchstlängs-neigung max s [%]	empfohlener Kuppen-halbmesser H_K [m]	Regellösung auf der übergeordneten Straße*)
EKL 1	110	Kraftfahrstraße	RQ 15,5	~ 40 %	straßen-unabhängig	sehr gestreckt	≥ 500	4,5	≥ 8.000	Ein-/Ausfädeln
EKL 2	100	allg. Verkehr	RQ 11,5+	≥ 20 %	straßen-unabhängig oder fahrbahn-begleitend	gestreckt	400 – 900	5,5	≥ 6.000	Ein-/Abbiegen/Kreuzen mit Lichtsignalanlage
EKL 3	90	allg. Verkehr	RQ 11	keine	fahrbahn-begleitend oder auf der Fahrbahn	angepasst	300 – 600	6,5	≥ 5.000	Ein-/Abbiegen/Kreuzen mit/ohne Lichtsignalanlage
EKL 4	70	allg. Verkehr	RQ 9	keine	auf der Fahrbahn	sehr angepasst	200 – 400	8,0	≥ 3.000	Ein-/Abbiegen/Kreuzen ohne Lichtsignalanlage

*) Weitere Einsatzmöglichkeiten der Knotenpunktarten in Abhängigkeit von den Entwurfsklassen sind in Kapitel 6.3.3 dargestellt.

Tab. 9: EKL nach den RAL und deren grundsätzlichen Gestaltungsmerkmale (FGSV, 2012, S.20)



*) Wenn in zu begründenden Ausnahmefällen eine Straße der EKL 4 angeschlossen werden muss, ist der Anschluss wie der einer Straße der EKL 3 auszubilden.

Tab. 10: Einsatzbereiche von Knotenpunktarten bei vierarmigen Knotenpunkten (FGSV, 2012, S.55)

u. a. der Verkehrssicherheit definieren die RAL für die EKL Knotenpunktarten und mögliche Verknüpfungen zwischen den EKL (Tabelle 10, Tabelle 11). Zusätzlich legen die RAL für jede EKL neben Radienbereichen auch Mindestlängen von Kreisbögen sowie die maximale Höchstlängsneigung fest. Auch auf die Linienführung geht das Regelwerk ein: bei der EKL 1 sollte diese sehr gestreckt, bei der EKL 2 gestreckt, bei der EKL 3 angepasst und bei der EKL 4 sehr angepasst gestaltet sein (FGSV, 2012, S. 20).

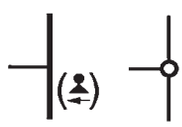
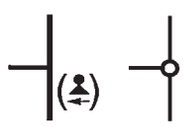
Das Regelwerk berücksichtigt die Anforderung einer einheitlichen Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie und trifft hierzu klare Festlegungen.

6.3.3 Übergänge zwischen Kategorien

Übergänge zwischen Kategorien sollten rechtzeitig und deutlich gekennzeichnet sein.

Die Übergänge von einer Kategorie zu einer anderen sollten nicht abrupt erfolgen und deutlich gekennzeichnet sein (vgl. THEEUWES/GODTHELP, 1995).

Nach den RAL sollten entsprechend der Ergebnisse von LIPPOLD u. a. (2007b) i. d. R. größere Sicht-

übergeordnete Straße / untergeordnete Straße	EKL 1	EKL 2	EKL 3	EKL 4
EKL 1			Legende: Lichtsignalanlage mit Linksabbiegerschutz Einsatz der Lichtsignalanlage prüfen Die übergeordnete Straße ist senkrecht dargestellt. Die vorfahrtberechtigte Straße ist als Breitstrich dargestellt. weitere Einsatzbereiche der Knotenpunktarten siehe Abschnitt 6.3.3	
EKL 2				
EKL 3				
EKL 4	nicht zu vertreten	nicht zu empfehlen *		

*) Wenn in zu begründenden Ausnahmefällen eine Straße der EKL 4 angeschlossen werden muss, ist der Anschluss wie der einer Straße der EKL 3 auszubilden.

Tab. 11: Einsatzbereiche von Knotenpunktarten bei dreiarmigen Knotenpunkten (FGSV, 2012, S.55)

weiten als die Haltesichtweiten gewährleistet werden, um dem Fahrer eine rechtzeitige Orientierung über den Streckenverlauf zu ermöglichen. Diese sollten mindestens 30 % über den erforderlichen Haltesichtweiten liegen und auf dem größten Teil der Strecke eingehalten werden (FGSV, 2012). Übergänge zwischen EKL lassen sich gut an Knotenpunkten oder vor/nach Ortschaften realisieren. Das M EKLBest (FGSV, Entwurf 2016) legt ausdrücklich einen Schwerpunkt auf Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen.

Aus verkehrspsychologischer Sicht sind Übergänge zwischen Kategorien, die über Knotenpunkte oder Ortschaften erfolgen eine gute Lösung. Der Fahrer hat Gelegenheit, seine Erwartungen zum weiteren Streckenverlauf anzupassen.

Entscheidend für das Verhalten der Straßennutzer ist, dass sie die Übergänge tatsächlich eindeutig wahrnehmen und ihre Erwartungen rechtzeitig anpassen.

6.3.4 Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke

Knotenpunkte sollten im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und eindeutig gekennzeichnet sein.

Bei einem längeren Fahren mit hohen Geschwindigkeiten wird die eigene Fahrgeschwindigkeit unterschätzt (Adaptation) (KÄMPFE u. a., 2005). Aus diesem Grund sollte es einen Annäherungsbereich und einen sichtbaren Übergang von der freien Strecke zum Knotenpunkt geben. So hat der Fahrer Gelegenheit sich umzustellen und die korrekte Erwartung zum vorausliegenden Abschnitt zu bilden (WELLER u. a., 2008; P IARC, 2008; CAMPBELL u. a., 2012).

In Kapitel 6.1.3 wurden Festlegungen der RAL zur Gewährleistung der Erkennbarkeit von Knotenpunkten bereits ausführlich beschrieben. Nach RAL sollen Knotenpunkte an Straßen der EKL 1 und der EKL 2 mindestens aus einer Entfernung von 300 m sowie an Straßen der EKL 3 und der EKL 4 mindestens aus einer Entfernung von 200 m erkennbar sein. Dies kann u. a. dadurch gewährleistet werden, dass Knotenpunkte in einer Wanne angeordnet werden. Weiterhin kann die Erkennbarkeit durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessert werden. Die RAL geben zudem Grenzwerte für die maximale Längsneigung in der untergeordneten Straße an, um u. a. die Erkennbarkeit des Knotenpunktes zu gewährleisten (FGSV, 2012, S. 52 ff.). Zusätzlich beschreiben die RAL drei Sichtfelder für Knotenpunkte: Haltesicht, Anfahrsicht und Annäherungssicht (vgl. Kapitel 6.1.3).

Weiter kann nach den ESLa die Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten und dadurch auch

Bild 58: Bepflanzung in Außenkurve eines planfreien Knotenpunktes (FGSV, 2003)

Bild 59: Bepflanzung hinter Einmündung (FGSV, 2003)

die Verkehrssicherheit durch Bepflanzungen verbessert werden. Parallel zur Fahrbahn laufende Gehölzpflanzungen in den Außenkurven von planfreien Knotenpunkten können die optische Führung unterstützen (Bild 58). Werden hinter Einmündungen Bepflanzungen vorgenommen, kann dies die Erkennbarkeit des Knotenpunktes fördern (Bild 59) (FGSV, 2003, S. 18).

Die Regelwerke führen umfassend aus, auf welche Weise die Erkennbarkeit von Knotenpunkten gewährleistet werden kann. Dies erfolgt in Form der Definition eines Sichtfeldes für die Annäherungssicht (Bild 45), welches bei der untergeordneten Knotenpunktzufahrt freizuhalten ist. Es wird empfohlen, in der RAL auf die ESLa zu verweisen.

6.3.5 Übergänge zur Ortschaft

Übergänge von der freien Strecke zur Ortschaft sollten rechtzeitig und deutlich gekennzeichnet sein.

Analog zu den Knotenpunkten im Zuge der freien Strecke (vgl. Kapitel 6.3.4) sollte es einen Annäherungsbereich und einen sichtbaren Übergang von der freien Strecke zur Ortschaft geben.

Die ESLa weisen darauf hin, dass die Gestaltung von Übergangsbereichen zwischen Ortschaften und der freien Strecke harmonisch und verkehrssicher ist, wenn sie durch einen allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik geprägt ist (Bild 60). Dieser kann durch eine geschwindigkeitsdämpfende Linienführung in Verbindung mit Gehölzpflanzungen realisiert werden (FGSV, 2003, S. 15).

Bild 60: Gestaltung von Ortseinfahrten (MIL, 2012)

Die RASt 06 (FGSV, 2006) weisen darauf hin, dass dem Fahrzeugführer die Übergänge zwischen der freien Strecke und der Ortseinfahrt verdeutlicht werden müssen. Dazu führen sie folgende Maßnahmen auf:

- Anordnung eines Geschwindigkeitstrichters,
- Anordnung der Ortstafel am Beginn der Bebauung und
- Gewährleistung der Erkennbarkeit des Bebauungsbeginns.

Neben der Verdeutlichung der Ortseinfahrt können nach den RASt 06 folgende Maßnahmen die Geschwindigkeit dämpfen:

- Mittelinsel mit beidseitigem Versatz,
- kleiner Kreisverkehr,
- Fahrbahnverengungen und
- ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen.

Verkehrstechnische Maßnahmen wie ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen sollten erst nach Ausschöpfung aller gestalterischen Maßnahmen zur Anwendung kommen.

Die Vorgaben der RASt 06 werden auch durch die ESAS (FGSV, 2002a) aufgegriffen.

Die Geschwindigkeiten vor Ortseinfahrten können auch durch geeignete Bepflanzungen reduziert werden. Dieser Aspekt wird in den Regelwerken derzeit sehr knapp innerhalb der ESLa thematisiert. Durch eine kontrastreiche Bepflanzung kann dem Fahrer gut eine vorausliegende Ortsdurchfahrt angekündigt werden (Bild 61, Bild 62). Um dem Fahrer einen

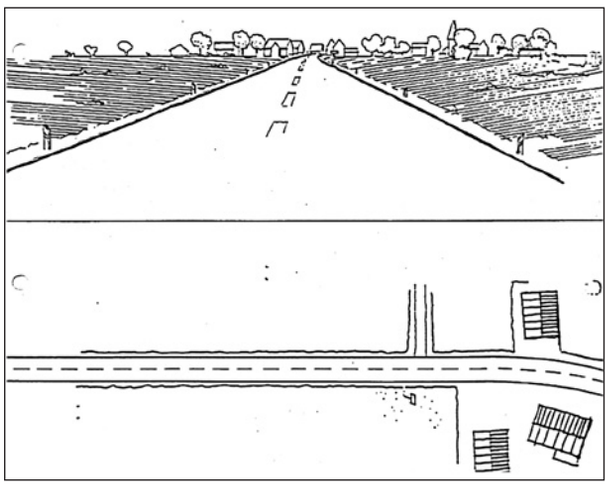


Bild 61: Ortseinfahrt ohne Bepflanzung (Anhäuser, 1997)

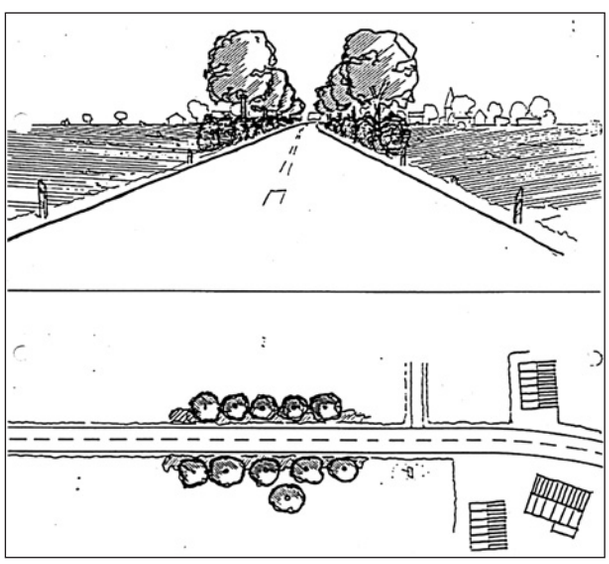


Bild 62: Ortseinfahrt mit Bepflanzung (Anhäuser, 1997)

Wechsel in der Streckencharakterisitik anzukündigen, sollte die Bepflanzung auch die Sicht auf die vorausliegende Ortschaft ermöglichen.

Die Regelwerke gehen innerhalb der RASt 06 und der ESLa auf den Übergang von der freien Strecke zur Ortschaft ein. Es wird empfohlen, in den RAL auf die RASt 06 und die ESLa zu verweisen. Die ESLa sollten um weitere Ausführungen und Beispiele zur Gestaltung von Ortseinfahrten ergänzt werden.

6.3.6 Unter- und übergeordnete Straßen

Unter- und übergeordnete Straße müssen als solche klar erkennbar sein.

Damit der Fahrer eine adäquate Erwartung hinsichtlich seiner Bevorrechtigung ausbilden kann, müssen die unter- und übergeordnete Straße im

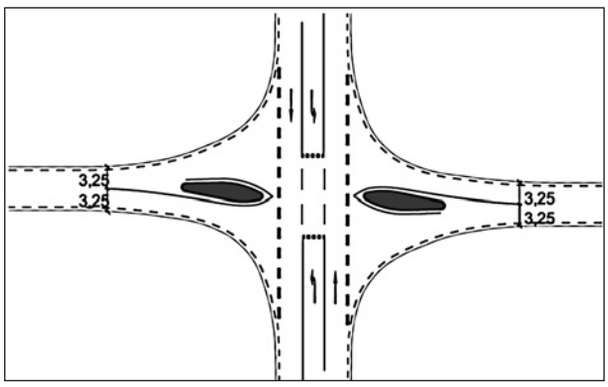


Bild 63: Verdeutlichung der untergeordneten Zufahrt durch die Anordnung eines Fahrbahnteilers (FGSV, 2012, S. 131)

Knotenpunkt optisch eindeutig zu unterscheiden sein (HELMERS, 2014).

Die RAL beschreiben in Abhängigkeit von der Entwurfsklasse verschiedene Bewegungsvorgänge in Knotenpunkten. Bei Straßen der EKL 1 ist das Ein- und Ausfädeln maßgebend. Auf Straßen der EKL 2 finden Einbiege- und Abbiegevorgänge statt, die durch eine Lichtsignalanlage mit Linksabbiegerschutz gesichert werden sollen. Die Bewegungsvorgänge Einbiegen, Abbiegen und Kreuzen sowie der Einsatz eines Kreisverkehrs werden in Knotenpunkten bei Straßen der EKL 3 und EKL 4 realisiert. Dabei kann der Einsatz einer Lichtsignalanlage geprüft werden. Bei den Bewegungsvorgängen Einbiegen, Abbiegen und Kreuzen müssen unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar sein.

Knotenpunkte sind nach den RAL so zu gestalten, dass die Führung der durchfahrenden, ein- und abbiegenden sowie kreuzenden Verkehrsströme sicher ist. Ziel ist es, den Fahrern auf der untergeordneten Straße zu verdeutlichen, dass sie am Knotenpunkt dem kreuzenden Verkehr die Vorfahrt gewähren müssen. Dies wird über eine Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt durch einen Fahrbahnteiler (Tropfen) realisiert (Bild 63; FGSV, 2012, S. 72 ff.). Zusätzlich legen die RAL fest, dass im Knotenpunkt die höhere Entwurfsklasse auch die übergeordnete Straße darstellt (FGSV, 2012, S. 72 ff.). Auch durch den Einsatz von Beschilderung und Lichtsignalanlagen wird dem Fahrer die Bevorrechtigung verdeutlicht (FGSV, 2012, S. 53).

Durch die Fahrbahneinengung der untergeordneten Zufahrt erhalten über- und untergeordnete Straße im Knotenpunkt ein unterschiedliches optisches Layout. Zusätzlich ist die höhere Entwurfsklasse im Knotenpunkt auch die bevorrechtigte Straße und automatisch durch einen breiteren Querschnitt im

Vergleich zur untergeordneten Straße gekennzeichnet. Aus verkehrspsychologischer Sicht ermöglicht die Gestaltung der Zufahrt dem Fahrer auf diese Weise, eine zutreffende Erwartung zur Bevorrechtigung auszubilden.

6.3.7 Stetiger Streckenverlauf

Die Straße sollte einen stetigen/kontinuierlichen Streckenverlauf aufweisen.

Widersprüche zwischen den Erwartungen und der tatsächlichen Gestaltung des vorausliegenden Abschnitts können zur Überraschung des Fahrers führen und damit zu Fehlern, wie z. B. nicht angepasste Geschwindigkeit (WELLER u. a., 2008). Die Straße muss der Wahrnehmungslogik des Fahrers folgen, also erwartungskonform verlaufen. Um dies zu erreichen sollte die Straße eine stetige Linienführung aufweisen (PIARC, 2008).

Aus den Untersuchungen von z. B. LIPPOLD (1997) ist bekannt, dass aus Gründen der Verkehrssicherheit aufeinander folgende Radien und Radien im Anschluss an Geraden in ihrer Größe aufeinander abgestimmt werden sollten. Wenn dies nicht erfolgt, kann es zu Fahrfehlern und Unfällen kommen. Daher sind in den RAL zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien und Mindestradien im Anschluss an Geraden definiert (Bild 64, Bild 65). Die RAL weisen zudem darauf hin, dass dem Fahrer durch flankierende verkehrstechnische Maßnahmen verdeutlicht werden soll, wenn die Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen (FGSV, 2012, S. 35/36). Dabei sollten z. B. Richtungstafeln in Kurven (Z 625 StVO) und Gefahrenzeichen Kurve (Z 103 StVO) zum Einsatz kommen. Um Abkommensunfällen vorzubeugen, sollte auch geprüft werden, ob eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erforderlich ist (FGSV, 2012, S. 35 ff., S. 64 ff., S. 83).

Die RAL gehen ausführlich darauf ein, dass durch eine gute Radienrelation eine stetige Fahrweise gefördert wird. Es werden konkrete Angaben dazu gemacht, wie dies im Entwurf umgesetzt werden muss und dass (nicht zu vermeidende) überraschende Elemente (z. B. Kurven) deutlich angekündigt werden müssen. Die Anforderung der stetigen Linienführung wird damit durch das aktuelle Regelwerk hinreichend berücksichtigt.

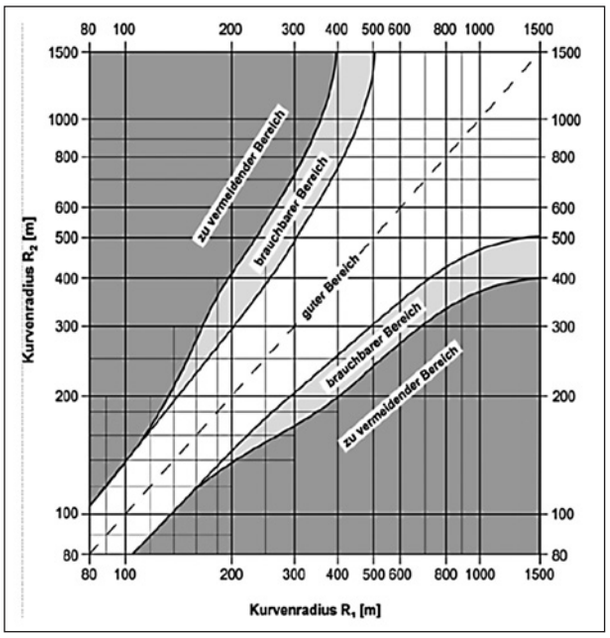


Bild 64: Verhältnis aufeinander folgender Radien (FGSV, 2012, S. 36)

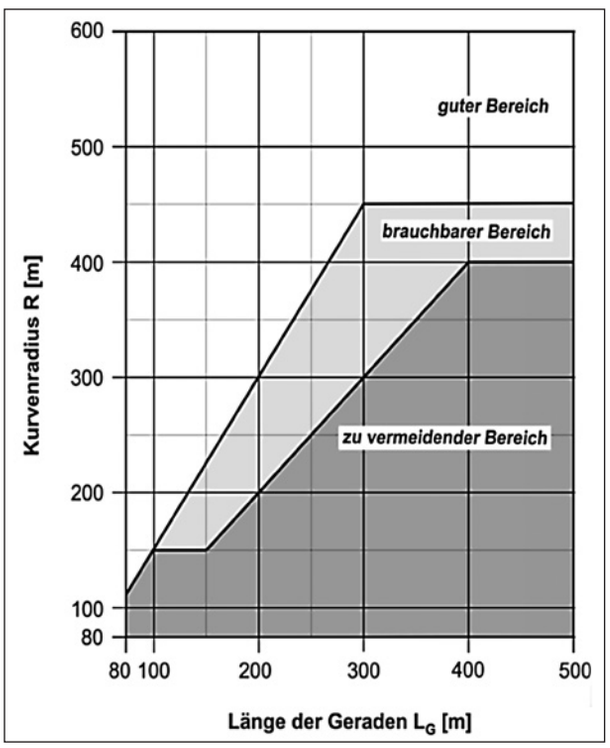


Bild 65: Mindestradien im Anschluss an Geraden (FGSV, 2012, S. 35/ 36)

6.3.8 Erwartung von Hinweisreizen

Hinweisreize sollten an Orten platziert werden, an denen sie erwartet werden.

Informationen werden verstärkt aufmerksam wahrgenommen, wenn sie erwartungskonform (Stetigkeit) sind und einen Wert für die Bewältigung der Fahraufgabe besitzen (WICKENS u. a., 2013). Im

psychologischen Sinn müssen sie als Figur vor dem Hintergrund hervortreten und damit Aufmerksamkeit finden. Sie wahrzunehmen darf nicht mit Anstrengung oder gar Suchprozessen seitens des Straßennutzers verbunden sein. Wichtige Hinweisreize sollten daher an Orten platziert werden, an denen sie erwartet werden. So wird vermieden, dass diese erst sehr spät bzw. gar nicht entdeckt werden (THEEUWES/GODTHELP, 1995).

Nach den RWB (BMVBW, 2000) sollten bei der wegweisenden Beschilderung u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern gegeben werden. Weiter sind Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt festgelegt.

Die RWB berücksichtigen damit die Anforderung zur Platzierung von Hinweisreizen.

6.3.9 Förderung intuitiv richtigen Verhaltens durch die Straßengestaltung

Förderung intuitiv richtigen Verhaltens durch die Gestaltung (Instruktionsqualität der Straße)

Der Straßennutzer sollte einen Aufbau vorfinden, der seiner Wahrnehmungslogik folgt und ihn so in intuitiv richtigem Verhalten unterstützt. Speziell bei Zufahrten, sollte die Straße den Nutzer zum richtigen Verhalten anleiten, um Falschfahrten zu vermeiden (HELMERS, 2014). Dies kann nach CAMPBELL u. a. (2012) durch Markierungen, Verkehrszeichen oder bauliche Fahrtrichtungstrennungen unterstützt werden. Auch Maßnahmen zur Vermeidung optischer Fehlleitungen, wie z. B. dem Kaschieren eines früheren Trassenverlaufs (optischer Durchschuss) unterstützen intuitiv richtiges Verhalten.

MAIER u. a. (2015) konnten zeigen, dass das richtige Auffahren an Anschlussstellen durch eine verbesserte visuelle Führung gefördert werden kann (vgl. Kapitel 4.8). Es ist vorgesehen, die Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die „Richtlinien für die Markierung von Straßen“ (RMS; FGSV, 1993) zu übernehmen. Vorab sind die Länder dazu angehalten, die Empfehlungen in Abstimmung mit den Straßenverkehrsbehörden anzuwenden (BMVI, 2014).

Die Anforderung wird durch die aktuellen Empfehlungen des BMVI sowie durch die künftige Aufnahme der Erkenntnisse in die RMS ausreichend berücksichtigt.

6.3.10 Forschungsbedarf zur motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße

Es besteht aktuell noch Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Straße, ähnlich dem Konzept der Affordanzen (NORMAN, 2002), Aufforderungscharakter besitzt. Beim Autofahren spielen Motive und Einstellungen eine entscheidende Rolle (NÄÄTÄNEN/SUMMALA, 1974). In Abhängigkeit von der Straßengestaltung kann die Straße in diesem Sinne auch bestimmte Motive des Nutzers adressieren und in der Konsequenz zu bestimmtem Verhalten auffordern. Zum Beispiel entstehen so genannte „Motorradstrecken“, da diese durch ihre Gestaltung die Motive und Einstellungen der Motorradnutzer bedienen. Dadurch stellt die motivationale Verhaltensaufforderung als Eigenschaft einer Straße auch einen wichtigen Unfallursachenfaktor dar.

Es sollte untersucht werden, inwiefern die Verhaltensaufforderung einer Straße quantifiziert werden kann und ob bzw. in welcher Form eine solche Konkretisierung in den Straßenentwurf eingebracht werden kann.

6.3.11 Forschungsbedarf zur Adaptation in Richtung vermehrter Vorsicht

Weiterer Forschungsbedarf besteht zu der Frage, wie sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit (bei gleicher objektiver Gefahr) erhöhen lässt.

Die Wahrnehmung von Unsicherheit und Gefahr führt regelmäßig zu einer Verhaltensadaptation in Richtung vermehrter Vorsicht (SCHLAG, 2008). So beruht auch die Idee des shared space darauf, dass bei als unsicher wahrgenommener Lage vorsichtiger und umsichtiger agiert wird.

Ein Erfahrungsbericht, der im Arbeitskreises 3.9.5 gegeben wurde, illustriert das Prinzip gut. Hier wurde von einem temporären Rückgang der Unfallzahlen an plangleichen Kreuzungen in Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Nutzung angrenzender Felder berichtet. Dabei bewirkt die Einschränkung der Sichtfelder durch hochgewachsenes Getreide offenbar, dass sich die Straßennutzer in dieser Zeit vorsichtiger an den Knotenpunkt annähern. Eine bewusste Einschränkung der Sichtfelder an Knotenpunkten ist im Regelwerk nicht vorgesehen und nicht sinnvoll. Das Beispiel zeigt jedoch, dass posi-

tive (wie negative) Verhaltensadaptation zu bedenken ist und ggf. auch durch Gestaltungselemente hergestellt bzw. unterstützt werden kann.

6.4 Beanspruchung

Bei der Fahrzeugführung müssen verschiedene Aufgaben bewältigt werden, die unterschiedliche Anforderungen an den Fahrer stellen. Dabei ist der Fahrzeugführer bestrebt (unbewusster Prozess), seine Beanspruchung auf einem optimalen Niveau konstant zu halten (FULLER, 2005), wodurch sich verschiedene Verhaltensweisen der Kompensation erklären lassen (SCHLAG/HEGER, 2004). Sowohl Über- als auch Unterforderung wirken sich dabei negativ auf die Leistung aus (DE WAARD, 1996). Gelungene Straßengestaltung unterscheidet sich demnach von einem schlechten Entwurf durch ein konstantes Workload-Niveau nahe dem Optimum. Im Gegensatz dazu führt inkonsistentes Design zu höherer Beanspruchung sowie zu einer ungleichmäßigeren Geschwindigkeitswahl (FULLER, 2005) (vgl. Kapitel 3.3.5).

Um eine Strecke hinsichtlich ihrer Beanspruchung des Nutzers zu optimieren, sollten die im Folgenden beschriebenen Anforderungen im Straßenentwurf berücksichtigt werden.

6.4.1 Querschnitte und Geschwindigkeiten

Für höhere Geschwindigkeiten sollten breite Querschnitte vorgesehen werden. Für geringe Geschwindigkeiten sollten die Querschnitte (optisch oder baulich) verringert werden.

Breite Querschnitte erhöhen den wahrgenommenen Komfort und senken die Beanspruchung, was zu einer kompensatorischen Geschwindigkeitserhöhung führen kann (SCHLAG/HEGER, 2004; DE WAARD, 1996). Dabei ist der Faktor „comfort“ ein wichtiger Prädiktor für die Geschwindigkeit, die subjektiv als angemessen bewertet wird (WELLER u. a., 2008). Es ist effektiver, den wahrgenommenen Komfort zu mindern, um die Geschwindigkeit zu senken als die subjektive Sicherheit zu mindern oder die subjektiven Anforderungen/Belastungen zu erhöhen. Ziel muss es sein, die Beanspruchung zu optimieren und nicht zu minimieren.

Wie weiter vorn beschrieben, legen die RAL vier EKL mit unterschiedlichen Querschnitten fest (vgl. Kapitel 6.1). Dabei nehmen sowohl der Querschnitt als auch die Planungsgeschwindigkeit von der höchsten zur niedrigsten EKL ab (FGSV, 2012, S. 18 ff.). Die Ergebnisse der Untersuchung von SCHLAG u. a. (2015) zeigen, dass durch die Position der Längsmarkierungen der Eindruck eines schmaleren Fahrstreifens erweckt und so die Beanspruchung für den Fahrer beeinflusst werden kann. Dies wird durch die Straßennutzer mit einer Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit kompensiert. Die Ergebnisse finden in der Ausgestaltung der EKL 4 Anwendung, wo dieser Effekt ausdrücklich gewünscht wird.

Innerhalb der RAL wird die Anforderung bereits umfassend berücksichtigt, da breitere Querschnitte mit höheren Fahrgeschwindigkeiten kombiniert werden. Das Prinzip, die Beanspruchung zu erhöhen, um die Geschwindigkeit zu senken, wird in der EKL 4 umgesetzt. Der Effekt der um 0,50 m abgerückten seitlichen Leitlinien ist bei der noch verbleibenden Restbreite zwischen den Leitlinien eher gering. Er könnte vergrößert werden, wenn der Abstand zum Rand der befestigten Fläche weiter vergrößert wird. Darüber hinaus kann diskutiert werden, ob ein Hinweis zu kompensatorischen Geschwindigkeitserhöhung nach Deckenerneuerungen gegeben werden sollte, da sich auch hier der wahrgenommene Komfort für den Fahrer erhöht.

6.4.2 Abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung

Der Seitenraum sollte, v. a. bei längeren Geraden, abwechslungsreich gestaltet werden. Gleichförmige und monotone Anordnungen sind zu vermeiden.

Zu geringe Anforderungen/Reize (underload) können zu einer Fahrerdeaktivierung (Monotonieerleben) und damit zu verlängerten Reaktionszeiten sowie einer kompensatorischen Geschwindigkeitserhöhung führen (BROOKHUIS/DE WAARD, 1993). Daher sind v. a. längere Geraden mit großen Sichtweiten sowie gleichförmige, regelmäßige Anordnungen zu vermeiden. Die Literaturanalyse zeigt, dass Umgebungselemente vom Straßennutzer zur Einschätzung von Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit genutzt werden, da nahe Objekte unter Eigenbewegung schneller vorbei ziehen als weiter entfernte (GIBSON, 1986; GOLDSTEIN, 2011). Auch die Time-to-collison (TTC) wird überschätzt, wenn wenig Umweltstrukturmerkmale verfügbar sind (CAVALLO/ COHEN, 2001).

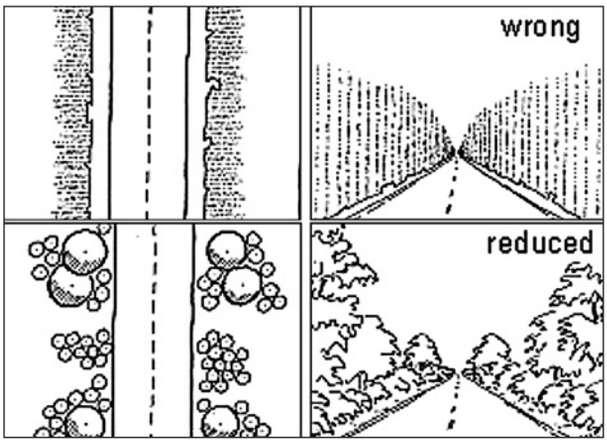


Bild 66: kontrastarme (oben) und kontrastreiche (unten) Gestaltung des Seitenraumes (PIARC, 2008)

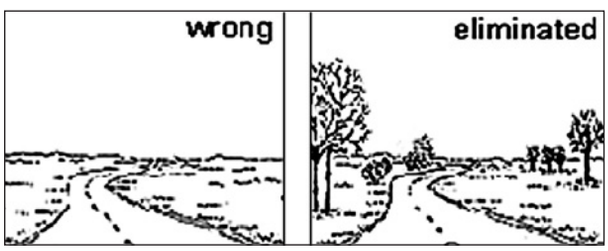


Bild 67: Raumbildung durch Bepflanzung (PIARC, 2008)

Um den Straßenseitenraum abwechlungsreich zu gestalten, eignet sich die Anordnung raum- und strukturbildender Elemente (PIARC, 2008). Es können auch Farb- und Helligkeitskontraste genutzt werden, z. B. in Form verschiedenfarbiger Bepflanzungen mit unterschiedlichen Wuchshöhen (ANHÄUSER, 1997). In jedem Fall sollte die Bepflanzung parallel zur Fahrbahn angeordnet werden.

Die RAL weisen auf die Aspekte der Blendwirkung und der Monotonie bei langen Geraden hin (FGSV, 2012, S. 41). Deshalb empfehlen sie eine Begrenzung der Geradenlänge auf max L_G = 1.500 m (FGSV, 2012, S. 35).

Die ESLa führen aus, dass

- der Straßennutzer eine abwechslungsreiche Gestaltung des Straßenseitenraums erwartet,
- eine aufgelockerte Bepflanzung eine positive optische Wirkung hat,
- ein abwechslungsreicher Anblick durch Bepflanzungen mit unterschiedlicher Wuchsform, Belaubung, Fruchtschmuck sowie durch das Vor- und Zurücktreten der Gehölze geboten wird (FGSV, 2003, S. 12, S. 23).

Hinweise zur Gestaltung eines kontrastreichen Seitenraums sollten ergänzt werden. Hierzu kann ein Verweis auf die ESLa erfolgen. Die ESLa sollten um Ausführungen zu Höhe, Farbe und Abständen der Bepflanzung ergänzt werden (Bild 66). Dabei sollte die positive Wirkung solcher Anpflanzungen auf Aufmerksamkeit, Beanspruchung und Geschwindigkeitsverhalten des Straßennutzers herausgestellt werden. Durch die Verfügbarkeit von Hinweisreizen in unmittelbarer Umgebung kann der Fahrer die Geschwindigkeiten besser einschätzen. Zusätzlich wird die Wahrnehmung des Streckenverlaufs unterstützt (Bild 67) und der Fokus des Fahrers verbleibt im wichtigen Nahbereich vor dem Fahrzeug (geringe Blickfeldtiefe).

Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob und wie die Erkenntnisse zur TTC als konkrekte Maßzahlen für den Anwender aufbereitet werden können.

6.4.3 Beanspruchung und Überholmöglichkeiten

Zum Vermeiden erhöhter Beanspruchungsfolgen sollten ausreichend Überholmöglichkeiten zur Verfügung stehen.

Der Kraftfahrer ist bestrebt, seine Beanspruchung auf einem optimalen Niveau konstant zu halten (FULLER, 2005). Gelingt dies nicht, ist mit kompensatorischem Verhalten (z. B. Überholen trotz Verbot) zu rechnen (SCHLAG/ HEGER, 2004). Auch aus diesem Grund sollten in der Planung ausreichend Überholmöglichkeiten vorgesehen werden.

Aus Sicherheitsgründen verfolgen die RAL in Abhängigkeit von der EKL ein differenziertes Konzept zum Überholen. Dies reicht von gesicherten Überholmöglichkeiten (auf eigenen Überholfahrstreifen) über die Prüfung ausreichender Sichtweiten zum Überholen unter Nutzung des Gegenverkehrsfahrstreifens bis zur angestrebten Unterbindung von Überholungen.

Nach RAL besteht in Abhängigkeit von der Verbindungsfunktion und vom Verkehrsaufkommen einer Straße ein unterschiedlicher Überholbedarf. Dieser nimmt von EKL 1 zu EKL 4 ab. Daher gibt es bei EKL 1 kontinuierlich (40 % pro Richtung) ÜFS, EKL 2 abschnittsweise ÜFS (mehr als 20 % pro Richtung), EKL 3 Überholen unter Mitbenutzung des Gegenfahrstreifens, EKL 4 Überholen unerwünscht (FGSV, 2012, S. 19 - 32). Bei den einbahnig zweistreifigen Querschnitten wird zur Gewährleistung des sicheren Überholens eine Sichtweite nach den RAL von 600 m gefordert. Kann diese

nicht eingehalten werden, soll das Überholen in diesen Bereichen verboten werden.

Bei der Anordnung von Überholfahrsteifen nach den RAL ist Folgendes zu berücksichtigen (FGSV, 2012, S. 19 - 32).:

- Anordnung von Wechselstellen in gut überschaubaren und in nicht abflussschwachen Bereichen,
- keine Anordnung unmittelbar vor dem Ausbauende bei sich wesentlich ändernder Streckencharakteristik,
- möglichst keine Anordnung in engen Rechtskurven und Gestaltung einer abrupten und deutlich erkennbaren Querschnittsänderung aus wahrnehmungspsychologischen Gründen.

Nach LIPPOLD u. a. (2011) und JÄHRIG (2012) sollte zur besseren Erkennbarkeit das Ende des Überholfahrstreifens mit breiten Vorankündigungspfeilen signalisiert werden. Weiterhin sollten die Längen der Überholfahrstreifen durch Verkehrslenkungstafeln angezeigt werden. Diese Empfehlungen wurden in die RAL übernommen. Zudem empfehlen die RAL, den Überholfahrstreifen im zweistreifigen Abschnitt von Straßen der EKL 2 durch eine Informationstafel anzukündigen, um den Überholdruck abzubauen (FGSV, 2012, S. 88/89). Die RAL geben darüber hinaus auch v. a. aus Gründen der Verkehrssicherheit Empfehlungen, was bei Überholfahrstreifen in Knotenpunktbereichen zu beachten ist. Dabei empfehlen sie u. a., dass Überholfahrstreifen rechtzeitig vor plangleichen Knotenpunkten einzuziehen sind (FGSV, 2012, S. 30/31).

Die Anforderung an den Straßenentwurf, ausreichend Überholmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen werden aus verkehrspsychologischer Sicht innerhalb der RAL umfassend berücksichtigt.

6.4.4 Fehlervermeidender und fehlerrückmeldender Knotenpunkt

Die Gestaltung von Knotenpunkten sollte fehlervermeidend und fehlerrückmeldend sein.

Fahrfehler können verschiedene Ursachen haben, wie z. B. Ablenkung, und auf allen Ebenen der Fahraufgabe auftreten (Navigations-, Manöver-, Kontrollebene) (MICHON, 1985; RASMUSSEN, 1983). Aus diesem Grund wird eine fehlervermeidende Gestaltung gefordert (z. B. CAMPBELL u. a., 2012; WEGMAN u. a., 2008; RIJKSWATERSTAAT, 2008). Dabei sollte die Straße dem Fahrer bei einem Fahrfehler bzw. regelwidrigem Verhalten eine deutliche Rückmeldung geben. Dies kann z. B. über negative Verstärkung durch Rüttelstreifen geschehen. Nur so ermöglicht die Straßengestaltung dem Nutzer aus den gemachten Fehlern zu lernen (self-enforcing).

Nach den RAL sollten Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar gestaltet werden, um die sichere Führung im Knotenpunkt zu gewährleisten (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.). Auch die festgelegten Bewegungsvorgänge (vgl. Kapitel 6.3.6) fördern die Fehlervermeidung. Unabhängig vom Entwurfselement geben die RAL an, dass das Straßenumfeld so ausgebildet werden soll, dass ein Abkommen von der Fahrbahn nicht zu schweren Unfallfolgen führt (Prinzip des Fehler verzeihenden Straßenumfeldes) (FGSV, 2012, S. 83).

Es besteht aktuell noch Forschungsbedarf dazu, wie Knotenpunkte in der Praxis fehlervermeidend und rückmeldend gestaltet werden können.

6.4.5 Forschungsbedarf zur Time-to-Line-Crossing (TLC)

Es besteht aktuell noch Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing (TLC).

Unter der Annahme gleichbleibender Geschwindigkeit kann die Zeit bis zum Befahren der rechten oder linken Fahrbahnbegrenzung berechnet werden. Dieses Maß wird als Time-to-Line-Crossing (TLC) bezeichnet. Die TLC ist dabei umso geringer, je kleiner die Spurbreite, je größer der gewählte Lenkwinkel vom Straßenverlauf abweicht und je höher die gefahrene Geschwindigkeit ist. VAN WIN-

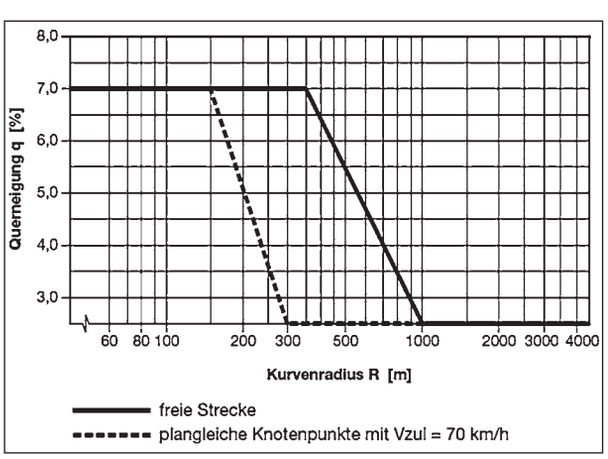


Bild 68: Querneigung in Abhängigkeit vom Kreisbogen (FGSV, 2012)

SUM/ GODTHELP (1996) zeigen, dass der minimale TLC-Wert durch Anpassen der Geschwindigkeit auf einem Niveau von zwei bis drei Sekunden gehalten wird. Demnach wird ein engerer Kurvenradius durch eine reduzierte Geschwindigkeit kompensiert. Aktuell besteht noch Forschungsbedarf dazu, ob und wie die Erkenntnisse zur TLC für den Anwender hilfreich aufbereitet werden können.

Innerhalb der Regelwerke gibt es derzeit keine Festlegungen zur Berücksichtigung der TLC.

6.4.6 Forschungsbedarf zu wahrgenommenen Fliehkräften

Es besteht aktuell noch Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte.

Aus der Literatur ist bekannt, dass die vestibular und propriozeptiv wahrgenommenen Fliehkräfte in Kurven ein vom Fahrer akzeptiertes Limit nicht überschreiten sollten (REYMOND u. a., 2001).

Aus fahrdynamischen Gründen und zur besseren Erkennbarkeit von Kreisbögen wird nach den RAL die Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (Bild 68). Die Größen ergeben sich aus der Grundgleichung der Fahrdynamik.

Forschungsbedarf besteht in diesem Zusammenhang zu den folgenden Fragen: Ist es möglich, das vom Fahrer akzeptierte Limit zu quantifizieren und so in konkrete Maßzahlen für den Anwender zu überführen? Welche Auswirkungen (positive und negative) hat ein Über- und Unterschreiten eines solchen Limits auf den Fahrer und damit auf die Verkehrssicherheit?

6.5 Zusammenfassung

In der Schnittstellenanalyse wurde überprüft, inwieweit die, als maßgebend für den Entwurf von Landstraßen, identifizierten wahrnehmungspsychologischen Human Factors bereits in den aktuellen Regelwerken berücksichtigt werden und wo Ergänzungen diskutiert oder neue Erkenntnisse empirisch geprüft werden sollten.

Es wurden folgende Regelwerke betrachtet:

- „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen“ (RAL; FGSV, 2012),
- Entwurf zum „Merkblatt zur Übertragung des Prinzips der Entwurfsklassen auf bestehende Straßen“ (M EKLBest; FGSV, 2016),
- „Richtlinien für die Markierung von Straßen“ (RMS; FGSV, 1993),
- „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“ (HBS; FGSV, 2015),
- „Richtlinien für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen“ (RWB; BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW), 2000),
- „Empfehlungen zur Einbindung von Straßen in die Landschaft“ (ESLa; FGSV, 2003),
- Empfehlungen des BMVI und der Ministerien der Länder sowie
- StVO (2013) und VwV-StVO (2015).

Bei der Analyse der Regelwerke wurde v. a. geprüft, ob die relevanten Human Factors in den Regelwerken ausreichend berücksichtigt sind oder ob dazu weitere Ausführungen erforderlich sind.

Im Ergebnis der Schnittstellenanalyse hat sich gezeigt, dass der überwiegende Teil der Anforderungen, die aus den identifizierten Human Factors abgeleitet werden konnten, durch die für Landstraßen maßgebenden Regelwerke berücksichtigt werden (Tabelle 12).

Folgendes ist noch offen:

6.5.1 Informationsaufnahme

Unter dem Human Factor Informationsaufnahme wurde Ergänzungsbedarf identifiziert. Es wird empfohlen, im Regelwerk darauf hinzuweisen, dass die Menge an aufzunehmender Information, dem Geschwindigkeitsniveau entsprechen sollte.

Im Weiteren wurden Anforderungen an die Beschilderung formuliert. Es wird eine Ergänzung hinsichtlich der Anordnung der Beschilderung mit angemessenem Kontrast zum Hintergrund empfohlen. Zusätzlich sollten Vorwegweiser durch eine Darstellung, analog dem Streckenverlauf (vgl. Kapitel 6.1.5), optimiert werden. Die Ergänzungen sollten in die RWB eingearbeitet werden.

Bei der Beschreibung des Human Factor Informationsaufnahme wird auch darauf hingewiesen, dass akustische und taktile Reizaufnahme nicht selektiv sind. Daher wird empfohlen, in den RAL auf den

Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale im Bereich von Singularitäten hinzuweisen (z. B. falls aufgrund von Zwangspunkten ein Defizit in der Linienführung entsteht).

Neben den bisher aufgeführten Ergänzungen wird angeregt, in den RSAS im Zusammenhang mit Blendungen bzw. wechselnden Helligkeiten (vgl. Kapitel 6.1.7) eine Streckenbegehung zu empfehlen. Darüber hinaus sollten im Fall von Alleen ausreichende Adapatationszeiten gewährleistet werden. Hierfür können sich verschiedene Maßnahmen eignen, z. B. eine frühzeitige Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, ggf. mit dem Hinweis auf ungünstige Sichtverhältnisse.

6.5.2 Aufmerksamkeit und Wahrnehmung

Die Anforderung der visuellen Führung durch den Straßenseitenraum und die Widerspruchsfreiheit zwischen Straße und Umfeld wurde aus dem Human Factor Aufmerksamkeit und Wahrnehmung abgeleitet. Hierzu wird empfohlen, in den RAL eine Ergänzung vorzunehmen. Besonders auf die Vorbeugung von Widersprüchen sollte eingegangen werden. Die ESLa sollten um konkrete Angaben zur visuellen Führung durch Bepflanzungen ergänzt werden, da die Angaben hierzu allgemein und wenig detailliert sind. Die Forderung, den Kurvenverlauf durch Bepflanzung zu verdeutlichen, wird in den ESLa berücksichtigt. Die RAL sollten an geeigneter Stelle um einen Verweis auf die ESLa ergänzt oder Inhalte in die RAL übernommen werden. Bei einer Überarbeitung kann sich an den HVO (SPORBECK u. a., 2002) orientiert werden.

Im Weiteren besteht Diskussionsbedarf dazu, wie die Erkenntnisse zur Aufmerksamkeitslenkung durch den Straßenentwurf praktisch berücksichtigt werden können.

6.5.3 Erwartungskonformität

Hinsichtlich des Human Factor Erwartungskonformität wird empfohlen, in den RAL einen konkreten Verweis auf die RASt und die ESLa bezüglich der Gestaltung von Ortseinfahrten zu ergänzen. Annäherungsbereiche sollten so ausgestaltet sein, dass der Straßennutzer ausreichend Gelegenheit hat, sich auf den vorausliegenden Streckenabschnitt einzustellen. Die ESLa sollten hierzu um weitere Ausführungen und Beispiele zur Gestaltung von Ortseinfahrten ergänzt werden. Auch im Zusammenhang mit der Erkennbarkeit von Knotenpunkten im Zuge der freien Strecke wird ein Verweis der RAL auf die ESLa empfohlen.

6.5.4 Beanspruchung

Aus dem Human Factor Beanspruchung ergibt sich die Forderung nach einer abwechlungsreichen Seitenraumgestaltung und Linienführung. Hierzu sollten innerhalb der ESLa Ergänzungen vorgenommen werden. Vorschläge dazu sind unter Kapitel 6.4.2 aufgeführt. Auch hier sollte vor dem Hintergrund der Vermeidung negativer Beanspruchungsfolgen, wie Ermüdung und Monotonie, ein Verweis der RAL auf die ESLa erfolgen.

6.5.5 Forschungsbedarf

Im Ergebnis der Schnittstellenanalyse wurde darüber hinaus Forschungsbedarf identifiziert.

Da die Erkenntnisse zum useful field of view (UFOV) (vgl. Kapitel 6.1.1) aktuell keine konkreten Maßzahlen zur Verfügung stellen, sollte erforscht werden, in welcher Form eine Ableitung konkreter Maßzahlen für den Anwender möglich ist und wie diese im Entwurf eingesetzt werden könnten.

Ein Forschungsvorhaben zur Trennschärfe zwischen EKL 2 und EKL 3 sollte klären, ob diese aktuell hinreichend gegeben ist, wie diese gegebenenfalls verbessert werden könnte oder ob eine Verringerung der Anzahl der EKL von vier auf drei EKL angebracht ist, um eine ausreichende Trennschärfe zu gewährleisten.

Im Zusammenhang mit der EKL 4 wird darauf hingewiesen, dass sich durch einen größeren Abstand der seitlichen Leitlinien die positiven Effekte der Gestaltung der EKL 4 auf das Fahrverhalten vergrößern würden. In diesem Zusammenhang sollte geprüft werden, ob durch einen vergrößerten Abstand der seitlichen Leitlinien ein Schutzstreifen für den Radverkehr interpretiert werden kann und ob eine solche Interpretation negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit von Straßen der EKL 4 hätte. Dabei sollten auch die Ergebnisse des NRVP-Projektes „Modellversuch zur Abmarkierung von Schutzstreifen außerorts und zur Untersuchung der Auswirkungen auf die Sicherheit und die Attraktivität im Radverkehrsnetz“ berücksichtigt werden.

Zum Einsatz optischer Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkende/anamorphe Markierungen) gibt es derzeit keine Festlegungen in den

Regelwerken. Vor der Aufnahme in ein Regelwerk sollte zunächst die (langfristige) Wirksamkeit sowie mögliche Einsatzbereiche von verschiedenen Varianten optischer Bremsen untersucht werden.

Darüber hinaus sollte geprüft werden, ob und wie die Erkenntnisse zur Time-to-Collision (TTC) als konkrete Maßzahlen für den Anwender aufbereitet werden können.

Eine weitere Forschungsfrage kann dazu formuliert werden, wie Knotenpunkte in der Praxis fehlervermeidend und rückmeldend gestaltet werden können.

Bisherige Forschungsergebnisse zeigen zudem, dass unabhängig vom Kurvenradius bei Kurvendurchfahrt ein Mindestabstand zur Fahrstreifenbegrenzung (TLC) von 2 bis 3 Sekunden eingehalten wird. Ungeklärt ist bisher, ob und wie diese Erkenntnisse für die Anwendung im Straßenentwurf aufbereitet werden können.

Zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte in Kurven besteht Forschungsbedarf zur Quantifizierbarkeit sowie zu den Auswirkungen höherer und weniger hoher Fliehkräfte. Der Aspekt der Fliehkräfte wird im Regelwerk aktuell unter dem Kapitel „5.6.1 Querneigung“ behandelt. Künftige Forschung sollte die Frage beantworten, ob die dort getroffenen Festlegungen ausreichen oder Ergänzungsbedarf besteht.

In Abhängigkeit von der Straßengestaltung kann die Straße bestimmte Motive des Nutzers adressieren und in der Konsequenz zu bestimmtem Verhalten auffordern. Es sollte untersucht werden, inwiefern die Verhaltensaufforderung einer Straße quantifiziert werden kann und ob/in welcher Form eine solche Konkretisierung in den Straßenentwurf eingebracht werden kann.

Die Wahrnehmung von Unsicherheit und Gefahr führt regelmäßig zu einer Verhaltensadaptation in Richtung vermehrter Vorsicht. Daher sollte untersucht werden, wie sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit (bei gleicher objektiver Gefahr) bewusst erhöhen lässt.

Die Ergebnisse der Schnittstellenanalyse sind in Tabelle 12 zusammenfassend dargestellt.

6.6 Tabellarische Übersicht - Schnittstellenanalyse

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Ist der HF in den RW ausreichend berücksichtigt? Sind Festlegungen in den RW zu ergänzen?	Empfehlung/ Handlungsansatz für die Regelwerke
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik) (vgl. Kapitel 6.1)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	• Fahrer sollen durch ihre Fahraufgabe nicht überfordert werden. Dies wird u. a. durch folgende Aspekte realisiert: • Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22), • Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36), • räumlich angemessene Linienführung (FGSV, 2012, S. 40 - 45) und erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 45/46, S. 77 - 79).	• Ergänzung zur geschwindigkeitsabhängigen Informationsmenge, ob eine Überführung der Erkenntnisse zum UFOV in konkrete Maßzahlen hilfreich sein kann	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau; zu prüfen, ob eine Überführung der Erkenntnisse zum UFOV in konkrete Maßzahlen hilfreich sein kann
	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Kurveninnenseite frei von Sichthindernissen	• Die Einsehbarkeit wird durch die Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleistet (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46). Nach den ESLa sollten an der Kurvenaußenseite Bepflanzungen vorgenommen werden. Aus Gründen der Verkehrssicherheit sind die Innenkurven frei von Gehölzen zu halten (FGSV, 2003, S. 25).	• ausreichend berücksichtigt; Verweis der RAL auf die ESLa	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen; Verweis der RAL auf die ESLA
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• Nach den RAL sind folgende Sichtweiten stets einzuhalten: erforderliche Haltesichtweite, Orientierungssichtweite, Freihaltung der Sichtfelder an Knoten (FGSV, 2012, S. 45 ff., S. 77 ff.).	• ausreichend berücksichtigt	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen sollten rechtzeitig erkennbar sein

Tab. 12: Schnittstellenanalyse zwischen den in den Regelwerken enthaltenen und den aus der Literatur erarbeiteten Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Ist der HF in den RW ausreichend berücksichtigt? Sind Festlegungen in den RW zu ergänzen?	Empfehlung/ Handlungsansatz für die Regelwerke
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik) (vgl. Kapitel 6.1)	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Markierungen sollen nach den RAL stets ausreichend erkennbar sein (FGSV, 2012, S. 82 ff.). Für die Anordnung von Markierungen sind die RMS maßgebend (FGSV, 1993). Die konkreten Hinweise zur Erfüllung u. a. der Anforderung Erkennbarkeit tags und nachts sind in „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen“ (ZTV M 13; FGSV, 2013) geregelt.	• ausreichend berücksichtigt	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) erkennbar
	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Die Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung soll nach den RWB (BMVBW, 2000) erfolgen. Die Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern. Die RWB geben auch Hinweise zur Gewährleistung der Leserlichkeit, Sichtbarkeit (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• Ergänzung zu ausreichendem Hintergrundkontrast; Optimierung von Vorwegweisern durch Darstellung analog zum Streckenverlauf	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden	• Die RAL geben Empfehlungen, wie Defizite in der räumlichen Linienführung vermieden werden können. Eingegangen wird konkret auf Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn und Dehnungen. Es werden auch Hinweise zur Vermeidung gestalterischer Defizite gegeben (FGSV, 2012, S. 40 - 45).	• ausreichend berücksichtigt;	• optische Täuschungen/ Verzerrungen/ Verdeckungen vermeiden
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik) (vgl. Kapitel 6.1)	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Nach den RAL kann an zweibahnigen Straßen ein Blendschutz für den Pkw-Verkehr angeordnet werden. Dabei ist jedoch auch auf die Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten zu achten. Zusätzlich wird darauf hingewiesen, dass durch lange Geraden die Blendung bei Nacht erhöht wird (FGSV, 2012, S. 35, S. 84).	• Ergänzung zur Gewährleistung ausreichender Adapatationszeiten durch frühzeitige Geschwindigkeitssenkungen bei Alleen; mögliche Empfehlung zur Streckenbegehung, um Bereiche mit Blendung frühzeitig aufzudecken	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden; ggf. mithilfe von Streckenbegehungen prüfen
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• Die RAL geben an, dass aus Gründen der Verkehrssicherheit auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzungen zur Trennung der Fahrtrichtungen zusätzlich so zu profilieren, dass der Kraftfahrer dies deutlich spürt (FGSV, 2012, S. 82).	• Ergänzung zur Anwendung profilierter Markierungen oder Rüttelstreifen im Bereich von Singularitäten (Bestandstraßen)	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• Es gibt hierzu keine Festlegungen in den Regelwerken.	• Forschungsbedarf	• Forschungsbedarf
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption) (vgl. Kapitel 6.2)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• Nach RAL soll die visuelle Führung durch die Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessert werden. Dabei machen die RAL Angaben zu senkrechten Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85). Neben den RAL finden sich in den ESLa Hinweise zu dieser Thematik. Diese sind jedoch allgemein und wenig detailliert (FGSV, 2003).	• Hinweise zu möglichen Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld sind in den Regelwerken zu ergänzen	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld; Ergänzung der Regelwerke
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• die Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel ist gewollt, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• Diskussionsbedarf dazu, wie konkrete Hinweise, z. B. zur Unterbrechung alter Sichtachsen in den Entwurf einfließen können	• Diskussionsbedarf

Tab. 12: Schnittstellenanalyse zwischen den in den Regelwerken enthaltenen und den aus der Literatur erarbeiteten Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Ist der HF in den RW ausreichend berücksichtigt? Sind Festlegungen in den RW zu ergänzen?	Empfehlung/ Handlungsansatz für die Regelwerke
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom) (vgl. Kapitel 6.3)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Die RAL beschreiben vier unterschiedliche EKL in Abhängigkeit der Straßenkategorie. Das wesentliche Wiedererkennungsmerkmal der EKL ist die Längsmarkierung (FGSV, 2012, S. 18 - 22).	• weitgehend berücksichtigt; jedoch Forschungsbedarf zur Trennschärfe der EKL 2 und EKL 3	• trennscharfe Umsetzung des Prinzips der Homogenität und Heterogenität; Forschungsbedarf zur Trennschärfe der EKL 2 und EKL 3
	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) - zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• Für jede EKL und deren Verknüpfungen miteinander sind geeignete Knotenpunktarten vorgegeben (RAL S.52 - 61). Für die EKL sind je nach Straßenkategorie angemessene Gestaltungsmerkmale definiert (FGSV, 2012, S. 20).	• ausreichend berücksichtigt	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte)
	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zu anderen EKL sind eindeutig durch Knotenpunkte oder Ortschaften gekennzeichnet (FGSV, 2012, S. 18). Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• ausreichend berücksichtigt	• Übergänge zwischen EKL durch KP oder Ortschaft
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom) (vgl. Kapitel 6.3)	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Nach RAL sollen Knotenpunkte mind. aus 300 m (EKL 1 und EKL 2) bzw. mind. aus 200 m (EKL 3 und EKL 4) erkennbar sein. Weiter kann die Erkennbarkeit durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessert werden. (FGSV, 2012, S. 52 ff.).	• konkreter Verweis der RAL auf die ESLa hinsichtlich der unterstützenden Gestaltung durch Bepflanzung	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen; Verweis der RAL auf die ESLa ergänzen
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Die ESLa weisen bei der Gestaltung von Übergangsbereichen auf einen allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik hin. Weiter kann nach den ESLa die Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert werden. (FGSV, 2003, S. 18 ff.).Die RASt 06 weisen auf verschiedene Maßnahmen bei Ortseinfahrten hin, z. B. Geschwindigkeitstrichter, Fahrbahneinengungen.	• konkreter Verweis der RAL auf die ESLa und die RASt 06 hinsichtlich der Gestaltung von Ortseinfahrten; Ergänzung der Ausführungen der ESLa um weitere Beispiele und Beschreibungen	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich); Verweis der RAL auf die ESLa ergänzen; Ergänzungen der ESLa
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Über eine Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt durch Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen wird den Fahrern auf der untergeordneten Straße verdeutlicht, dass sie am Knotenpunkt dem kreuzenden Verkehr die Vorfahrt gewähren müssen (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• ausreichend berücksichtigt	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• In den RAL sind zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien und Mindestradien im Anschluss an Geraden definiert. Die RAL weisen zudem darauf hin, dass dem Fahrer durch flankierende verkehrstechnische Maßnahmen verdeutlicht werden soll, wenn die Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen (FGSV, 2012, S. 35/36).	• ausreichend berücksichtigt	• stetiger/ kontinuierlicher Streckenverlauf
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• Nach den RWB sollten bei der wegweisenden Beschilderung u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern gegeben werden. Weiter sind Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• ausreichend berücksichtigt	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden

Tab. 12: Schnittstellenanalyse zwischen den in den Regelwerken enthaltenen und den aus der Literatur erarbeiteten Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Ist der HF in den RW ausreichend berücksichtigt? Sind Festlegungen in den RW zu ergänzen?	Empfehlung/ Handlungsansatz für die Regelwerke
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom) (vgl. Kapitel 6.3)	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Es ist vorgesehen, die Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die RMS (FGSV, 1993) zu übernehmen. Vorab sind die Länder dazu angehalten, die Empfehlungen in Abstimmung mit den Straßenverkehrsbehörden anzuwenden (BMVI, 2014).	• ausreichend berücksichtigt	• die Straße unterstützt intuitiv richtiges Verhalten
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• Es gibt hierzu keine Festlegungen in den Regelwerken	• Forschungsbedarf	• Forschungsbedarf
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• Es gibt hierzu keine Festlegungen in den Regelwerken	• Forschungsbedarf	• Forschungsbedarf
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie) (vgl. Kapitel 6.4)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• Die RAL beschreiben für jede EKL Querschnitte und Planungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• ausreichend berücksichtigt; Möglichkeit den Effekt der EKL 4 noch besser zu nutzen durch größeren seitlichen Abstand der Leitlinie	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern
	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Die RAL weisen auf die Aspekte der Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden hin. Sie empfehlen eine maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m (FGSV, 2012, S. 41, S. 35). Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, jedoch keine zur Anordnung raumbildender Elemente. Die Regelwerke treffen keine Festlegungen zur TTC.	• Ergänzungsbedarf bei den Festlegungen zur Gestaltung des Seitenraums; hier empfiehlt sich ein Verweis der RAL auf die ESLa; die ESLa sollten zu Hinweisen für eine abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung ergänzt werden; zu prüfen, wie die Erkenntnisse zur TTC als konkrete Maßzahlen für den Anwender aufbereitet werden können	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, Vermeidung gleichförmigen, regelmäßigen Anordnungen, v. a. bei längeren Geraden; hierzu wird ein Verweis der RAL auf die ESLa empfohlen; die ESLa sollten ergänzt werden; Forschungsbedarf zur TTC
	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Beanspruchungsfolgen	• Die RAL berücksichtigen in Abhängigkeit der Straßenkategorie einen unterschiedlichen Überholbedarf. Neben Angaben zu Anordnung und Ausstattung von Überholfahrstreifen werden Empfehlungen zum Abbau des Überholdrucks durch Informationstafeln gegeben (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• ausreichende Berücksichtigung	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Nach den RAL sollten Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar gestaltet werden, um die sichere Führung im Knotenpunkt zu gewährleisten (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• Forschungsbedarf	• Forschungsbedarf
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/Lane-Crossing (TLC)	• Es gibt hierzu keine Festlegungen in den Regelwerken.	• Forschungsbedarf	• Forschungsbedarf
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Aus fahrdynamischen Gründen sowie zur besseren Erkennbarkeit von Kreisbögen wird nach den RAL die Querneigung in Kurven in Abhängigkeit der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• Forschungsbedarf	• Forschungsbedarf

Tab. 12: Schnittstellenanalyse zwischen den in den Regelwerken enthaltenen und den aus der Literatur erarbeiteten Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors (Fortsetzung)

7 Prüfung der Anwendbarkeit an aktuellen Beispielfällen im Landstraßennetz

Die erarbeiteten Handlungsansätze werden exemplarisch an ausgewählten Untersuchungsstrecken umgesetzt, um deren Anwendbarkeit zu überprüfen. Dafür werden für jede EKL nach RAL (FGSV, 2012) mindestens zwei Beispielstrecken aus dem Bestandsnetz auf die Bedeutung von Human Factors untersucht. Die Untersuchungsstrecken sollten dabei nach den RAS-L (FGSV, 1995) oder nach den RAL (FGSV, 2012) geplant und gebaut worden sein, wobei mindestens ein genehmigter Vorentwurf vorliegen sollte.

Die Handlungsansätze können für die Analyse von unfallauffälligen Punkten oder Abschnitten sowie zur Begründung von Maßnahmen verwendet werden, die der Verbesserung der Verkehrssicherheit dienen sollen. Daher werden auch auf den Untersuchungsstrecken ggf. vorhandene Unfallschwerpunkte bzw. -bereiche mit analysiert.

Im Ergebnis der Anwendung der Handlungsansätze an bestehenden Straßen werden konkret folgende Fragen beantwortet:

- Sind für den Planer in den verschiedenen Entwurfsphasen alle maßgebenden Informationen vorhanden, um die Anforderungen aus den Human Factors ausreichend berücksichtigen zu können?
- Gibt es Human Factors, deren Einhaltung erst nach dem Bau erkennbar bzw. prüfbar ist?
- Können Human Factors als zusätzliche Untersuchungsvariable bei der Analyse von Unfallstellen dienen?

Für die Untersuchung von Beispielstrecken wurde eine Umfrage bei den Straßenbauverwaltungen mit der Bitte durchgeführt, geeignete Strecken zur Beurteilung von Human Factors zu benennen. Die Strecken sollten dabei folgenden Anforderungen entsprechen:

- Landstraßen (außerorts),
- möglichst Entwurfsstandard nach RAL, ggf. nach RAS-L mit Ähnlichkeiten zu den EKL,
- realisierte Baumaßnahmen,
- Planungs- und Entwurfsunterlagen von mindestens dem Vorentwurf, besser der Ausführungsplanung (Leistungsphasen 3 bzw. 5 nach HOAI),
- Angaben zum Unfallgeschehen.

In der Folge wurden von den Ländern Sachsen, Brandenburg, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz insgesamt 17 Strecken angemeldet. Davon wurden acht Strecken so ausgewählt, dass für die EKL 1 bis EKL 4 jeweils zwei Untersuchungsstrecken zur Verfügung standen. Die Strecken wurden befahren und eine Fotodokumentation angelegt.

Unter Kapitel 6.6 sind die für den Straßenentwurf identifizierten maßgebenden Human Factors zusammengestellt und aufgezeigt, wie diese in den aktuellen Regewerken berücksichtigt werden. Die Prüfung und Bewertung der Beispielstrecken erfolgt auf der Grundlage von Tabelle 12 in gleichem Umfang und gleicher Abfolge.

Zudem wird ergänzend dokumentiert, ob der Human Factor in der Entwurfsphase vollständig berücksichtigt ist bzw. geprüft werden kann und ob er auf der realen Strecke auch eingehalten wird, oder ob sich die Situation in der Realität von der Planung unterscheidet.

7.1 Straßen der EKL 1

7.1.1 B 112 in Brandenburg – Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd

Die Bundesstraße B 112 verbindet Frankfurt (Oder) mit Eisenhüttenstadt, Guben und Forst sowie die Bundesautobahnen BAB A 12 und BAB A 15 entlang der deutsch-polnischen Grenzen. Der betrachtete Abschnitt der B 112 liegt im Süden von Frankfurt (Oder) und ist 3,6 km lang (Bild 69). Die Verkehrsstärke auf dem Abschnitt beträgt 10.450 Kfz/24h mit einem SV-Anteil von 8,4 % (BASt 2015). Innerhalb des Streckenverlaufs wird die L 381 durch einen teilplanfreien Knotenpunkt an die B 112 angebunden.

Der Streckenabschnitt wurde im Jahr 2002 nach den RAS-L, RAS-Q und RAL-K geplant und gebaut.

Für die Überprüfung der Handlungsansätze stehen Lagepläne, Höhenpläne und Querschnitte des Streckenabschnittes aus der Ausführungsplanung (AP) zur Verfügung. Zusätzlich erfolgte am 14. März 2017 eine Besichtigung der Strecke. Dabei wurde festgestellt, dass die Pläne in einigen Punkten nicht mehr dem heutigen Erscheinungsbild entsprechen.

Bild 69: B112 – Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 70: B 112 – subjektiv wahrgenommene, geringe Sichtweite innerhalb einer Rechtskurve im Streckenverlauf

Bild 71: B 112 - Bepflanzung der Kurvenaußenseite

Das betrifft:

- die Anordnung der Überholfahrstreifen und
- die Fortsetzung des Querschnitts in Richtung Eisenhüttenstadt (heute) bzw. den Übergang der EKL 1 in den Bestand in Verbindung mit einer plangleichen Einmündung (Bauende der Ausführungsplanung).

Da die Markierungs- und Beschilderungspläne dem Landesbetrieb Straßenwesen nicht vorlagen, wurde deren richtige Umsetzung ausschließlich anhand der Befahrungsbilder geprüft.

Tabelle 13 zeigt die Analyse der im Regelwerk berücksichtigten Human Factors. Es ergaben sich dabei folgende Mängel bzw. Auffälligkeiten:

- Der Aspekt der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit bzw. die Erwartungskonformität kann aufgrund des fehlenden verkehrstechnischen Mittelstreifens (grüne Markierung) der EKL 1 beeinträchtigt sein.
- Die Aufteilung des Querschnittes hinsichtlich der Breiten der Fahrstreifen, der Randstreifen, des Mittelstreifens und der Bankette weichen von den RAL ab. Es wird jedoch eingeschätzt, dass dies von den Fahrzeugführern nicht wahrgenommen wird. Maßgebend ist der durchgängig dreistreifige Querschnitt mit wechselseitigen Überholmöglichkeiten.
- Die Sichtweiten konnten aufgrund des fehlenden Sichtweitenbandes in der Ausführungsplanung nicht überprüft werden. Jedoch wurde bei der Streckenbefahrung in Fahrtrichtung Frankfurt (Oder) subjektiv wahrgenommen, dass im Annäherungsbereich des Knotenpunktes die Sichtweite gering ist (Bild 70). Die Strecke verläuft dort in einer Rechtskurve und im Einschnitt (Fernorientierung eingeschränkt).
- Die Erkennbarkeit der Markierung kann nicht anhand der Pläne beurteilt werden, nur durch eine Streckenbefahrung.
  Anhand der Befahrung der B 112 hat sich gezeigt, dass die Erkennbarkeit bei Tag durch eine vorangehende Ummarkierung zum Teil schwierig ist. Für eine Beurteilung der Erkennbarkeit unter schlechten Sichtbedingungen wäre eine zusätzliche Streckenbefahrung notwendig.
- Die Markierung der Pfeile bei besonderen Wechseln und der Sperrfläche entsprechen nicht den Vorgaben der RAL (2012), jedoch denen der RMS (1993).
  (Hinweis: Aufgrund aktueller Erkenntnisse wurde beides in den RAL aktualisiert. Die Neuerungen werden auch in die neue Ausgabe der RMS aufgenommen.)
  Dies ist jedoch kein Mangel im Sinne der Umsetzung der Human Factors.

Positiv umgesetzte Maßnahmen zur Förderung der Informationsaufnahme im Verlauf der Strecke sind die Bepflanzung der Kurvenaußenseite (Bild 71)

Bild 72: B 112 – Begünstigung erhöhter Aufmerksamkeit im Knotenpunktbereich durch Anordnung einer passiven Schutzeinrichtung im Mittelstreifen

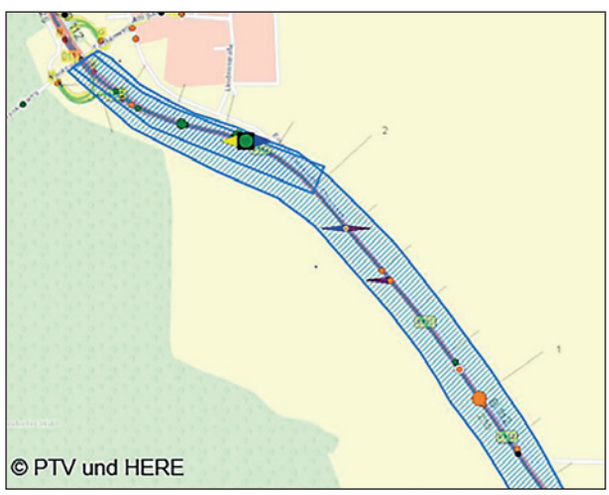


Bild 73: B 112 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt Lossow - Brieskow-Finkenheerd (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

und die Anordnung der passiven Schutzeinrichtung im Knotenpunktbereich zur Begünstigung erhöhter Aufmerksamkeit (Bild 72).

Es sollte weiterhin geprüft werden, ob sich auf der Strecke Unfälle ereigneten, für die nicht umgesetzte Human Factors maßgebend sein können. Dafür wurde das Unfallgeschehen der Strecke im Zeitraum vom 1. Januar 2014 bis zum 30. November 2016 untersucht und mit dem heutigen Erscheinungsbild der Strecke abgeglichen.

Im betrachteten Zeitraum ereigneten sich 16 Unfälle (ohne Wild- und Tier-Unfälle), davon fünf mit Personenschaden (Bild 73). Unfallschwerpunkte gibt es nicht.

Auffällig sind jedoch zwei Fahrunfälle nach der Ausfahrt aus einer Linkskurve im Annäherungsbereich des Knotenpunktes, einer mit Getöteten und einer mit schwerem Personenschaden. Bei dem Unfall mit Getöteten handelt es sich um einen Motorradunfall mit den Unfallumständen „Alkohol“ und „ungepasste Geschwindigkeit“. Der andere Fahrunfall geschah aufgrund nicht angepasster Geschwindigkeit.

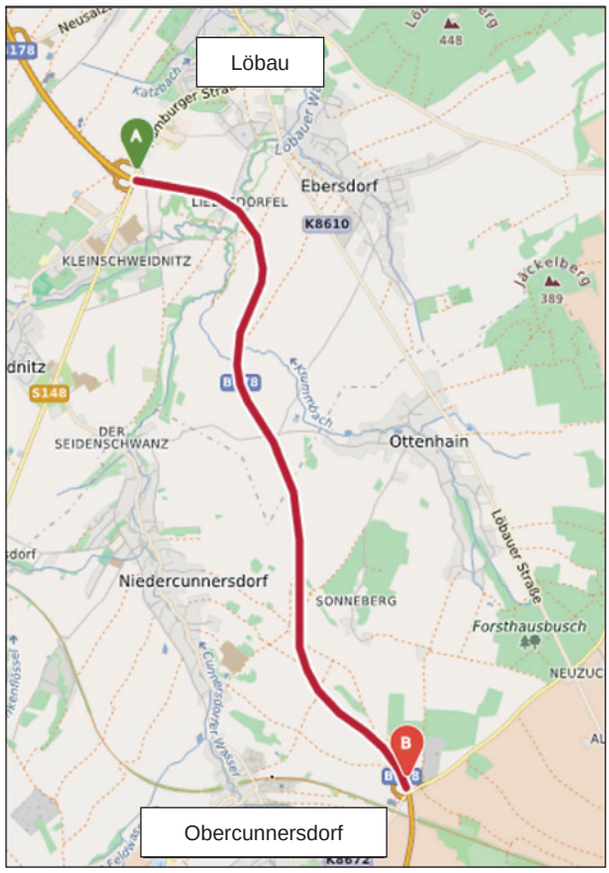


Bild 74: B 178n – Abschnitt Löbau Süd - Obercunnersdorf (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Eine Verbindung zu Human Factors kann jedoch nicht hergestellt werden. In diesem Bereich wurden keine Defizite identifiziert. Die bei der Streckenbesichtigung wahrgenommenen geringen Sichtweiten folgen erst im weiteren Verlauf der Strecke.

7.1.2 B 178n in Sachsen – Abschnitt: Löbau Süd - Obercunnersdorf

Die Bundesstraße B 178n befindet sich im Osten Sachsens und verläuft von Weißenberg an der BAB A 4 über Löbau nach Zittau. Der betrachtete Abschnitt befindet sich südlich von Löbau und hat eine Länge von 5,9 km (Bild 74). Die Verkehrsstärke auf dem Abschnitt beträgt 6.500 Kfz/24h mit einem SV-Anteil von 11,2 % (LISt 2015). An den betrachteten Abschnitt werden am Anfang die S 148 und am Ende die S 153 jeweils mit teilplanfreien Knotenpunkten angebunden.

Der Streckenabschnitt wurde im Jahr 2008 nach den RAS-L, RAS-Q und RAL-K geplant.

Für die Überprüfung der Handlungsansätze stehen der Übersichtslageplan (Maßstab 1 : 5.000) und die Markierungs- und Beschilderungspläne aus der

Bild 75: B 178n – Markierung der Pfeile und der Sperrfläche bei kritischen Wechseln

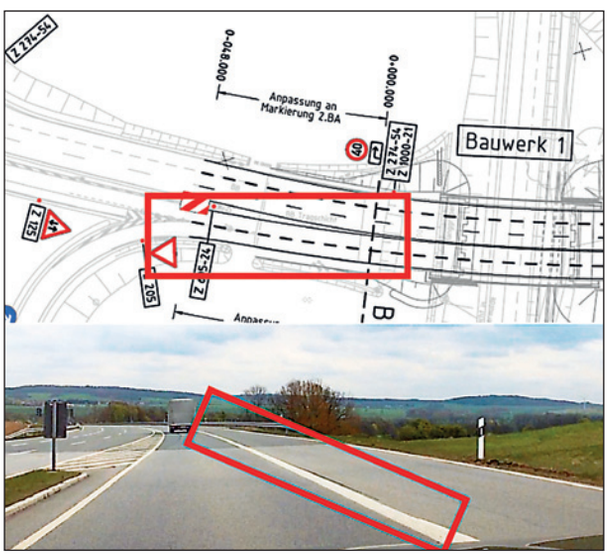


Bild 76: B 178n – Fahrstreifenbegrenzungslinie bei der Fahrstreifenaddition am KP mit der S 148

Ausführungsplanung (AP) zur Verfügung. Zusätzlich wurde die Strecke am 27. April 2017 besichtigt.

Tabelle 14 zeigt die Überprüfung der im Regelwerk berücksichtigten Human Factors. Es ergaben sich dabei folgende Mängel bzw. Auffälligkeiten:

- Die Aufteilung des Querschnittes hinsichtlich der Breiten der Fahrstreifen, der Randstreifen, des Mittelstreifens und der Bankette weichen von den RAL ab. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Fahrzeugführer das nicht wahrnehmen. Maßgebend ist der durchgängig dreistreifige Querschnitt mit wechselseitigen Überholmöglichkeiten und verkehrstechnischem Mittelstreifen.

- Die Sichtweiten konnten aufgrund des fehlenden Sichtweitenbandes in der Ausführungsplanung nicht überprüft werden.

- Die Erkennbarkeit der Markierung kann nicht anhand der Pläne beurteilt werden, nur durch eine Streckenbefahrung.

- Die Erkennbarkeit der Markierung und Beschilderung bei Nacht kann nicht anhand der Pläne oder der Streckenbefahrung beurteilt werden.

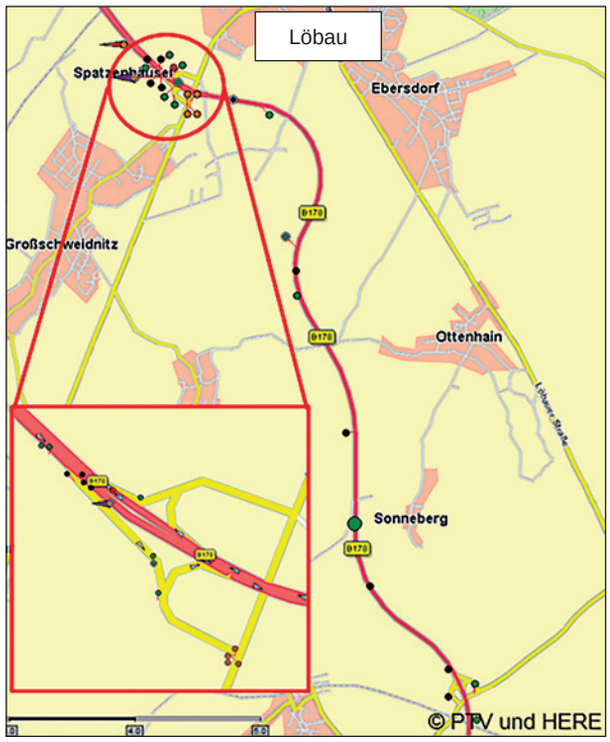


Bild 77: B 178 n – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt Löbau Süd - Obercunnersdorf (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Dafür wäre eine Streckenbefahrung bei Nacht notwendig.

- In den Plänen entsprechen die Markierung der Pfeile bei kritischen Wechseln und die Sperrflächen nicht den Vorgaben der RAL (2012), jedoch denen der RMS (1993).
  (Hinweis: Aufgrund aktueller Erkenntnisse wurde beides in den RAL aktualisiert. Die Neuerungen werden auch in die neue Ausgabe der RMS aufgenommen.)
  Beim Bau der Strecke wurden die Pfeile und die Sperrfläche jedoch nach RAL (2012) ausgebildet (Bild 75).

- Im Markierungsplan fehlt die Fahrstreifenbegrenzungslinie bei der Fahrstreifenaddition am Knotenpunkt mit der S 148. Beim Bau der Strecke wurde diese jedoch ergänzt (Bild 76).

- Die Anzahl der Ziele auf der Beschilderung ist nicht aus dem Markierungs- und Beschilderungsplan ablesbar.

- Aus den Plänen ist nicht zu erkennen, ob eine spezielle Randbepflanzung zur Verdeutlichung des Streckenverkaufs notwendig ist.

Es wurde geprüft, ob sich auf der Strecke Unfälle ereigneten, für die nicht umgesetzte Human Fac-

tors maßgebend sein könnten. Dafür wurde das Unfallgeschehen des Streckenabschnittes im Zeitraum vom 1. Januar 2014 bis zum 30. November 2016 untersucht.

Im betrachteten Zeitraum ereigneten sich 28 Unfälle (ohne Wild- und Tier-Unfälle), davon einer mit Personenschaden (Bild 77).

Unfallschwerpunkte gibt es nicht, jedoch geschahen vermehrt Unfalle in der Abfahrt Löbau-Süd in Fahrtrichtung Zittau, davon drei Fahrunfälle auf der Rampe und vier Unfälle im Längsverkehr an der Einmündung zur S 148. Da die Rampe im Gefälle liegt, wird das erhöhte Unfallgeschehen auf die falsche Wahl der Geschwindigkeit zurückgeführt, obwohl diese in der Ausfahrt auf V_{zul} = 40 km/h beschränkt ist. Aus Sicht der Human Factors könnte hier die Erwartung der Fahrer an die Strecke anders sein als erforderlich.

7.2 Straßen der EKL 2

7.2.1 B 3 in Niedersachsen – Abschnitt: Elze Nord - Eimer Kreuz

Die Bundesstraße B 3 ist die zweitlängste Bundesstraße Deutschlands und verläuft durch die Bundesländer Niedersachsen, Hessen und Baden-Württemberg. Der betrachtete Abschnitt liegt südlich von Hannover und stellt die Ortsumgehung der Stadt Elze dar. Er verläuft vom Eimer Kreuz bis zum Knotenpunkt Elze-Nord (Wülfinger Straße). Der Abschnitt hat eine Gesamtlänge von ca. 6,9 km und besteht aus fünf Überholbereichen (Bild 78).

Die Strecke bekam eine neue Deckschicht (Vermeidung von Phantommarkierungen) und wurde nach den RAL (2008) ummarkiert. Grund dafür war die hohe Unfallbelastung durch ungesichertes Überholen auf dem ursprünglich als überbreit markierten RQ 14. Der Streckenabschnitt wurde in seiner Linienführung und Fahrbahnbreite nicht verändert. Im November 2013 wurde er für den Verkehr freigegeben.

Im Jahr 2010 betrug die Verkehrsstärke auf dem Abschnitt 12.600 Kfz/24h mit einem SV-Anteil von 11,2 % (NLSTBV 2013). Innerhalb des Streckenverlaufs befinden sich 5 Knotenpunkte:

- KP 1: Elze Nord – plangleicher Knotenpunkt ohne LSA,
- KP 2: Anschluss der B 1 – teilplanfreier Knotenpunkt,
- KP 3: Anschluss der K 423 – teilplangleicher Knotenpunkt,
- KP 4: „Zum Königsstuhl“ – planfreier Knotenpunkt,
- KP 5: Anschluss der B 240 – teilplanfreier Knotenpunkt.

Für die Überprüfung der Handlungsansätze stehen die Markierungs- und Beschilderungspläne aus der Ausführungsplanung (AP) zur Verfügung. Zusätzlich wurde die Strecke am 20. April 2017 besichtigt.

Tabelle 15 zeigt die Überprüfung der im Regelwerk berücksichtigten Human Factors. Es ergaben sich dabei folgende Mängel bzw. Auffälligkeiten:

- Der Streckenabschnitt wird als Kraftfahrstraße betrieben, jedoch ist landwirtschaftlicher Verkehr zugelassen (Bild 79). Dies entspricht nicht den Vorgaben nach RAL (2012). Der Radverkehr wird straßenbegleitend geführt.
- Die Breite des abschnittsweisen angelegten Überholfahrstreifens beträgt B = 3,00 m. Die RAL (2012) geben dafür eine Breite von B = 3,25 m vor. Als kompensatorische Maßnah-

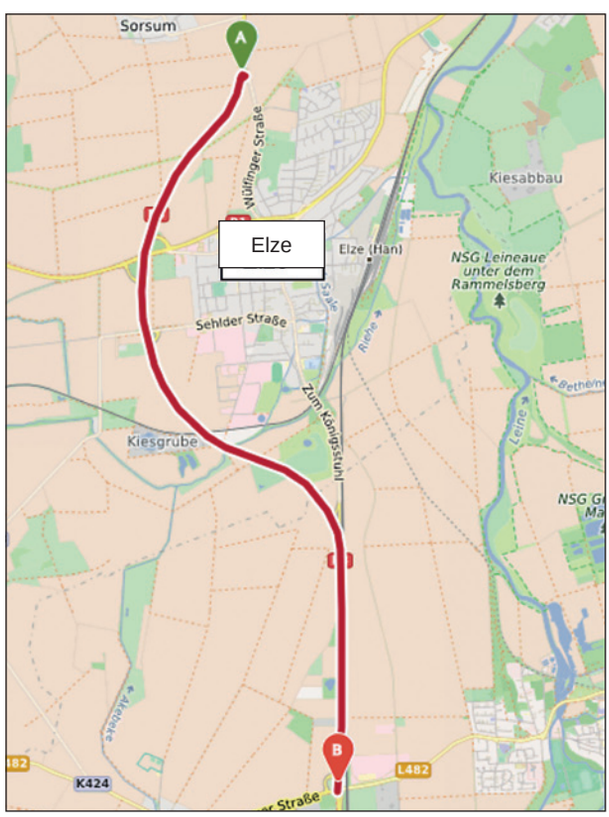


Bild 78: B 3 – Abschnitt Elze Nord - Eimer Kreuz (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 79: B 3 – Beschilderung: Kraftfahrstraße – landwirtschaftlicher Verkehr frei

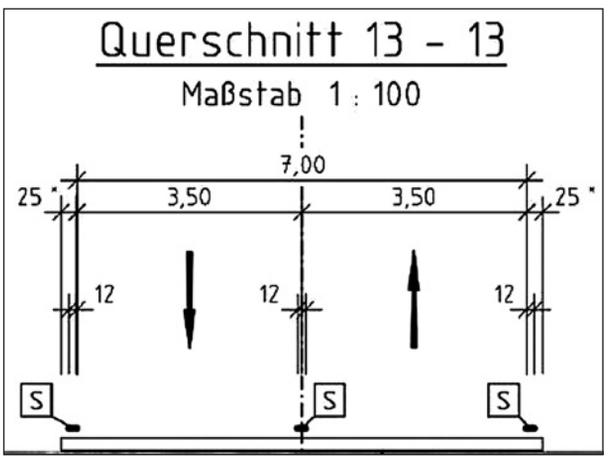


Bild 80: B 3 – zweistreifiger Querschnitt (NLSTBV 2013)

me wurde das Überholen für Fahrzeuge mit einer Breite von B ≥ 2,30 m verboten.

- Der ca. 700 m lange zweistreifige Bereich zwischen KP 2 und KP 3 ist durch einen einfachen Schmalstrich als Fahrstreifenbegrenzungslinie markiert (Bild 80). Dies entspricht nicht den Vorgaben der RAL (2012) (und des M EKLBest) für Straßen der EKL 2.
- Die Knotenpunkte haben unterschiedliche Bauformen. Dies widerspricht der Forderung der RAL (2012) nach einer einheitlichen Gestaltung aufeinandefolgender Knotenpunkten.
- Die Abstände zwischen KP 1 und KP 2 sowie KP 2 und KP 3 liegen unterhalb der in den RAL (2012) geforderten 2.000 m für Straßen der EKL 2.
- Die Gestaltung der einzelnen Knotenpunktelemente entspricht nicht den RAL (2012). Dies begründet sich hauptsächlich durch die Anpassung der neuen Markierung an die bestehende Fahrbahn.
  Die Ausfädelstreifen im KP 2 und KP 5 sind verkürzt und entsprechen nicht den Vorgaben der RAL (2012). Im KP 2 sind außerdem die Breiten

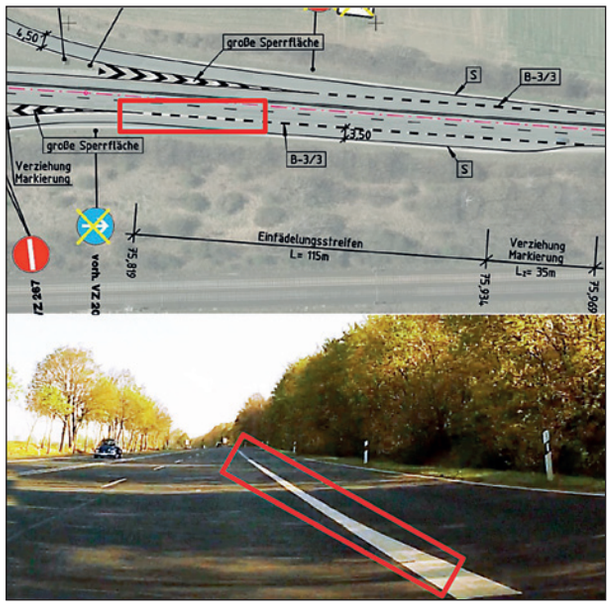


Bild 81: B 3 – Fahrstreifenbegrenzungslinie bei der Einfahrt am KP mit der B 240

der Ein- und Ausfädelstreifen mit B = 3,25 m zu gering. Der plangleiche KP 1 ist ohne LSA ausgestattet und stellt damit im Sinne der RAL einen Ausnahmefall dar.

- Die Erkennbarkeit der Markierung kann nicht anhand der Pläne beurteilt werden, nur durch eine Streckenbefahrung.
- Die Erkennbarkeit der Markierung und Beschilderung bei Nacht kann nicht anhand der Pläne oder der Streckenbefahrung beurteilt werden. Dafür wäre eine Streckenbefahrung bei Nacht notwendig.
- Im Markierungsplan fehlt die Fahrstreifenbegrenzungslinie bei der Einfahrt am KP 5 (B 240). Bei der Ummarkierung wurde diese jedoch ergänzt (Bild 81).
- In den Plänen entsprechen die Markierung der Pfeile bei den kritischen Wechseln und die Sperrflächen nicht den Vorgaben der RAL (2012), jedoch denen der RMS (1993).
  (Hinweis: Aufgrund aktueller Erkenntnisse wurde beides in den RAL aktualisiert. Die Neuerungen werden auch in die neue Ausgabe der RMS aufgenommen.)

Der untersuchte Streckenabschnitt wird jeweils am Anfang und am Ende an den Bestand angeschlossen. Im KP 1 wird der Übergang durch eine Sperrfläche in Mittellage mit angrenzender doppelter Fahrstreifenbegrenzungslinie realisiert (Bild 82). Im KP 5 wird die doppelte Fahrstreifenbegrenzungsli-

Bild 82: B 3 – Übergang zum Bestand am KP 1

Bild 83: B 3 – Übergang zum Bestand am KP 5

nie verzogen. Im Anschluss folgt eine Sperrfläche in Mittellage (Bild 83).

Es wurde geprüft, ob sich auf der Strecke Unfälle ereigneten, für die nicht umgesetzte Human Factors maßgebend sein könnten. Dafür wurde das Unfallgeschehen des Streckenabschnittes im Zeitraum vom 1. Januar 2015 bis zum 31. Dezember 2016 untersucht.

Im betrachteten Zeitraum ereigneten sich 22 Unfälle (ohne Wild- und Tier-Unfälle), davon zwei mit schwerem und fünf mit leichtem Personenschaden (Bild 84).

Unfallschwerpunkte gibt es auf der Strecke nicht, jedoch ist das Unfallgeschehen in den Knotenpunkten KP 3 und KP 4 auffällig.

Der teilplanfreie KP 3 liegt in der Kurve, die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt V_{zul} = 70 km/h. Dort geschahen bei Helligkeit zwei Unfälle beim Abbiegen bzw. Einbiegen. Grund dafür könnten unzureichende

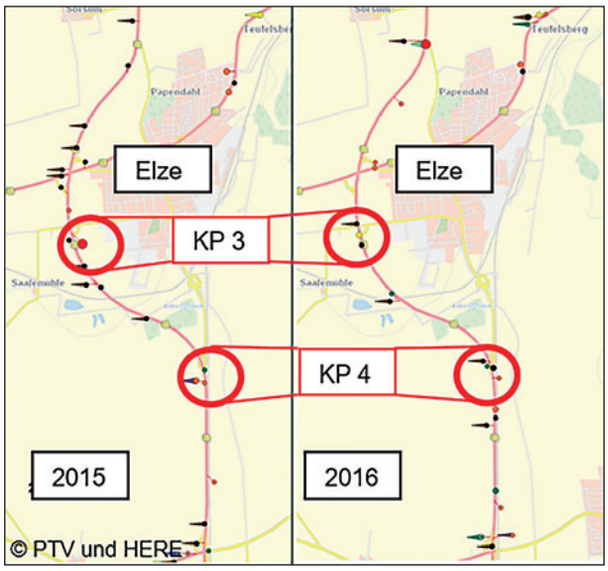


Bild 84: B 3 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt Elze Nord – Eimer Kreuz (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Bild 85: B 3 – KP 3 in Fahrtrichtung Norden

Bild 86: B 3 – KP 3 in Fahrtrichtung Süden

Sichtbeziehungen (eingeschränkte Informationsaufnahme) sein (Bild 85 und Bild 86). Vor allem in Richtung Süden ist die Sicht im Knotenpunktbereich (auch durch die Brücke) eingeschränkt.

Im planfreien KP 4 geschahen drei Unfälle im Längsverkehr. Dort findet eine Fahrstreifenaddition in Richtung Süden statt. Die Fahrzeuge, die sich bereits auf der B 3 befanden, wechselten auf den rechten Fahrstreifen und stießen mit einem auffahrenden Fahrzeug zusammen. Dabei könnte ein Sichtproblem bzw. die nicht ausreichende Dauer

Bild 87: B 3 – KP 4 Richtung Süden – Fahrstreifenaddition Sichtproblem

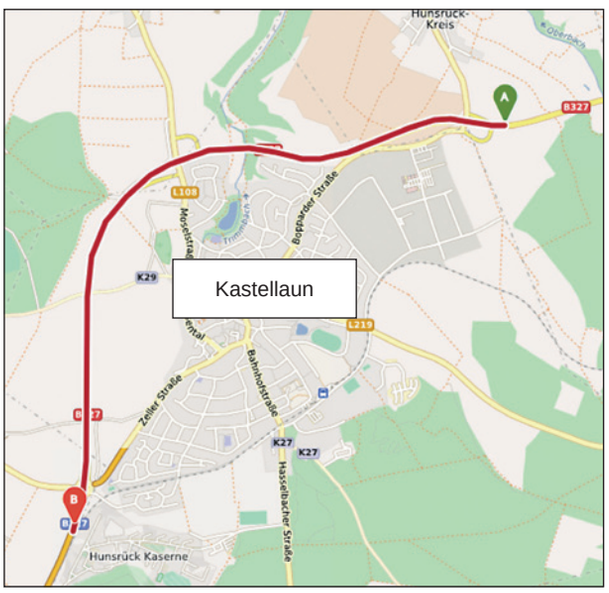


Bild 88: B 327 – Ortsumgehung Kastellaun (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

zur Informationsaufnahme die Ursache sein. Nach dem Ende der Fahrstreifenbegrenzungslinie (L = 50 m) wird zwischen dem durchgehenden Fahrstreifen und dem Einfädelungsstreifen die Breite des durchgehenden Fahrstreifen auf einer Länge von L_Z = 90 m von B = 3,50 m auf B = 3,00 m verzogen. Eventuell könnte eine Verlängerung der Fahrstreifenbegrenzungslinie in Kombination mit einer späteren Reduzierung der Fahrstreifenbreite einen längeren Orientierungsbereich schaffen (Bild 87).

7.2.2 B 327 in Rheinland-Pfalz – Ortsumgehung Kastellaun

Die Bundesstraße B 327 befindet sich in Rheinland-Pfalz und weist eine überregionale Verbindungs-, Erschließungs- sowie Verknüpfungsfunktion auf. Sie hat eine Gesamtlänge von 140 km. Der betrachtete Streckenabschnitt stellt die Ortsumgehung Kastellaun dar, die westlich des Ortes verläuft. Die Neubaustrecke beginnt am neuen Knotenpunkt mit der L 204 im Süden der Stadt (KP 1) und endet im Norden am Knotenpunkt mit der L 205 (KP 3). Die Ortsumgehung ist ca. 4,7 km lang (Bild 88).

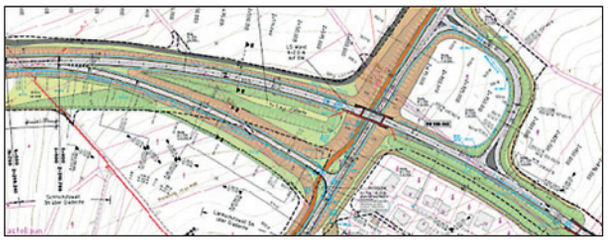


Bild 89: B 327 – teilplangleicher/teilplanfreier KP 2

Die Verkehrsstärke auf dem Abschnitt ist nicht bekannt, wurde aber für das Jahr 2015 auf 8.200 Kfz/24h mit einem SV-Anteil von 12,5 % prognostiziert (LBM RP 2002). Innerhalb des Streckenverlaufs wird die L 108 durch eine Kombination aus teilplangleichen und teilplanfreien Knotenpunkt angebunden.

Der Streckenabschnitt wurde im Jahr 2002 nach den RAS-L, RAS-Q und RAL-K geplant und im Jahr 2014 fertiggestellt.

Für die Überprüfung der Handlungsansätze stehen die Lagepläne, Höhenpläne sowie die Markierungs- und Beschilderungspläne der Ausführungsplanung (AP) zur Verfügung. Zusätzlich wurde die Strecke am 18. April 2017 besichtigt.

Tabelle 16 zeigt die Überprüfung der im Regelwerk berücksichtigten Human Factors. Es ergaben sich dabei folgende Mängel bzw. Auffälligkeiten:

- Auf dem Streckenabschnitt werden nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer mit dem Verkehrszeichen Z 254 StVO ausgeschlossen. Der landwirtschaftliche Verkehr ist jedoch entgegen den Empfehlungen der RAL zugelassen.
- Die Aufteilung des Querschnittes hinsichtlich der Breiten der Fahrstreifen, der Randstreifen und der Bankette weichen von den RAL ab. Es wird jedoch eingeschätzt, dass dies von den Fahrzeugführern nicht wahrgenommen wird. Maßgebend sind die Markierung der doppelten Mittellinie und die abschnittsweisen Überholmöglichkeiten.
- Die Knotenpunktformen von KP 1 und KP 2 sind eine Mischung aus teilplangleich und teilplanfrei. Dies ist nicht regelkonform und wiederspricht dem gewünschten Prinzip einer einheitlichen und begreifbaren Streckencharakteristik (Bild 89).
- Die Knotenpunktform von KP 3 ist ein Verteilerkreis. In den Planungsunterlagen wird diese Sonderform mit der notwendigen Verbesserung der Verkehrsqualität begründet.

Bild 90: B 327 – Zielangaben auf Beschilderung im KP 3

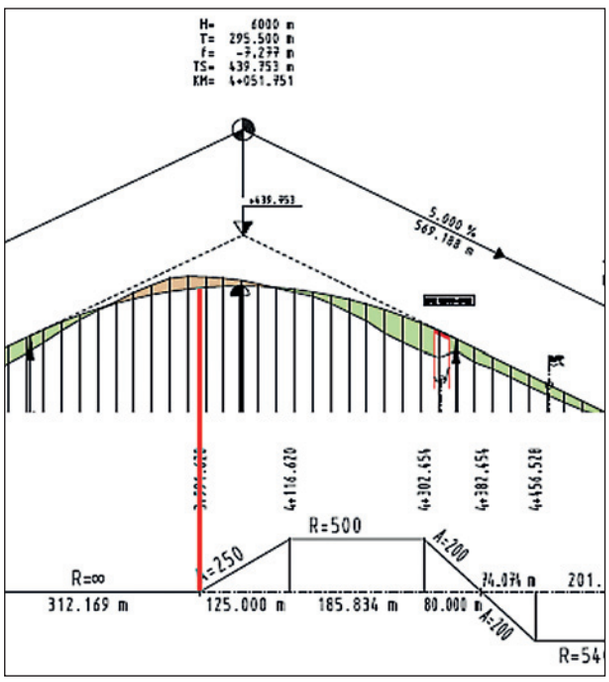


Bild 91: B 327 – verdeckter Kurvenbeginn in Fahrtrichtung Norden (LBM RP 2002)

- Die Rampenquerschnitte der teilplanfreien Verknüpfungen entsprechen mit 5,50 m nicht den Vorgaben des RRQ 1 der RAL (2012).
- Der Rampenquerschnitt der teilplangleichen Verknüpfung am Knotenpunkt B 327/L 108 ist ebenfalls nicht nach dem in den RAL (2012) gefordertem RRQ 2 gestaltet.
- Die Beschilderung enthält entgegen den Vorgaben der RWB (2000) in KP 1 und KP 3 mehr als drei Ziele pro Fahrtrichtung (Bild 90). Dadurch kann die Informationsaufnahme beeinflusst sein.
- Im Streckenverlauf befindet sich eine gekrümmte Kuppe (mit min H_K und R = 500 m), ein Defizit in der räumlichen Linienführung. In Fahrtrichtung Nord-Osten beginnt eine Rechtskurve im Bereich einer Kuppe mit H_K = 6.000 m (Bild 91, Bild 92). Nach RAL (2012) wäre dort eine Verschiebung des Kuppenbeginns um 40 m hinter den Kurvenbeginn notwendig. Durch dieses Defizit kann es zu Sichteinschränkungen kommen. Zusätzlich wird in diesem Bereich auch eine Verengung des Querschnittes am Ende des Überholfahrstreifens vorgenommen.

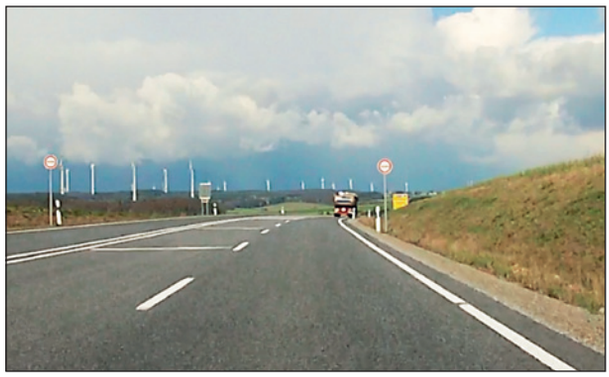


Bild 92: B 327 – Blick auf verdeckten Kurvenbeginn in Fahrtrichtung Norden

Bild 93: B 327 – Übergangsbereich am Ende des Streckenabschnitts in Fahrtrichtung Süden)

Der untersuchte Streckenabschnitt wird am Ende an den Bestand angeschlossen. Nach dem KP 3 wird der Übergang im zweistreifigen Bereich durch den Wechsel der Mittelmarkierung realisiert (Bild 93).

Es wurde geprüft, ob sich auf der Strecke Unfälle ereigneten, für die nicht umgesetzte Human Factors maßgebend sein könnten. Dafür wurde das Unfallgeschehen des Streckenabschnittes im Zeitraum vom 1. August 2014 bis zum 31. Dezember 2016 untersucht.

Im betrachteten Zeitraum ereigneten sich zwölf Unfälle (ohne Wild- und Tier-Unfälle), davon einer mit Getöteten, einer mit schwerem und drei mit leichtem Personenschaden. Unfallschwerpunkte gibt es nicht.

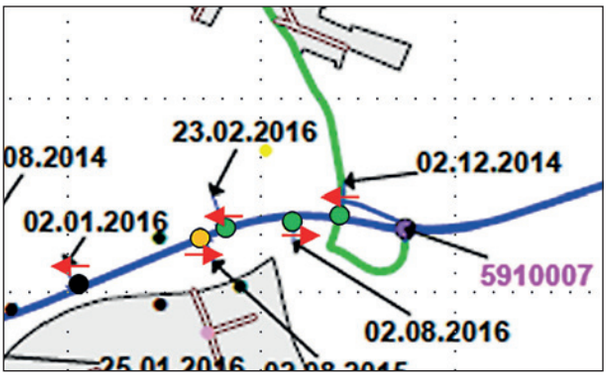


Bild 94: B 327 – Unfallgeschehen auf der OU Kastellaun (LBM RP 2017)

In Bild 94 ist das Unfallgeschehen im Bereich der in Bild 91 erläuterten gekrümmten Kuppe dargestellt. Die Unfälle in Fahrtrichtung Nord-Osten haben einen zu geringen Sicherheitsabstand als Ursache. Dies kann auf ein Sichtproblem zurückzuführen sein. Die Unfälle in Richtung Süd-Westen geschahen aufgrund überhöhter Geschwindigkeit. Dies könnte an Problemen in der Wahrnehmung des Streckenverlaufs liegen. Bezüglich der Human Factors kann hier eine ausreichende Informationsaufnahme nicht gewährleistet werden (Orientierungssichtweite wird nicht eingehalten.).

7.3 Straßen der EKL 3

7.3.1 S 95 in Sachsen – Abschnitt: OA Dresden - OE Radeberg

Die Staatsstraße S 95 liegt in Sachsen und verbindet die Ortschaften Dresden und Hoyerswerda. Der betrachtete Abschnitt der S 95 führt vom Ortsausgang Dresden bis zum Ortseingang Radeberg und ist 8 km lang (Bild 95).

Die Verkehrsstärke auf dem Abschnitt beträgt 7.660 Kfz/24h (BARK/LIPPOLD u. a. 2015). Innerhalb des Streckenverlaufs wird die K 6211 durch eine plangleiche Einmündung ohne LSA angebunden. Außerdem sind entlang der Strecke zahlreiche Einfahrten von Forstwegen vorhanden. Etwa in der Mitte der Strecke befindet sich eine Bebauung, die Heidemühle. Dort gibt es Zufahrten zu Parkplätzen. Südlich der Heidemühle ist eine Bushaltestelle in Fahrbahnrandlage.

Informationen zur Planungsgrundlage liegen nicht vor. Der Streckenabschnitt ist unfallauffällig. Es sollen daher die Handlungsansätze der HF überprüft werden. Dafür stehen der Lage- und Höhenplan

Bild 95: S 95 – Abschnitt OA Dresden - OA Radeberg (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 96: S 95 – Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf V_{zul} = 50 km/h mit Z 105 StVO und einer doppelten Fahrstreifenbegrenzungslinie

aus einer Streckenbefahrung des Lehrstuhls Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden zur Verfügung. Zusätzlich wurde die Strecke am 27. April 2017 besichtigt.

Tabelle 17 zeigt die Überprüfung der im Regelwerk berücksichtigten Human Factors. Es ergaben sich dabei folgende Mängel bzw. Auffälligkeiten:

- Der empfohlene Bereich der Radien nach RAL (2012) wird unterschritten. Die Kurven mit geringen Radien folgen zum Teil auf lange Geraden.
- Die Relationen der aufeinanderfolgenden Radien liegen zweimal im brauchbaren und zweimal im zu vermeidenden Bereich.
- Die Radien im Anschluss an Geraden liegen zweimal im brauchbaren und dreizehnmal im zu vermeidenden Bereich.
- Als kompensatorische Maßnahmen wurden die Verkehrszeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) und Z 625 StVO (Richtungstafel) angeordnet, teilweise auch in Verbindung mit einer Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf V_{zul} = 70 km/h bzw. V_{zul} = 50 km/h sowie in Ver-

bindung mit einer doppelten Fahrstreifenbegrenzungslinie (Bild 96).

- Die S 95 zeichnet sich durch eine sehr angepasste Linienführung aus. Dadurch sind weitestgehend keine Standardraumelemente vorhanden.
- In der Einmündung fehlt der Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt zur Verdeutlichung der Wartepflicht (Bild 97).

Es wurde geprüft, ob sich auf der Strecke Unfälle ereigneten, für die nicht umgesetzte Human Factors maßgebend sein könnten. Dafür wurde das Unfallgeschehen des Streckenabschnittes im Zeitraum vom 1. Januar 2015 bis zum 31. Dezember 2016 untersucht.

Im betrachteten Zeitraum ereigneten sich 83 Unfälle (ohne Wild- und Tier-Unfälle), davon vier mit schwerem und 16 mit leichtem Personenschaden (Bild 98).

Auf der Strecke befinden sich drei Unfallschwerpunkte, einer an der Einmündung, einer kurz nach der Einmündung in Fahrtrichtung Dresden und einer im Bereich der Heidemühle.

Die Unfälle an der Einmündung geschahen wegen Nichtbachtung der Vorfahrt bzw. wegen unzureichendem Sicherheitsabstand. Grund dafür könnte eine unzureichende Sicht aus der untergeordneten Knotenpunktzufahrt sein.

In der anschließenden Kurve mit geringem Radius passierten hauptsächlich Fahrunfälle aufgrund unangepasster Geschwindigkeit mit der Unfallfolge Abkommen von der Fahrbahn. Dort ist die Geschwindigkeit auf V_{zul} = 70 km/h beschränkt.

Im Bereich der Heidemühle ist eine Geschwindigkeitsbeschränkung von V_{zul} = 50 km/h angeordnet und es wird mit den Verkehrszeichen Z 105 StVO/ Z 625-11 StVO auf die Kurvenfolge hingewiesen. Dennoch geschah hier eine große Anzahl an Fahrunfällen aufgrund nicht angepasster Geschwindigkeiten.

Aus Sicht der Human Factors könnte in beiden Unfallhäufungsstellen die Erwartungshaltung der Fahrer gestört sein, da es keinen kontinuierlichen bzw. stetigen Streckenverlauf mit aufeinander abgestimmten Elementen gibt.

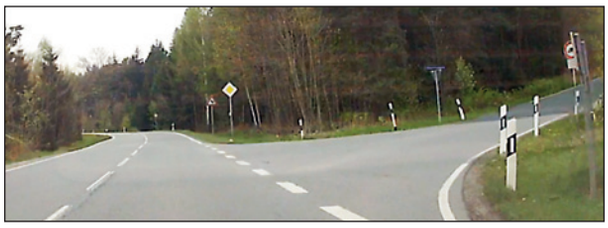


Bild 97: S 95 – Anbindung der K 6211 ohne Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt

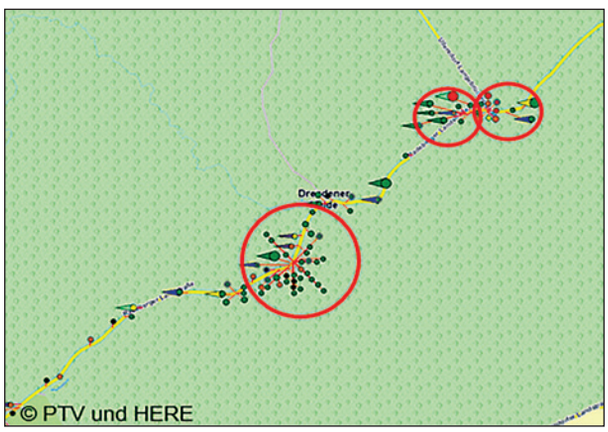


Bild 98: S 95 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt – OA Dresden - OE Radeberg (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

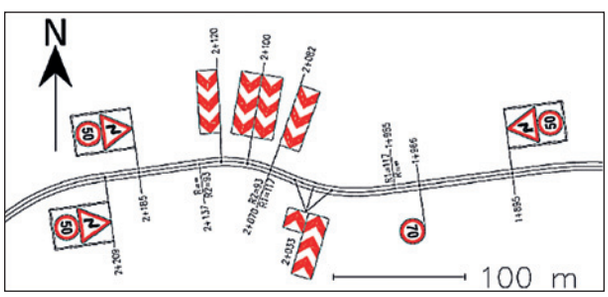


Bild 99: S 95 – Unfallschwerpunkt im Bereich Heidemühle (Ruhe 2016)

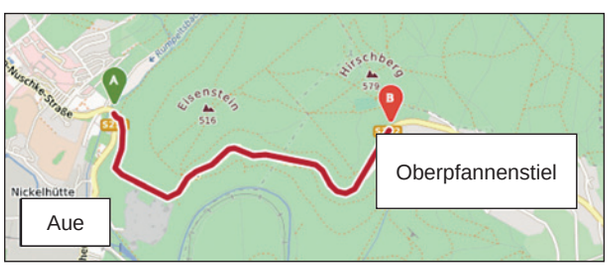


Bild 100: S 222 – Abschnitt OA Aue - OA Oberpfannenstiel (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

7.3.2 S 222 in Sachsen – Abschnitt: OA Aue - OE Oberpfannenstiel

Die Staatsstraße S 222 liegt im Süden Sachsens und führt von der B 101 bei Wolkenstein bis nach Aue. Der betrachtete Streckenabschnitt führt vom OA Aue bis zum OE Oberpfannenstiel. Die Strecke ist 2,2 km lang (Bild 100).

Im Streckenverlauf befindet sich ein Knotenpunkt in Form einer Einmündung.

Die Verkehrsstärke auf dem Abschnitt liegt bei 6.360 kfz/24h (BARK u. a., 2015). Der Schwerverkehrsanteil ist nicht bekannt.

Für die Überprüfung der Handlungsansätze stehen der Lage- und Höhenplan aus einer Streckenbefahrung des Lehrstuhls Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen der TU Dresden zur Verfügung. Zusätzlich wurde die Strecke am 22. Juni 2017 besichtigt.

Tabelle 18 zeigt die Überprüfung der im Regelwerk berücksichtigten Human Factors. Es ergaben sich dabei folgende Mängel bzw. Auffälligkeiten:

- Der empfohlene Bereich der Radien nach RAL (2012) wird unterschritten. Die Kurven mit geringen Radien folgen zweimal auf lange Geraden.
- Die Relationen der aufeinanderfolgenden Radien liegen fünfmal im zu vermeidenden Bereich.
- Als kompensatorische Maßnahmen wurden jeweils am Ortsausgang die Verkehrszeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) für den gesamten Streckenabschnitt angeordnet, mit dem Zusatzhinweis, dass es sich hierbei um eine unfallträchtige Strecke handelt (Bild 101).
- In den betreffenden Kurven wurden zusätzlich die Verkehrszeichen Z 625 StVO (Richtungstafel) angeordnet (Bild 102).
- Durch das bewegte Gelände kommt es zu Längsneigungen bis zu s = 13 %. Dies wird den Fahrzeugführern durch das Gefahrenzeichen Z 108-59 StVO mitgeteilt (Bild 103).
- Die Einmündung ist in Fahrtrichtung Aue nur schwer zu erkennen (Bild 104). Hier wären ergänzende Maßnahmen für die Erkennbarkeit förderlich. Zudem fehlt der Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt zur Verdeutlichung der Wartepflicht.

Es wurde geprüft, ob sich auf der Strecke Unfälle ereigneten, für die nicht umgesetzte Human Factors maßgebend sein könnten. Dafür wurde das Unfallgeschehen des Streckenabschnittes im Zeitraum vom 1. Januar 2014 bis zum 31. Dezember 2016 untersucht.

Im betrachteten Zeitraum ereigneten sich 22 Unfälle (ohne Wild- und Tier-Unfälle), davon zwei mit schwerem und einer mit leichtem Personenschaden (Bild 105).

Bild 101: S 222 – Gefahrenzeichen Z 105 StVO mit dem Hinweis auf einen Unfallschwerpunkt am OA Aue

Bild 102: S 222 – Richtungstafeln Z 625 StVO

Bild 103: S 222 – Gefahrenzeichen Z 108-59 StVO (13 % Gefälle)

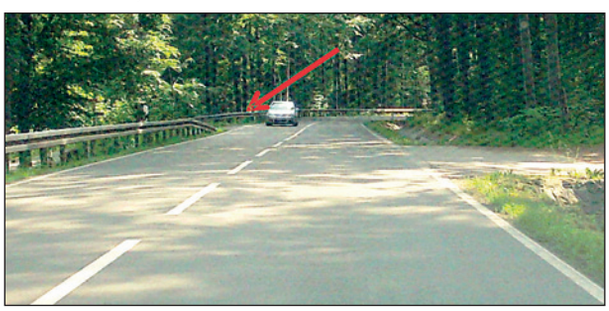


Bild 104: S 222 – Einmündung im Streckenverlauf

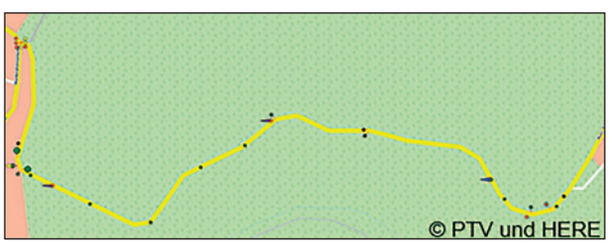


Bild 105: S 222 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt OA Aue - OE Oberpfannenstiel (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Unfallschwerpunkte gibt es nicht, jedoch geschahen in der ersten Linkskurve nach dem OA Aue fünf Fahrunfälle aufgrund unangepasster Geschwindig-

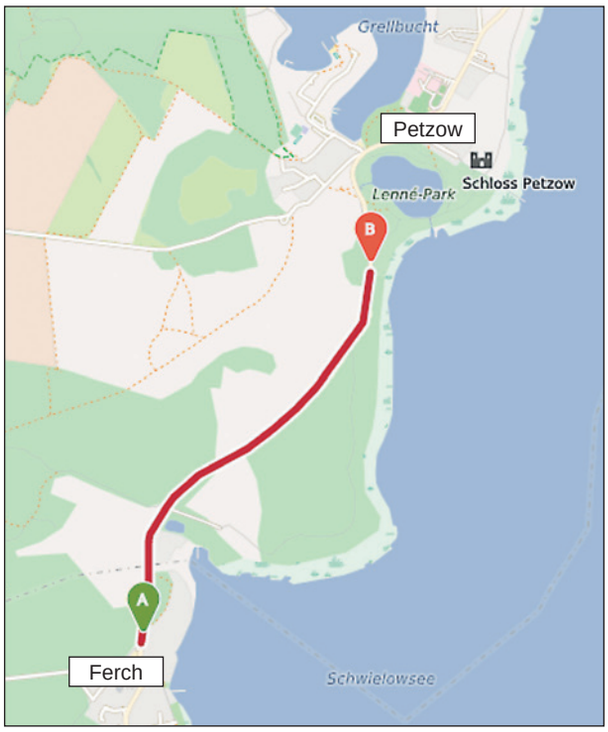


Bild 106: K 6908 – Abschnitt OA Ferch - OE Petzow (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 107: K 6908 – Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Vzul = 70 km/h

keit. Trotz der Hinweise auf die Kurvigkeit und das erhöhte Unfallgeschehen scheinen die Fahrzeugführer andere Erwartungen an den Streckenverlauf zu haben bzw. die Kurve falsch einzuschätzen.

7.4 Straßen der EKL 4

7.4.1 K 6908 in Brandenburg – Abschnitt: OA Ferch - OE Petzow

Die Kreisstraße K 6908 befindet sich in Brandenburg im Landkreis Potsdam-Mittelmark, südwestlich von Berlin und westlich des Schwielowsees. Der betrachtete Streckenabschnitt erstreckt sich über ca. 1,8 km vom Ortsausgang Ferch bis zum Ortseingang Petzow (Bild 106). Landwirtschaftlicher Verkehr ist auf der Strecke zugelassen. Der Fußgänger- und Radverkehr wird aufgrund der hohen touristischen Bedeutung des Planungsraums auf einem gesonderten Geh- und Radweg geführt.

Bild 108: K 6908 – Gefahrenzeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) bei aufeinanderfolgenden Kurven im zu vermeidenden Bereich

Im Jahr 2013 betrug die Verkehrsstärke auf dem Abschnitt 3.800 Kfz/24h mit einem SV-Anteil von 8 % (PST 2014). Die K 6908 wird aufgrund des Tourismus vor allem in den Sommermonaten stark befahren.

Im Streckenverlauf befinden sich vier Knotenpunkte und eine Haltestelle in Fahrbahnrandlage.

Der Streckenabschnitt wurde nach den RAL (2012) geplant und im Jahr 2014 gebaut.

Für die Überprüfung der Handlungsansätze stehen die Lagepläne, Höhenpläne und Querschnitte aus der Entwurfsplanung (EP) sowie die Markierungspläne aus der Genehmigungsplanung (GP) zur Verfügung. Zusätzlich wurde die Strecke am 3. Mai 2017 besichtigt.

Tabelle 19 zeigt die Überprüfung der im Regelwerk berücksichtigten Human Factors. Es ergaben sich dabei folgende Mängel bzw. Auffälligkeiten:

- Auf der Strecke ist die zulässige Geschwindigkeit auf V_{zul} = 70 km/h beschränkt, mit dem Hinweis, dass es sich dort um eine Testmarkierung handelt (Bild 107).
- Im Lageplan befinden sich zwei aufeinanderfolgende Kurven im zu vermeidenden Bereich. Als kompensatorische Maßnahmen wurden die Verkehrszeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) und Z 625 StVO (Richtungstafel) angeordnet (Bild 108).
- Die Haltesichtweite kann in zwei Abschnitten nicht eingehalten werden. Dabei handelt es sich um die Kurven mit den Verkehrszeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) und Z 625 StVO (Richtungstafel).

Bild 109: K 6908 – fehlender Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt

Bild 110: K 6908 – eingeschränkte Erkennbarkeit der Haltstelle und des Knotenpunktes in Fahrtrichtung Ferch

Bild 111: K 6908 – Übergang zum OA Ferch (Bestand)

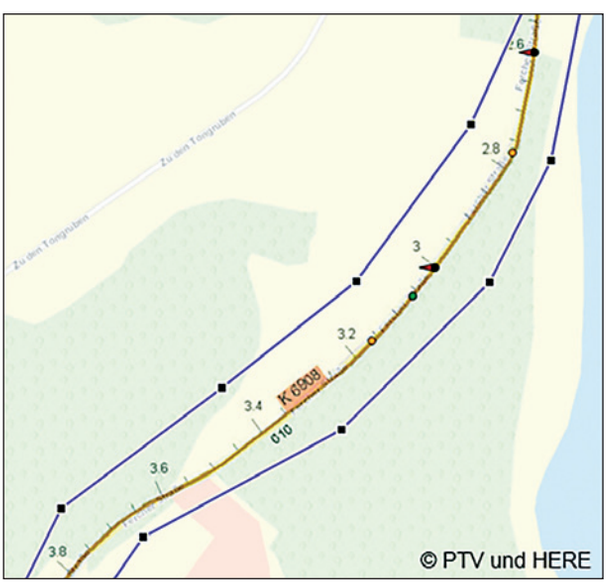


Bild 112: K 6908 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt OA Ferch - OE Petzow (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

- In den untergeordneten Zufahrten ist entgegen den RAL (2012) kein Fahrbahnteiler angeordnet (Bild 109).

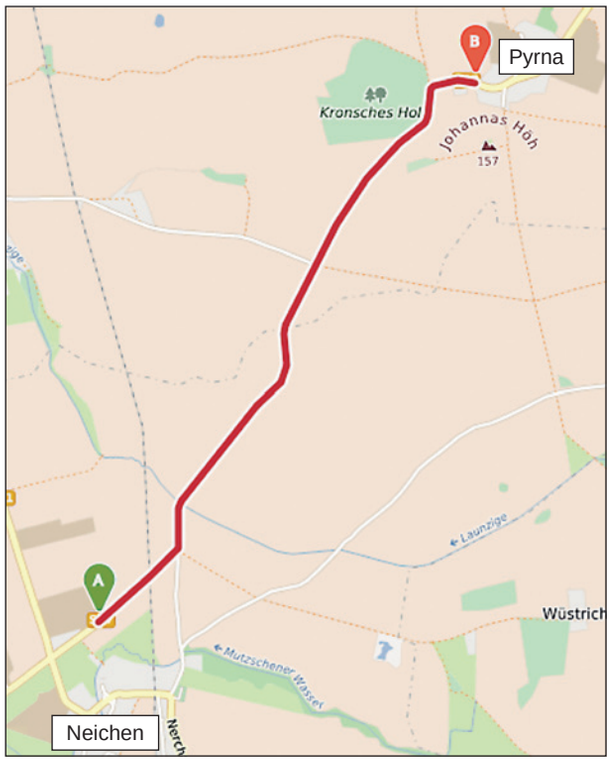


Bild 113: S 47 – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

- Die Erkennbarkeit der Haltestelle in Fahrbahnrandlage und des Knotens in Fahrtrichtung Ferch ist eingeschränkt (Bild 110).
- Im Bereich eines Querneigungswechsels ist die Längsneigung s < 1,0 %. Als kompensatorische Maßnahme wurde die Geschwindigkeit bei Nässe auf $V_{zul,nass}$ = 60 km/h beschränkt.
- Die freie Strecke wurde mit einem unterbrochenen Schmalstrich (Strich-Lücke-Verhältnis 1,0/1,0) markiert. Der Übergang der Markierung findet jeweils auf der Höhe der Ortstafeln statt (Bild 111).

Es wurde geprüft, ob sich auf der Strecke Unfälle ereigneten, für die nicht umgesetzte Human Factors maßgebend sein könnten. Dafür wurde das Unfallgeschehen des Streckenabschnittes im Zeitraum vom 1. Januar 2015 bis zum 30. Juni 2016 untersucht.

Im betrachteten Zeitraum ereigneten sich drei Unfälle mit Sachschaden (ohne Wild- und Tier-Unfälle) siehe Bild 112.

Die Anzahl der Unfallgeschehen ist sehr gering, eine Verbindung zu Human Factors kann nicht hergestellt werden.

7.4.2 S 47 in Sachsen – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna

Die Staatsstraße S 47 liegt in Sachsen und verläuft von der Bundesstraße B 6 bei Kühren bis zu den Staatsstraßen S 38 und S 45 bei Grethen. Sie hat eine Länge von 18 km. Der betrachtete Streckenabschnitt erstreckt sich über ca. 2,8 km von Pyrna nach Neichen (Bild 113). Landwirtschaftlicher und nichtmotorisierter Verkehr sind auf der Strecke zugelassen. Es besteht zusätzlich ein gesonderter Geh- und Radweg.

Im Streckenverlauf befinden sich zwei plangleiche Einmündungen mit Gemeindeverbindungsstraßen. Die S 47 wird weiterhin von Wirtschaftswegen sowie einem Geh- und Radweg gekreuzt.

Die Verkehrsstärke auf dem Abschnitt ist nicht bekannt.

Der Streckenabschnitt wurde im Jahr 2014 im Zuge einer Fahrbahnerneuerung als Straße der EKL 4 markiert. Dafür wurde die alte Asphaltdeckschicht ca. 1,0 cm abgefräst und eine neue Asphalttrag- und Asphaltdeckschicht auf vorhandener Breite aufgebracht.

Für die Überprüfung der Handlungsansätze stehen der Übersichtlageplan (Maßstab 1 : 5.000), Lagepläne ausgewählter Abschnitte und Querschnitte aus den Ausschreibungsunterlagen zu Verfügung. Zusätzlich wurde die Strecke am 3. Mai 2017 besichtigt.

Tabelle 20 zeigt die Überprüfung der im Regelwerk berücksichtigten Human Factors. Es ergaben sich dabei folgende Mängel bzw. Auffälligkeiten:

- Der empfohlene Bereich der Radien wird mit den Radien R = 35 m und R = 45 m unterschritten. Diese folgen zum Teil auf lange Geraden. Als kompensatorische Maßnahmen wurden die Verkehrszeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) und Z 625 StVO (Richtungstafel) angeordnet (Bild 114 und Bild 115). Jedoch wurde kein Verkehrszeichen vor der Doppelkurve zwischen zwei langen Geraden in Fahrtrichtung Neichen angebracht.
- Durch eine gekrümmte Kuppe wird die Sichtweite subjektiv als gering wahrgenommen (Bild 116).
- Die befestigte Fläche ist zwischen B = 5,00 m und B = 5,50 m breit. Der Fahrstreifen ist mit B = 4,00 m um 1,00 m zu schmal. Die Randstreifenbreite schwankt zwischen B = 0,50 m und B = 0,75 m und das Bankett hat eine Breite von B = 1,00 m. Es wird jedoch eingeschätzt, dass die von den RAL abweichende Breite von den Fahrzeugführern nicht wahrgenommen wird. Maßgebend für die Erkennbarkeit sind die seitlichen Leitlinien.
- In den untergeordneten Zufahrten sind entgegen den RAL (2012) keine Fahrbahnteiler angeordnet (Bild 117).
- Zudem ist die Einmündung der Burkartshainer Straße nicht abgekröpft, sodass die Erkennbarkeit der Vorfahrtsregelung erschwert ist (Bild 118).

Bild 114: S 47 – Verkehrszeichen Z 625 StVO Richtungstafeln in Kurven mit R < 200 m

Bild 115: S 47 – Gefahrenzeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) nach langer Gerade

Bild 116: S 47 – eingeschränkte Sichtweite/Fernorientierung durch eine gekrümmte Kuppe

Bild 117: S 47 – Knotenpunkt ohne Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt und ohne LA 4

Bild 118: S 47 – Einmündung der Burkartshainer Straße (Fahrtrichtung Neichen)

Bild 119: S 47 – Markierung des Übergangsbereichs jeweils am OA

Die freie Strecke wurde mit einem unterbrochenen Schmalstrich (Strich-Lücke-Verhältnis 1,0/1,0), die Ortsdurchfahrten mit einem durchgehenden Schmalstrich markiert. Der Übergang beider Markierungen erfolgt direkt auf der Höhe der Ortstafeln (Bild 119).

Es wurde geprüft, ob sich auf der Strecke Unfälle ereigneten, für die nicht umgesetzte Human Factors maßgebend sein könnten. Dafür wurde das Unfallgeschehen des Streckenabschnittes im Zeitraum vom 1. Januar 2015 bis zum 31. Dezember 2016 untersucht.

Im betrachteten Zeitraum ereigneten sich acht Unfälle (ohne Wild- und Tier-Unfälle), davon fünf mit leichtem Personenschaden (Bild 120).

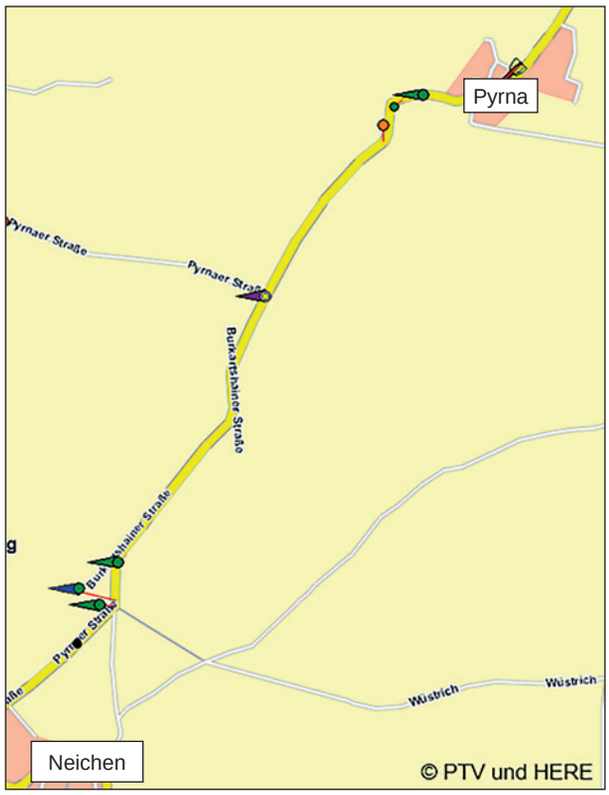


Bild 120: S 47 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt OA Neichen - OE Pyrna (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Unfallschwerpunkte gibt es nicht, jedoch passierten vier Fahrunfälle in den Kurven mit zu geringen Radien aufgrund nicht angepasster Geschwindigkeiten. Es ist anzunehmen, dass die Fahrzeugführer den Streckenverlauf falsch einschätzten, und somit der erwartete Streckenverlauf nicht mit dem tatsächlichen übereinstimmte.

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22) • RQ 15,5 • verkehrstechnischer Mittelstreifen • Kraftfahrstraße • Ein-/Ausfädeln in Knotenpunkten • gesicherte Überholabschnitte (pro Richtung 40 %) • sehr gestreckte Linienführung (R ≥ 500 m, s≤ 4,5 %, HK ≥ 8.000 m, HK ≥ 4.000 m, min T = 100 m)	• umgesetzt (endet am Bauende) • nicht umgesetzt • umgesetzt (endet am Bauende) • umgesetzt • eine gesicherter Überholmöglichkeit je Fahrrichtung (für Beurteilung Betrachtung des Streckenzugs) • umgesetzt	• RQ 15,5 und Kraftfahrstraße im weiteren Streckenverlauf fortgesetzt • durch späteren Umbau der Strecke ➔ geänderte Anordnung der Überholmöglichkeiten im Streckenabschnitt

Tab. 13: Anwendung der Handlungsansätze an der B 112 - Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	• Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36) • Verhältnis aufeinander folgender Radien (guter Bereich) • Mindestlänge von Kreisbögen (L_{min} = 70 m) • R/3 < A < R • Radien im Anschluss an Geraden (guter Bereich) • maximale Länge von Geraden	• umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt	———
		• räumlich angemessene Linienführung ➔ Verwendung von Standardraumelementen (FGSV, 2012, S. 40 - 45)	• umgesetzt	———
		Erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 77 - 79) • Haltsichtweite • Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • Einhaltung der min HK und der Überlagerung von HP und LP ➔ Einhaltung der Haltesichtweite	———
	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen	• Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleisten – Halte-, Orientierungssichtweite (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46).	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • Haltesichtweite eingehalten	• Sichtweite bei Bau-km 1+600 m Ri Frankfurt im Bereich des Ausfädelungsstreifens wird als gering wahrgenommen
		• Bepflanzungen der Kurvenaußenseite, aus Gründen der Verkehrssicherheit Innenkurven frei von Gehölzen halten (FGSV, 2003, S. 25).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• zum Teil sind Außenkurven bepflanzt
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• erforderliche Haltesichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • Haltesichtweite eingehalten	———
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf)	• KP in Ri Frankfurt (Oder) liegt im Einschnitt und in Rechtskurve ➔ Sicht wirkt eingeschränkt (Station ca. Bau-km 1+600 m)
		• Freihaltung der Sichtfelder an Knoten	• wegen Einfädeln mit Fahrstreifenaddition nicht maßgebend	———
	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Erkennbarkeit der Markierungen (FGSV, 2012, S. 82 ff.)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• durch Ummarkierung – Demarkierung der ursprünglichen Markierung (z. B. Sperrfläche) ist neue Markierung teilweise schwer zu erkennen (Befahrung mittags gegen die Sonne)
		• Anordnung von Markierungen ➔ RMS (FGSV, 1993)	• kein Markierungsplan vorhanden	• Markierung der Pfeile vor kritischen Wechsel nicht nach RAL ausgeführt, aber nach RMS
		• Erkennbarkeit tags und nachts (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen)	• kein Markierungsplan vorhanden	• tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig

Tab. 13: Anwendung der Handlungsansätze an der B 112 - Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung nach den RWB (BMVBW, 2000)	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern.	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• umgesetzt
		• Gewährleistung der Lesbarkeit, Sichtbarkeit der Beschilderung (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden	• Defizite in der räumlichen Linienführung vermeiden (Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn, Dehnung)	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • keine Defizite in räumlicher LF • ergänzend zur Prüfung im Plan, Visualisierung im Entwurfsprozess sinnvoll	• keine Auffälligkeiten
		• Vermeidung gestalterischer Defizite	• umgesetzt	• keine Auffälligkeiten
	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Anordnung eines Blendschutzes nach den RAL auf langen Geraden (auf Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten achten)	• nicht erforderlich	———
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• aus Gründen der Verkehrssicherheit kann auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzung zur Trennung der Fahrtrichtungen profiliert werden (FGSV, 2012, S. 82).	• kein Markierungsplan vorhanden • jedoch passive Schutzeinrichtung zur Trennung der Fahrtrichtungen im Bereich des Knotenpunktes angeordnet	———
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• nicht maßgebend • Markierung der Sperrflächen führt Fahrer optisch auf den rechten Fahrstreifen	———
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• visuelle Führung durch Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessern (senkrechte Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• ESLa: Hinweise zur Gestaltung des Umfeldes (FGSV, 2003).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• Wegweisung, Beschilderung regelkonform umgesetzt
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Realisierung aller Vorgaben innerhalb einer EKL (vor allem Wiedererkennungsmerkmal: Längsmarkierung)	• Umsetzung eines einbahnig dreistreifen Querschnittes als Kraftfahrstraße	• verkehrstechnischer Mittelstreifen nicht umgesetzt
	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) – zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• geeignete Knotenpunktarten für EKL 1 (RAL S.52 - 61).	• umgesetzt	———
		• Gestaltungsmerkmale der EKL 1 (FGSV, 2012, S. 20).	• umgesetzt, bis auf Hauptmerkmal (verkehrstechnischen Mittelstreifen)	• umgesetzt

Tab. 13: Anwendung der Handlungsansätze an der B 112 - Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen -	• Übergänge zu anderen EKL lassen sich durch Knotenpunkte oder Ortschaften gut verdeutlichen (FGSV, 2012, S. 18).	———	———
		• Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• In Planung ursprünglich regelgerecht umgesetzt	• nicht mehr vorhanden, da Strecke weiter ausgebaut
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• rechtzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes (300 m bei EKL 1/EKL 2)	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • baulichen Mitteltrennung beginnt ca. 300 m vor Ausfädelungsstreifens	• Vorankündigung durch Beschilderung (500 m)
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Erkennbarkeit des Knotens durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessern	• durch passive Schutzeinrichtung in Mittelstreifen	• durch Beschilderung und passive Schutzeinrichtung in Mittelstreifen erkenn- und begreifbar
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Gestaltung von Übergangsbereichen durch allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik (ESLa – FGAV, 2003)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• Bepflanzung ändert sich vor Knotenpunktbereich • Knotenpunktbereich befindet sich im Einschnitt
		• Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert (ESLa - FGSV, 2003, S. 18 ff.).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• Bepflanzung ändert sich vor Knotenpunktbereich • Knotenpunktbereich befindet sich im Einschnitt
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt (Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen) (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• nicht maßgebend, da teilplanfreier Knotenpunkt	———
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien	• umgesetzt	———
		• Mindestradien im Anschluss an Geraden	• umgesetzt	———
		• flankierende verkehrstechnische Maßnahmen, wenn Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen	• nicht erforderlich	———
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• wegweisenden Beschilderung gibt u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• Beschilderung zur Einziehung der Fahrstreifen regelgerecht ausgeführt (Vorankündigung 400 m und 200 m)
		• Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• umgesetzt
	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die (FGSV, 1993) zu übernehmen • Ziel ist, durch zusätzliche Markierung Falschfahrten zu vermeiden	• betrifft in Anschlussstelle das nachgeordnete Netz ➔ hier nicht Gegenstand	———
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• keine Festlegungen in den Regelwerken	———	———
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• keine Festlegungen in den Regelwerken	———	———

Tab. 13: Anwendung der Handlungsansätze an der B 112 - Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• richtiger Querschnitt nach RAL (in Abhängigkeit von der Straßenkategorie) (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• umgesetzt (RQ 15,5 gemäß EKL 1)jedoch Abweichung von Abmessungen nach RAL (auch nach RAS-Q ➔ Eirichtungs-FS 0,25 m zu schmal, dafür MS 0,25 m breiter) • Randstreifen: 0,25 m zu schmalMittelstreifen auf freier Strecke: 0,75 m, Im KP-Bereich 2,50 m durch bauliche Trennung	• umgesetzt
	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden ➔ maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m	• umgesetzt • Monotonie durch Wechsel der ein-und zweistreifigen Abschnitte nicht zu erwarten	———
		• Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, • keine Hinweise zur Anordnung raumbildender Elemente	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• im Verlauf der Strecke wechselt Bepflanzung im Seitenraum (dichte Bepflanzung, einzelne Bäume/ Büsche, unbepflanzt • wird als abwechslungsreich eingestuft
		• keine Festlegungen zur TTC in Regelwerken	———	———
	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten	• Berücksichtigung des Überholbedarfs in Abhängigkeit von der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• umgesetzt durch RQ 15,5	———
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• durch standardisierte Elemente (Ein- und Ausfädelungsstreifen) sichergestellt	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/Lane-Crossing (TLC)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	———	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• umgesetzt	———

Tab. 13: Anwendung der Handlungsansätze an der B 112 - Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22) • RQ 15,5	• umgesetzt	• beginnt am Abschnittanfang – Übergang von einem zweibahnigen RQ
		• verkehrstechnischer Mittelstreifen • Kraftfahrstraße • Ein-/Ausfädeln in Knotenpunkten • gesicherte Überholabschnitte (pro Richtung 40 %) • sehr gestreckte Linienführung (R ≥ 500 m, s≤ 4,5 %, HK ≥ 8.000 m, HW ≥ 4.000 m, min T = 100 m)	• umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt	

Tab. 14: Anwendung der Handlungsansätze an der B 178 n – Abschnitt: Löbau Süd - Obercunnersdorf

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36) • Verhältnis aufeinander folgender Radien (guter Bereich) • Mindestlänge von Kreisbögen (L_{min} = 70 m) • R/3 < A < R • Radien im Anschluss an Geraden (guter Bereich) • maximale Länge von Geraden	• umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt	———
		• räumlich angemessene Linienführung ➔ Verwendung von Standardraumelementen (FGSV, 2012, S. 40 - 45)	• umgesetzt	———
		• Erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 77 - 79) • Haltsichtweite • Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • Einhaltung der min HK und der Überlagerung von HP und LP ➔ Einhaltung der Haltesichtweite	———
	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen	• Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleisten – Halte-, Orientierungssichtweite (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46).	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • Haltesichtweite eingehalten	———
		• Bepflanzungen der Kurvenaußenseite, aus Gründen der Verkehrssicherheit Innenkurven frei von Gehölzen halten (FGSV, 2003, S. 25).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine gesonderte Bepflanzung vorhanden
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• erforderliche Haltesichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • Haltesichtweite eingehalten	———
		• Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf)	• keine Auffälligkeiten
		• Freihaltung der Sichtfelder an Knoten	• wegen Einfädeln mit Fahrstreifenaddition nicht maßgebend	———
	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Erkennbarkeit der Markierungen (FGSV, 2012, S. 82 ff.)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
		• Anordnung von Markierungen ➔ RMS (FGSV, 1993)	• umgesetzt mit Ausnahmen: • Pfeile und kritische Wechsel nicht nach RAL (korrekt nach RMS (1993)) • Fahrstreifenbegrenzungslinie bei Fahrstreifenaddition fehlt	• Markierung der Fahrstreifenbegrenzungslinie regelkonform umgesetzt
		• Erkennbarkeit tags und nachts (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig

Tab. 14: Anwendung der Handlungsansätze an der B 178 n – Abschnitt: Löbau Süd - Obercunnersdorf (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung nach den RWB (BMVBW, 2000)	• umgesetzt	_____
		• Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern.	• aus Plänen nicht ersichtlich (Ziele nicht in Beschilderungsplan aufgeführt)	• umgesetzt
		• Gewährleistung der Lesbarkeit, Sichtbarkeit der Beschilderung (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden	• Defizite in der räumlichen Linienführung vermeiden (Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn, Dehnung)	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • keine Defizite in räumlicher LF • ergänzend zur Prüfung im Plan, Visualisierung im Entwurfsprozess sinnvoll	• keine Auffälligkeiten
		• Vermeidung gestalterischer Defizite	• umgesetzt	_____
	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Anordnung eines Blendschutzes nach den RAL auf langen Geraden (auf Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten achten)	• nicht erforderlich	_____
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• aus Gründen der Verkehrssicherheit kann auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzung zur Trennung der Fahrtrichtungen profiliert werden (FGSV, 2012, S. 82).	• nicht erforderlich	_____
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• nicht maßgebend • Markierung der Sperrflächen führt Fahrer optisch auf den rechten Fahrstreifen	_____
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• visuelle Führung durch Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessern (senkrechte Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• ESLa: Hinweise zur Gestaltung des Umfeldes (FGSV, 2003).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• Wegweisung, Beschilderung regelkonform umgesetzt	_____
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Realisierung aller Vorgaben innerhalb einer EKL (vor allem Wiedererkennungsmerkmal: Längsmarkierung)	• umgesetzt	• umgesetzt
	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) – zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• geeignete Knotenpunktarten für EKL 1 (RAL S.52 - 61).	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Gestaltungsmerkmale der EKL 1 (FGSV, 2012, S. 20).	• umgesetzt	• umgesetzt
	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zu anderen EKL lassen sich durch Knotenpunkte oder Ortschaften gut verdeutlichen (FGSV, 2012, S. 18).	• nicht erforderlich	_____

Tab. 14: Anwendung der Handlungsansätze an der B 178 n – Abschnitt: Löbau Süd - Obercunnersdorf (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• nicht erforderlich	_____
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• rechtzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes (300 m bei EKL 1/EKL 2)	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • Vorankündigung des KP durch Beschilderung	• keine Auffälligkeiten
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Erkennbarkeit des Knotens durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessern	• umgesetzt – KP durch Verkehrszeichen angekündigt	_____
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Gestaltung von Übergangsbereichen durch allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik (ESLa – FGAV, 2003)	• nicht erforderlich	_____
		• Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert (ESLa - FGSV, 2003, S. 18 ff.).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden • nicht erforderlich – Erkennbarkeit gewährleistet	_____
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt (Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen) (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• nicht maßgebend, da teilplanfreier Knotenpunkt	_____
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien	• umgesetzt	_____
		• Mindestradien im Anschluss an Geraden	• umgesetzt	_____
		• flankierende verkehrstechnische Maßnahmen, wenn Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen	• nicht erforderlich	_____
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• wegweisenden Beschilderung gibt u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern	• nicht erforderlich	_____
		• Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• umgesetzt	• umgesetzt
	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die (FGSV, 1993) zu übernehmen • Ziel ist, durch zusätzliche Markierung Falschfahrten zu vermeiden	• betrifft in Anschlussstelle das nachgeordnete Netz ➔ hier nicht Gegenstand	_____
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• keine Festlegungen in den Regelwerken	_____	_____
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• keine Festlegungen in den Regelwerken	_____	_____
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• richtiger Querschnitt nach RAL (in Abhängigkeit von der Straßenkategorie) (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• umgesetzt (RQ 15,5 gemäß EKL 1) • jedoch Abweichung von Abmessungen nach RAL • Fahrstreifen B = 3,25 m • Randstreifen B = 0,50 m • Mittelstreifen B = 0,75 m	• umgesetzt

Tab. 14: Anwendung der Handlungsansätze an der B 178 n – Abschnitt: Löbau Süd - Obercunnersdorf (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden ➔ maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m	• umgesetzt	———
		• Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, • keine Hinweise zur Anordnung raumbildender Elemente	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• keine Festlegungen zur TTC in Regelwerken	———	———
	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten	• Berücksichtigung des Überholbedarfs in Abhängigkeit von der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• umgesetzt durch RQ 15,5	———
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• durch standardisierte Elemente (Ein- und Ausfädelungsstreifen) sichergestellt	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/ Lane-Crossing (TLC)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	———	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• in Übersichtslageplan nicht lesbar	• keine Auffälligkeiten

Tab. 14: Anwendung der Handlungsansätze an der B 178 n – Abschnitt: Löbau Süd - Obercunnersdorf (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22) • RQ 11,5+ • Doppellinie zur Richtungstrennung • Ein-/Abbiegen/Kreuzen mit Lichtsignalanlage in Knotenpunkten • gesicherte Überholabschnitte (pro Richtung ≥ 20 %) • gestreckte Linienführung (400 ≤ R ≤ 900 m, s ≤ 5,5 %, HK ≥ 6.000 m, HW ≥ 3.500 m, min T = 85 m)	• umgesetzt • größtenteils umgesetzt • nicht umgesetzt ➔ unterschiedliche KP-Formen ((teil-) planfrei, plangleich ohne LSA) • umgesetzt • kein LP und HP vorhanden	• unterschiedliche Knotenpunktformen wirken der Standardisierung entgegen • Strecke im unbewegtem Gelände ➔ Parameter im HP eingehalten
		Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36) • Verhältnis aufeinander folgender Radien (guter Bereich) • Mindestlänge von Kreisbögen (L_{min} = 60 m) • R/3 < A < R • Radien im Anschluss an Geraden (guter Bereich) • maximale Länge von Geraden	• kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten bei der Befahrung bemerkbar • Strecke war mit Vzul befahrbar
		• räumlich angemessene Linienführung ➔ Verwendung von Standardraumelementen (FGSV, 2012, S. 40 - 45)	• kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		Erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 77 - 79) • Haltsichtweite • Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten

Tab. 15: Anwendung der Handlungsansätze an der B 3 – Abschnitt: Elze Nord – Eimer Kreuz

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen	• Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleisten – Halte-, Orientierungssichtweite (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46).	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Bepflanzungen der Kurvenaußenseite, aus Gründen der Verkehrssicherheit Innenkurven frei von Gehölzen halten (FGSV, 2003, S. 25).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine gesonderte Bepflanzung vorhanden
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• erforderliche Haltesichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Freihaltung der Sichtfelder an Knoten	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Erkennbarkeit der Markierungen (FGSV, 2012, S. 82 ff.)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
		• Anordnung von Markierungen ➔ RMS (FGSV, 1993)	• umgesetzt mit Ausnahmen: • keine Doppellinie auf schmalen zweistreifigen Abschnitt • Fahrstreifenbegrenzungslinie an Einfahrt des KP mit B 240 fehlt • Pfeile nicht nach RAL (korrekt nach RMS)	• Markierung der Fahrstreifenbegrenzungslinie regelkonform umgesetzt
		• Erkennbarkeit tags und nachts (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung nach den RWB (BMVBW, 2000)	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern.	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Gewährleistung der Lesbarkeit, Sichtbarkeit der Beschilderung (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden	• Defizite in der räumlichen Linienführung vermeiden (Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn, Dehnung)	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Vermeidung gestalterischer Defizite	• kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Anordnung eines Blendschutzes nach den RAL auf langen Geraden (auf Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten achten)	• nicht erforderlich	———
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• aus Gründen der Verkehrssicherheit kann auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzung zur Trennung der Fahrtrichtungen profiliert werden (FGSV, 2012, S. 82).	• nicht erforderlich	———
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• nicht maßgebend	———

Tab. 15: Anwendung der Handlungsansätze an der B 3 – Abschnitt: Elze Nord – Eimer Kreuz (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• visuelle Führung durch Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessern (senkrechte Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• ESLa: Hinweise zur Gestaltung des Umfeldes (FGSV, 2003).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• Wegweisung, Beschilderung regelkonform umgesetzt • zu geringer Abstand zwischen KP 1 und KP 2 sowie KP 2 und KP 3	———
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Realisierung aller Vorgaben innerhalb einer EKL (vor allem Wiedererkennungsmerkmal: Längsmarkierung)	• Doppellinie für Richtungstrennung nicht durchgehend • zu geringer Abstand zwischen KP 1 und KP 2 sowie KP 2 und KP 3 • Knotenpunkte nicht einheitlich, • plangleiche KP ohne LSA nicht RAL-konform	• Doppellinie für Richtungstrennung nicht durchgehend • Knotenpunkte nicht einheitlich, • plangleiche KP ohne LSA nicht RAL-konform
	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) – zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• geeignete Knotenpunktarten für EKL 2 (RAL S.52 - 61).	• plangleiche KP ohne LSA nicht geeignet	• plangleiche KP ohne LSA nicht geeignet
		• Gestaltungsmerkmale der EKL 2 (FGSV, 2012, S. 20).	• Doppellinie für Richtungstrennung nicht durchgehend	• Doppellinie für Richtungstrennung nicht durchgehend
	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zu anderen EKL lassen sich durch Knotenpunkte oder Ortschaften gut verdeutlichen (FGSV, 2012, S. 18).	• nicht erforderlich	———
		• Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• umgesetzt	• umgesetzt
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• rechtzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes (300 m bei EKL 1/EKL 2)	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt (Sichtweitenband im Vorentwurf) • Vorankündigung der KP durch Beschilderung	• keine Auffälligkeiten
		• Erkennbarkeit des Knotens durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessern	• umgesetzt – KP durch Verkehrszeichen angekündigt	———
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Gestaltung von Übergangsbereichen durch allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik (ESLa – FGAV, 2003)	• nicht erforderlich	———
		• Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert (ESLa - FGSV, 2003, S. 18 ff.).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden • nicht erforderlich – Erkennbarkeit gewährleistet	———
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt (Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen) (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• plangleiche KP 1/teilplangleich KP 3: Fahrbahnteiler und Dreiecksinsel in untergeordneten Zufahrten ➔ Erkennbarkeit gewährleistet	———
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien	• kein LP vorhanden	• keine Auffälligkeiten

Tab. 15: Anwendung der Handlungsansätze an der B 3 – Abschnitt: Elze Nord – Eimer Kreuz (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• Mindestradien im Anschluss an Geraden	• kein LP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• flankierende verkehrstechnische Maßnahmen, wenn Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen	• kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• wegweisenden Beschilderung gibt u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern	• nicht erforderlich	———
		• Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• umgesetzt	• umgesetzt
	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die (FGSV, 1993) zu übernehmen • Ziel ist, durch zusätzliche Markierung Falschfahrten zu vermeiden	• nicht umgesetzt ➔ noch nicht im Regelwerk aufgenommen	———
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• richtiger Querschnitt nach RAL (in Abhängigkeit von der Straßenkategorie) (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• umgesetzt (RQ 11,5+ gemäß EKL 2) • abweichende Breite der Überholfahrstreifen (B = 3,00 m anstatt B = 3,25 m) ➔ kompensatorische Maßnahme: Überholverbot für Fahrzeige mit B ≥ 2,30 m	• umgesetzt
	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden ➔ maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m	• umgesetzt	———
		• Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, • keine Hinweise zur Anordnung raumbildender Elemente	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• keine Festlegungen zur TTC in Regelwerken	———	———
	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten	• Berücksichtigung des Überholbedarfs in Abhängigkeit von der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• umgesetzt durch RQ 11,5 • Anteil Überholfahrstreifen Richtung Süden: 29 %, Richtung: Norden 48 %	———
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• innerhalb der Knotenpunkte durch standardisierte Elemente sichergestellt	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/ Lane-Crossing (TLC)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	———	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten

Tab. 15: Anwendung der Handlungsansätze an der B 3 – Abschnitt: Elze Nord – Eimer Kreuz (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22) • RQ 11,5+ • Doppellinie zur Richtungstrennung • Ein-/Abbiegen/Kreuzen mit Lichtsignalanlage in Knotenpunkten • gesicherte Überholabschnitte (pro Richtung ≥ 20 %) • gestreckte Linienführung (400 ≤ R ≤ 900 m, s ≤ 5,5 %, H_K ≥ 6.000 m, H_W ≥ 3.500 m, min T = 85 m)	• umgesetzt • umgesetzt • nicht umgesetzt ➔ unterschiedliche Formen, auch innerhalb eines Knotens (planfrei, teilplanfrei, teilplangleich) • umgesetzt (18 % und 22 %) • umgesetzt	• unterschiedliche Knotenpunktformen wirken der Standardisierung entgegen
		Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36) • Verhältnis aufeinander folgender Radien (guter Bereich) • Mindestlänge von Kreisbögen (L_{min} = 60 m) • R/3 < A < R • Radien im Anschluss an Geraden (guter Bereich) • maximale Länge von Geraden	• umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt	———
		• räumlich angemessene Linienführung ➔ Verwendung von Standardraumelementen (FGSV, 2012, S. 40 - 45)	• - nicht vollständig umgesetzt	———
		Erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 77 - 79) • Haltsichtweite • Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • Defizit in räumlicher LF ➔ verdeckter Kurvenbeginn in Kombination mit Fahrbahnverengung am Ende des Überholfahrstreifens	• keine Auffälligkeiten
	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen	• Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleisten – Halte-, Orientierungssichtweite (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46).	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • Defizit in räumlicher LF ➔ verdeckter Kurvenbeginn in Kombination mit Fahrbahnverengung am Ende des Überholfahrstreifens	• keine Auffälligkeiten
		• Bepflanzungen der Kurvenaußenseite, aus Gründen der Verkehrssicherheit Innenkurven frei von Gehölzen halten (FGSV, 2003, S. 25).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine gesonderte Bepflanzung vorhanden
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• erforderliche Haltesichtweite	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt	• keine Auffälligkeiten
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• Orientierungssichtweite	• Defizit in räumlicher LF ➔ gekrümmte Kuppe mit verdecktem Kurvenbeginn in Kombination mit Fahrbahnverengung am Ende des Überholfahrstreifens	• Defizit in räumlicher LF ➔ gekrümmte Kuppe mit verdecktem Kurvenbeginn in Kombination mit Fahrbahnverengung am Ende des Überholfahrstreifens
		• Freihaltung der Sichtfelder an Knoten	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt • kein LP und HP vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Erkennbarkeit der Markierungen (FGSV, 2012, S. 82 ff.)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig

Tab. 16: Anwendung der Handlungsansätze an der B 327 – Ortsumgehung Kastellaun

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Anordnung von Markierungen ➔ RMS (FGSV, 1993)	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Erkennbarkeit tags und nachts (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung nach den RWB (BMVBW, 2000)	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern.	• auf der Beschilderung am KP 1 und KP 3 sind zum Teil mehr als drei Ziele je Richtung aufgeführt	• auf der Beschilderung am KP 1 und KP 3 sind zum Teil mehr als drei Ziele je Richtung aufgeführt
		• Gewährleistung der Lesbarkeit, Sichtbarkeit der Beschilderung (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden -	• Defizite in der räumlichen Linienführung vermeiden (Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn, Dehnung)	• Defizit in räumlicher LF ➔ gekrümmte Kuppe mit verdecktem Kurvenbeginn in Kombination mit Fahrbahnverengung am Ende des Überholfahrstreifens	• Defizit in räumlicher LF ➔ gekrümmte Kuppe mit verdecktem Kurvenbeginn in Kombination mit Fahrbahnverengung am Ende des Überholfahrstreifens
		• Vermeidung gestalterischer Defizite	• umgesetzt	• keine Auffälligkeiten
	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Anordnung eines Blendschutzes nach den RAL auf langen Geraden (auf Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten achten)	• nicht erforderlich	———
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• aus Gründen der Verkehrssicherheit kann auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzung zur Trennung der Fahrtrichtungen profiliert werden (FGSV, 2012, S. 82).	• nicht erforderlich	———
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• nicht maßgebend	———
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• visuelle Führung durch Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessern (senkrechte Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• ESLa: Hinweise zur Gestaltung des Umfeldes (FGSV, 2003).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• Wegweisung, Beschilderung regelkonform umgesetzt • KP-Abstand zwischen KP 1 und KP 2 von 1.700 m sollte nach RAL vermeiden werden	———
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Realisierung aller Vorgaben innerhalb einer EKL (vor allem Wiedererkennungsmerkmal: Längsmarkierung)	• zu geringer Abstand zwischen KP 1 und KP 2 • Knotenpunkte nicht einheitlich, • plangleiche KP ohne LSA und planfreier KP nicht RAL-konform	• Knotenpunkte nicht einheitlich, • plangleiche KP ohne LSA und planfreier KP nicht RAL-konform

Tab. 16: Anwendung der Handlungsansätze an der B 327 – Ortsumgehung Kastellaun (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) – zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• geeignete Knotenpunktarten für EKL 2 (RAL S.52 - 61).	• plangleiche KP ohne LSA und planfreie KP nicht geeignet	• plangleiche KP ohne LSA und planfreie KP nicht geeignet
		• Gestaltungsmerkmale der EKL 2 (FGSV, 2012, S. 20).	• umgesetzt	• umgesetzt
	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zu anderen EKL lassen sich durch Knotenpunkte oder Ortschaften gut verdeutlichen (FGSV, 2012, S. 18).	• umgesetzt (nach KP)	• umgesetzt (nach KP)
		• Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• nicht erforderlich	———
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• rechtzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes (300 m bei EKL 1/EKL 2)	• Sichtweiten nicht in AP dargestellt	• keine Auffälligkeiten
		• Erkennbarkeit des Knotens durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessern	• umgesetzt – KP durch Verkehrszeichen angekündigt	———
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Gestaltung von Übergangsbereichen durch allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik (ESLa – FGAV, 2003)	• nicht erforderlich	———
		• Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert (ESLa - FGSV, 2003, S. 18 ff.).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden • nicht erforderlich – Erkennbarkeit gewährleistet	———
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt (Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen) (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• KP 2 und KP 3: Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrten ➔ Erkennbarkeit gewährleistet	———
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien	• umgesetzt	———
		• Mindestradien im Anschluss an Geraden	• umgesetzt	———
		• flankierende verkehrstechnische Maßnahmen, wenn Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen	• nicht erforderlich	———
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• wegweisenden Beschilderung gibt u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern	• nicht erforderlich	———
		• Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• umgesetzt	• umgesetzt
	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die (FGSV, 1993) zu übernehmen • Ziel ist, durch zusätzliche Markierung Falschfahrten zu vermeiden	• nicht umgesetzt ➔ noch nicht im Regelwerk aufgenommen	———
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———

Tab. 16: Anwendung der Handlungsansätze an der B 327 – Ortsumgehung Kastellaun

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• richtiger Querschnitt nach RAL (in Abhängigkeit von der Straßenkategorie) (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• umgesetzt (RQ 11,5+ gemäß EKL 2) • abweichende Breite der Fahrstreifen im zweistreifigen Bereich ➔ B = 3,25 m	• umgesetzt
	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden ➔ maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m	• umgesetzt	———
		• Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, • keine Hinweise zur Anordnung raumbildender Elemente	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• keine Festlegungen zur TTC in Regelwerken	• entfällt	———
	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten	• Berücksichtigung des Überholbedarfs in Abhängigkeit von der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• umgesetzt durch RQ 11,5 • Anteil Überholfahrstreifen Richtung Süden: 22 %, Richtung: Norden 18 %	———
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• innerhalb der Knotenpunkte durch standardisierte Elemente sichergestellt	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/ Lane-Crossing (TLC)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• umgesetzt	———

Tab. 16: Anwendung der Handlungsansätze an der B 327 – Ortsumgehung Kastellaun (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22) • RQ 11	aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• umgesetzt
		• Ein-/Abbiegen/Kreuzen mit/ohne Lichtsignalanlage in Knotenpunkten • angepasste Linienführung (300 ≤ R ≤ 600 m, s ≤ 6,5 %, H_K ≥ 5.000 m, H_W ≥ 3.000 m, min T = 70 m)	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich • nicht umgesetzt (R < 300 m, H_K < 5.000 m, H_W < 3.000 m)	• umgesetzt (planglei-cher KP ohne LSA) • kompensatorische Maßnahmen: Verkehrszeichen Z 105 und Z 625 StVO, V_{zul} = 70 km/50 km/h
		Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36) • Verhältnis aufeinander folgender Radien (guter Bereich)	• zweimal brauchbarer, zweimal zu vermeidender Bereich	———
		• Mindestlänge von Kreisbögen (L_{min} = 50 m) • R/3 < A < R •	• fünfmal unterschritten • aus Unterlagen nicht ablesbar	
		• Radien im Anschluss an Geraden (guter Bereich)	• zweimal brauchbarer, dreizehnmal zu vermeidender Bereich	
		• maximale Länge von Geraden	• umgesetzt	

Tab. 17: Anwendung der Handlungsansätze an der S 95 – Abschnitt: OA Dresden - OE Radeberg

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	• räumlich angemessene Linienführung ➔ Verwendung von Standardraumelementen (FGSV, 2012, S. 40 - 45)	• nicht umgesetzt (sehr angepasste Linienführung)	———
		Erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 77 - 79) • Haltsichtweite • Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht vorhanden	———
	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen	• Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleisten – Halte-, Orientierungssichtweite (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46).	• Sichtweiten nicht vorhanden	• Sichtweiten wirken aufgrund der kleinen Radien teilweise gering
		• Bepflanzungen der Kurvenaußenseite, aus Gründen der Verkehrssicherheit Innenkurven frei von Gehölzen halten (FGSV, 2003, S. 25).	• aus Plänen nicht ersichtlich	• Strecke durch Waldgebiet ➔ weitestgehend beidseitige Baumbepflanzung
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• erforderliche Haltesichtweite	• Sichtweiten nicht vorhanden	———
		• Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht vorhanden	• Sichtweiten wirken aufgrund der kleinen Radien teilweise gering
		• Freihaltung der Sichtfelder an Knoten	• Sichtfelder nicht vorhanden	———
	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Erkennbarkeit der Markierungen (FGSV, 2012, S. 82 ff.)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
		• Anordnung von Markierungen ➔ RMS (FGSV, 1993)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten bis auf doppelte Fahrbahnbegrenzungslinie zur Vermeidung von Unfällen
		• Erkennbarkeit tags und nachts (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung nach den RWB (BMVBW, 2000)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern.	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Gewährleistung der Lesbarkeit, Sichtbarkeit der Beschilderung (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden	• Defizite in der räumlichen Linienführung vermeiden (Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn, Dehnung)	• Sichtweiten nicht vorhanden	• Sichtweiten wirken aufgrund der kleinen Radien teilweise gering
		• Vermeidung gestalterischer Defizite	• Visualisierung notwendig	———
	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Anordnung eines Blendschutzes nach den RAL auf langen Geraden (auf Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten achten)	• nicht erforderlich	———
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• aus Gründen der Verkehrssicherheit kann auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzung zur Trennung der Fahrtrichtungen profiliert werden (FGSV, 2012, S. 82).	• nicht relevant	———
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• nicht maßgebend	———

Tab. 17: Anwendung der Handlungsansätze an der S 95 – Abschnitt: OA Dresden - OE Radeberg (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• visuelle Führung durch Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessern (senkrechte Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• ESLa: Hinweise zur Gestaltung des Umfeldes (FGSV, 2003).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• Verkehrszeichen Z 105 (Doppelkurve) und Z 625 (Richtungstafel) sind angebracht • V_{zul} = 70 km/h, V_{zul} = 50 km/h • doppelte Fahrstreifenbegrenzungslinie
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Realisierung aller Vorgaben innerhalb einer EKL (vor allem Wiedererkennungsmerkmal: Längsmarkierung)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• zweistreifiger Querschnitt
	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) – zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• geeignete Knotenpunktarten für EKL 3 (RAL S.52 - 61).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• plangleicher KP ohne LSA umgesetzt • Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrten fehlt
		• Gestaltungsmerkmale der EKL 3 (FGSV, 2012, S. 20).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• Querschnitt und Längsmarkierung umgesetzt
	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zu anderen EKL lassen sich durch Knotenpunkte oder Ortschaften gut verdeutlichen (FGSV, 2012, S. 18).	• nicht relevant	_____
		• Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• nicht relevant	_____
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• rechtzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes (200 m bei EKL 3/EKL 4)	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• KP rechtzeitig erkennbar
		• Erkennbarkeit des Knotens durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessern	• nicht relevant	_____
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Gestaltung von Übergangsbereichen durch allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik (ESLa – FGAV, 2003)	• nicht relevant	_____
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert (ESLa - FGSV, 2003, S. 18 ff.).	• nicht relevant	_____
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt (Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen) (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• kein Fahrbahnteiler am KP vorhandenh
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien	• zweimal brauchbarer, zweimal zu vermeidender Bereich	_____
		• Mindestradien im Anschluss an Geraden	• zweimal brauchbarer, dreizehnmal zu vermeidender Bereich	_____

Tab. 17: Anwendung der Handlungsansätze an der S 95 – Abschnitt: OA Dresden - OE Radeberg (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• flankierende verkehrstechnische Maßnahmen, wenn Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• kompensatorische Maßnahmen: Verkehrszeichen Z 105 und Z 625 StVO, V_{zul} = 70 km/50 km/h
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• wegweisenden Beschilderung gibt u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• kompensatorische Maßnahmen: Verkehrszeichen Z 105 und Z 625 StVO, V_{zul} = 70 km/50 km/h
		• Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• keine Auffälligkeiten
	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die (FGSV, 1993) zu übernehmen • Ziel ist, durch zusätzliche Markierung Falschfahrten zu vermeiden	• nicht relevant	———
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• richtiger Querschnitt nach RAL (in Abhängigkeit von der Straßenkategorie) (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• umgesetzt (RQ 11 gemäß EKL 3)
	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden ➔ maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m	• umgesetzt	———
		• Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, • keine Hinweise zur Anordnung raumbildender Elemente	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• keine Festlegungen zur TTC in Regelwerken	———	———
	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten	• Berücksichtigung des Überholbedarfs in Abhängigkeit von der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• aufgrund der sehr angepassten Linienführung nur wenig Abschnitte, auf denen Überholen erlaubt ist
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• umgesetzt
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/ Lane-Crossing (TLC)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	———	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• keine Auffälligkeiten

Tab. 17: Anwendung der Handlungsansätze an der S 95 – Abschnitt: OA Dresden - OE Radeberg (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22) • RQ 11 • Ein-/Abbiegen/Kreuzen mit/ohne Lichtsignalanlage in Knotenpunkten • angepasste Linienführung ($300 \leq R \leq 600$ m, $s \leq 6{,}5$ %, $H_K \geq 5.000$ m, $H_W \geq 3.000$ m, min T = 70 m)	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich • aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich • nicht umgesetzt ($R < 300$ m, $H_K < 5.000$ m, $H_W < 3.000$ m, $s > 6{,}5$ %)	• umgesetzt • umgesetzt (plangleicher KP ohne LSA) • kompensatorische Maßnahmen: Verkehrszeichen Z 105 und Z 625 StVO, Hinweis auf Unfallschwerpunkt
		Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36) • Verhältnis aufeinander folgender Radien (guter Bereich) • Mindestlänge von Kreisbögen ($L_{min} = 50$ m) • $R/3 < A < R$ • Radien im Anschluss an Geraden (guter Bereich) • maximale Länge von Geraden	• fünfmal zu vermeidender Bereich • zweimal unterschritten • aus Unterlagen nicht ablesbar • einmal brauchbarer, einmal zu vermeidender Bereich • umgesetzt	———
		• räumlich angemessene Linienführung ➔ Verwendung von Standardraumelementen (FGSV, 2012, S. 40 - 45)	• nicht umgesetzt (sehr angepasste Linienführung)	———
		Erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 77 - 79) • Haltsichtweite • Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht vorhanden	———
	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen	• Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleisten – Halte-, Orientierungssichtweite (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46).	• Sichtweiten nicht vorhanden	• Sichtweiten wirken aufgrund der kleinen Radien teilweise gering
		• Bepflanzungen der Kurvenaußenseite, aus Gründen der Verkehrssicherheit Innenkurven frei von Gehölzen halten (FGSV, 2003, S. 25).	• aus Plänen nicht ersichtlich	• Strecke durch Waldgebiet ➔ weitestgehend beidseitige Baumbepflanzung
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• erforderliche Haltesichtweite	• Sichtweiten nicht vorhanden	———
		• Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht vorhanden	• Sichtweiten wirken aufgrund der kleinen Radien teilweise gering
		• Freihaltung der Sichtfelder an Knoten	• Sichtfelder nicht vorhanden	———
	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Erkennbarkeit der Markierungen (FGSV, 2012, S. 82 ff.)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
		• Anordnung von Markierungen ➔ RMS (FGSV, 1993)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten bis auf doppelte Fahrbahnbegrenzungslinie zur Vermeidung von Unfällen
		• Erkennbarkeit tags und nachts (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig

Tab. 18: Anwendung der Handlungsansätze an der S 222 – Abschnitt: OA Aue - OE Oberpfannenstiel

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung nach den RWB (BMVBW, 2000)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern.	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• Gewährleistung der Lesbarkeit, Sichtbarkeit der Beschilderung (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden	• Defizite in der räumlichen Linienführung vermeiden (Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn, Dehnung)	• Sichtweiten nicht vorhanden	• Sichtweiten wirken aufgrund der kleinen Radien teilweise gering
		• Vermeidung gestalterischer Defizite	• Visualisierung notwendig	———
	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Anordnung eines Blendschutzes nach den RAL auf langen Geraden (auf Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten achten)	• nicht erforderlich	———
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• aus Gründen der Verkehrssicherheit kann auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzung zur Trennung der Fahrtrichtungen profiliert werden (FGSV, 2012, S. 82).	• nicht relevant	———
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• nicht maßgebend	———
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• visuelle Führung durch Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessern (senkrechte Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• ESLa: Hinweise zur Gestaltung des Umfeldes (FGSV, 2003).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• Verkehrszeichen Z 105 (Doppelkurve) und Z 625 (Richtungstafel) sind angebracht
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Realisierung aller Vorgaben innerhalb einer EKL (vor allem Wiedererkennungsmerkmal: Längsmarkierung)	• Markierungs- und Beschilderungsplan nicht vorhanden	• zweistreifiger Querschnitt
	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) – zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• geeignete Knotenpunktarten für EKL 3 (RAL S.52 - 61).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• plangleicher KP ohne LSA umgesetzt • Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrten fehlt
		• Gestaltungsmerkmale der EKL 3 (FGSV, 2012, S. 20).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• Querschnitt und Längsmarkierung umgesetzt
	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zu anderen EKL lassen sich durch Knotenpunkte oder Ortschaften gut verdeutlichen (FGSV, 2012, S. 18).	• nicht relevant	———
		• Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• nicht relevant	———

Tab. 18: Anwendung der Handlungsansätze an der S 222 – Abschnitt: OA Aue - OE Oberpfannenstiel (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• rechtzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes (200 m bei EKL 3/EKL 4)	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• KP in Fahrtrichtung Aue schwer erkennbar
		• Erkennbarkeit des Knotens durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessern	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• keine Maßnahmen getroffen
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Gestaltung von Übergangsbereichen durch allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik (ESLa – FGAV, 2003)	• nicht relevant	———
		• Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert (ESLa - FGSV, 2003, S. 18 ff.).	• nicht relevant	———
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt (Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen) (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• kein Fahrbahnteiler am KP vorhandenh
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien	• fünfmal zu vermeidender Bereich	———
		• Mindestradien im Anschluss an Geraden	• einmal brauchbarer, einmal zu vermeidender Bereich	———
		• flankierende verkehrstechnische Maßnahmen, wenn Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• kompensatorische Maßnahmen: Verkehrszeichen Z 105 und Z 625
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• wegweisenden Beschilderung gibt u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• kompensatorische Maßnahmen: Verkehrszeichen Z 105 und Z 625
		• Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• keine Auffälligkeiten
	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die (FGSV, 1993) zu übernehmen • Ziel ist, durch zusätzliche Markierung Falschfahrten zu vermeiden	• nicht relevant	———
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• richtiger Querschnitt nach RAL (in Abhängigkeit von der Straßenkategorie) (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• umgesetzt (RQ 11 gemäß EKL 3)
	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden ➔ maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m	• umgesetzt	———
		• Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, • keine Hinweise zur Anordnung raumbildender Elemente	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• keine Festlegungen zur TTC in Regelwerken	———	———

Tab. 18: Anwendung der Handlungsansätze an der S 222 – Abschnitt: OA Aue - OE Oberpfannenstiel (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten	• Berücksichtigung des Überholbedarfs in Abhängigkeit von der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• aufgrund der sehr angepassten Linienführung durchgängig Fahrbahnbegrenzungslinie
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• umgesetzt
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/ Lane-Crossing (TLC)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	———	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• aus Befahrungsdaten nicht ersichtlich	• keine Auffälligkeiten

Tab. 18: Anwendung der Handlungsansätze an der S 222 – Abschnitt: OA Aue - OE Oberpfannenstiel (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22) • RQ 9 • Ein-/Abbiegen/Kreuzen ohne Lichtsignalanlage in Knotenpunkten • sehr angepasste Linienführung ($200 \leq R \leq 400$ m, $s \leq 8{,}0$ %, $H_K \geq 3.000$ m, $H_W \geq 2.000$ m, min T = 40 m)	• umgesetzt • umgesetzt • nicht umgesetzt (Bestand: $R < 200$ m, $R > 400$ m, $H_K < 3.000$, $H_W < 2.000$, $T < 40$ m)	• umgesetzt • umgesetzt
		Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36) • Verhältnis aufeinander folgender Radien (guter Bereich) • Mindestlänge von Kreisbögen ($L_{min} = 40$ m) • $R/3 < A < R$ • Radien im Anschluss an Geraden (brauchbarer Bereich) • maximale Länge von Geraden	• zweimal im zu vermeidenden Bereich • umgesetzt • umgesetzt • umgesetzt (zweimal brauchbarer Bereich) • umgesetzt	• Verkehrszeichen Z 105 (Doppelkurve) und Z 625 (Richtungstafel) sind angebracht
		• räumlich angemessene Linienführung ➔ Verwendung von Standardraumelementen (FGSV, 2012, S. 40 - 45)	• umgesetzt mit einer Ausnahme	———
		Erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 77 - 79) • Haltsichtweite • Orientierungssichtweite	• Haltesichtweite wird in zwei Bereichen nicht eingehalten	• Verkehrszeichen Z 105 (Doppelkurve) und Z 625 (Richtungstafel) sind angebracht

Tab. 19: Anwendung der Handlungsansätze an der K 6908 – Abschnitt: OA Ferch - OE Petzow

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen	• Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleisten – Halte-, Orientierungssichtweite (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46).	• Haltesichtweite wird in zwei Bereichen nicht eingehalten • Orientierungssichtweite auf dem größten Teil der Strecke 30 % über Haltesichtweite	• Verkehrszeichen Z 105 (Doppelkurve) und Z 625 (Richtungstafel) sind angebracht
		• Bepflanzungen der Kurvenaußenseite, aus Gründen der Verkehrssicherheit Innenkurven frei von Gehölzen halten (FGSV, 2003, S. 25).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine gesonderte Bepflanzung vorhanden
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• erforderliche Haltesichtweite	• umgesetzt	_____
		• Orientierungssichtweite	• umgesetzt ➔ Orientierungssichtweite auf dem größten Teil der Strecke 30 % über Haltesichtweite	_____
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• Freihaltung der Sichtfelder an Knoten	• Sichtfelder nicht dargestellt	_____
	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Erkennbarkeit der Markierungen (FGSV, 2012, S. 82 ff.)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
		• Anordnung von Markierungen ➔ RMS (FGSV, 1993)	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Erkennbarkeit tags und nachts (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen)	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung nach den RWB (BMVBW, 2000)	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern.	• nicht erforderlich	• nicht erforderlich
		• Gewährleistung der Lesbarkeit, Sichtbarkeit der Beschilderung (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• in Planung nur Umfang und Lage, nicht jedoch Ausführung erkennbar	• umgesetzt
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden	• Defizite in der räumlichen Linienführung vermeiden (Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn, Dehnung)	• Haltesichtweite wird in zwei Bereichen nicht eingehalten	_____
		• Vermeidung gestalterischer Defizite	• umgesetzt	_____
	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Anordnung eines Blendschutzes nach den RAL auf langen Geraden (auf Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten achten)	• nicht erforderlich	_____
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• aus Gründen der Verkehrssicherheit kann auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzung zur Trennung der Fahrtrichtungen profiliert werden (FGSV, 2012, S. 82).	• nicht relevant	_____
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• nicht maßgebend	_____

Tab. 19: Anwendung der Handlungsansätze an der K 6908 – Abschnitt: OA Ferch - OE Petzow (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• visuelle Führung durch Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessern (senkrechte Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• ESLa: Hinweise zur Gestaltung des Umfeldes (FGSV, 2003).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• Verkehrszeichen Z 105 (Doppelkurve) und Z 625 (Richtungstafel) sind angebracht • in einem Abschnitt Geschwindigkeit auf 60 km/ bei Nässe beschränkt	• Verkehrszeichen Z 105 (Doppelkurve) und Z 625 (Richtungstafel) sind angebracht • in einem Abschnitt Geschwindigkeit auf 60 km/ bei Nässe beschränkt
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Realisierung aller Vorgaben innerhalb einer EKL (vor allem Wiedererkennungsmerkmal: Längsmarkierung)	• umgesetzt	• umgesetzt
	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) – zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• geeignete Knotenpunktarten für EKL 4 (RAL S.52 - 61).	• plangleiche KP ohne LSA umgesetzt • Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrten fehlen	• plangleiche KP ohne LSA umgesetzt • Erkenn- und Begreifbarkeit in der untergeordneten Zufahrt gewährleistet
		• Gestaltungsmerkmale der EKL 4 (FGSV, 2012, S. 20).	• umgesetzt • Abweichungen in Linienführung ist für Fahrzeugführer nicht wahrnehmbar	• umgesetzt
	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zu anderen EKL lassen sich durch Knotenpunkte oder Ortschaften gut verdeutlichen (FGSV, 2012, S. 18).	• nicht erforderlich	———
		• Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• umgesetzt – jeweils am OA	• umgesetzt – jeweils am OA
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• rechtzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes • (200 m bei EKL 3/EKL 4)	• später Erkennbarkeit des KP in Fahrtrichtung Ferch (neben der Haltestelle)	• später Erkennbarkeit des KP 4 in Fahrtrichtung Ferch (neben der Haltestelle)
		• Erkennbarkeit des Knotens durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessern	• keine Maßnahme getroffen	• keine Maßnahme getroffen
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Gestaltung von Übergangsbereichen durch allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik (ESLa – FGAV, 2003)	• nicht erforderlich	———
		• Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert (ESLa - FGSV, 2003, S. 18 ff.).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt (Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen) (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• keine Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrten	• keine Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrten • untergeordnete Straße dennoch erkennbar
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien	• zweimal im zu vermeidenden Bereich	———
		• Mindestradien im Anschluss an Geraden	• umgesetzt (zweimal brauchbarer Bereich)	———

Tab. 19: Anwendung der Handlungsansätze an der K 6908 – Abschnitt: OA Ferch - OE Petzow (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• flankierende verkehrstechnische Maßnahmen, wenn Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO)	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO)
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• wegweisenden Beschilderung gibt u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO) • in einem Abschnitt Geschwindigkeit auf 60 km/ bei Nässe beschränkt	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO) • in einem Abschnitt Geschwindigkeit auf 60 km/ bei Nässe beschränkt
		• Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• umgesetzt	———
	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die (FGSV, 1993) zu übernehmen • Ziel ist, durch zusätzliche Markierung Falschfahrten zu vermeiden	• nicht erforderlich	———
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• richtiger Querschnitt nach RAL (in Abhängigkeit von der Straßenkategorie) (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• umgesetzt (RQ 9 gemäß EKL 4)	• umgesetzt
	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden ➔ maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, • keine Hinweise zur Anordnung raumbildender Elemente	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• keine Festlegungen zur TTC in Regelwerken	• entfällt	———
	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten	• Berücksichtigung des Überholbedarfs in Abhängigkeit von der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• nicht erforderlich	———
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• umgesetzt trotz fehlendem Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrt	• umgesetzt trotz fehlendem Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrt
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/ Lane-Crossing (TLC)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———

Tab. 19: Anwendung der Handlungsansätze an der K 6908 – Abschnitt: OA Ferch - OE Petzow (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• umgesetzt • im Bereich des Querneigungswechsels ist Längsneigung s < 1,0 % • kompensatorische Maßnahme: V_{zul} = 60 km/h bei Nässe	———

Tab. 19: Anwendung der Handlungsansätze an der K 6908 – Abschnitt: OA Ferch - OE Petzow (Fortsetzung

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Menge aufzunehmender Informationen entsprechen dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau (Berücksichtigung des useful field of view (UFOV))	Prinzip der Standardisierung und Wiedererkennbarkeit (FGSV, 2012, S. 18 - 22) • RQ 9 • Ein-/Abbiegen/Kreuzen ohne Lichtsignalanlage in Knotenpunkten • sehr angepasste Linienführung (200 ≤ R ≤ 400 m, s ≤ 8,0 %, H_K ≥ 3.000 m, H_W ≥ 2.000 m, min T = 40 m)	 • umgesetzt • aus Unterlagen nicht erkennbar • nicht umgesetzt (Bestand: R = 35 m und R = 45 m, H_K < 3.000, H_W < 2.000)	 • umgesetzt • umgesetzt
		Relationstrassierung (FGSV, 2012, S. 35/36) • Verhältnis aufeinander folgender Radien (guter Bereich) • Mindestlänge von Kreisbögen (L_{min}= 40 m) • R/3 < A < R • Radien im Anschluss an Geraden (brauchbarer Bereich) • maximale Länge von Geraden	 • aus Unterlagen nicht erkennbar • aus Unterlagen nicht erkennbar • in vorhanden Planauschnitten umgesetzt • aus Unterlagen nicht erkennbar • umgesetzt	 • auf lange Geraden folgen Kurven mit geringen Radien ➔ Verkehrszeichen Z 105 (Doppelkurve) und Z 625 (Richtungstafel) sind angebracht
		• räumlich angemessene Linienführung ➔ Verwendung von Standardraumelementen (FGSV, 2012, S. 40 - 45)	• aus Unterlagen nicht erkennbar	———
		Erforderliche Sichtweiten (FGSV, 2012, S. 77 - 79) • Haltsichtweite • Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht dargestellt	• subjektiv wahrgenommene geringe Sichtweite (Pyrna Richtung Neichen)
	• Kurven einsehbar, außen parallel und lückenlos gefasst; Innenkurve frei von Sichthindernissen	• Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten gewährleisten – Halte-, Orientierungssichtweite (FGSV, 2012, S. 37, S. 45/46).	• Sichtweiten nicht dargestellt	• subjektiv wahrgenommene geringe Sichtweite (Pyrna Richtung Neichen)
		• Bepflanzungen der Kurvenaußenseite, aus Gründen der Verkehrssicherheit Innenkurven frei von Gehölzen halten (FGSV, 2003, S. 25).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine gesonderte Bepflanzung vorhanden
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• erforderliche Haltesichtweite	• Sichtweiten nicht dargestellt	———

Tab. 20: Anwendung der Handlungsansätze an der S 47 – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Informationsaufnahme (andere Begriffe dazu: visuelle, akustische, taktile Reizaufnahme, Sensorik)	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• Orientierungssichtweite	• Sichtweiten nicht dargestellt	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO) • kein Gefahrenzeichen Z 105 (Doppelkurve) zwischen langen Geraden in Fahrtrichtung Neichen
	• Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen rechtzeitig erkennbar	• Freihaltung der Sichtfelder an Knoten	• Sichtweiten nicht dargestellt	———
	• Markierungen stets (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig	• Erkennbarkeit der Markierungen (FGSV, 2012, S. 82 ff.)	• kein Markierungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
		• Anordnung von Markierungen ➔ RMS (FGSV, 1993)	• Markierung nach M EKLBest umgesetz (Prinzip der RAL mit abweichenden Maßen)	• umgesetzt
		• Erkennbarkeit tags und nachts (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen“ und „Richtlinien für Markierungen auf Straßen)	• kein Markierungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten • tags erkennbar, nachts: Befahrung notwendig
	• so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung	• Aufstellung und Ausgestaltung der Beschilderung nach den RWB (BMVBW, 2000)	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• umgesetzt
		• Anzahl der Zielangaben ist dabei auf die notwendigsten Ziele zu beschränken, um den Fahrer nicht zu überfordern.	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• umgesetzt
		• Gewährleistung der Lesbarkeit, Sichtbarkeit der Beschilderung (Reflexionseigenschaften usw.) u. a.	• kein Beschilderungsplan vorhanden	• umgesetzt
	• optische Täuschungen / Verzerrungen / Verdeckungen vermeiden	• Defizite in der räumlichen Linienführung vermeiden (Sichtschatten, verdeckter Kurvenbeginn, Dehnung)	• aus Unterlagen nicht erkennbar	• subjektiv wahrgenommene geringe Sichtweite (Pyrna Richtung Neichen)
		• Vermeidung gestalterischer Defizite	• aus Unterlagen nicht erkennbar	———
	• Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden	• Anordnung eines Blendschutzes nach den RAL auf langen Geraden (auf Einhaltung der erforderlichen Sichtweiten achten)	• nicht erforderlich	———
	• Einsatz akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale	• aus Gründen der Verkehrssicherheit kann auf Straßen der EKL 1 und der EKL 2 die Fahrstreifenbegrenzung zur Trennung der Fahrtrichtungen profiliert werden (FGSV, 2012, S. 82).	• nicht relevant	———
	• Forschungsbedarf zu optischen Bremsen (Quermarkierungen, dreidimensional wirkenden Markierungen)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• nicht maßgebend	———
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• visuelle Führung durch Gestaltung des Umfeldes und der Straßenausstattung verbessern (senkrechte Leiteinrichtungen und Gehölzpflanzungen (FGSV, 2012, S. 40, S. 83 - 85)	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten

Tab. 20: Anwendung der Handlungsansätze an der S 47 – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Aufmerksamkeit und Wahrnehmung (andere Begriffe dazu: Aufmerksamkeitsallokation, Ablenkung, Perzeption)	• visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld	• ESLa: Hinweise zur Gestaltung des Umfeldes (FGSV, 2003).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• Berücksichtigung der Aufmerksamkeitslenkung	• Aufmerksamkeitsbeeinflussung durch bewusste planerische Mittel, z. B. Wegweisung, Beschilderung, Verdeutlichung der Kurve und Knotenpunkte durch Schilder und Anpflanzungen	• kein Markierungs- und Beschilderungsplan vorhanden	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO) • kein Gefahrenzeichen Z 105 (Doppelkurve) zwischen langen Geraden in Fahrtrichtung Neichen
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale	• Realisierung aller Vorgaben innerhalb einer EKL (vor allem Wiedererkennungsmerkmal: Längsmarkierung)	• Längsmakierung umgesetzt • Vorgaben der Linienführung z. T. nicht umgesetzt • Breite des Fahrstreifens (B = 4,00) 1,00 m zu schmal	• umgesetzt
	• einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) – zusammen muss ein konsistentes mentales Modell beim Nutzer entstehen	• geeignete Knotenpunktarten für EKL 4 (RAL S.52 - 61).	• aus Unterlagen nicht erkennbar	• umgesetzt • Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrten fehlen
		• Gestaltungsmerkmale der EKL 4 (FGSV, 2012, S. 20).	• Längsmakierung umgesetzt • Vorgaben der Linienführung z. T. nicht umgesetzt • Breite des Fahrstreifens (B = 4,00) 1,00 m zu schmal	• umgesetzt
	• Übergänge zwischen Straßenkategorien rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• Übergänge zu anderen EKL lassen sich durch Knotenpunkte oder Ortschaften gut verdeutlichen (FGSV, 2012, S. 18).	• nicht erforderlich	———
		• Übergänge zwischen dem Bestandsnetz und den nach RAL gestalteten Straßen sind im M EKLBest geregelt.	• umgesetzt – jeweils am OA	• umgesetzt – jeweils am OA
	• Knotenpunkte im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich kennzeichnen	• rechtzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes • (200 m bei EKL 3/EKL 4)	• aus Unterlagen nicht erkennbar	• keine Auffälligkeiten
		• Erkennbarkeit des Knotens durch Verkehrszeichen, Leiteinrichtungen und die Seitenraumgestaltung verbessern	• aus Unterlagen nicht erkennbar	• Einmündung der Burkhartshainer Straße nicht abgeköpft ➔ schlecht erkennbar in Fahrtrichtung Neichen
	• Übergänge zur Ortschaft rechtzeitig und deutlich kennzeichnen (Annäherungsbereich)	• Gestaltung von Übergangsbereichen durch allmählichen Wechsel der Streckencharakteristik (ESLa – FGAV, 2003)	• nicht erforderlich	———
		• Erkenn- und Begreifbarkeit von Knotenpunkten durch Bepflanzungen verbessert (ESLa - FGSV, 2003, S. 18 ff.).	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
	• unter- und übergeordnete Straße als solche klar erkennbar	• Fahrbahneinengung in der untergeordneten Zufahrt (Tropfen und/oder Dreiecksinseln und Beschilderungen) (FGSV, 2012, S. 72 ff.).	• aus Unterlagen nicht erkennbar	• keine Fahrbahnteiler in untergeordneten Zufahrten
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• zulässige Verhältnisse aufeinander folgender Radien	• außerhalb des Bewertungsbereichs nach RAL	———

Tab. 20: Anwendung der Handlungsansätze an der S 47 – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
	• stetiger/kontinuierlicher Streckenverlauf	• Mindestradien im Anschluss an Geraden	• außerhalb des Bewertungsbereichs nach RAL	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO) • kein Gefahrenzeichen Z 105 (Doppelkurve) zwischen langen Geraden in Fahrtrichtung Neichen
		• flankierende verkehrstechnische Maßnahmen, wenn Verhältnisse außerhalb des brauchbaren Bereichs liegen	• kein Markierungs- und Beschilderungsplan vorhanden	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO) • kein Gefahrenzeichen Z 105 (Doppelkurve) zwischen langen Geraden in Fahrtrichtung Neichen
Erwartungskonformität (andere Begriffe dazu: Stetigkeit, Konsistenz, Kontinuität, Logik-Axiom)	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• wegweisenden Beschilderung gibt u. a. frühzeitige Hinweise zur Vermeidung von gefährlichen Fahrmanövern	• kein Markierungs- und Beschilderungsplan vorhanden	• Ankündigung von Kurven mit geringem Radius (Z 105 und Z 625 StVO) und kreuzendem Geh- und Radweg (Z 138 StVO) • kein Gefahrenzeichen Z 105 (Doppelkurve) zwischen langen Geraden in Fahrtrichtung Neichen
	• wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden	• Standorte für die Beschilderung auf der freien Strecke und im Knotenpunkt definiert (BMVBW, 2000).	• kein Markierungs- und Beschilderungsplan vorhanden	_____
	• besonders im Knotenpunkt fördert die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten	• Empfehlungen aus der Untersuchung von MAIER u. a. (2015) in die (FGSV, 1993) zu übernehmen • Ziel ist, durch zusätzliche Markierung Falschfahrten zu vermeiden	• nicht erforderlich	_____
	• Forschungsbedarf zur Bedeutsamkeit der motivationalen Verhaltensaufforderung der Straße	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	_____
	• Forschungsbedarf: Wie lässt sich die subjektiv empfundene Gefährlichkeit erhöhen?	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	_____
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• für angestrebte höhere Geschwindigkeiten breitere Querschnitte vorsehen und für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern bzw. den Entwurfsstandard mindern	• richtiger Querschnitt nach RAL (in Abhängigkeit von der Straßenkategorie) (FGSV, 2012, S. 20 ff.).	• umgesetzt (RQ 9 gemäß EKL 4) • abweichende Breiten (Fahrstreifen: B = 4,00 m, Radstreifen: 0,50 m ≤ B 0,75 m, Bankett: B = 1,00 m)	• umgesetzt

Tab. 20: Anwendung der Handlungsansätze an der S 47 – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna (Fortsetzung)

Human Factor (HF)	HF-Anforderung an die Regelwerke	Berücksichtigung im Regelwerk	Planungsunterlage (Ausführungsplanung)	Streckenbesichtigung
Beanspruchung (andere Begriffe dazu: Workload, Overload, Underload, Komfort, Kompensation, Monotonie)	• abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (der Fahrer sollte die TTC korrekt einschätzen können)	• Blendwirkung und Monotonie bei langen Geraden ➔ maximale Geradenlänge von L_G = 1.500 m	• umgesetzt	• umgesetzt
		• Hinweise zur Seitenraumbepflanzung geben die ESLa, • keine Hinweise zur Anordnung raumbildender Elemente	• kein Bepflanzungsplan vorhanden	• keine Auffälligkeiten
		• keine Festlegungen zur TTC in Regelwerken	• entfällt	———
	• ausreichend Überholmöglichkeiten zur Vermeidung von Kompensationsverhalten	• Berücksichtigung des Überholbedarfs in Abhängigkeit von der Straßenkategorie (FGSV, 2012, S. 30 ff.).	• nicht erforderlich	———
	• fehlervermeidende und fehlerrückmeldende Gestaltung der Knotenpunkte	• Knotenpunkte bzgl. der Verkehrsführung und Vorfahrtregelung frühzeitig begreifbar (FGSV, 2012, S. 13, 52 ff.).	• kein Markierungs- und Beschilderungsplan vorhanden	• Einmündung der Burkhartshainer Straße nicht abgeköpft ➔ schlecht erkennbar in Fahrtrichtung Neichen
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der Time-to-Line-Crossing/ Lane-Crossing (TLC)	• keine Festlegungen in den Regelwerken	• entfällt	———
	• Forschungsbedarf zur Berücksichtigung der wahrgenommenen Fliehkräfte	• Querneigung in Kurven in Abhängigkeit von der Radiengröße angepasst und zur Kreisbogeninnenseite ausgerichtet (FGSV, 2012, S. 47).	• aus Unterlagen nicht erkennbar	• keine Auffälligkeiten

Tab. 20: Anwendung der Handlungsansätze an der S 47 – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna (Fortsetzung

7.5 Zusammenfassung

Die unter Kapitel 6 erarbeiteten Handlungsansätze wurden erfolgreich auf die Beispielstrecken angewandt. Dadurch konnten folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Nicht in jeder Entwurfsphase sind alle maßgebenden Informationen zur Anwendung der Handlungsansätze vorhanden. Genauso, wie im Planungs- und Entwurfsprozess der Streckenentwurf iterativ immer detaillierter erarbeitet und dargestellt wird, sind auch die Human Factors von den grundsätzlich, allgemeinen Forderungen bis zur detaillierten Umsetzung in einzelnen Entwurfssituationen zu bewerten. So werden in der Vorplanung und im Vorentwurf (Leistungsphasen 2 und 3 nach HOAI) die grundsätzlichen Entwurfselemente und Abmessungen festgelegt. Aspekte der Markierung und der optischen Führung können erst später (Leistungsphase 5) auf der Grundlage von z. B Markierungs- und Bepflanzungsplänen beurteilt werden.
- In den vorliegenden Planunterlagen der Ausführungsplanung wurden keine Sichtweitenbänder dargestellt. Für eine Sichtweitenprüfung über den gesamten Planungsprozess hinweg, wäre dies jedoch notwendig.
- Im Allgemeinen wurde festgestellt, dass in den untersuchten Abschnitten die Streckenbepflanzung keine bzw. nur eine nachgeordnete Bedeutung hat. Dies liegt vor allem daran, dass es sich um Bestandstrecken handelte. Da unter Kapitel 6 herausgearbeitet wurde, dass die Bepflanzung einen großen Einfluss auf das Fahrverhalten haben kann, sollte diese stärker berücksichtigt werden.
- Nur anhand von Plänen können nicht alle Human Factors überprüft werden, z. B. die Erkennbarkeit der Markierung und der Beschilderung (bei Nacht). Dafür ist eine Streckenbesichtigung vor der Inbetriebnahme oder während des Betriebs notwendig. Werden jedoch die Vorgaben der entsprechenden Regelwerke (z. B. ZTV M 13 oder ZTV VZ) umgesetzt, sollte auch dies gewährleistet sein.
- Bei der Erstellung und Anwendung der Handlungsansätze an den Beispielstrecken hat sich gezeigt, dass es umfangreiche Redundanzen zu dem Prüfverfahren im Rahmen der Sicherheitsaudits an Straßen gibt. Insofern ist ein Großteil

der Human Factors-Aspekte bereits durch die Prüfkriterien aus dem Sicherheitsaudit abgedeckt. Ein Abgleich der hier erarbeiteten Handlungsansätze mit den Fragestellungen des Sicherheitsaudits ergibt, dass die folgenden Punkte (im Zuge der Erarbeitung der R SAS) noch in das Sicherheitsaudit aufgenommen bzw. deutlicher formuliert werden könnten:

- Überprüfung der Erkennbarkeit von Beschilderung und Markierung (bei Nacht) (vor der Verkehrsfreigabe)
- Prüfung des Einsatzes akustischer und taktiler Warn- Alarmsignale an Stellen, die besondere Aufmerksamkeit erfordern
- Widersprüche zwischen Straße und Umfeld sind zu vermeiden
- Verwendung der geforderten Größen der Entwurfselemente und des Querschnitts je EKL
- Erkennbarkeit der unter- und übergeordnete Straße am Knotenpunkt
- Vermeidung von gleichmäßiger Anordnung der Bepflanzung, vor allem bei langen Geraden

- -Der Anteil der berücksichtigten Human Factors ist bei neu geplanten Straßen höher als bei Straßen im Bestandsnetz. Dort gibt es vor allem Abweichungen in der Linienführung und im Querschnitt.
- -Eine Anwendung der Handlungsansätze an Bestandsstrecken könnte Defizite bzgl. nicht adressierter Human Factors aufdecken. In der Folge könnten kompensatorische Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit eingeleitet werden, wenn die Straße nicht vollständig nach den Vorgaben der RAL gestaltet werden kann.

8 Wissensdokument

Die FGSV beabsichtigt, ein Wissensdokument zu den Human Factors z. B. in Form eines Arbeitspapiers zu erstellen. Aus den erarbeiteten Handlungsempfehlungen werden hierfür in einem ersten Schritt inhaltliche Vorschläge erarbeitet. Darin fließen die Ergebnisse des Workshops und der Prüfung der Anwendbarkeit ein. Für die Ausarbeitung der Inhalte wurde zunächst die Struktur der Human Factors Guidelines von:

- CAMPBELL u. a. (2012),
- HELMERS (2014),
- der PIARC (2008),
- der HVO (SPORBECK u. a., 2002) und
- der RAL (FGSV, 2012)

miteinander verglichen. Darauf aufbauend werden die folgenden inhaltlichen Blöcke vorgeschlagen:

- Einleitung
- Hintergründe
- Entwurfsprinzip und Wiedererkennbarkeit
- Querschnitte
- Linienführung
- Optische Führung und Seitenraumgestaltung
- Knotenpunkte
- Singularitäten
- Markierung und Beschilderung
- Zusammenfassung / Tabellarische Übersicht

Einleitung

Es wird vorgeschlagen, innerhalb eines einleitenden Textes den Nutzen eines vertieften Verständnisses und der Umsetzung von Human Factors bei der Straßengestaltung zu verdeutlichen.

Durch eine umfassende Berücksichtigung wahrnehmungsphysiologischer und -psychologischer Grenzen und Fähigkeiten der Straßennutzer kann die Verkehrssicherheit erhöht werden.

Ist ein Streckenabschnitt unfallauffällig und wird von den Straßennutzern als schwierig zu befahren empfunden, so liegt die Ursache darin nicht zwangsläufig und ausschließlich bei den Fahrern. Je nach Gegebenheiten kann auch die Gestaltung des Streckenabschnittes unfall- oder fehlerbegünstigend sein und es kann von „Fehlern bzw. Unfällen durch das Design“ gesprochen werden.

Um spätere Fahrfehler und Unfälle zu verhindern, sollte bereits beim Entwurf und damit bei der Planung der Straße angesetzt werden. Bezieht man in diesem frühen Stadium Human Factors-Überlegungen ein, erhöht dies die Wahrscheinlichkeit, eine an die Bedürfnisse und Voraussetzungen des Straßennutzers bestmöglich angepasste Straße zu erstellen.

Darüber hinaus bietet die Einbeziehung von Kenntnissen zu den Human Factors die Chance, den Straßennutzer in intuitiv richtigem Verhalten zu bestärken. Sicheres Verhalten kann auf diese Weise erleichtert, unsicheres Verhalten gehemmt werden, gemäß dem Prinzip „fördern und hemmen“.

Hintergründe

Im Weiteren wird vorgeschlagen, den Human Factors-Begriff zu erläutern, zu definieren und abzugrenzen. Darüber hinaus können Informationen zum Ursprung der Human Factors-Forschung und bisherigen Berücksichtigung bei der Straßengestaltung gegeben werden.

Was sind Human Factors und woher kommen sie?

- Human Factors im Straßenentwurf beschreiben alle physiologischen und psychologischen Fähigkeiten und Grenzen des Menschen, die das Zusammenspiel von Straße und Straßennutzer beeinflussen können. Davon ausgenommen sind vorübergehende Beeinträchtigungen, wie sie etwa durch Alkoholgenuss, die Einnahme von Medikamenten oder Erkrankungen auftreten (in Anlehnung an PIARC, 2008).
- Hier kann der Anwender von erläuternden Beispielen profitieren. Gute Beispiele finden sich z. B. im Verständnis-Quiz der Human Factors Guideline der PIARC (2008).
- Human Factors wurden bereits früh in der Straßenplanung berücksichtigt, z. B. innerhalb der Sichtweitenmodelle oder den Hinweisen zur Vermeidung von Defiziten in der Linienführung (vgl. FGSV, 1963).
- Dabei arbeiten die bisherigen Empfehlungen der Regelwerke nicht explizit mit dem Begriff der Human Factors.
- Ursprünge der Human Factors-Forschung in Arbeits- und Organisationspsychologie, Ingenieur- und Verkehrspsychologie (erste Studien zu Flugzeugabstürzen, FITTS/JONES, 1947; Erzeugung von Vigilanz, MACKWORTH, 1948)
- Forschung an Überwachungsaufgaben (z. B. Kernkraftwerken), Arbeitsplatzforschung, Entwicklung der kognitiven Ergonomie, teilweise mit ersten Arbeiten in militärischer Forschung.

Entwurfsprinzip und Wiedererkennbarkeit

Der Anwender kann hier auf die Bedeutsamkeit der Straßenkategorisierung für das Fahrverhalten hingewiesen werden. Auch auf die Bedeutung mentaler Modelle und Erwartungen kann in diesem Zusammenhang eingegangen werden.

Folgende Inhalte lassen sich zuordnen:

- Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale (unique identifiers);
- einheitliche Gestaltung aller Entwurfselemente innerhalb einer Straßenkategorie (freie Strecke, Knotenpunkte) - zusammen muss ein konsistentes mentales Modell der Straßenkategorie, auf der er aktuell fährt, mit ihren Anforderungen und Grenzen beim Straßennutzer entstehen

Querschnitte

Es wird vorgeschlagen, im Zusammenhang mit Querschnitten darauf hinzuweisen, dass die Wahl der Geschwindigkeit durch den Straßennutzer stark vom Eindruck des Querschnitts sowie von der Fahrbahn- und der Fahrstreifenbreite beeinflusst wird.

Folgende Inhalte lassen sich zuordnen:

- breite Querschnitte erhöhen wahrgenommenen Komfort und senken die Beanspruchung, was zu einer kompensatorischen Geschwindigkeitserhöhung führen kann;
- für angestrebte höhere Geschwindigkeiten sollten breitere Querschnitte vorgesehen werden, für geringe Geschwindigkeiten die Querschnitte (optisch) verringern;
- durch die Position der Längsmarkierungen kann die Beanspruchung für den Fahrer beeinflusst werden;
- dieses Prinzip findet in der Ausgestaltung der EKL 4 bereits Anwendung;
- nach Deckenerneuerungen kann es zu kompensatorischen Geschwindigkeitserhöhungen kommen, da der wahrgenommene Komfort ansteigt

Linienführung

Im Zusammenhang mit der Linienführung werden folgende Inhalte vorgeschlagen:

- Kurven einsehbar gestalten, um den Straßennutzer nicht zu überraschen und ihm genug Vorbereitungszeit zu geben;
- Kurven außen parallel und lückenlos fassen, um eine gute optische Führung zu gewährleisten; hierfür bietet sich die Bepflanzung des Straßenseitenraums an;
- Kurveninnenseiten frei von Sichthindernissen halten; hier sollte keine Bepflanzung erfolgen
- die Anordnung langer Geraden sollte vermieden werden; diese haben einen beschleunigenden Effekt

Optische Führung und Seitenraumgestaltung

Hier sollte darauf hingewiesen werden, dass Fahrbahnband und Straßenseitenraum gemeinsam einen globalen Eindruck zur optischen Führung vermitteln. Daher sollte stets der gesamte Eindruck betrachtet werden, den der Fahrraum für den Straßennutzer erzeugt.

Folgende Inhalte lassen sich zuordnen:

- stetigen/kontinuierlichen Streckenverlauf anstreben, Vermeidung von Widersprüchen zwischen den Erwartungen und der tatsächlichen Gestaltung des vorausliegenden Abschnitts;
- optische Täuschungen/Verzerrungen/Verdeckungen vermeiden;
- Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden oder Adaptationsbereich schaffen, damit das Auge ausreichend Zeit zur Anpassung hat;
- visuelle Führung durch Gestaltung des Straßenseitenraums; Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld (z. B. optischer Durchschuss);
- abwechslungsreiche Seitenraumgestaltung, v. a. bei längeren Geraden, Vermeidung gleichförmiger und regelmäßiger Anordnungen (Monotonieerleben und Kompensation)

Knotenpunkte

Im Zusammenhang mit Knotenpunkten sollte darauf hingewiesen werden, dass dem Straßennutzer verdeutlicht werden muss, dass demnächst ein anderes Verhalten erforderlich ist.

Folgende Inhalte lassen sich zuordnen:

- Knotenpunkte sollten im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und deutlich gekennzeichnet werden; der Fahrer benötigt Zeit, um zu Erkennen, dass ein anderes Fahrverhalten notwendig ist;
- unter- und übergeordnete Straße müssen als solche klar erkennbar gestaltet werden;
- die Erkennbarkeit der bevorrechtigten Straße kann z. B. durch eine parallele Bepflanzung im Knotenpunktbereich erhöht werden;
- besonders im Knotenpunkt sollte die Gestaltung intuitiv richtiges Verhalten fördern; hier empfiehlt sich ggf. ein Hinweis auf die Untersuchung von MAIER u. a. (2015)

Singularitäten

Der Anwender sollte darauf hingewiesen werden, dass Singularitäten, wie Fahrbahnverengungen, Haltestellen, Bahnübergänge, Ein-/Ausfahrten, Übergänge zwischen Straßenkategorien oder Ortseinfahrten vom Straßennutzer erhöhte Aufmerksamkeit und anderes Fahrverhalten erfordern.

Folgende Inhalte lassen sich zuordnen:

- Singularitäten sollten stets deutlich und rechtzeitig erkennbar sein; der Fahrer benötigt Zeit, um zu Erkennen, dass demnächst ein anderes Fahrverhalten notwendig ist.
- Zur Ankündigung können optische, akustische und taktile Signale genutzt werden (z. B. Quermarkierungen, Rüttelstreifen).
- Maßnahmen zur frühzeitigen Geschwindigkeitsreduktion geben zur Erkennung von Singularitäten und zur notwendigen Verhaltensanpassung Zeit.

Markierung und Beschilderung

Der Straßennutzer nimmt den überwiegenden Teil der Informationen visuell wahr. Daher wird vorge-

schlagen, Inhalte zum Einsatz von Markierung und Beschilderung im Sinne des Straßennutzers aufzunehmen.

Folgende Inhalte lassen sich zuordnen:

- die Menge der aufzunehmenden Informationen sollte dem vom Fahrzeugführer gewählten Geschwindigkeitsniveau entsprechen; Menge und Abstand der Beschilderung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit;
- Markierung und Beschilderung sollte rechtzeitig (auch unter schlechten Sichtbedingungen) anstrengungsarm erkennbar und auffällig sein;
- so wenig Beschilderung wie möglich, ausreichende Größe, Kontrast und Leuchtdichte von Beschilderung; v. a. ein ausreichender Kontrast zum Hintergrund sollte kritisch geprüft werden;
- wichtige Hinweisreize an Orten platzieren, an denen sie erwartet werden, damit diese rechtzeitig entdeckt werden

Zusammenfassung

Es wird vorgeschlagen, eine zusammenfassende Übersicht für den Anwender zu erstellen. Dafür könnte z. B. eine Tabelle erarbeitet werden, in der in einer letzten Spalte konkret auf die zu beachtende(n) Stelle(n) im Regelwerk verwiesen wird. Der Aufbau könnte sich auch an der tabellarischen Übersicht für die Schnittstellenanalyse orientieren (vgl. Kap. 6.6). Einen Vorschlag für den Aufbau einer solchen Übersicht zeigt Tabelle 21.

Vorschläge zu Aufbau und Struktur eines Wissensdokuments

Innerhalb des Arbeitskreises und in den Kommentaren zum Entwurf des Schlussberichts wurden verschiedene Vorschläge unterbreitet und Fragen zum formalen Aufbau eines Wissensdokuments gestellt.

Folgende Anmerkungen wurden dabei formuliert:

- Sollte das Dokument aus Sicht der Human Factors oder anhand der Entwurfselemente in Anlehnung an die RAL (FGSV, 2012) gegliedert werden?
- Vorschlag, die Inhalte des Wissensdokuments durch möglichst viele Bildbeispiele oder Filmsequenzen zu unterstützten
- Vorschlag, die Inhalte des Wissensdokuments zusätzlich durch Beispiele guter und schlechter Praxis zu unterstützen
- Sollte es eine Kurzübersicht geben? Sollten in eine solche Übersicht Bilder eingefügt werden oder in die näheren Erläuterungen?Könnte eine Kurzübersicht nur anhand von Bildern sinnvoll sein?
- Sollten die Inhalte für eine online-Nutzung aufbereitet werden (z. B. als Katalog)?

	HF-Anforderung an die Regelwerke	**Hintergrund**	**Berücksichtigung im Regelwerk**
Entwurfsprinzip und Wiedererkennbarkeit	…	…	…
Querschnitte	…	…	…
Linienführung	…	…	…
Optische Führung und Seitenraumgestaltung	Blendung und wechselnde Helligkeiten vermeiden oder Adaptationsbereich schaffen, damit das Auge ausreichend Zeit zur Anpassung hat (z. B. im Fall von Alleen)	physiologische Blendung: negative Auswirkungen auf Sehschärfe, Form- und Gestalterkennungsvermögen, Tiefenwahrnehmung oder Wahrnehmungsgeschwindigkeit psychologische Blendung: Lichtquelle zieht ungewollt Aufmerksamkeit auf sich; wirkt ermüdend; kann als sehr unangenehm empfunden werden	keine Angaben zu Adaptationsbereich; RAL weisen darauf hin, dass durch lange Geraden die Blendung bei Nacht erhöht wird (FGSV, 2012, S. 35, S. 84).
	…	…	…
Knotenpunkte	…	…	…
Singularitäten	…	…	…
Markierung und Beschilderung	…	…	…

Tab. 21: Vorschlag für eine zusammenfassende Tabelle im Wissensdokument

- Sollten auch Maßnahmenvorschläge zur Kompensation von HF-Defiziten integriert werden?
- Nutzung allgemeinverständlicher, nicht zu akademischer Beschreibungen.
- Sollte das Wissensdokument in Form eines Nachschlagewerks gestaltet sein?

9 Zusammenfassung

Die Forschung im Straßenentwurf konzentriert sich vorrangig auf die Definition und Weiterentwicklung der entwurfstechnischen Parameter im Detail oder in deren Zusammenspiel. Fahrpsychologische Aspekte sind ein Bestandteil dieser Untersuchungen. Die explizite Betrachtung der menschlichen Fähigkeiten und Grenzen, z. B. der Informationsaufnahme und Wahrnehmung, sowie deren Einfluss auf das Fahrverhalten erfolgt allerdings bisher nicht hinreichend. Solche Aspekte werden heute im Allgemeinen alscHuman Factors bezeichnet.

Die vorliegende Arbeit soll es ermöglichen, wahrnehmungspsychologische Aspekte von Kraftfahrern zu untersuchen und Vorschläge zu erarbeiten, diese in allgemeingültiger Form verstärkt in das Regelwerk zur Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen einfließen zu lassen. Dazu erfolgte eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Fachgebieten der Verkehrspsychologie und des Straßenentwurfs.

Zunächst wurde eine umfangreiche Analyse der nationalen und internationalen Literatur zu im Straßenentwurf maßgebenden Human Factors durchgeführt. Sonderfälle, wie z. B. Human Factors bei Nacht oder speziell bei älteren Personen wurden nicht gesondert betrachtet. Darauf aufbauend wurden alle maßgebenden Entwurfsmerkmale recherchiert, die für die Berücksichtigung der Human Factors bei der Gestaltung von Landstraßen für die Fahraufgabe von Bedeutung sind. Im Anschluss daran wurde überprüft, inwieweit die aus der Literaturanalyse als maßgebend identifizierten wahrnehmungspsychologischen Human Factors bereits in den aktuellen Regelwerken für den Entwurf von Landstraßen Berücksichtigung finden (Schnittstellenanalyse). Auf dieser Grundlage wurden Handlungsansätze formuliert, wie die für den Straßenentwurf relevanten Human Factors beim Entwurf und bei Straßen des Bestandsnetzes berücksichtigt werden sollten. Für die praktische Anwendung wurden Vorschläge für ein Wissensdokument erarbeitet, die neben den bisherigen Empfehlungen der Planungspraxis als ergänzendes Instrumentarium zur Verbesserung der Verkehrssicherheit zur Verfügung gestellt werden können.

Die Zielstellung des Projektes wurde durch die nachfolgend aufgeführten Fragen fixiert, die zum Abschluss der Untersuchung wie folgt beantwortet werden können:

Was wird unter Human Factors im Straßenentwurf verstanden und welche gibt es?

Im Straßenentwurf beschreiben Human Factors alle physiologischen und psychologischen Fähigkeiten und Grenzen des Menschen, die das Zusammenspiel von Straße und Straßennutzer beeinflussen können. Davon ausgenommen sind vorübergehende Beeinträchtigungen der Fahrtüchtigkeit, z. B. durch Alkohol, die Einnahme von Medikamenten, starke Ermüdung oder Erkrankungen.

Wesentliche Human Factors im Straßenentwurf sind:

- menschliche Informationsaufnahme und -verarbeitung,
- Aufmerksamkeit und Wahrnehmung,
- Erwartungskonformität und
- Beanspruchung.

Einige der genannten Aspekte werden bereits seit Beginn des Straßenbaus berücksichtigt und stehen hinter den jeweiligen Festlegungen im Entwurfsregelwerk für den Straßenentwurf. Bisher erfolgte deren Zuordnung aber wenig systematisch und nicht explizit unter dem Begriff Human Factors.

Welche Anforderungen ergeben sich daraus für den Straßenentwurf?

Die Anforderungen für den Straßenentwurf leiten sich aus den oben genannten Human Factors ab.

Die Fahraufgabe lässt sich hierarchisch in drei Ebenen gliedern, welche sich durch einen unterschiedlichen Grad an Bewusstheit und Beanspruchung unterscheiden (MICHON, 1985; RASMUSSEN, 1983). Verkehrsrelevante Hinweisreize sollten dabei, neben übergreifenden Navigationsempfehlungen, auf der Manöver- und der Kontrollebene gegeben werden.

Für das Fahren auf Landstraßen sind die visuelle, auditive, haptische und vestibulare Informationsauf-

nahme von Bedeutung. Die meisten Informationen werden beim Fahren über den visuellen Kanal aufgenommen (SIVAK, 1996). Daher sollten die dabei maßgebenden Hinweisreize auch unter schlechten Sichtbedingungen gut erkennbar sein. Die auditive und die haptische Informationsaufnahme eignen sich für Warn- oder Alarmsignale (z. B. Rüttelstreifen). Auch die vestibulare Informationsaufnahme ist für die Wahrnehmung der Geschwindigkeit und der Beschleunigung des eigenen Fahrzeugs von Bedeutung.

Über das SEEV-Modell kann die Rolle der Aufmerksamkeit bei der Wahrnehmung beschrieben werden. Die Einflussfaktoren der Aufmerksamkeit sind die Auffälligkeit, die Anstrengung, die Erwartung und der Wert (WICKENS u. a., 2013). Über die bottom-up-Verarbeitung (datengestützt) wird die Aufmerksamkeit durch physikalische Eigenschaften des Objektes selbst bestimmt. Die top-down-Verarbeitung (kontextgestützt) ist dagegen abhängig von den mentalen Modellen, Schemata und Erwartungen des Fahrers. Beide Prozesse greifen ineinander und helfen Modelle und Schemata nach und nach durch Erfahrungen zu verbessern. Beim Autofahren müssen verschiedene Aufgaben bewältigt werden, die unterschiedliche Anforderungen an den Fahrer stellen. Fahrer sind dabei bestrebt, ihre Beanspruchung auf einem optimalen Niveau konstant zu halten (FULLER, 2005). DE WAARD (1996) stellte heraus, dass sich sowohl Über- als auch Unterforderung negativ auf die Leistungen und damit die Fahrsicherheit auswirken.

Erwartungen, Schemata, Skripte und mentale Modelle sind vor allem für die subjektive Wahrnehmung der Straßentypen (und das damit verbundene Fahrverhalten) ausschlaggebend. Probleme treten auf, wenn die Situationsentwicklung nicht mit den Erwartungen des Fahrers übereinstimmt. Daher sollten Straßen möglichst standardisiert und selbsterklärend gestaltet sein.

Welche Human Factors sollten beim Entwurf von Landstraßen berücksichtigt werden?

Die oben genannten Human Factors werden jeweils durch verschiedene Entwurfsmerkmale berücksichtigt.

Allem voran geht die Kategorisierung des Straßennetzes sowie die Definition von standardisierten und wiedererkennbaren Straßentypen. Dabei sollen die Straßen eines Straßentypes einheitlich und die Straßen unterschiedlicher Straßentypen eindeutig voneinander unterscheidbar sein. Die Wiedererkennbarkeit eines Straßentypes kann durch wenige eindeutige Merkmale gewährleistet werden. Zur Umsetzung von standardisierten Straßentypen sollten für jeden Straßentyp die maßgebenden Gestaltungsmerkmale definiert werden. Um bei dem Fahrer eine gleichmäßige, dem Streckenverlauf angepasste und damit sichere Fahrweise erreichen zu können, sollten die Gestaltungsmerkmale entsprechend der gewünschten Fahrtgeschwindigkeiten festgelegt werden. Die Einteilung von standardisierten und wiedererkennbaren Straßen adressiert den Human Factor „Erwartungskonformität“.

Bei der Querschnittsgestaltung sollte berücksichtigt werden, dass für angestrebte höhere Fahrtgeschwindigkeiten breitere bzw. für angestrebte geringere Fahrtgeschwindigkeiten (optisch) schmalere Querschnitte definiert werden. Dabei ist stets auf ein angemessenes Überholprinzip zu achten. Durch die richtige Bemessung des Querschnitts wird dem Human Factor „Beanspruchung“ entsprochen.

Hinsichtlich der Linienführung ist v. a. auf die Gestaltung eines erwartungskonformen Streckenverlaufs zu achten. Dafür ist u. a. die Gewährleistung der Relationstrassierung und der Sichtweiten (Orientierungssichtweite, Haltesichtweite) von Bedeutung. Zudem müssen Brüche in der Streckencharakteristik vermieden werden und vor allem Unstetigkeiten stets eindeutig erkennbar sein.

Für den Verkehrsteilnehmer müssen Knotenpunkte rechtzeitig erkennbar, übersichtlich, begreifbar, befahr- und begehbar gestaltet sein. Diese Anforderungen zielen auf den Human Factor der Erwartungskonformität ab. Zur Berücksichtigung des Human Factors „Beanspruchung“ sollten Knotenpunkte weiterhin fehlervermeidend und fehlerrückmeldend gestaltet sein.

Auch die Ausstattungsmerkmale einer Straße sind von besonderer Bedeutung. Diese sollten rechtzeitig erkennbar und auffällig gestaltet sein. Um Überforderungen des Fahrers zu vermeiden, sollten nur die wichtigsten Ausstattungselemente angeordnet werden. Dabei werden die Human Factors „Informationsaufnahme“ und „Erwartungskonformität“ adressiert.

Der Streckenverlauf kann durch den Fahrer visuell besser wahrgenommen werden, wenn der Seitenraum angemessen gestaltet ist. Dabei sollte auf eine abwechslungsreiche, aber nicht ablenkende

Seitenraumgestaltung geachtet werden (Human Factors: „Beanspruchung“ und „Aufmerksamkeit). Mögliche Blendwirkungen und wechselnde Helligkeiten sollten vermieden werden. Für eine angemessene Erkennbarkeit der Kurve sollte diese außen parallel und lückenlos gefasst sowie innen frei von Sichthindernissen sein.

Lassen sich Human Factors nur in qualitativen oder auch in quantitativen Vorgaben beschreiben?

Ein Teil der aus den Human Factors abgeleiteten Anforderungen wird bereits durch quantitative Vorgaben innerhalb der Regelwerke beschrieben. So z. B. Angaben einzuhaltender Sichtweiten, Angaben zur Gestaltung von Beschilderung (Anzahl der Zielangaben, Les- und Sichtbarkeitseigenschaften) oder die Hinweise zur Relationstrassierung. Einige der Anforderungen sind jedoch besser qualitativ zu beschreiben, wie z. B. die Gewährleistung der Homogenität innerhalb einer Straßenkategorie und Heterogenität zwischen den Straßenkategorien durch eindeutige Wiedererkennungsmerkmale oder die Unterstützung der visuellen Führung durch die Gestaltung des Straßenseitenraums und die Vermeidung von Widersprüchen zwischen Straße und Umfeld.

Welche Human Factors sind bereits auf bestehenden Landstraßen berücksichtigt?

Der Anteil der berücksichtigten Human Factors ist bei neu geplanten Straßen höher als bei Straßen des Bestandsnetzes. Im Bestand gibt es vor allem Abweichungen in der Linienführung und im Querschnitt, welche dazu führen können, dass eine Strecke für den Straßennutzer nicht erwartungskonform verläuft. Dies kann zur Überraschung des Straßennutzers, zu Problemen bei der Gefahrenkognition und vor allem der Gefahrenantizipation und damit zu Fahrfehlern führen.

Welche Human Factors finden bereits im Entwurfsprozess und bei den Entwurfselementen Anwendung?

Im Ergebnis der Schnittstellenanalyse hat sich gezeigt, dass die folgenden Anforderungen, die aus den identifizierten Human Factors abgeleitet werden konnten, durch die für Landstraßen maßgebenden Regelwerke bereits berücksichtigt werden:

Human Factor „Informationsaufnahme“

- Kurven sollten einsehbar und außen parallel und lückenlos gefasst gestaltet sein. Kurveninnenseiten sollten frei von Sichthindernissen sein. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012) und der ESLa (FGSV, 2003); ein Verweis der RAL auf die ESLa wird empfohlen
- Singularitäten, wie Ein- und Ausfahrten, Bahnübergänge oder Haltestellen sollten rechtzeitig erkennbar sein. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012)
- Markierungen sollten auch unter schlechten Sichtbedingungen anstrengungsarm erkennbar und auffällig sein. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012), RMS (FGSV, 1993) und ZTV M13 (FGSV, 2013)
- Optische Täuschungen/ Verzerrungen/ Verdeckungen sollten vermieden werden. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012)

Human Factor „Erwartungskonformität“

- Alle Entwurfselemente (freie Strecke, Knotenpunkte) sollten innerhalb einer Entwurfsklasse einheitlich gestaltet sein. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012)
- Übergänge zwischen Kategorien sollten rechtzeitig und deutlich gekennzeichnet sein. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012)
- Knotenpunkte sollten im Zuge der freien Strecke rechtzeitig und eindeutig gekennzeichnet sein. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012) und der ESLa (FGSV, 2003); ein Verweis der RAL auf die ESLa wird empfohlen
- Übergänge von der freien Strecke zur Ortschaft sollten rechtzeitig und deutlich gekennzeichnet sein. - Berücksichtigung innerhalb der ESLa (FGSV, 2003) und RASt 06 (FGSV, 2008); Es wird empfohlen, in den RAL auf die RASt 06 und die ESLa zu verweisen. Die ESLa sollten um weitere Ausführungen und Beispiele zur Gestaltung von Ortseinfahrten ergänzt werden.
- Unter- und übergeordnete Straße müssen als solche klar erkennbar sein. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012)
- Die Straße sollte einen stetigen/kontinuierlichen Streckenverlauf aufweisen. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012)
- Hinweisreize sollten an Orten platziert werden, an denen sie erwartet werden. - Berücksichtigung innerhalb der RWB (BMVBW, 2000)

- Förderung intuitiv richtigen Verhaltens durch die Gestaltung (Instruktionsqualität der Straße) - Berücksichtigung innerhalb der Empfehlungen des BMVI (2014)

Human Factor „Beanspruchung“

- Für höhere Geschwindigkeiten sollten breite Querschnitte vorgesehen werden. Für geringe Geschwindigkeiten sollten die Querschnitte (optisch oder baulich) verringert werden. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012)
- Zum Vermeiden erhöhter Beanspruchungsfolgen sollten ausreichend Überholmöglichkeiten zur Verfügung stehen. - Berücksichtigung innerhalb der RAL (FGSV, 2012)

In welcher Phase von Planung, Bau und Betrieb fließen die Aspekte der Human Factors ein?

Prinzipiell müssen die Human Factors in allen Planungsstufen berücksichtigt werden. Es sind jedoch nicht in jeder Entwurfsphase alle maßgebenden Informationen zur Anwendung der Handlungsansätze verfügbar. Genauso, wie im Planungs- und Entwurfsprozess der Streckenentwurf iterativ immer detaillierter erarbeitet und dargestellt wird, sind auch die Human Factors von den grundsätzlich, allgemeinen Forderungen bis zur detaillierten Umsetzung in einzelnen Entwurfssituationen zu bewerten. So werden in der Vorplanung und im Vorentwurf (Leistungsphasen 2 und 3 nach HOAI) die grundsätzlichen Entwurfselemente und Abmessungen festgelegt. Aspekte der Markierung und der optischen Führung können erst später (Leistungsphase 5) auf der Grundlage von z. B Markierungs- und Bepflanzungsplänen beurteilt werden.

In welchen für Landstraßen maßgebenden Regelwerken sind diese Human Factors enthalten und wie sind sie für die Praxis aufgearbeitet?

In einer Schnittstellenanalyse wurde überprüft, in welchen aktuellen Regelwerken die, als maßgebend für den Entwurf von Landstraßen, identifizierten wahrnehmungspsychologischen Human Factors bereits berücksichtigt werden.

Es hat sich gezeigt, dass ein Teil der Anforderungen durch die folgenden Regelwerke berücksichtigt wird:

- „Richtlinien für die Anlage von Landstraßen“ (RAL; FGSV, 2012),
- Entwurf zum „Merkblatt zur Übertragung des Prinzips der Entwurfsklassen auf bestehende Straßen“ (M EKLBest; FGSV, 2016),
- „Richtlinien für die Markierung von Straßen“ (RMS; FGSV, 1993),
- „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“ (HBS; FGSV, 2015),
- „Richtlinien für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen“ (RWB; BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND WOHNUNGSWESEN (BMVBW), 2000),
- „Empfehlungen zur Einbindung von Straßen in die Landschaft“ (ESLa; FGSV, 2003),
- Empfehlungen des BMVI und der Ministerien der Länder sowie
- StVO (2013) und VwV-StVO (2015).

Die abgeleiteten Anforderungen werden dabei durch die einzelnen Vorgaben des Regelwerks wiedergegeben, sie werden jedoch nicht explizit unter dem Begriff Human Factors geführt.

Welche Human Factors wurden in den Regelwerken noch nicht berücksichtigt und welche sollten davon übernommen werden?

Im Ergebnis der Schnittstellenanalyse werden die die folgenden Ergänzungshinweise empfohlen:

- Gewährleistung, dass die Menge aufzunehmender Informationen dem Geschwindigkeitsniveau entsprechen
- RWB: Gewährleistung eines angemessenen Kontrastes zwischen Beschilderung und Hintergrund
- RWB: Optimierung der Darstellung der Vorwegweiser durch eine Darstellung, getreu dem Streckenverlauf
- RAL: Einführung des Einsatzes akustischer und taktiler Warn- und Alarmsignale im Bereich besonderer Stellen
- RAL: Empfehlung zu Streckenbesichtigungen im Zusammenhang mit Blendungen bzw. wechselnden Helligkeiten
- RAL: Gewährleistung von ausreichenden Adaptionszeiten durch frühzeitige Geschwindigkeitssenkung bei Alleen

- RAL: Ergänzungen bzgl. der visuellen Führung durch den Straßenseitenraum und der Widerspruchsfreiheit zwischen Straße und Umfeld
- ESLa: Ergänzung von konkreten Angaben zur visuellen Führung durch Bepflanzungen
- RAL: Verweis auf ESLa bzgl. Forderung, den Kurvenverlauf durch Bepflanzung zu verdeutlichen
- RAL: Verweis auf RASt 06 und ESLa bzgl. der Gestaltung von Ortseinfahrten
- ESLa: Ergänzungen zur Gestaltung von Ortseinfahrten, z. B. bzgl. der Gestaltung des Annäherungsbereichs
- RAL: Verweis auf ESLa bzgl. Erkennbarkeit von Knotenpunkten im Zuge der freien Strecke
- ESLa: Ergänzungen zur abwechslungsreichen Seitenraumgestaltung
- RAL: Verweis auf ESLa bzgl. Vermeidung negativer Beanspruchungsfolgen, wie Ermüdung und Monotonie

Weiterhin wurde folgender Forschungsbedarf identifiziert:

- Ableitung konkreter Maßzahlen zum useful field of view (UFOV)
- Trennschärfe zwischen Straßen der EKL 2 und EKL 3
- Untersuchung, ob durch einen vergrößerten Abstand der seitlichen Leitlinien ein Schutzstreifen für den Radverkehr interpretiert werden kann und ob eine solche Interpretation negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit von Straßen der EKL 4 hätte
- (langfristige) Wirksamkeit und möglicher Einsatzbereich von verschiedenen Varianten optischer Bremsen
- Aufbereitung der Erkenntnisse zur Time-to-Collision (TTC) als konkrete Maßzahlen
- fehlervermeidende und -rückmeldende Gestaltung von Knotenpunkten
- Aufbereitung der Erkenntnisse zum von Fahrern eingehaltenen Mindestabstand zur Fahrstreifenbegrenzung bei Kurvendurchfahrt
- Quantifizierbarkeit und Auswirkungen höher wahrgenommener Fliehkräfte
- Quantifizierbarkeit der Verhaltensaufforderung einer Straße
- Untersuchung, wie subjektiv empfundene Gefährlichkeit (bei gleicher objektiver Gefahr) bewusst erhöht werden kann
- Untersuchung, welche Human Factors bei Nacht für den Straßenentwurf relevant sind

Können die identifizierten Human Factors als ergänzende Gestaltungs- oder Prüfvariable im Planungs- und Entwurfsprozess herangezogen werden?

Im Rahmen der Schnittstellenanalyse wurden Handlungsansätze formuliert, mit denen die Umsetzung der maßgebenden Human Factors für den Straßenentwurf im Planungs- und Entwurfsprozess geprüft werden können.

Können die für den Straßenentwurf als maßgebend identifizierten Human Factors als ergänzende Erklärungsvariable bei Unfallschwerpunkten verwendet werden?

In der Arbeit wurde geprüft, ob sich an Straßenabschnitten mit nicht umgesetzen Human Factors Unfallschwerpunkte bzw. ein erhöhtes Unfallgeschehen befinden. Den Weg andersherum zu gehen, also an Unfallschwerpunkten zu prüfen, ob bzw. welche nicht umgesetzten Human Factors die Unfallursache sind, ist ebenso möglich.

Wo liegen die Grenzen des Beitrages der Human Factors in der Straßenplanung und im Straßenentwurf?

Die Anwendung der Handlungsansätze an den Bestandsstrecken hat gezeigt, dass es im Zuge der Straßenplanung nicht möglich ist, die Sichtbarkeit der Markierung und Beschilderung (bei Nacht) vorab zu prüfen. Dafür ist eine Streckenbefahrung notwendig. Werden jedoch die Vorgaben der entsprechenden Regelwerke (z. B. ZTV M 13 oder ZTV VZ) umgesetzt, sollte auch dies gewährleistet sein.

Human Factors bei Nacht oder speziell bei älteren Personen waren hier nicht zu prüfen.

Wie lassen sich die Human Factors für die Praxis anwendbar aufarbeiten? Wo liegen die Grenzen?

Ein Teil der Anforderungen durch die für Landstraßen relevanten Human Factors ist bereits durch die Vorgaben des Regelwerks abgedeckt. Die fehlenden Anforderungen sollten integriert werden.

Zur Überprüfung der richtigen Umsetzung können die erarbeiteten Handlungsansätze dienen. Diese stimmen in Teilen mit dem Fragenkatalog des Sicherheitsaudits überein. Die fehlenden Punkte könnten ggf. zusätzlich dort aufgenommen werden.

Können die gewonnenen Erkenntnisse in Form möglicherweise eines Arbeitspapiers der Praxis zur Verfügung gestellt werden?

Aus den erarbeiteten Handlungsansätzen wurden inhaltliche Vorschläge für ein Wissensdokument erarbeitet, die als Grundlage, z. B. für ein Arbeitspapier, dienen können (vgl. Kapitel 8). Dabei werden folgende Inhalte vorgeschlagen:

- Einleitung
- Hintergründe
- Entwurfsprinzip und Wiedererkennbarkeit
- Querschnitte
- Linienführung
- Optische Führung und Seitenraumgestaltung
- Knotenpunkte
- Singularitäten
- Markierung und Beschilderung
- Zusammenfassung/ Tabellarische Übersicht

Im Ergebnis des Forschungsvorhabens konnten die für den Straßenentwurf relevanten Human Factors und ihre Berücksichtigung innerhalb der für den Entwurf von Landstraßen relevanten Regelwerke identifiziert, Ergänzungs- und Forschungsbedarf beschrieben sowie Vorschläge für die Inhalte eines Wissensdokuments für die Planungspraxis entworfen werden.

Literatur

ABENDROTH, B.; BRUDER, R., 2012: Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung, in: Handbuch Fahrerassistenzsysteme Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, S. 4–14.

AHAMMED, A.M.; HASSAN, Y.; SAYED, T.A., 2006: Effect of geometry of entrance terminals on freeway merging behavior, Washington, D.C.

ANHÄUSER, G., 1997: Verkehrssicherheitsgrün, Reichelsheim.

ANTONSON, H.; MÅRDH, S.; WIKLUND, M.; BLOMQVIST, G., 2009: Effect of surrounding landscape on driving behaviour: A driving simulator study, in: Journal of Environmental Psychology, Bd. 29, Nr. 4, S. 493–502.

APPELT, V., 2000: New approaches to the assessment of the spatial alignment of rural roads - apparent radii and visual distortion, in: Proceedings of the 2nd International Symposium on Highway Geometric Design, Köln, S. 620–631.

AULHORN, E., 1971: Wahrnehmungsphysiologische Grenzen der Sichtweite, in: Straßenbau, Verkehrstechnik und Verkehrssicherheit, Bd. 15, S. 35–36.

BABKOV, V.F., 1975: Road Conditions and Traffic Safety, Moskau: Mir Publishers.

BALL, K.; OWSLEY, C., 1993: The useful field of view test: a new technique for evaluating age-related declines in visual function, in: Journal of the American Optometric Association, Bd. 64, Nr. 1, S. 71–79.

BARK, A.; CHALES-DE BEAULIEU, C.; LIPPOLD, C.; HEINE, A.; VETTERS, A.; ZÖSCH, J., 2015: Empfehlungen zur Vermeidung von Zusammenstößen mit dem Gegenverkehr auf Landstraßen.

BARTHELMESS, W., 1999: Fahrerlaubnisprüfung - Eine Bilanz und ein Entwurf für morgen, in: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Bd. 45, S. 159–163.

BASSAN, S., 2011: Decision Sight Distance review and evaluation, in: Traffic Engineering and Control, Bd. 52, Nr. 1, S. 23–26.

BECHER, T.; BAIER, M.M.; STEINAUER, B.; SCHEUCHENPFLUG, R.; KRÜGER, H.P., 2006: Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstraßen – Grundlagenstudie (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe V: Verkehrstechnik Nr. V 148) Bergisch Gladbach.

BIRTH, S., 2015: Human Factors Man-Road-Interface-Exploration Tool (unveröff.) INTELLIGENZ SYSTEM TRANSFER GMBH, POTSDAM.

BLUMENTRATH, C.; TVEIT, M.S., 2014: Visual characteristics of roads: A literature review of people's perception and Norwegian design practice, in: Transportation Research Part A: Policy and Practice, Bd. 59, S. 58–71.

BROOKHUIS, K.A.; DE WAARD, D., 1993: The use of psychophysiology to assess driver status, in: Ergonomics, Bd. 36, Nr. 9, S. 1099–1110.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), 2015: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO).

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen (BMVBW) (Hrsg.), 2000: Richtlinien für die wegweisende Beschilderung außerhalb von Autobahnen (RWB), Bonn.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 2014: Empfehlungen zur Gestaltung von Anschlussstellen im Zuge des nachgeordneten Netzes zur Vermeidung von Falschfahrten.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 2011: Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (RLBP).

Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz (BMJV), 2013: Straßenverkehrs-Ordnung (StVO).

CAMPBELL, J.L.; National Research Council (U.S.); National Cooperative Highway Research Program; American Association of State Highway and Transportation Officials; United States (Hrsg.), 2012: Human factors guidelines for road systems, 2nd ed., Washington, D.C: Transportation Research Board.

CAVALLO, V.E.; COHEN, A.S., 2001: Perception, in: BARJONET, PIERRE-EMMANUEL (Hrsg.): Traffic Psychology Today, Boston, MA: Springer US, S. 63–89.

COHEN, A.S., 1987: Blickverhalten und Informationsaufnahme von Kraftfahrern (Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Nr. 168), Bergisch Gladbach.

COHEN, A.S., 1994: Verkehrszeichen, in: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Bd. 2, Nr. 40, S. 57–66.

Consortium ripcord-iserest, 2007: Road Infrastructure and Safety Management. Results from the RiPCORD-iSEREST Project. Brochure.

DARWIN, C.R., 1859: The Origin of Species, London: Murray.

DENTON, G.G., 1980: The Influence of Visual Pattern on Perceived Speed (Perception Vol. 9) (S. 393–402).

DIETIKER, J., 2009: Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen - Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen, Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure (SVI).

DILLING, J., 1973: Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen auf kurvigen Strecken (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Nr. 151). Bergisch Gladbach.

DURTH, W., 1974: Ein Beitrag zur Erweiterung des Modells für Fahrer, Fahrzeug und Straße in der Straßenplanung (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Nr. 163). Bonn.

ENDSLEY, M.R., 1988: Design and evaluation for situation awareness enhancement, in: Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting, Santa Monica, CA: Human Factors Society, S. 97–101.

ENDSLEY, M.R.; BOLTÉ, B.; JONES, D.G., 2003: Designing for situtation awareness: an approach to user-centered design, London ; New York: Taylor & Francis.

EVANS, L., 1970: Speed Estimation from a Moving Automobile, in: Ergonomics, Bd. 13, Nr. 2, S. 219–230.

FAJEN, B.R., 2007: Rapid recalibration based on optic flow in visually guided action, in: Experimental Brain Research, Bd. 183, Nr. 1, S. 61–74.

Federal Highway Administration (FHWA), 2005: Roadway Human Factors and Behavioural Safety in Europe, Washington, D.C.

FITTS, P.M.; JONES, R.E., 1947: Analysis of Factors Contributing to 460 „Pilot-Error“ Experiences in Operating Aircraft Controls, Dayton, Ohio: Aero Medical Laboratory.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), 2002: Empfehlungen für das Sicherheitsuadit von Straßen (ESAS), Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2003: Empfehlungen für die Einbindung von Straßen in die Landschaft (ESLa), Köln.

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRAßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), 2016: Entwurf zum Merkblatt zur Übertragung des Prinzips der Entwurfsklassen auf bestehende Straßen (M EKLBest), Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2015: Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Teil L: Landstraßen, Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), 2011: Merkblatt für die Wahl der lichttechnischen Leistungsklasse von vertikalen Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen (M LV), Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), 2012: Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL), Ausg. 2012., Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), 2006: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen: RASt 06, Ausg. 2006, Nachdr. Dez. 2008., Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), 1995: Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Linienführung (RAS-L), Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), 1996: Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Querschnitt (RAS-Q), Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 1993: Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS), Teil 1: Abmessungen und geometrische Anordnung von Markierungszeichen (RMS-1), Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (Hrsg.), 1963: Überarbeiteter Entwurf der Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL): Teil II, Linienführung (RAL-L), April 1963., Bad Godesberg: Kirschbaum.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2013: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Markierungen auf Straßen (ZTV M 13), Köln.

FULLER, R., 1984: A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance, in: Ergonomics, Bd. 27, Nr. 11, S. 1139–1155.

FULLER, R., 2005: Towards a general theory of driver behaviour, in: Accident Analysis & Prevention, Bd. 37, Nr. 3, S. 461–472.

GALANTE, F.; MAURIELLO, F.; MONTELLA, A.; PERNETTI, M.; ARIA, M.; D’AMBROSIO, A., 2010: Traffic calming along rural highways crossing small urban communities: Driving simulator experiment, in: Accident Analysis & Prevention, Bd. 42, Nr. 6, S. 1585–1594.

GIBSON, J.J., 1986: The ecological approach to visual perception, Hillsdale, NJ: Erlbaum.

GIBSON, J.J.; CROOKS, L.E., 1938: A Theoretical Field-Analysis of Automobile-Driving, in: The American Journal of Psychology, Bd. 51, Nr. 3, S. 453.

GODLEY, S.T.; AUSTRALIA; DEPARTMENT OF TRANSPORT AND REGIONAL SERVICES; AUSTRALIAN TRANSPORT SAFETY BUREAU; MONASH UNIVERSITY; ACCIDENT RESEARCH CENTRE, 1999: Perceptual countermeasures: experimental research, Civic Square, A.C.T.: Australian Transport Safety Board.

GOLDSTEIN, E.B., 2011: Wahrnehmungspsychologie: der Grundkurs, 7. Aufl., Nachdr., IRTEL, HANS (Hrsg.):, Berlin: Spektrum, Akad. Verl.

GREEN, M., 2013: Marc Green, Ph. D.: Human Factors, Internet: http://www.visualexpert.com/, Stand: 18.12.2016.

GREULE, R., 2014: Licht und Leuchten, in: www.sbz-online.de, Internet: https://www. sbz-online.de/Cache/GENTNER/10024/GV-SVG-EXPORT-20140303-0971_NTc4MDk0Wg.JPG, Stand: 09.06.2017.

HACKER, W., 1986: Arbeitspsychologie: psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten, 1. Aufl., Berlin: Dt. Verl. der Wiss.

HALE, A.R.; STOOP, J.; HOMMELS, J., 1990: Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport systems, in: Ergonomics, Bd. 33, Nr. 10–11, S. 1377–1387.

HASSAN, Y.; EASA, S.M., 2003: Effect of vertical alignment on drivers perception of horizontal curves, in: Journal of transportation engineering, Bd. 129, Nr. 4, S. 399–407.

HEGEWALD, A.; LERNER, M. (Hrsg.), 2009: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A 24, Bremerhaven: Wirtschaftsverl. N. W., Verl. für neue Wiss.

HELMERS, G., 2013: Förklaringsmodell för trafikantbeteende - Undervisningsnotat, Trafitec, Internet: http://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/03/F%C3%B6rklaringsmodell-f%C3%B6r-trafikantbeteende-Undervisningsnotat-Trafitec-april-2011.pdf.

HELMERS, G., 2014: Nordic Human Factors Guideline. Explanatory model for road user behaviour. Implications for the design of road and traffic Environment, Trafitec.

HENTSCHEL, H.J. (Hrsg.), 2002: Licht und Beleuchtung: Grundlagen und Anwendungen der Lichttechnik, 5., neu bearb. und erw. Aufl., Heidelberg: Hüthig.

HERRSTEDT, L., 2008a: Ganghastigheder - litteraturstudium. Sammenfatning, Trafitec, Internet: http://www.trafitec.dk/sites/default /files/publications/ganghastigheder.pdf, Stand: 15.09.2016.

HERRSTEDT, L., 2008b: Øjenhøjde, Læseafstand og Læsetid for bilister. Sammenfatning, Trafitec, Internet: http://www.trafitec.dk/ sites/default/files/publications/oejenhoejde.pdf, Stand: 15.09.2016.

HERRSTEDT, L., 2007: Reaktionstid. Bremsreaktionstid og Beslutningsreaktionstid - med saerlig fokus på ældre bilister. Sammenfatning af litteraturstudium, Trafitec, Internet: http://www.trafitec.dk/sites/default /files/publications/reaktionstid.pdf.

HERRSTEDT, L.; HELMERS, G., 2014: Nordic Human Factors Guideline. Dansk Case Study nr. 3. Rampeanlæg på E20 ved Ringsted Øst, Trafitec, Internet: www.trafitec.dk.

HIERSCHE, E.U., 1968: Die Bedeutung und Ermittlung der Sichtweiten von Straßen (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Nr. 67). Bonn.

HORST, R.; HAGENZIEKER, M.P., 2002: Report of the European Workshop on International Human Factors Guidelines for Road Systems, Soesterberg: TNO Human Factors Research Institute.

JÄHRIG, T., 2012: Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnigen Landstraßen, Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen.

JOHANSSON, Ö.; WANVIK, P.O.; ELVIK, R., 2009: A new method for assessing the risk of accident associated with darkness, in: Accident Analysis & Prevention, Bd. 41, Nr. 4, S. 809–815.

JOOS, M.; VELICHKOVSKY, B.M.; RÖTTING, M., 2003: Die Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden, innovative Anwendungen, in: RICKHEIT, G; HERRMANN, T; DEUTSCH, W (Hrsg.): Psycholinguistik: ein internationales Handbuch, Handbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft. Berlin: W. de Gruyter, S. 142–168.

KAHNEMAN, D., 1973: Attention and effort, Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.

KÄMPFE, B.; SCHLAG, B.; WELLER, G., 2005: Streckencharakteristik und Fahrfehler, in: Straßenverkehrstechnik, Bd. 11(49), S. 564–571.

KAPTEIN, N.; VAN HATTUM, T.; VAN DER HORST, R., 1998: Categorization of Road Environmentals and Driving Speed (MASTER Deliverable 9 (Report 2.3.4), Soesterberg.

KAYSER, H.J.; FELDGES, M.; HESS, M., 1990: Untersuchung zur sicherheitsfördernden Gestaltung des Straßenraumes im Übergangsbereich zwischen freier Strecke und bebautem Gebiet (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Nr. 587), Bonn-Bad Godesberg.

KLEBELSBERG, D., 1988: Eine Methode zur empirischen Ermittlung des psychologischen Vorrangs an Straßenkreuzungen und einmündungen, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Bereich Unfallforschung.

KLEBELSBERG, D., 1982: Verkehrspsychologie, Berlin: Springer.

KNOFLACHER, H., 1976: Beitrag zum Seitenabstandsverhalten auf Freilandstraßen, in: Straßenverkehrstechnik, 1, S. 4–8.

KOY, T.; SPACEK, P., 2003: Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen, Zürich: Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement (UVEK).

KÜHN, W.; LIPPOLD, C.; ZIMMERMANN, M.; LEITHOFF, I.; EBERSBACH, D.; SCHULZ, R., 2007: Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der Visualisierung in der Straßenplanung (Schlussbericht zum FE 02.0257/ 2005/ DGB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)). Leipzig.

LAMM, R.; KUPKE, P., 1977: Der Einfluß von Quermarkierungen auf das Fahrverhalten der Kraftfahrer „Optische Bremse“ (Der hessische Minister für Wirtschaft und Technik informiert). Wiesbaden.

LANK, C.; STEINAUER, B.; BUSEN, C., 2009: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Nr. V 190). Bergisch Gladbach.

LANTIERI, C.; LAMPERTI, R.; SIMONE, A.; COSTA, M.; VIGNALI, V.; SANGIORGI, C.; DONDI, G., 2015: Gateway design assessment in the transition from high to low speed areas, in: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Bd. 34, S. 41–53.

LEE, D.N., 1976: A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision, in: Perception, Bd. 5, Nr. 4, S. 437–459.

LERNER, M., 2003: Analyse der Unfalldaten, in: DEUTSCHER VERKEHRSSICHERHEITSRAT E.V. (Hrsg.): Unfälle in der Dunkelheit, Schriftenreihe Verkehrssicherheit. Bonn, S. 6–9.

LEUTNER, R., 1974: Fahrraum und Fahrverhalten, in: Veröffentlichungen des Institutes für Straßenbau und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe, Heft 12.

LIPPARD, D.; MEEWES, V., 1994: Geschwindigkeiten in den neuen Bundesländern – Verhaltensänderungen 1991 – 1993 neue Fahrbahnen, Ausstattung, Umfeld, BERATUNGSSTELLE FÜR SCHADENSVERHÜTUNG KÖLN (Hrsg.):, Köln.

LIPPOLD, C., 1997: Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen, Darmstadt: Technische Hochschule Darmstadt, Fachgebiet Straßenentwurf und Straßenbetrieb, Institut für Verkehr.

LIPPOLD, C.; ENZFELDER, K.; BARK, A.; KUTSCHERA, R., 2013: Wirkung, Akzeptanz und Dauerhaftigkeit von Elementen der Fahrtrichtungstrennung auf Landstraßen (Schlussbericht zum FE 02.281/2007/AGB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden.

LIPPOLD, C.; KRÜGER, H.P.; DIETZE, M.; SCHEUCHENPFLUG, R., 2005: Einfluss der Straßenbepflanzung und Straßenraumgestaltung auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und auf die Sicherheit im Straßenverkehr auf Außerortsstraßen (Pilotstudie), Dresden.

LIPPOLD, C.; KRÜGER, H.P.; SCHULZ, R.; SCHEUCHENPFLUG, R., 2007a: Einfluss der Straßenbepflanzung auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit (Hauptstudie) (Schlussbericht zum FE 82.296/2005/AGB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden.

LIPPOLD, C.; KRÜGER, H.P.; SCHULZ, R.; SCHEUCHENPFLUG, R., 2007b: Orientierungssichtweite – Definition und Beurteilung (Schlussbericht zum FE 02.0231/ 2003/AGB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden und Würzburg.

LIPPOLD, C.; VETTERS, A.; STEINERT, F., 2015: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen (2. Entwurf Schlussbericht zum FE 02.0336/2012/BGB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden.

LIPPOLD, C.; WEISE, G.; JÄHRIG, T., 2011: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraße (AOSI) (Schlussbericht zum FE 82.355/ 2008, AOSI Teil 4: „Bewertung der Maßnahmen“ im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden.

LIPPOLD, C.; WEISE, G.; KUCZORA, V.; JÄHRIG, T., 2008: Sicherheit zweistreifiger Bundesstraßen - Auswirkungen von linienhaft angeordneten ortsfesten Geschwindigkeitsüberwachungsanlagen, AOSI – Teil 3 (Schlussbericht zum FE 82.281/2004/AGB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden.

LIPPOLD, C.; WEISE, G.; KUCZORA, V.; SOS-SOUMIHEN, A., 2003: Sicherheit zweistreifiger Bundesstraßen, AOSI – Teil 1 (Schlussbericht zum FE 82.179/2000 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden.

LIPPOLD, C.; ZÖSCH, J., 2015: Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen - Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest (Entwurf Schlussbericht zum FE 18.0022/2013 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden.

LIPPOLD, C.; WEISE, G.; JÄHRIG, T., 2012: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI): (Berichte der Bundesanstalt für Straßenesen zum Forschungsprojekt FE 82.355/2008), Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss.

LORENZ, E.H.H., 1971: Trassierung und Gestaltung von Straßen und Autobahnen, Wiesbaden und Berlin: Bauverlag GmbH.

MACKWORTH, N.H., 1948: The breakdown of vigilance during prolonged visual search, in: Quarterly Journal of Experimental Psychology, Bd. 1, Nr. 1, S. 6–21.

MAIER, R.; POHLE, M.; SCHMOTZ, M.; KNOTE, T.; NIRSCHL, G.; ERBSMEHL, C.T. (Hrsg.), 2015: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen V 262), Bremen: Fachverl. NW.

MATENA, S.; WEBER, R.; LOUWERSE, R.; DROLENGA, H.; VANEERDEWEGH, P.; POKORNY, P.; GAITANIDOU, L.; HOLLO, P.; MOKSARI, T.; ELVIK, R.; CARDOSO, J., 2006: Road categorisation and design of self explaining roads (Report im Rahmen des „Road Infrastructure Safety Protection - Core-Research and Development for Road Safety in Europe; Increasing safety and reliability of secondary roads for a sustainable Surface Transport). Bergisch Gladbach.

MEEWES, V., 1993: Mobile und ortfeste Geschwindigkeitsüberwachung: Auswirkungen auf Verhalten und Verkehrssicherheit (Beratungsstelle für Schadensverhütung Köln, Hrsg.) (Bd. Mitteilungen Nr. 34). Köln: HUK-Verb.

MERAT, N.; JAMSON, H., 2011: A driving simulator study to examine the role of vehicle acoustics on drivers’ speed perception, in: Proceedings of the Sixth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Traning and Vehicle Design, S. 226–232.

MICHON, J.A., 1985: A Critical View of Driver Behavior Models: What Do We Know, What Should We Do?, in: EVANS, L; SCHWING, RC (Hrsg.): Human Behavior and Traffic Safety, Boston, MA: Springer US, S. 485–524.

MIDDLEBROOKS, J.C., 1997: Spectral Shape Cues for Sound Localization, in: GILKEY, R.; ANDERSON, T. (Hrsg.): Binaural and spatial hearing in real and virtual environments, Mahwah, N.J: Lawrence Erlbaum Associates, S. 77–97.

Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MIL) (Hrsg.), 2012: OD-Leitfaden Brandenburg 2011 - Leitfaden für die Gestaltung von Ortsdurchfahrten im Land Brandenburg, Potsdam.

MIURA, T., 1986: Coping with situational demands: A study of eye movements and peripheral vision performance, in: GALE, AG; BROWN, ID; HASLEGRAVE, CM; SMITH, P; TAYLOR, S (Hrsg.): Proceedings of Vision in Vehicles, Amsterdam: Elsevier, North Holland, S. 205–216.

MYERS, R.S.; BALL, K.K.; KALINA, T.D.; ROTH, D.L.; GOODE, K.T., 2000: Relation of Useful Field of View and other Screening Tests to On-Road Driving Performance, in: Perceptual and Motor Skills, Bd. 91, Nr. 1, S. 279–290.

NÄÄTÄNEN, R.; SUMMALA, H., 1974: A model for the role of motivational factors in drivers' decision-making, in: Accident Analysis & Prevention, Bd. 6, Nr. 3–4, S. 243–261.

NEUMANN, O., 1992: Theorien der Aufmerksamkeit: von Metaphern zu Mechanismen, in: Psychologische Rundschau, Bd. 43, Nr. 2, S. 83–101.

Nordic Road Geometry Group, 2012a: Förklaringsmodell för trafikantbeteende I, Nordic Road Geometry Group, Internet: http://nmfv.dk/ wp-content/uploads/2012/ 03/F%C3%B6rklaringsmodell-f%C3%B6r-trafikantbeteende.pdf.

Nordic Road Geometry Group, 2012b: Förklaringsmodell för trafikantbeteende II - Självförklarande vägen, Nordic Road Geometry Group, Internet: http://nmfv.dk/ wp-content/uploads/2012/03/Konsekvens-av-f%C3%B6rklaringsmodellen-Den-sj% C3%A4lvf%C3%B6rklarande-v%C3%A4 gen. pdf.

NORMAN, D.A., 1981: Categorization of action slips., in: Psychological Review, Bd. 88, Nr. 1, S. 1–15.

NORMAN, D.A., 2002: The design of everyday things, 1st Basic paperback., New York: Basic Books.

O A, 2011: Niederschrift über die Sitzung des Bund-Länder-Fachausschusses Straßenverkehrsordnung/-ordnungswidrigkeiten am 21./22.09.2011 in Saarlouis (BLFA-StVO/OWi III/2011), Saarlouis.

OECD; ECMT, 2006: Speed Management, Paris: OECD Publishing, Internet: http://www.oecd-ilibrary.org/transport/speed-management_9789282103784-en, Stand: 26.04.2016.

RANTANEN, E.M.; GOLDBERG, J.H., 1999: The effect of mental workload on the visual field size and shape, in: Ergonomics, Bd. 42, Nr. 6, S. 816–834.

RASMUSSEN, J., 1983: Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Bd. SMC-13, Nr. 3, S. 257–266.

REYMOND, G.; KEMENY, A.; DROULEZ, J.; BERTHOZ, A., 2001: Role of Lateral Acceleration in Curve Driving: Driver Model and Experiments on a Real Vehicle and a Driving Simulator, in: Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Bd. 43, Nr. 3, S. 483–495.

RICHTER, P.; HACKER, W., 2014: Belastung und Beanspruchung: Stress, Ermüdung und Burnout im Arbeitsleben, 4. Aufl., Kröning: Asanger.

RICHTER, S.; SCHLAG, B., 2000: Psychologische Untersuchungen zu Nebelunfällen, Lengerich [u.a.]: Pabst.

Rijkswaterstaat, Ministerium für Infrastruktur und Umwelt, 2008: 10 Gouden regels om rekeninh te houden met de weggebruiker.

RUMAR, K., 1985: The role of perceptual and cognitive filters in observed behaviour., in: EVANS, L; SCHING, RC (Hrsg.): Human Behaviour and Traffic Safety, New York: Plenum Press, S. 151–170.

SAGBERG, F., 2006a: Oppmerksomhet og Distraksjon - Sammenfatning av litteraturstudium, TÖI, Internet: http://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/03/Oppmerksomhet_Bakgrunnsnotat_dec2011.pdf.

SAGBERG, F., 2011: Trafikanters psykologiske forutsetninger. Undervisningsnotater, TÖI, Internet: http://nmfv.dk/wp-content/ uploads/2012/03/Trafikanters-psykologiske -forutsetninger-Undervisningsnotater-T%C3%98I-august-2011.pdf.

SAGBERG, F., 2006b: Trafikanters vurdering av fart og avstand - Sammenfatning av litteraturstudium, TÖI, Internet: http://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/03/Fart_og_avstand_bakgrunnsnotat_dec2011.pdf.

SAGBERG, F.; MÅRDH, S., 2008: Oppfattelse av informasjon i trafikken. Informationsbearbetning och informationsförståelse, TÖI und VTI, Internet: http://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/03/081202-Oppfattelse_av_informasjon_i_trafiken_2008.pdf.

SCHANK, R.C.; ABELSON, R.P., 1977: Scripts, plans, goals, and understanding: an inquiry into human knowledge structures, Hillsdale, N.J. : New York: L. Erlbaum Associates; distributed by the Halsted Press Division of John Wiley and Sons.

SCHLAG, B., 2015: Psychologische Gestaltungskriterien für Verkehrsplanung und Straßenentwurf (Vorlesung), Dresden.

SCHLAG, B.; HEGER, R., 2004: Ansätze einer psychologisch fundierten Straßengestaltung, in: SCHLAG, B (Hrsg.): Verkehrspsychologie: Mobilität - Sicherheit - Fahrerassistenz, Lengerich: Pabst Science Publ, S. 11–27.

SCHLAG, B.; HEGER, R., 2002: Empfehlungen zur Berücksichtigung physiologischer und psychologischer Fähigkeiten und Grenzen der Kraftfahrer bei der Straßenplanung in Brandenburg (Forschungsberichte im Auftrag des Landes Brandenburg, Landesamt für Bauen, Verkehr und Straßenwesen), Dresden.

SCHLAG, B.; PETERMANN, I.; SCHULZE, C.; WELLER, G., 2009: Mehr Licht - mehr Sicht - mehr Sicherheit? Zur Wirkung verbesserter Licht- und Sichtbedingungen auf das Fahrerverhalten, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.

SCHLAG, B.; VOIGT, J.; LIPPOLD, C.; ENZFELDER, K., 2015: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen (Schlussbericht zum FE 82.0335/2007 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)), Dresden.

SCHLAG, B. (Hrsg.), 2008: Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter, Köln: TÜV Media.

SCHNÜLL, R.; HANDTKE, N.; SEITZ, K., 1997: Sicherheitswirksamkeit ausgewählter Straßenbaumaßnahmen im Lande Brandenburg (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen S 16), Bergisch Gladbach.

Shinar, David, 2007: Traffic Safety and Human Behavior, Amsterdam, Heidelberg [u.a.]: Elsevier.

SINGH, S., 2015: Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey (Traffic Safety Facts Crash No. Stats. Report No. DOT HS 812 115), Washington, D.C.

SIVAK, M., 1996: The information that drivers use: is it indeed 90% visual?, in: Perception, Bd. 25, Nr. 9, S. 1081–1089.

SPORBECK, O.; STAUFF, M.; BIELENBERG, H.; BIRTH, S.; STAADT, H., 2002: Hinweise zur Verkehrslenkung und optischen Orientierung durch Bepflanzung an Bundes- und Landesstraßen (außerorts) im Land Brandenburg (HVO), MINISTERIUM FÜR STADTENTWICKLUNG, WOHNEN UND VERKEHR (MSWV) (Hrsg.), Potsdam.

Statistisches Bundesamt (Destatis), 2016: Verkehr. Verkehrsunfälle 2015, Wiesbaden.

STEYER, R., 2000: Beitrag zur Erhöhung der Fahrsicherheit in Kurvenbereichen zweistreifiger Außerortsstraßen, Dresden.

STEYVERS, F.J.J.M., 1999: Increasing Safety by Removing Visual Cues - a Contradiction?, in: GALE, ALASTAIR G; BROWN, ID; HASLEGRAVE, CHRISTINE M; TAYLOR, SP; INTERNATIONAL CONFERENCE ON VISION IN VEHICLES (Hrsg.): Vision in vehicles: [international conference, Marseilles, September 1997], Amsterdam: Elsevier, S. 301–310.

STEYVERS, F.J.J.M., 1993: The measurement of road environment with a multiscale construct list, in: GALE, AG; BROWN, ID; HASLEGRAVE, CM; KRUYSSE, HW; TAYLOR, SP (Hrsg.): Proceedings of Vision in Vehicles IV, Amsterdam: Elsevier, North Holland, S. 203–212.

THEEUWES, J.; GODTHELP, H., 1995: Self-explaining roads, in: Safety Science, Bd. 19, Nr. 2–3, S. 217–225.

THEEUWES, J.; VAN DER HORST, R.; KUIKEN, M., 2012: Designing safe road systems: a human factors perspective, Farnham, Surrey, England ; Burlington, VT: Ashgate.

TÖI, 2011: Trafikantenes psykologiske forutsetninger og begrensninger. Litteraturstudier - sammenfatning av eksisterende viten, Nordic Road Geometry Group, Internet: http://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/ 03/Trafikanters-psykologiske-forutset ninger-og-begrensninger-Litteraturstudier-T%C3%98I-august-2011.pdf.

TRAFITEC, 2011: Trafikanters fysiske formåen. Litteraturstudier - Sammenfatning af eksisterende viden, Nordic Road Geometry Group, Internet: http://nmfv.dk/wp-content/ uploads/2012/03/Trafikanternes-fysiske-form%C3%A5en-Trafitec-maj-2011.pdf.

TRESILIAN, J.R., 1999a: Analysis of recent empirical challenges to an account of interceptive timing, in: Perception & Psychophysics, Bd. 61, Nr. 3, S. 515–528.

TRESILIAN, J.R., 1999b: Visually timed action: time-out for 'tau'?, in: Trends in Cognitive Sciences, Bd. 3, Nr. 8, S. 301–310.

TRIGGS, T.J., 1986: Speed estimation, in: Automotive Engineering and Litigation, S. 95–124. New York.

ULLEBERG, P., 2016: Präsentation „Human factors in traffic safety promotion", Internet: http://slideplayer.com/slide/4746442/, Stand: 27.04.2016.

UNDERWOOD, G.; CHAPMAN, P.; BROCKLEHURST, N.; UNDERWOOD, J.; CRUNDALL, D., 2003: Visual attention while driving: sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers, in: Ergonomics, Bd. 46, Nr. 6, S. 629–646.

UZZELL, D.; MUCKLE, R., 2005: Simulating traffic engineering solutions to predict changes in driving behaviour, in: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Bd. 8, Nr. 4–5, S. 311–329.

VAN SCHAGEN, I.N.L.G.; DIJKSTRA, A.; CLAESSENS, F.M.M.; JANSSEN, W.H., 1999: Herkenning van duurzaam-veilige wegcategorieën - Selectie van potentieel relevante kenmerken en uitwerking van de onderzoeksopzet, Leidschendam.

VOLLRATH, M.; KREMS, J., 2011: Verkehrspsychologie: ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker, 1. Aufl., Stuttgart: Kohlhammer.

DE WAARD, D., 1996: The measurement of drivers' mental workload, THE TRAFFIC RESEARCH CENTRE VSC (Hrsg.): Glimmen (Haren).

DE WAARD, D.; JESSURUN, M.; STEYVERS, F.J.J.M.; REGGATT, P.T.F.; BROOKHUIS, K.A., 1995: Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road appreciation, in: Ergonomics, Bd. 38, Nr. 7, S. 1395–1407.

WANVIK, P.O., 2009: Effects of road lighting: An analysis based on Dutch accident statistics 1987–2006, in: Accident Analysis & Prevention, Bd. 41, Nr. 1, S. 123–128.

WEGMAN, F.; AARTS, L.; BAX, C., 2008: Advancing sustainable safety, in: Safety Science, Bd. 46, Nr. 2, S. 323–343.

WEISE, G.; DIETZE, M.; EBERSBACH, D.; KUCZORA, V., 2002: Entwicklung eines praktikablen Verfahrens zur Berücksichtigung der räumlichen Linienführung von Außerortsstraßen, in: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Nr. 849, Bonn.

WEISE, G.; DURTH, W., 1997: Straßenbau: Planung und Entwurf, 3, vollständig neu gefasste Auflage Aufl., Berlin: Verlag für Bauwesen.

WELLER, G., 2010: The psychology of driving on rural roads: development and testing of a model, 1st ed., Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

WELLER, G.; DIETZE, M., 2010: SER and SER Approaches: State-of-the-art (ERASER WP01-01).

WELLER, G.; SCHLAG, B.; FRIEDEL, T.; RAMMIN, C., 2008: Behaviourally relevant road categorisation: A step towards self-explaining rural roads, in: Accident Analysis & Prevention, Bd. 40, Nr. 4, S. 1581–1588.

WICKENS, C.D., 2002: Multiple resources and performance prediction, in: Theoretical Issues in Ergonomics Science, Bd. 3, Nr. 2, S. 159–177.

WICKENS, C.D.; HOLLANDS, J.G.; BANBURY, S.; PARASURAMAN, R., 2013: Engineering psychology and human performance, Fourth edition., Boston: Pearson.

WICKENS, C.D.; HORREY, W.J., 2009: Models of Attention, Distraction, and Highway Hazard Avoidance, in: Driver Distraction: Theory, Effects, and Mitigation, Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, S. 57–70.

WIGHTMAN, FREDERIC L.; KISTLER, DORIS J., 1993: Sound Localization, in: YOST, WILLIAM A; POPPER, ARTHUR N; FAY, RICHARD R (Hrsg.): Human Psychophysics, New York, NY: Springer New York, S. 155–192.

WILLIAMS, L.J., 1995a: Peripheral Target Recognition and Visual Field Narrowing in Aviators and Nonaviators, in: The International Journal of Aviation Psychology, Bd. 5, Nr. 2, S. 215–232.

WILLIAMS, L.J., 1995b: Visual Field Tunneling in Aviators Induced by Memory Demands, in: The Journal of General Psychology, Bd. 122, Nr. 2, S. 225–235.

VAN WINSUM, W.; GODTHELP, H., 1996: Speed Choice and Steering Behavior in Curve Driving, in: Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Bd. 38, Nr. 3, S. 434–441.

Wissenschaftlicher Beirat des BMVI, 2010: Sicherheit zuerst - Möglichkeiten zur Erhöhung der Straßenverkehrssicherheit in Deutschland, in: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Nr. 56, S. 171–194.

World Health Organization (WHO), 2004: World report on road traffic injury prevention, Geneva.

World Road Association (PIARC), Technical Committee C.1 - Safer road infrastructure (Hrsg.), 2012: Human factors in road design. Review of design standards in nine countries, PIARC Ref.: 2012R36EN.

World Road Association (PIARC), Technical Committee C3.1 Road Safety (Hrsg.), 2008: Human Factors Guideline for safer Road Infrastructure, PIARC Ref.: 2008R18EN.

YERKES, R.M.; DODSON, J.D., 1908: The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation, in: Journal of Comparative Neurology and Psychology, Bd. 18, Nr. 5, S. 459–482.

YOST, W.A., 2001: Auditory localization and scene perception, in: GOLDSTEIN, EB (Hrsg.): Blackwell handbook of perception, Handbooks of experimental psychology. Oxford, UK ; Malden, Mass., USA: Blackwell, S. 437–468.

ZWIELICH, F.; REKER, K.; FLACH, J., 2001: Fahrverhaltensbeobachtungen auf Landstraßen am Beispiel von Baumalleen. Eine Untersuchung mit dem Fahrzeug zur Interaktionsforschung Straßenverkehr (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen M 124), Bergisch Gladbach.

Bilder

Bild 1: Untersuchungsmethodik

Bild 2: Regelkreis Fahrer - Fahrzeug - Straße (DURTH, 1974)

Bild 3: Eigene Darstellung eines kombinierten Drei-Ebenen-Modells der Fahrzeugführung

Bild 4: Relative spektrale Hellempfindlichkeit in Abhängigkeit der Wellenlänge (GREULE, 2014)

Bild 5: Kurventafeln oben nach StVO und Kurventafeln unten mit gelber Umrandung (PIARC,2012)

Bild 6: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Blickfeldweite (OECD/ECMT, 2006)

Bild 7: Field of safe travel und Fahrspur (GIBSON/CROOKS, 1938)

Bild 8: SEEV-Modell dargestellt (Vollrath/Krems, 2011)

Bild 9: Modell der Situation Awareness (ENDSLEY u. a., 2003)

Bild 10: Gefahrenkognitionsmodell nach SCHLAG (SCHLAG u. a., 2009)

Bild 11: 4-D Multiple Ressourcenmodell nach (WICKENS, 2002)

Bild 12: Regionenmodell nach (DE WAARD, 1996)

Bild 13: Antizipationsraum des Fahrers abhängig von der Geschwindigkeit (BABKOV, 1975, in SCHLAG/ HEGER, 2002)

Bild 14: Fahrverhaltensmodell (WELLER u. a., 2008)

Bild 15: Modifiziertes Modell (Weller, 2010)

Bild 16: SER-Prinzip (RiPCORD-iSEREST Broschüre, CONSORTIUM RIPCORD-ISEREST, 2007)

Bild 17: Überblick über die für den Straßenentwurf relevanten Human Factors, eigene Darstellung

Bild 18: identifizierte Cluster (WELLER u. a., 2008)

Bild 19: Einflussgrößen der Fahrgeschwindigkeit (CAMPBELL u. a., 2012)

Bild 20: Ortseingang vor der Umgestaltung (links) (LANTIERI u. a., 2015)

Bild 21: Empfohlene Radienverhältnisse nach den Human Factor Guidelines (APPELT, 2000 in CAMPBELL u. a., 2012)

Bild 22: Dehnung und Stauchung (APPELT, 2000)

Bild 23: Verdeckter Kurvenbeginn (LORENZ, 1971)

Bild 24: Modell zur Bestimmung der erforderlichen Haltesichtweite (WEISE/DURTH, 1997)

Bild 25: Gleichung zur Berechnung der Haltesichtweite (Campbell u. a., 2012)

Bild 26: Zusammenhang Fahrraum – Sichtweiten (LIPPOLD u. a., 2007b)

Bild 27: Überholsichtweite (WEISE/DURTH, 1997)

Bild 28: Fahraufgaben beim Einfädeln in eine übergeordnete Straße (AHAMMED u. a., 2006 in Campbell u. a., 2012)

Bild 29: Empfohlene Markierungsvarianten für Knotenpunkte ohne (links) und mit LSA (rechts) (MAIER u. a., 2015)

Bild 30: Standardsituation nach RMS (1980) ohne LSA (links) und mit LSA (rechts), ergänzt durch Leitplatte (Z 626 StVO) an Z 222 StVO (MAIER u. a., 2015)

Bild 31: Bedingungen bei Kontrolle und Experiment von DE WAARD u. a. (1995)

Bild 32: Unzureichend erkennbare Kurventafeln (SCHLAG/ HEGER, 2002)

Bild 33: Ungeeignete Beschilderung eines Unfallschwerpunktes (SCHLAG/HEGER, 2002)

Bild 34: Beispiel anamorpher Illusionen (ULLEBERG, 2016)

Bild 35: Schrittweise Aufnahme der maßgebenden Informationen des Fahrraums vom Verkehrsteilnehmer (CAMPBELL u. a., 2012)

Bild 36: Überblick über maßgebende Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors, eigene Darstellung

Bild 37: Gestaltungsvarianten der access roads (Bilder zur Verfügung gestellt von HAGENZIEKER, 2016)

Bild 38: Gestaltungsvarianten der distributor roads (gebiedsontsluitingsweg); (Bilder zur Verfügung gestellt von HAGENZIEKER, 2016)

Bild 39: Gestaltungsvarianten der through roads (stroomweg); (Bilder zur Verfügung gestellt von HAGENZIEKER, 2016)

Bild 40: Zufahrt auf Rampenanlage der E20 Ringsted Ost (HERRSTEDT/HELMERS, 2014)

Bild 41: Zufahrt auf Rampenanlage der E20 Ringsted Ost (HERRSTEDT/HELMERS, 2014)

Bild 42: Erforderliche Haltesichtweiten (FGSV, 2012, S. 46)

Bild 43: Sichtfeld für die Haltesicht (FGSV, 2012, S. 78)

Bild 44: Sichtfeld für die Anfahrsicht (FGSV, 2012, S. 78)

Bild 45: Sichtfeld für die Annäherungssicht (FGSV, 2012, S. 78)

Bild 46: Umklappregel (BMVBW, 2000)

Bild 47: Vorwegweiser üblich (links) und mit Anzeige des tatsächlichen Streckenverlaufs (rechts) (BMVBW, 2000)

Bild 48: Wendepunktregel (LORENZ, 1971)

Bild 49: Bepflanzung an Kurvenaußenseite (FGSV, 2003)

Bild 50: Bepflanzung in Kurven (PIARC, 2008)

Bild 51: Unsymmetrische (oben) und verdeckte unsymmetrische (unten) Unterführung der Straße (PIARC, 2008)

Bild 52: Regelquerschnitt RQ 15,5 (FGSV, 2012)

Bild 53: Regelquerschnitt RQ 11,5+ mit Überholfahrstreifen (FGSV, 2012)

Bild 54: Regelquerschnitt RQ 11,5+ ohne Überholfahrstreifen mit durchgehender Doppellinie (FGSV, 2012)

Bild 55: Regelquerschnitt RQ 11,5+ ohne Überholfahrstreifen mit doppelter Leitlinie (FGSV, 2012)

Bild 56: Regelquerschnitt RQ 11 (FGSV, 2012)

Bild 57: Regelquerschnitt RQ 9 (FGSV, 2012)

Bild 58: Bepflanzung in Außenkurve eines planfreien Knotenpunktes (FGSV, 2003)

Bild 59: Bepflanzung hinter Einmündung (FGSV, 2003)

Bild 60: Gestaltung von Ortseinfahrten (MIL, 2012)

Bild 61: Ortseinfahrt ohne Bepflanzung (ANHÄUSER, 1997)

Bild 62: Ortseinfahrt mit Bepflanzung (ANHÄUSER, 1997)

Bild 63: Verdeutlichung der untergeordneten Zufahrt durch die Anordnung eines Fahrbahnteilers (FGSV, 2012, S. 131)

Bild 64: Verhältnis aufeinander folgender Radien (FGSV, 2012, S. 36)

Bild 65: Mindestradien im Anschluss an Geraden (FGSV, 2012, S. 35/ 36)

Bild 66: Kontrastarme (oben) und kontrastreiche (unten) Gestaltung des Seitenraumes (PIARC, 2008)

Bild 67: Raumbildung durch Bepflanzung (PIARC, 2008)

Bild 68: Querneigung in Abhängigkeit vom Kreisbogen (FGSV, 2012)

Bild 69: B112 – Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 70: B 112 - subjektiv wahrgenommene, geringe Sichtweite innerhalb einer Rechtskurve im Streckenverlauf

Bild 71: B 112 - Bepflanzung der Kurvenaußenseite

Bild 72: B 112 – Begünstigung erhöhter Aufmerksamkeit im Knotenpunktbereich durch Anordnung einer passiven Schutzeinrichtung im Mittelstreifen

Bild 73: B 112 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt Lossow - Brieskow-Finkenheerd (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Bild 74: B 178n – Abschnitt Löbau Süd - Obercunnersdorf (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 75: B 178n – Markierung der Pfeile und der Sperrfläche bei kritischen Wechseln

Bild 76: B 178n – Fahrstreifenbegrenzungslinie bei der Fahrstreifenaddition am KP mit der S 148

Bild 77: B 178 n – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt Löbau Süd - Obercunnersdorf (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Bild 78: B 3 – Abschnitt Elze Nord - Eimer Kreuz (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 79: B 3 – Beschilderung: Kraftfahrstraße – landwirtschaftlicher Verkehr frei

Bild 80: B 3 – zweistreifiger Querschnitt (NLSTBV 2013)

Bild 81: B 3 – Fahrstreifenbegrenzungslinie bei der Einfahrt am KP mit der B 240

Bild 82: B 3 – Übergang zum Bestand am KP 1

Bild 83: B 3 – Übergang zum Bestand am KP 5

Bild 84: B 3 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt Elze Nord – Eimer Kreuz (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Bild 85: B 3 – KP 3 in Fahrtrichtung Norden

Bild 86: B 3 – KP 3 in Fahrtrichtung Süden

Bild 87: B 3 – KP 4 Richtung Süden – Fahrstreifenaddition Sichtproblem

Bild 88: B 327 – Ortsumgehung Kastellaun (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 89: B 327 – teilplangleicher/teilplanfreier KP 2

Bild 90: B 327 – Zielangaben auf Beschilderung im KP 3

Bild 91: B 327 – verdeckter Kurvenbeginn in Fahrtrichtung Norden (LBM RP 2002)

Bild 92: B 327 – Blick auf verdeckten Kurvenbeginn in Fahrtrichtung Norden

Bild 93: B 327 – Übergangsbereich am Ende des Streckenabschnitts in Fahrtrichtung Süden)

Bild 94: B 327 – Unfallgeschehen auf der OU Kastellaun (LBM RP 2017)

Bild 95: S 95 – Abschnitt OA Dresden - OA Radeberg (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 96: S 95 – Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf V_{zul} = 50 km/h mit Z 105 StVO und einer doppelten Fahrstreifenbegrenzungslinie

Bild 97: S 95 – Anbindung der K 6211 ohne Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt

Bild 98: S 95 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt – OA Dresden - OE Radeberg (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Bild 99: S 95 – Unfallschwerpunkt im Bereich Heidemühle (Ruhe 2016)

Bild 100: S 222 – Abschnitt OA Aue - OA Oberpfannenstiel (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 101: S 222 – Gefahrenzeichen Z 105 StVO mit dem Hinweis auf einen Unfallschwerpunkt am OA Aue

Bild 102: S 222 – Richtungstafeln Z 625 StVO

Bild 103: S 222 – Gefahrenzeichen Z 108-59 StVO (13 % Gefälle)

Bild 104: S 222 – Einmündung im Streckenverlauf

Bild 105: S 222 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt OA Aue - OE Oberpfannenstiel (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Bild 106: K 6908 – Abschnitt OA Ferch - OE Petzow (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 107: K 6908 – Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf Vzul = 70 km/h

Bild 108: K 6908 – Gefahrenzeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) bei aufeinanderfolgenden Kurven im zu vermeidenden Bereich

Bild 109 K 6908 – fehlender Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt.

Bild 110: K 6908 – eingeschränkte Erkennbarkeit der Haltstelle und des Knotenpunktes in Fahrtrichtung Ferch

Bild 111: K 6908 – Übergang zum OA Ferch (Bestand)

Bild 112: K 6908 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt OA Ferch - OE Petzow (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Bild 113: S 47 – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna (Kartengrundlage: openstreetmap.org (© OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA))

Bild 114: S 47 – Verkehrszeichen Z 625 StVO Richtungstafeln in Kurven mit R < 200 m

Bild 115: S 47 – Gefahrenzeichen Z 105 StVO (Doppelkurve) nach langer Gerade

Bild 116: S 47 – eingeschränkte Sichtweite/Fernorientierung durch eine gekrümmte Kuppe

Bild 117: S 47 – Knotenpunkt ohne Fahrbahnteiler in der untergeordneten Zufahrt und ohne LA 4

Bild 118: S 47 – Einmündung der Burkartshainer Straße (Fahrtrichtung Neichen)

Bild 119: S 47 – Markierung des Übergangsbereichs jeweils am OA

Bild 120: S 47 – Unfallgeschehen auf dem Abschnitt OA Neichen - OE Pyrna (EUSKA (PTV, Kartenmaterial: © HERE))

Tabellen

Tab. 1: visuelle Gestaltungsmerkmale und -prinzipien (BLUMENTRATH/TVEIT, 2014)

Tab. 2: Einflussgrößen der Reaktionszeit (CAMPBELL U. A., 2012)

Tab. 3: Eignung verkehrsorganisatorischer Umgestaltungsmaßnahmen in kritischen Kurven (STEYER, 2000)

Tab. 4: Sustainable Safety Principles, frei übersetzt (WEGMAN u. a., 2008)

Tab. 5: Unique identifiers der niederländischen Entwurfsklassen (WELLER/DIETZE, 2010)

Tab. 6: Fahrbahnquerschnitte der niederländischen Entwurfs-klassen (Bilder aus RIPCORD-ISEREST, 2007)

Tab. 7: 10 goldene Regeln zur Berücksichtigung des Verkehrsteilnehmers (RIJKSWATERSTAAT, 2008)

Tab. 8: Auswirkungen von Defiziten der räumlichen Linienführung (FGSV, 2012)

Tab. 9: EKL nach den RAL und deren grundsätzlichen Gestaltungsmerkmale (FGSV, 2012, S.20)

Tab. 10: Einsatzbereiche von Knotenpunktarten bei vierarmigen Knotenpunkten (FGSV, 2012, S.55)

Tab. 11: Einsatzbereiche von Knotenpunktarten bei dreiarmigen Knotenpunkten (FGSV, 2012, S.55)

Tab. 12: Schnittstellenanalyse zwischen den in den Regelwerken enthaltenen und den aus der Literatur erarbeiteten Entwurfsmerkmale zur Berücksichtigung der Human Factors

Tab. 13: Anwendung der Handlungsansätze an der B 112 - Abschnitt: Lossow - Brieskow-Finkenheerd

Tab. 14: Anwendung der Handlungsansätze an der B 178 n – Abschnitt: Löbau Süd - Obercunnersdorf

Tab. 15: Anwendung der Handlungsansätze an der B 3 – Abschnitt: Elze Nord – Eimer Kreuz

Tab. 16: Anwendung der Handlungsansätze an der B 327 – Ortsumgehung Kastellaun

Tab. 17: Anwendung der Handlungsansätze an der S 95 – Abschnitt: OA Dresden - OE Radeberg

Tab. 18: Anwendung der Handlungsansätze an der S 222 – Abschnitt: OA Aue - OE Oberpfannenstiel

Tab. 19: Anwendung der Handlungsansätze an der K 6908 – Abschnitt: OA Ferch - OE Petzow

Tab. 20: Anwendung der Handlungsansätze an der S 47 – Abschnitt: OA Neichen - OE Pyrna

Tab. 21: Vorschlag für eine zusammenfassende Tabelle im Wissensdokument

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2015

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 werde

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 lieget 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, Vetters, 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**
Kamptner, Thümmler, 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 verkehrsabhängig 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, Schrempp, 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 plangleicher 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 € 19,50

V 304: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015**
Fitschen, Nordmann € 31,00
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

V 305: **Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen**
Hartmann, Londong € 16,00

V 306: **Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest**
Lippold, Wittig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter http://bast.opus.hbz-nrw.de/ heruntergeladen werden.

V 307: **Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung**
Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50

V 308: **Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)**
Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter http://bast.opus.hbz-nrw.de/ heruntergeladen werden.

V 309: **Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO2-Pilotstudie Lärmschutzwand**
Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50

V 310: **Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie**
Wang, Oeser, Steinauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter http://bast.opus.hbz-nrw.de/ heruntergeladen werden.

V 311: **Feldversuch mit Lang-Lkw**
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter http://bast.opus.hbz-nrw.de/ heruntergeladen werden.

V 312: **Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen**
Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen,
Löffler, Ripke, Bommert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter http://bast.opus.hbz-nrw.de/ heruntergeladen werden.

2019

V 313: **Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen**
Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50

V 314: **Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten**
Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou,
Haug, Spangler € 18,50

V 315: **Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement**
auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung
Kappich, Westermann, Holst € 15,50

V 316: **Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände**
Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt € 18,50

V 317: **Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen**
Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00

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

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.