



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Forschungspaket SERFOR, Teilprojekt TP1: Forschung Humanfaktoren und Synthese**

**Paquet de recherche SERFOR  
Sous-projet TP1  
La recherche sur les facteurs humains et synthèse**

**Research package SERFOR  
Sub-project TP1  
Research on Human Factors and Synthesis**

**PTV Transport Consult GmbH**  
Hagen Schüller

**Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Departement  
Angewandte Psychologie**  
Markus Hackenfort  
Sarah Diener  
Christian Cordin

**GHIELMETTI Ingenieur- und Planungsbüro**  
Marco Ghielmetti

**Forschungsprojekt SVI 2016/006 auf Antrag der Schweizerischen  
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

**September 2023**

**1758**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

**Bundesamt für Strassen**  
**Office fédéral des routes**  
**Ufficio federale delle Strade**

# **Forschungspaket SERFOR, Teilprojekt TP1: Forschung Humanfaktoren und Synthese**

**Paquet de recherche SERFOR  
Sous-projet TP1  
La recherche sur les facteurs humains et synthèse**

**Research package SERFOR  
Sub-project TP1  
Research on Human Factors and Synthesis**

**PTV Transport Consult GmbH**  
Hagen Schüller

**Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Departement  
Angewandte Psychologie**  
Markus Hackenfort  
Sarah Diener  
Christian Cordin

**GHIELMETTI Ingenieur- und Planungsbüro**  
Marco Ghielmetti

**Forschungsprojekt SVI 2016/006 auf Antrag der Schweizerischen  
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

**September 2023**

**1758**

# Impressum

## Forschungsstelle und Projektteam

### Projektleitung

Hagen Schüller

### Mitglieder

Markus Hackenfort

Sarah Diener

Christian Cordin

Marco Ghielmetti

### Erweiterte Autorenschaft

Miriam Niestegge

Rebekka Theill

Bianca Wächter

## Begleitkommission

### Präsident

Wernher Brucks

### Mitglieder

Lukas Bähler

Daniel Baumann

Mario Cavegn

Markus Deublein

Marion Doerfel

Sarah Droz

Eric Duc

Benedikt Eberle

Patrick Eberling

Stephan Felber

Bernard Gogniat

Marina Groner

Oliver Jacobi

Christian Kamenik

Anja Simma

Stevan Skeledzic

Sabine Würmli

## Antragsteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

## Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>15</b>
<b>Summary</b> .....	<b>23</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>31</b>
1.1 Ausgangslage.....	31
1.2 Zielsetzung .....	31
1.3 Abgrenzung .....	31
1.4 Projektierungsprinzipien und Schweizer Normen .....	32
<b>2 Anforderungen an Verkehrsteilnehmende im Strassenverkehr</b> .....	<b>35</b>
2.1 Einleitung.....	35
2.2 Fahraufgabe und Fahrende .....	35
2.3 Leistungsfähigkeit der Verkehrsteilnehmenden .....	40
2.3.1 Sensorische Ebene .....	40
2.3.2 Sensorische - kognitive Ebene.....	43
2.3.3 Kognitive Ebene .....	45
2.3.4 Sensorische – kognitive – motorische Ebene .....	46
2.3.5 Motorische Ebene .....	48
2.3.6 Leistungsfähigkeit spezieller Gruppen .....	49
2.4 Fazit zur selbsterklärenden Strassengestaltung .....	50
<b>3 Ursachen für Fehlverhalten im Strassenverkehr</b> .....	<b>55</b>
3.1 Einleitung.....	55
3.2 Unfallentstehung und Fehlerklassifikation .....	55
3.3 Fehlertaxonomiesysteme .....	59
3.4 Naturalistic Driving Studies .....	64
3.5 Unfallursachen gemessen am Unfallgeschehen.....	66
3.6 Synthese .....	71
3.7 Fazit in Hinblick auf eine selbsterklärende Strassengestaltung.....	72
<b>4 Weitere Einflüsse auf das Fahrverhalten</b> .....	<b>75</b>
4.1 Einleitung.....	75
4.2 Risikowahrnehmung und Fahrverhalten .....	75
4.3 Safety in Numbers.....	79
4.4 Flächiges Queren in Ortszentren .....	79
4.5 Relevanz Automatisierung in der Fahrzeugtechnik .....	81
<b>5 Expertengespräche und Workshops</b> .....	<b>87</b>
5.1 Wahrnehmung.....	87
5.1.1 Einleitung.....	87
5.1.2 Stichprobenbeschreibung .....	87
5.1.3 Ergebnisse .....	88
5.1.4 Fazit.....	93
5.2 Aufmerksamkeit.....	94
5.2.1 Vorgehen.....	94
5.2.2 Ergebnisse .....	95
5.2.3 Fazit.....	96
5.3 Ergonomie .....	96
5.3.1 Vorgehen .....	96
5.3.2 Ergebnisse .....	96
5.3.3 Fazit.....	98

5.4	Kinder und Senioren (bfu-Gespräch).....	98
5.4.1	Vorgehen.....	98
5.4.2	Ergebnisse .....	99
5.5	Austauschplattform Sicherheitsbeauftragte (ASTRA) .....	101
5.5.1	Vorgehen.....	101
5.5.2	Ergebnisse .....	102
5.5.3	Fazit .....	104
<b>6</b>	<b>Fazit Humanfaktoren .....</b>	<b>107</b>
6.1	Humanfaktoren bei der Projektierung von Infrastrukturelementen .....	107
6.1.1	Anforderungen .....	107
6.1.2	Fehlerverhalten Verkehrsteilnehmende .....	108
6.1.3	Nebenaspekte .....	110
6.2	Formulierung Projektierungsprinzipien .....	111
6.2.1	Übergreifende Projektierungsprinzipien.....	111
6.2.2	Zufussgehende .....	114
6.2.3	Velofahrende.....	114
6.2.4	Motorfahrzeuglenkende .....	115
<b>7</b>	<b>Massnahmenfindung .....</b>	<b>117</b>
7.1	Konzeption Teilprojekte Massnahmenfindung.....	117
7.1.1	Einleitung .....	117
7.1.2	Teilprojekt 2 - Innerortsstrassen .....	117
7.1.3	Teilprojekt 3 - Ausserortsstrassen .....	118
7.2	Ergebnisse Teilprojekte Massnahmenfindung.....	119
7.2.1	Ausgangssituation, Anforderungen und Abgrenzungen .....	119
7.2.2	Design-Regeln .....	122
7.2.3	Normenwerk.....	123
7.2.4	Relevanz in der Praxis innerorts.....	125
7.2.5	Massnahmenansätze und Bewertung .....	126
<b>8</b>	<b>Synthese Self Explaining and Forgiving Roads .....</b>	<b>133</b>
8.1	Einordnung Ergebnisse.....	133
8.1.1	Fazit Teilprojekte.....	133
8.1.2	Strategien und parallele Forschung.....	136
8.1.3	Aktuelle Entwicklungen .....	139
8.1.4	Handlungsbedarf.....	141
8.2	Umsetzung im Sicherheitsmanagement der Strasseninfrastruktur .....	142
8.2.1	Grundlagen und Normenwerk.....	142
8.2.2	ISSI .....	143
8.2.3	Sensibilisierung .....	145
8.2.4	Forschungsbedarf .....	146
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>147</b>
	<b>Projektabschluss .....</b>	<b>157</b>

# Zusammenfassung

## Einleitung

Das Forschungspaket SERFOR (**S**elf Explaining (Roads) and **F**Orgiving Roads) behandelt das Thema der selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strasse. Mit dem Forschungspaket verfolgt das Bundesamt für Strassen das Ziel, konkrete und praxistaugliche Massnahmenansätze für selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strassengestaltung und -signalisierung bereitzustellen. Anhand von drei Teilprojekten (TP) sollen ausgehend von verkehrspsychologischen Erkenntnissen auch der Handlungsbedarf für Innerorts- und Ausserortsstrassen in der Schweiz aufgezeigt werden.

Im TP 1 (vorliegender Bericht) werden zuerst die inhaltlichen Grundlagen der Humanfaktoren aus Sicht der Psychologie beschrieben. Im Anschluss werden dann in zwei Teilprojekten (TP2: Innerortsstrassen und TP3: Ausserortsstrassen) die Humanfaktoren aus Sicht der Projektierung (konkrete Umsetzungen) sowie deren Verbreitung im Bestandsnetz untersucht. Abschluss bilden dann Empfehlungen zum ggf. notwendigen Anpassungsbedarf für die derzeitige Praxis der Strassenprojektierung. Im Rahmen einer Synthese (auch TP1) werden dann die Ergebnisse aus den beiden Teilprojekten zusammengeführt und Handlungsempfehlungen daraus abgeleitet.

## Forschung Humanfaktoren

### Anforderungen

Grundlage für die Beschreibung von Humanfaktoren stellen Modelle zur Beschreibung der Fahraufgabe bzw. des Lenkenden sowie der Gehaufgabe dar. Diese Modelle werden unterschiedlich, aber immer in verschiedenen Ebenen gegliedert, welche sich teilweise gegenseitig beeinflussen. Randbedingungen ergeben sich aus den externen Faktoren Fahrzeug, Umgebung und Verkehrsteilnehmende. Im Fokus stehen vor allem primäre Fahraufgaben. Sekundäre Fahraufgaben, wie Blinken, sowie tertiäre Fahraufgaben, wie nebenbei telefonieren, spielen eher am Rande eine Rolle. Die primäre Fahraufgabe lässt sich nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen. Für die Beschreibung der Humanfaktoren wurde ausgehend vom Umgang mit Informationen der Verkehrssituation die Differenzierung nach Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung gewählt. Darauf aufbauend wurden Anforderungen an sensorische, kognitive und motorische Leistungsfähigkeit der Verkehrsteilnehmenden vertieft.

Bezogen auf die Sensorik – also die Aufnahme von Information aus dem Verkehrsumfeld – stellt der visuelle Kanal mit rund 90% den wichtigsten Teil der Wahrnehmung. Gehör sowie Gleichgewichtssinn spielen beim Rad- und Fussverkehr eine grössere Rolle und bieten Ansätze, um zusätzliche Informationen – ohne Belastung des visuellen Kanals – an den Fahrzeuglenkenden zu geben. Das Sehen kann entweder in die Fixation und Blicksprünge oder in das fokussierte Blickfeld sowie die Peripherie aufgeteilt werden. Das Blickfeld, in dem die Fixation stattfindet, ist eher klein, hier müssen die wichtigsten Informationen für die Verkehrsteilnehmenden platziert werden. Hinweise aus dem Umfeld sollen vor allem der Einschätzung von Geschwindigkeiten (eigener und anderer Verkehrsteilnehmender) sowie Distanzen dienen. Aus beiden Informationen lässt sich z. B. die Zeit bis zur Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmenden oder Hindernissen ableiten. Die Geschwindigkeitseinschätzung erfolgt stark durch Informationen in der Peripherie. Monotone Umgebungen führen zur Unterschätzung von Geschwindigkeiten, was es durch gezielte Hinweise zu unterbinden gilt. Für die Distanzwahrnehmung sind Tiefenreize in der Umgebung relevant, allerdings wird empfohlen, diese adaptiv zu zeigen. Eine gewisse Einheitlichkeit solcher Reize steigert deren Wiedererkennungswert.

Aufgrund der Komplexität von Strassenräumen bedarf es einer selektiven Aufmerksamkeit bzw. der Filterung relevanter Informationen. Diese erfolgt entweder reizgesteuert («bottom-up», am häufigsten) oder aktiv («top-down», weniger häufig). Dabei spielen vier Faktoren eine zentrale Rolle. Für die Wahrnehmung von Reizen bedarf es einer bestimmten Auffälligkeit, welche zusätzlich durch die damit verbundene Anstrengung (z. B. Entfernung des Objektes) beeinflusst ist. Für eine aktive Blickzuwendung sind vor allem die Erwartungen (Wo sollte man hinschauen?) aber auch der Wert (Welche Relevanz besitzt

der Hinweis?) relevant. Diese vier Faktoren sind relevant für eine selbsterklärende Strassengestaltung dar. Klarheit und Eindeutigkeit von Reizen oder erhöhte Aufmerksamkeit aufgrund verstärkter subjektiver Gefahreinschätzung sind Randbedingungen, welche die vier Faktoren zusätzlich beeinflussen.

Idealerweise werden Informationen auf verschiedenen Kanälen (z. B. visuell und auditiv) angeboten. Hilfreich ist es weiterhin, wenn eingeübte Verhaltensweisen bei wiederkehrenden Situationen «einfach» abgerufen werden können. Das wird durch eine flächendeckende standardisierte Gestaltung unterstützt, welche Gestaltung mit Erwartung (z. B. gegenüber potenziellen Konflikt-gegnern) und notwendigen Verhaltensweisen (z. B. Tempolimit) verknüpft. Eine weitere Möglichkeit, um Ressourcenspitzen bzw. Überforderung zu reduzieren, ist die zeitliche oder räumliche Aufteilung von Informationen (sequenziell anstatt parallel).

Verhaltensweisen lassen sich in eine Abfolge von Bewegungen einteilen. Diese sind meist eingeübt und standardisiert. Wenn aber aufgrund einer ungünstigen Kurvenabfolge (nicht den Erwartungen entsprechend, z. B. sehr enge Kurve folgt auf sehr weite Kurve oder Gerade) die eingeübten Bewegungsmuster der Spurhaltung nicht ausreichen und nachgesteuert werden muss, können kritische Situationen entstehen.

Aus der Sicht von Kindern, älteren Verkehrsteilnehmenden und mobilitätseingeschränkten Personen gelten erhöhte Anforderungen an eine selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassengestaltung. Kinder gelten erst ab 8-9 Jahren in der Lage, Verhaltensweisen anderer zutreffend zu antizipieren sowie Geschwindigkeiten und Distanzen analog zu Erwachsenen einzuschätzen. Das Aufrechterhalten einer gezielten Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum scheint erst ab 14 Jahre möglich. Damit handeln Kinder im Verkehr zu grossen Teilen «bottom-up» und sind damit auf entsprechende Hinweisreize in der Verkehrsumgebung angewiesen. Bei älteren Personen treten zunehmend Einschränkungen im visuellen, auditiven, kognitiven und motorischen Bereich auf, welche jedoch teilweise oder vollständig kompensiert werden können.

Besondere Berücksichtigung bei selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strassen benötigen Menschen mit Mobilitätseinschränkungen.

### **Fehlerverhalten Verkehrsteilnehmende**

Fehlverhalten, etwa als Folge zu geringer Selbsterklärung einer Strasse, kann beispielsweise danach klassifiziert werden, ob Fehler absichtlich oder unabsichtlich begangen werden. Wichtig für selbsterklärende Strassen sind Fehler, welche nicht absichtlich begangen werden. Dabei ist von Bedeutung, ob die relevanten Informationen für fehlerfreies Verhalten zur Verfügung standen. Eine weitere Kategorisierung unterscheidet fähigkeitsbasierte Fehler – z.B. eine Situation läuft nicht so ab, wie erwartet – und regelbasierte Fehler, wobei eine Verkehrssituationen falsch eingeschätzt und entsprechend falsch gehandelt wird.

Diagnosefehler entstehen etwa bei einer Missachtung des Vortritts, z.B. aufgrund eines nicht-selbsterklärend gestalteten Knotens. Ebenso weisen weitere Fehlerarten gewisse Zusammenhänge zu nicht-selbsterklärenden Strassen auf.

Aus vertieften Unfallanalysen wurden Fehlerarten danach priorisiert, welche besonders hilfreich für die Klärung der tatsächlichen Ursachen von Unfällen sind. Die Hauptgruppe stellen die Informationsfehler dar (für bis zu 77% der Unfälle relevant). Handlungs- und Zielsetzungsfehler spielen eher eine nachgeordnete Rolle, auch wenn die Zielsetzung nicht angepasste Geschwindigkeit und zu dichtes Auffahren umfassen. Bei Informationsfehlern sind Ablenkung und Unaufmerksamkeit oft ursächlich. Überforderung gilt eine weitere wichtige Fehlerkategorie. Eng damit verbunden sind falsche Erwartungen zu oder überraschendes Verhalten von anderen Verkehrsteilnehmenden. Gewohnheiten stellen eine weitere Fehlerkategorie von Relevanz dar.

Aus kontinuierlichen Verhaltensbeobachtungen (Naturalistic Driving Studies, NDS) wurde abgeleitet, dass Ablenkung ein ständig präsenter Fehler beim Fahren darstellt (tlw. über 50% der Zeit). Dem gegenüber resultiert durch Ablenkung nur in den seltensten Fällen tatsächlich in einen Konflikt. Im Gegensatz dazu sind z. B. Vortrittsmissachtungen (z. B. Informationsfehler) zwar weniger häufig, resultieren dafür aber schneller bzw. häufiger in einem Konflikt. In Bezug auf die Anpassung der Strassengestaltung im Bestand nach den



Aspekten der selbsterklärenden Strasse wäre die zweite Fehlerkategorie insofern vielversprechender, als nur ein Teil des Strassennetzes angepasst werden müsste.

Innerorts dominiert die Vortrittsmissachtung an Knoten (bei den Zufussgehenden auch entlang der Strecke) und ausserorts die Geschwindigkeit (dann vor allem in Kurven) das Unfallgeschehen. Geschwindigkeiten sind aber auch an Knoten beim Annähern, Abbiegen und bezüglich der Einschätzung anderer konfligierender Verkehrsteilnehmender relevant. Velos sind vor allem von Unfällen an Knoten betroffen.

Ein Strassenraum ist zusammenfassend also selbsterklärend, fehlerverzeihend und in der Folge risikoärmer, wenn folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Relevante Informationen sind sichtbar.
- Sie können frühzeitig wahrgenommen werden.
- Sie ziehen die notwendige Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden auf sich.
- Sie tauchen nur auf, wenn sie auch benötigt werden.
  
- Relevante Informationen begünstigen erwünschte und damit sichere Verhaltensweisen.
- Sie sind eindeutig und lassen nur eine – die erwünschte – Handlungsoption zu.
- Sie weisen auf die Kosten (Nachteile) und Nutzen (Vorteile) von Handlungsalternativen hin.
- Sie unterstützen die Verkehrsteilnehmenden in ihrer Entscheidungsfindung.
  
- Diese Anforderungen werden konsequent und durchgängig im Strassenraum umgesetzt, um unerwartete Situationen für die Verkehrsteilnehmenden zu vermeiden.
  
- Informationen geben Hintergründe weiter bzw. erklären Verkehrsregeln, damit Versuchungen für Verstösse bzw. absichtliche Fehlverhaltensweisen reduziert werden.

### **Zusätzliche Aspekte**

Der Zusammenhang zwischen subjektiv wahrgenommener Sicherheit und (tatsächlicher) objektiver Sicherheit spielt eine zentrale Rolle für selbsterklärende Strassen. Die Risikowahrnehmung beeinflusst direkt das sicherheitsrelevante Verhalten. Bleibt etwa das Fahren mit überhöhter Geschwindigkeit andauernd ohne negative Folgen, besteht die Gefahr, dass sich dieses Verhalten verfestigt. Idealerweise sollte riskantes Verhalten an Verkehrsteilnehmende zurückgemeldet werden. Übergeordnetes Ziel ist dabei, dass subjektive und objektive Gefährdung möglichst deckungsgleich werden.

Der sogenannte Safety-in-Numbers-Effekt verdeutlicht dies. Wird etwa die Exposition von nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden im Strassenraum erhöht, so erhalten diese mehr Aufmerksamkeit, denn es ändert sich die Erwartung bezüglich potenzieller Konfliktgegner. Dazu wäre allerdings eine erhebliche Verlagerung vom motorisierten zum nicht-motorisierten Verkehr notwendig.

Die Erkenntnisse zu Shared Space Ansätzen verdeutlichen, dass wohl auch explizit nicht-selbsterklärende Strassen sicherheitsfördernd sein können: Durch eine aktive Erhöhung der subjektiven Gefahreinschätzung tritt oft ein positiver Effekt für die objektive Verkehrssicherheit ein. Insofern zeigt dies, dass der Ansatz von selbsterklärenden Strassen Grenzen hat und – je nach Situation – zuweilen auch andere Gestaltungsansätze zielführend sein können.

SERFOR wird teilweise kontrovers im Zusammenhang mit der weiteren Verbreitung des automatisierten Fahrens diskutiert. Ist eine weitere Verbesserung der Infrastruktur zielführend, wenn mittelfristig automatisierte Fahrzeuge unfallbegünstigendes Verhalten ausschliessen? Zwar ist aktuell völlig unklar, wann mit der flächendeckenden Automatisierung der Fahrzeugflotte zu rechnen ist, zumal sowohl eine vollständige Unfallvermeidung durch die Automatisierung nicht leistbar erscheint. Daher kommt selbsterklärenden Strassen weiterhin eine hohe Relevanz zu – auch, weil bei den erwarteten Sicherheitsgewinnen infolge automatischen Fahrens auch oft vergessen wird, dass Motorräder und Velos kaum im selben Ausmass wie vierrädrige Fahrzeuge automatisiert betrieben werden können, ganz zu schweigen von den Zufussgehenden.

## Abgleich mit wissenschaftlicher und operativer Praxis

Workshops mit Fachpersonen zeigten, dass sich – unabhängig von der Perspektive oder Fachdisziplin – ähnliche Einschätzungen zur selbsterklärenden Strasse ergeben. Die Fachgespräche zu Wahrnehmung stellten vor allem auffällige Signale (u. a. farblich, blinkend, kontrastreich) sowie die Notwendigkeit für Dynamik (u. a. adaptive Signale) ins Zentrum. Deutlich wurden auch die bedeutende Rolle eines aufgeräumten Umfelds und die Berücksichtigung der Unterschiede zwischen den Anforderungen jüngerer und älterer Menschen. Die Aussagen von Fahrlehrern zeigten viele Parallelen zum existierenden Normenwerk und verdeutlichten damit auch das Problem der unzureichenden Umsetzung der Normen in der Praxis. Ein Fachgespräch zu Senioren und Kindern bestätigte die zuvor gefundenen Literaturergebnisse, die Aussage der Sicherheitsbeauftragten hob vor allem Knoten als Ansatzpunkt für eine Intensivierung der selbsterklärenden Gestaltung hervor.

## Ableitung der Projektierungsprinzipien

Über die Definition von Projektierungsprinzipien wurden die zuvor erarbeiteten Erkenntnisse für die weitere Bearbeitung als zentrale Folgerungen für selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassen aggregiert. Hauptziel ist es, Grundzüge für SERFOR zu skizzieren, deren Realisierbarkeit in konkreten Fällen dann in den Teilprojekten 2 (für Innerortsstrassen) und 3 (für Ausserortsstrassen) überprüft wurden.

**Tab. 1** Projektierungsprinzipien der Forschung zu den Humanfaktoren

Kategorie	Projektierungsprinzipien
Übergreifende Prinzipien	Vereinfachung unterstützen beziehungsweise Komplexität reduzieren / Vereinheitlichung und Standardisierung flächendeckend umsetzen / Konfliktgegner erkennen / Akzeptanz erhöhen / Aufmerksamkeit fördern / Passive Sicherheit durch fehlerverzeihende Strassenräume erhöhen / Orientierung geben / Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen / Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen / Konsistente Verkehrsregimes an Knoten gewährleisten / Adaptivität verkehrstechnischer Einrichtungen erhöhen
Zufussgehende	Signalisation ausrichten / Synergien nutzen
Velofahrende	Feedback / Salienz erhöhen / Ideallinien kennzeichnen / Frühzeitig Erwartungen hervorrufen
Motorfahrzeuglenkende	Prägnanz / Aktivierung

## Synthese

### Einleitung

Ausgehend von den psychologischen Ausarbeitungen zu den Humanfaktoren, welche in den Projektierungsprinzipien mündeten, wurden zwei weitere Teilprojekte im Forschungspaket SERFOR ausgeschrieben und durch zwei weitere Forschungsteams bearbeitet. Ziele dieser Forschungen war es:

- das bestehende Normenwerk in Bezug auf die Humanfaktoren zu überprüfen sowie
- Massnahmenansätze zu identifizieren und auf ihren Einsatz in der Schweiz hin zu bewerten.

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen und Rahmenbedingungen wurden Innerorts- und Ausserortsstrassen getrennt behandelt. Beide Teilprojekte unterscheiden sich in ihren Ansätzen aber auch hinsichtlich des Detaillierungsgrads. Für Innerortsstrassen wurden sehr vertieft zwei Einzelmassnahmen analysiert, ansonsten aber eher Empfehlungen genereller Art bereitgestellt. Für die Ausserortsstrassen erfolgte eine umfangreiche Darstellung verschiedener konkreter Massnahmenansätze, eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Normen aber auch eine umfassende Auseinandersetzung mit Fachexperten in Gesprächen und Workshops. Ein Grund für die unterschiedlichen Herangehensweisen ist u. a. auch, dass für Innerortsstrassen bisher weniger explizite SERFOR-Ansätze zur Verfügung stehen und gleichzeitig die Anforderungen sowie beschränkenden Rahmenbedingungen höher sind.

## Massnahmenansätze

Für die Ausserortsstrassen wurden aus insgesamt 48 Massnahmenansätzen der Literatur 20 priorisierte Ansätze abgeleitet, welche in der folgenden Tabelle abgebildet sind. Diese wurden nach Netzelement und dem übergeordneten Massnahmenansatz kategorisiert sowie hinsichtlich des prozentualen Anteils an den Unfällen auf Ausserortsstrassen (Potenzial) einer kategorialen Einteilung der Wirksamkeit (1 – gering, 5 – hoch) und der Einordnung der rechtlichen Zulässigkeit bewertet.

Die Priorisierung erfolgte im Rahmen eines Expertenworkshops, bei dem alle identifizierten Massnahmenansätze nach Innovationsgrad und Wirksamkeit bewertet wurden. Hier wurde auch deutlich, warum hoch wirksame und lange etablierte SERFOR-Ansätze nicht priorisiert wurden bzw. nicht in der folgenden Tabelle gelandet sind. Grund ist der geringe Innovationsgrad, denn Kreisel, Rückhaltesysteme, Unterfahrschutz, separate Veloanlagen sowie energieabsorbierende Einbauten sind hoch wirksam und seit langem etabliert. Dies gilt es unbedingt bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

**Tab. 2** Massnahmenansätze für Ausserortsstrassen (Teilprojekt 3)

Massnahmen Ausserortsstrassen	Netzelement	Ansatz	Potenzial	Wirksamkeit	rechtlich zulässig
Befestigte Bankette	Strecke	Querschnitt	42%	5	situativ
Transversale Markierungen der Mittellinie	Strecke, Singularität	Markierung	42%	4	nein
Überbreite Mittellinienmarkierung	Strecke	Markierung	42%	4	nein
Transversale Markierung der Fahrbahn-Randlinien	Strecke	Markierung	42%	3	nein
Rüttelstreifen mittig	Strecke	Fahrbahnoberfläche	35%	5	situativ
Entfernung Bepflanzung Seitenraum	Kurve	Seitenraum	23%	5	ja
Bepflanzung Seitenraum	Kurve	Seitenraum	21%	5	ja
Leiteinrichtungen	Kurve	Beschilderung	21%	5	ja
Optische Kurvenelemente	Kurve	Seitenraum	21%	5	nein
Farbige Geschwindigkeits-Randlinien	Strecke	Markierung	21%	4	nein
Rüttelstreifen zu äusseren Fahrbahnabgrenzung	Strecke	Fahrbahnoberfläche	20%	5	ja
Sinus-Schwellen («Kobi»-Schwelle)	Singularität	Fahrbahnoberfläche	18%	4	ja
Reduktion Sichtweiten	Knoten	Einbauten	10%	3	ja
Mittel-, Trenn- und Leitinseln	Knoten, Querung	Einbauten	9%	4	ja
Kernfahrbahn ausserorts	Strecke	Markierung	8%	4	situativ
Rüttelstreifen quer vor engen Kurven (Motorrad)	Kurve	Fahrbahnoberfläche	5%	3	nein
Staudetektor und Stauwarner	Singularität	dynamische Signale	3%	3	ja
Standardisierung Baustellenführung	Strecke/ Singularität	Beschilderung, Markierung	1%	4	ja

Reflektorfolien für Verkehrsschilder	Singularität	Beschilderung	1%	4	ja
Kurvenmarkierung für Motorradfahrende	Kurve	Markierung	1%	4	nein

Für den Innerortsbereich wurden Gestaltungs- und Verkehrsreglungsansätze ohne Anspruch auf Vollständigkeit aber auch ohne weitere Bewertung bereitgestellt. Ausnahme bilden die Virtual-Reality-Experimente zur Ausgestaltung von Rechtsvortritten und Verdeutlichung von Tempo 30 über angepassten Leitlinien. In der folgenden Tabelle finden sich verschiedene Planungsempfehlungen an die Praxis im Rahmen des SERFOR-Kontextes. Die Aufzählung stellt keine abschliessende Liste dar.

**Tab. 3 Massnahmenansätze für Innerortsstrassen (Teilprojekt 2)**

Ansatz	Massnahmen Innerortsstrassen
Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> <li>kein Rechtsvortritt auf Tempo-50-Strassen</li> <li>Velostrassen mit Tempo 30 und Vortritt</li> <li>Geschwindigkeit reduzieren (u. a. vor FGS, im Mischverkehr)</li> </ul>
Querschnitt	<ul style="list-style-type: none"> <li>FGS: Anordnung Mittelinsel</li> <li>Mehrzweckstreifen/ Mittelstreifen</li> <li>velogerechte Kurvenradien</li> <li>Separation der Verkehrsarten</li> <li>FGS: ohne LSA über max. 1 Fahrstreifen je Fahrtrichtung</li> <li>eindeutige Fahrstreifenbreite (Überholen verdeutlichen)</li> <li>Mittelinseln an Bushaltestellen zur Reduzierung Überholvorgänge</li> <li>FGS: Verengung der Fahrbahn</li> <li>FGS: verständliche Ausgestaltung (auch für Trottoirüberfahrten)</li> <li>Trottoirmasen am Fahrbahnrand</li> <li>Aufteilung komplexer Situation in Sequenzen</li> <li>Vertikalversatz</li> </ul>
Beschilderung	<ul style="list-style-type: none"> <li>sicherheitsrelevante Signale am Fahrbahnrand</li> <li>Reduzierung Signaldichte</li> <li>informative Signale im peripheren Blickfeld positionieren</li> <li>Zonensignale anstatt Einzelsignale</li> <li>temporäre/adaptive Signalisation</li> <li>Ergänzende Erläuterung zu Signalisationen</li> <li>Vorsignalisation bei unübersichtlichen Knoten</li> <li>Engstellen signalisieren</li> </ul>
Markierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einfärbung Radfahrstreifen</li> <li>durchgehende Velostreifen</li> <li>Markierung Tramvortritt mit Bodenmarkierung</li> <li>keine grossflächigen FGSO ausserhalb Begegnungszonen</li> <li>besondere Markierung Anfang/Ende von Bus-/Velostreifen</li> <li>Leitlinien</li> <li>Velosymbole auf Fahrbahn in Mischverkehrssituationen</li> <li>bfu "Füssli"</li> <li>Markierung Abstände Velolanlage und parkierende Fahrzeuge (Sicherheitstrennstreifen)</li> </ul>
Knotengestaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechtzeitige Richtungsangaben für Spurwahl in Kreiseln</li> <li>aufgeweitete Radstreifen</li> <li>Sichthindernisse in Kreismitte</li> <li>indirektes Linksabbiegen für Velos</li> </ul>
LSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Velo-Ampeln</li> <li>vorgezogene Haltlinien Veloverkehr an LSA</li> <li>LSA (verschiedenes: Countdown, Verzicht Konfliktschaltung, Hinweis lange Rotphasen, Verkehrsabhängigkeit, an Langsamverkehr ausrichten)</li> </ul>

Ausstattung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hindernisse vermeiden (vor allem an unerwarteten Orten), ausserhalb Fahrbahn platzieren, flexibel ausgestalten</li> <li>• Abgeflachte Bordsteine bei Veloüberfahrten</li> <li>• ausreichende Beleuchtung</li> <li>• Werbung in Knotenbereichen/ Querungsstellen reduzieren</li> <li>• Trixi Spiegel</li> </ul>
Sonstige	<ul style="list-style-type: none"> <li>• regelmässige Reinigung in Bezug auf Laub und Schnee</li> <li>• erforderliche Sichtweiten gewährleisten / Sichthindernisse vermeiden</li> <li>• griffiger Belag</li> <li>• Z-Querung</li> <li>• FGS: Abstimmung Geh-/Wunschlinien mit Platzierung von FGS</li> </ul>

Für zwei Markierungen wurden VR-Experimente durchgeführt. Insgesamt 72 Testpersonen wurde eine 3D-Strassenumgebung gezeigt und deren Wahrnehmung und Verhaltensintension über einen Fragebogen erhoben. Die Ergebnisse stellen somit nicht das tatsächliche, sondern das beabsichtigte und reflektierte Verhalten der Testpersonen dar.

Für den Bereich der Strecke wurden unterschiedliche Ausgestaltungen von Leitlinien für die Unterstützung von Tempo-30-Regelungen untersucht. Im Ergebnis wirkten die Leitlinien beschleunigend gegenüber Strassen ohne Leitlinien, was auch andere Forschungsergebnisse bestätigt. Damit bleibt es bei der bekannten Empfehlung, Tempo-30-Strassen ohne Leitlinien zu gestalten (im Abgleich mit der gestalterischen Situation, also eher schmalen Fahrbahnbreiten), um das Temporegime zu unterstützen. Gleichzeitig wird damit auch in der Regel die Prägnanz im Sinne einer Abgrenzung zu Tempo-50-Strassen mit Leitlinien erhöht.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden Kreuzungen mit Rechtsvortritt mit Tulpenmarkierung, ergänzter farblicher Einfärbung und Markierung einer Belagsrosette untersucht. Die Ergebnisse für alle untersuchten Kreuzungstypen mit Rechtsvortritt deuten darauf hin, dass die Standard-Kreuzungen ohne die Markierung und Belagsrosetten im Vergleich am stärksten selbsterklärend sind.

### **Generelle Handlungsempfehlungen**

Die Handlungsempfehlungen wurden nach den Kategorien Grundlagen und Normenwerk, Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente ISSI, Sensibilisierung und Forschungsbedarf differenziert.

Für das Normenwerk wurde eine einmalige und vollständige Überprüfung des Normenwerks empfohlen, um aktuelle Verbesserungspotenziale zur Verkehrssicherheit sowie den sich derzeit schnell ändernden Anforderungen des Langsamverkehrs in einem Ruck aufzuholen. Als fortlaufende Massnahme wurde die Einrichtung eines übergeordneten und interdisziplinären Begleitgremiums empfohlen, welches kontinuierlich aktuelle Erkenntnisse prüft und in das Milizsystem einspeist. Auch wurde ein noch stärkerer selbsterklärender Charakter für die Normen empfohlen, wobei vor allem der Umgang mit Ermessensspielräumen thematisiert werden sollte. Weiterhin sollten, unabhängig vom Normenwerk, aktuelle Erkenntnisse aus der Praxis gesammelt und in die Breite kommuniziert werden. Hierfür bieten sich Beispielsammlungen und Handbücher an. Unabhängig vom Korsett der Regelungen durch das Normenwerk können jederzeit Pilotversuche für neue und angepasste Gestaltungsformen verwendet werden.

Bei den ISSI besteht eher wenig Anpassungsbedarf. Die Checklisten für das Sicherheitsaudit RSA und die Inspektion RSI sollten mit den Projektierungsprinzipien abgeglichen werden. Weiterhin sollten die Erkenntnisse aus SERFOR noch stärker bei den proaktiven ISSI und deren Weiterentwicklung berücksichtigt werden. Mit dem Projekt MEVASI sollten die Wirksamkeitsanalysen von Massnahmen, vor allem mit einem starken SERFOR-Charakter, weiter intensiviert werden, damit den Anwendenden der ISSI bessere Grundlagen für die Massnahmenauswahl zur Verfügung stehen.

Die Sensibilisierung für die Anforderungen an selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassen betrifft alle Akteure der Verkehrssicherheitsarbeit. Hierbei ist einerseits die Aus- und Weiterbildung, auch der Auditoren und Inspektoren, zu adressieren. Wichtiger noch

sind aber leicht verständliche und einfach verfügbare Kommunikationsinstrumente zu den Kernaspekten aus der Forschung zu SERFOR. Parallel dazu sind aber auch verpflichtende Ansätze wie Mindeststandards oder die Verknüpfung von Fördermitteln mit Sicherheitsanforderungen wichtig, um das Thema in der Praxis zu etablieren.

Forschungsbedarf ergibt sich vor allem für folgende Themen:

- Wie können idealtypische Layouts für standardisierte Verkehrsanlagen definiert werden, welche eine optimale Ausgestaltung im Sinne von SERFOR darstellen?
- Übertragung der Projektierungsprinzipien auf die Verkehrsanlagen des Velo- und Fussverkehrs und Ableitung von bspw. Beispiellösungen als Orientierung für die Planung.
- Abgleich aktueller Anforderungen an das hochautomatisierte Fahren, hier vor allem an den Mischverkehr mit heutigen Fahrzeugen und dem Langsamverkehr, mit den Erkenntnissen und Projektierungsprinzipien einer SERFOR-konformen Gestaltung
- Überprüfung des Potenzials bei der Realisierung von Entwurfslayouts in virtuellen Umgebungen (bspw. im BIM-Kontext) für die Umsetzung von SERFOR.
- Identifizierung und Entwicklung von Ansätzen, um das Bestandsnetz effizient auf SERFOR-Konformität zu prüfen.

# Résumé

## Introduction

Le mandat de recherche SERFOR (Self Explaining (Roads) and FOrgiving Roads) traite du thème des routes intuitives et insensibles aux erreurs. Avec ce mandat de recherche, l'Office fédéral des routes poursuit l'objectif de mettre à disposition des stratégies de mesures concrètes et adaptées à la pratique pour un aménagement et une signalisation routière intuitifs et insensibles aux erreurs. A l'aide de trois sous-projets (TP), les besoins d'action pour les routes à l'intérieur et hors localité en Suisse doivent être mis en évidence en partant des connaissances en psychologie de la circulation.

Le présent rapport (TP 1) décrit tout d'abord les fondements des facteurs humains du point de vue psychologique. Ensuite, deux sous-projets (TP2: routes à l'intérieur d'une localité et TP3: routes hors localité) examinent les facteurs humains pris en compte dans la conception (mises en œuvre concrètes) ainsi que leur diffusion dans le réseau routier existant. Ils se termineront par des recommandations sur les adaptations éventuellement nécessaires pour la pratique actuelle de la conception des routes. Dans le cadre d'une synthèse (également TP1), les résultats des deux sous-projets sont ensuite rapprochés et des recommandations d'action en découlent.

## Recherche sur les facteurs humains

### Exigences

La description des facteurs humains se base sur des modèles de description de l'activité de conduite ou du conducteur et de l'activité de marche. Ces modèles sont structurés différemment, mais toujours à différents niveaux, et s'influencent en partie mutuellement. Les contraintes résultent des facteurs externes que sont le véhicule, l'environnement et les usagers de la route. L'accent est mis sur les tâches de conduite primaires. Les tâches de conduite secondaires, comme le fait de mettre son clignotant, et les tâches de conduite tertiaires, comme le fait de téléphoner, jouent un rôle plutôt marginal. Les tâches de conduite primaires peuvent être classées selon différents points de vue. Pour la description des facteurs humains, on a choisi de différencier la réception, le traitement et la mise en œuvre des informations sur la situation routière. Sur cette base, les exigences en matière de capacités sensorielles, cognitives et motrices des usagers de la route ont été approfondies.

En ce qui concerne les capacités sensorielles - c'est-à-dire la réception d'informations provenant de l'environnement routier - le canal visuel couvre la partie la plus importante de la perception avec environ 90%. L'ouïe et le sens de l'équilibre jouent un rôle plus important dans le trafic cycliste et piéton et permettent de fournir des informations supplémentaires - sans solliciter le canal visuel - au conducteur du véhicule. La vision peut être divisée soit en fixation et sauts visuels, soit en champ visuel focalisé et périphérique. Le champ visuel dans lequel a lieu la fixation est plutôt petit, c'est là que doivent être placées les informations les plus importantes pour les usagers de la route. Les indications périphériques doivent surtout servir à évaluer la vitesse (de l'utilisateur et des autres usagers de la route) et les distances. Ces deux informations permettent par exemple de déduire le délai avant une collision avec d'autres usagers de la route ou des obstacles. L'estimation de la vitesse est fortement influencée par les informations en périphérie. Les environnements monotones entraînent une sous-estimation de la vitesse, ce qu'il convient d'éviter par des indications ciblées. Les stimuli en profondeur dans l'environnement sont pertinents pour la perception des distances, mais il est recommandé de les montrer de manière adaptative. Une certaine uniformité de ces stimuli augmente leur valeur de reconnaissance.

En raison de la complexité des espaces routiers, une attention sélective, autrement dit un filtrage des informations pertinentes est nécessaire. Ce filtrage s'effectue soit sur la base de stimuli ("bottom-up", le plus souvent), soit de manière active ("top-down", moins souvent). Quatre facteurs jouent un rôle central à cet égard. Une certaine particularité des stimuli est nécessaire à leur perception. Par ailleurs, celle-ci est influencée par l'effort qui y est lié (p. ex. la distance de l'objet). Pour le filtrage actif par le regard, ce sont surtout les attentes (où faut-il regarder ?) mais aussi la valeur (quelle est la pertinence de l'indice ?) qui sont pertinentes. Ces quatre facteurs sont importants pour un aménagement routier intuitif. Enfin,

la clarté et l'univocité des stimuli ou une attention accrue en raison d'une évaluation subjective renforcée du danger sont des conditions marginales qui influencent également les quatre facteurs.

Idéalement, les informations sont proposées à différents sens (p. ex. visuels et auditifs). Il est également bénéfique de pouvoir rappeler "facilement" les usagers de comportements appris pour des situations récurrentes. On favorise un tel rappel par un aménagement standardisé sur l'ensemble du territoire, associant attentes (p. ex. vis-à-vis de parties potentiellement en conflit) et comportements nécessaires (p. ex. limitation de vitesse). Une autre possibilité de réduire les pics de ressources ou la surcharge (de l'attention) consiste à répartir les informations dans le temps ou dans l'espace (de manière séquentielle plutôt que parallèle).

Les comportements peuvent être subdivisés en une suite de mouvements généralement répétés et standardisés. Mais, des situations critiques peuvent apparaître si les schémas de mouvements de maintien de la trajectoire appris ne suffisent pas et qu'il faut les réajuster, par exemple en raison d'une succession défavorable de virages (ne correspondant pas aux attentes, p. ex. un virage très étroit succédant à un virage très large ou à une ligne droite).

Concernant les enfants, les usagers de la route âgés et les personnes à mobilité réduite, des exigences accrues s'appliquent à un aménagement routier intuitif et insensible aux erreurs'. Ce n'est qu'à partir de 8-9 ans que les enfants sont en mesure d'anticiper correctement les comportements des autres et d'évaluer les vitesses et les distances de manière analogue aux adultes. De plus, le maintien d'une attention ciblée sur une longue période ne semble possible qu'à partir de 14 ans. Dans la circulation, les enfants agissent donc en majeure partie "bottom-up" et sont donc tributaires de stimulations les guidant dans l'environnement routier. Les personnes âgées présentent des déficits s'accroissant avec l'âge dans les domaines visuel, auditif, cognitif et moteur, qui peuvent toutefois être partiellement ou totalement compensées dans l'aménagement routier.

Enfin, les personnes à mobilité réduite ont besoin d'une attention particulière pour les routes intuitives et insensibles aux erreurs.

### **Comportement erroné des usagers de la route**

Les comportements erronés, par exemple en raison du caractère insuffisamment intuitif d'une route, peuvent être classés selon que les erreurs sont commises intentionnellement ou non. Les erreurs qui ne sont pas intentionnelles revêtent une importance particulière pour les routes intuitives. Dans de tel cas, il est important de savoir si les informations nécessaires à un comportement adéquat étaient disponibles. Une autre catégorisation distingue les erreurs basées sur les capacités - par exemple, lorsqu'une situation ne se déroule pas comme prévu - des erreurs basées sur les règles, dans lesquelles une situation de trafic est mal évaluée et donc mal gérée.

Les erreurs de diagnostic se produisent par exemple en cas de non-respect de la priorité, en raison par exemple d'un nœud routier peu intuitif. De même, d'autres types d'erreurs présentent certains liens avec des routes peu intuitives.

Les analyses approfondies des accidents ont permis de classer par ordre de priorité les types d'erreurs qui sont particulièrement utiles pour déterminer les causes réelles des accidents. Les erreurs d'information constituent le groupe principal (jusqu'à 77% des accidents). Les erreurs d'action et de ciblage jouent plutôt un rôle secondaire, même si l'objectif comprend une vitesse inadaptée et une conduite trop proche. Les erreurs d'information sont souvent dues à la distraction et à l'inattention. La surcharge attentionnelle est une autre catégorie d'erreur importante. Les attentes erronées ou le comportement surprenant d'autres usagers de la route y sont étroitement liés. Les habitudes constituent une autre catégorie d'erreur importante.

Des observations continues du comportement (Naturalistic Driving Studies, NDS) ont permis de déduire que la distraction est une erreur constamment présente au volant (parfois plus de 50% du temps). En revanche, la distraction n'entraîne que très rarement un conflit. En revanche, les refus de priorité (par exemple les erreurs d'information) sont certes moins fréquents, mais ils débouchent plus rapidement et plus souvent sur un conflit. En ce qui concerne l'adaptation de l'aménagement des routes existantes selon les aspects de la route



intuitive, la deuxième catégorie d'erreurs présenterait un potentiel d'action plus prometteur que la mesure où seule une partie du réseau routier devrait être adaptée.

A l'intérieur des localités, les accidents sont dominés par le non-respect de la priorité aux carrefours (pour les piétons, également le long de leur parcours) et, hors des localités, par la vitesse (surtout dans les virages). Mais la vitesse est également importante à l'approche des carrefours, lors des changements de direction et lors de l'évaluation des autres usagers de la route en conflit. Les cyclistes sont surtout concernés par les accidents aux carrefours.

En résumé, un espace routier est intuitif et insensible aux erreurs et, par conséquent, présente moins de risques si les aspects suivants sont pris en compte :

- Les informations pertinentes sont visibles.
- Elles peuvent être perçues à l'avance.
- Elles attirent l'attention nécessaire des usagers de la route.
- Elles n'apparaissent que lorsqu'elles sont nécessaires.
  
- Les informations pertinentes favorisent les comportements souhaités et donc sûrs.
- Elles sont claires et n'autorisent qu'une seule option d'action - celle qui est souhaitée.
- Elles signalent les coûts (inconvenients) et les bénéfiques (avantages) des alternatives d'action.
- Elles soutiennent les usagers de la route dans leur prise de décision.
  
- Ces exigences sont appliquées de manière cohérente et continue dans l'espace routier afin d'éviter des situations inattendues pour les usagers de la route.
  
- Les informations donnent des explications sur le contexte ou les règles de la circulation, afin de réduire les tentations d'infraction, respectivement les comportements répréhensibles délibérés.

### Aspects supplémentaires

Le lien entre la sécurité subjectivement perçue et la sécurité objective (réelle) joue un rôle central pour les routes intuitives. La perception du risque influence directement le comportement en matière de sécurité. Si, par exemple, la conduite à une vitesse excessive se poursuit sans conséquences négatives, il y a un risque que ce comportement s'enracine. Idéalement, les comportements à risque devraient être signalés aux usagers de la route. L'objectif principal est de faire coïncider le plus possible le danger subjectif et le danger objectif.

L'effet "safety-in-numbers" illustre ce phénomène. Si l'on augmente l'exposition des usagers de la route non motorisés dans l'espace routier, ceux-ci reçoivent plus d'attention, car les attentes concernant les parties potentiellement en conflit changent. Pour cela, il faudrait toutefois un transfert considérable du trafic motorisé vers le trafic non motorisé.

Les connaissances acquises sur les approches d'espaces partagés montrent que les routes qui ne sont pas explicitement intuitives peuvent également promouvoir la sécurité : Une augmentation active de l'évaluation subjective des dangers a souvent un effet positif sur la sécurité routière objective. Dans cette mesure, cela montre que l'approche des routes intuitives a ses limites et que - selon la situation - d'autres approches d'aménagement peuvent parfois s'avérer efficaces.

SERFOR fait parfois l'objet de controverses en lien avec la poursuite de l'expansion de la conduite automatisée. Une nouvelle amélioration de l'infrastructure est-elle pertinente si, à moyen terme, les véhicules automatisés excluent tout comportement propice aux accidents ? Il est vrai qu'à l'heure actuelle, on ne sait absolument pas quand on pourra compter sur une automatisation généralisée du parc automobile, d'autant plus qu'il ne semble pas possible d'éviter totalement les accidents grâce à l'automatisation. C'est pourquoi les routes intuitives conservent une grande importance - notamment parce que les gains de sécurité attendus de la conduite automatique font souvent oublier que les motos et les vélos, sans parler des piétons, ne peuvent guère être automatisés dans la même mesure que les véhicules à quatre roues.

## Comparaison entre la pratique scientifique et opérationnelle

Des ateliers avec des spécialistes ont montré que - indépendamment de la perspective ou de la discipline - des appréciations similaires se dégagent au sujet de la route intuitive. Les discussions entre spécialistes de la perception ont surtout mis l'accent sur les signaux attirant l'attention (notamment colorés, clignotants, contrastés) ainsi que sur la nécessité d'une dynamique (notamment des signaux adaptatifs). Le rôle important d'un environnement ordonné et la prise en compte des exigences différentes concernant les jeunes et les personnes âgées ont également été mis en évidence. Les témoignages des moniteurs d'auto-école ont montré de nombreux parallèles avec les normes existantes et ont ainsi mis en évidence le problème de l'application insuffisante des normes dans la pratique. Un débat d'expert.e.s sur les seniors et les enfants a confirmé les résultats préexistants de la littérature, le témoignage des responsables de la sécurité a surtout mis en évidence les nœuds comme point de départ pour une intensification de la conception de routes intuitives.

## Dérivation des principes de conception

Les connaissances acquises jusque-là pour la suite du travail ont été agrégées par le biais d'une définition de principes de conception, en conclusions centrales pour des routes intuitives et insensibles aux erreurs. L'objectif principal est d'esquisser les grandes lignes de SERFOR, dont la faisabilité dans des cas concrets a ensuite été vérifiée dans les sous-projets 2 (pour les routes à l'intérieur d'une localité) et 3 (pour les routes hors localité).

**Tab. 1** Principes de conception issus de la recherche sur les facteurs humains

Catégorie	Principes de conception
Principes généraux	Soutenir la simplification respectivement réduire la complexité / Mettre en œuvre l'uniformisation et la standardisation sur l'ensemble du territoire / Identifier les parties en conflit / Augmenter l'acceptation / Stimuler l'attention / Augmenter la sécurité passive grâce à des espaces routiers insensibles aux erreurs / Donner des repères / Clarifier l'attribution des zones transversales / Réduire les différences de vitesse / Garantir des régimes de circulation cohérents aux nœuds / Augmenter l'adaptabilité des équipements techniques de circulation
Piétons	Orienter la signalisation / utiliser les synergies
Les cyclistes	Augmenter la salience, le feedback / marquer les lignes idéales / évoquer tôt les attentes
Conducteurs de véhicules à moteur	Concision / Activation

## Synthèse

### Introduction

A partir de ces considérations psychologiques sur les facteurs humains qui ont abouti aux principes de conception, deux autres sous-projets ont été mis au concours dans le paquet de recherche SERFOR et traités par deux autres équipes de recherche. Les objectifs de ces recherches étaient

- de revoir les normes existantes en matière de facteurs humains, et
- d'identifier des stratégies de mesures et d'évaluer leur utilisation en Suisse.

En raison d'exigences et de conditions cadres différentes, les routes à l'intérieur des localités et les routes hors localités ont été traitées séparément. Les deux sous-projets se distinguent par leurs approches, mais aussi par leur degré de détail. Pour les routes à l'intérieur des localités, deux mesures individuelles ont été analysées de manière très approfondie, mais des recommandations de nature générale ont été fournies. Pour les routes hors localités, on a procédé à une présentation détaillée de différentes stratégies de mesures concrètes, à une étude approfondie des normes, mais aussi à une discussion approfondie avec des experts du domaine au moyen d'entretiens et d'ateliers. Ces différentes manières de procéder s'expliquent notamment par le fait qu'il existe moins d'approches SERFOR explicites pour les routes à l'intérieur des localités et que les exigences et les conditions-cadres restrictives sont plus élevées.

## Stratégies de mesures

Pour les routes hors localité, 20 stratégies prioritaires représentées dans le tableau suivant ont été déduites d'un total de 48 stratégies de mesures issues de la littérature. Celles-ci ont été classées en fonction de l'élément du réseau routier et du type de mesures superordonnées, et évaluées en fonction du pourcentage d'accidents sur les routes hors localité (potentiel), d'une classification catégorielle de l'efficacité (1 - faible, 5 - élevée) et de la classification de l'admissibilité juridique.

La priorisation a été effectuée dans le cadre d'un atelier d'experts, au cours duquel toutes les stratégies de mesures identifiées ont été évaluées en fonction de leur degré d'innovation et de leur efficacité. Sur une telle base de travail, certaines approches SERFOR très efficaces et établies depuis longtemps n'ont pas été priorisées. En effet, même si les giratoires, les systèmes de retenue, les protections anti-encastrement, les installations séparées pour les vélos ainsi que les aménagements à absorption d'énergie sont très efficaces et établis depuis longtemps, leur caractère peu innovant ne leur ont pas permis de trouver une place dans le tableau suivant. Il faut absolument en tenir compte lors de l'interprétation des résultats.

**Tab. 2** Stratégies de mesures pour les routes hors localité (sous-projet 3)

Mesures concernant les routes hors localité	Élément de réseau routier	Approche	Potentiel	Efficacité	Admissibilité juridique
Bas-côtés renforcés	Tronçon	Coupe transversale	42%	5	en fonction de la situation
Marquage transversal de la ligne médiane	Tronçon, singularité	Marquage	42%	4	non
Marquage surdimensionné de la ligne médiane	Tronçon	Marquage	42%	4	non
Marquage transversal des lignes de bordure de la chaussée	Tronçon	Marquage	42%	3	non
Bande centrale vibrante	Tronçon	Surface de la chaussée	35%	5	en fonction de la situation
Suppression des plantations sur l'espace latéral	Virage	Espace latéral	23%	5	oui
Plantation de l'espace latéral	Virage	Espace latéral	21%	5	oui
Dispositifs de guidage	Virage	Signalisation	21%	5	oui
Éléments optiques dans les virages	Virage	Espace latéral	21%	5	non
Lignes de bordure de vitesse colorées	Tronçon	Marquage	21%	4	non
Bande de délimitation extérieure de la chaussée vibrante	Tronçon	Surface de la chaussée	20%	5	oui
Seuils sinusoïdaux ( seuil "Kobi")	Singularité	Surface de la chaussée	18%	4	oui
Réduction de la visibilité	Nœuds	Encastremets	10%	3	oui
Îlots centraux, de séparation et de guidage	Nœud, traversée	Encastremets	9%	4	oui
Chaussée centrale hors localité	Tronçon	Marquage	8%	4	en fonction de la situation

Bandes transversales vibrantes avant les virages serrés (moto)	Virage	Surface de la chaussée	5%	3	non
Détecteur et avertisseur de bouchons	Singularité	Signaux dynamiques	3%	3	oui
Standardisation de la gestion des chantiers	Tronçon/singularité	Signalisation, marquage	1%	4	oui
Films réfléchissants pour panneaux de signalisation	Singularité	Signalisation	1%	4	oui
Marquage des virages pour les motocyclistes	Virage	Marquage	1%	4	non

A l'intérieur des localités, des stratégies d'aménagement et de régulation du trafic ont été fournies sans prétendre à l'exhaustivité mais aussi sans autre évaluation. Les expériences de réalité virtuelle pour l'aménagement des emprises et la mise en évidence de la limitation de vitesse à 30 km/h via des lignes directrices adaptées constituent une exception. Le tableau suivant présente différentes recommandations de planification pour la pratique dans le cadre du contexte SERFOR. L'énumération ne constitue pas une liste exhaustive.

**Tab. 3** *Stratégies de mesures pour les routes à l'intérieur d'une localité (projet partiel 2)*

Approche	Mesures sur les routes à l'intérieur d'une localité
Régime de circulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de priorité de droite sur les routes limitées à 50 km/h</li> <li>• Pistes cyclables à 30 km/h avec priorité aux cyclistes</li> <li>• Réduire la vitesse (entre autres devant les FGS, dans le trafic mixte)</li> </ul>
Coupe transversale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FGS : Disposition d'un îlot central</li> <li>• Bandes polyvalentes/bandes centrales</li> <li>• Rayons de virage adaptés aux vélos</li> <li>• Séparation des modes de transport</li> <li>• FGS : sans LSA sur max. 1 voie de circulation par direction</li> <li>• Largeur claire de la voie de circulation (clarifier le dépassement)</li> <li>• Îlots centraux aux arrêts de bus pour réduire les dépassements</li> <li>• FGS : Rétrécissement de la chaussée</li> <li>• FGS : aménagement compréhensible (également pour les traversées de trottoirs)</li> <li>• Nez de trottoir au bord de la chaussée</li> <li>• Division d'une situation complexe en séquences</li> <li>• Décalage vertical</li> </ul>
Signalisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Signaux de sécurité au bord de la route</li> <li>• Réduction de la densité des signaux</li> <li>• Positionner les signaux informatifs dans le champ de vision périphérique</li> <li>• Signaux de zone au lieu de signaux individuels</li> <li>• Signalisation temporaire/adaptative</li> <li>• Explication complémentaire à la signalisation</li> <li>• Signalisation avancée pour les carrefours sans visibilité</li> <li>• Signaler les passages étroits</li> </ul>
Marquage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coloration de la piste cyclable</li> <li>• Pistes cyclables continues</li> <li>• Marquage de la priorité du tram avec marquage au sol</li> <li>• Pas de FGSO à grande échelle en dehors des zones de rencontre</li> <li>• Marquage spécial du début/de la fin de la bande bus/vélo</li> <li>• Lignes directrices</li> <li>• Symboles de vélo sur la chaussée dans les situations de trafic mixte</li> <li>• BPA "Füssli"</li> <li>• Marquage des distances entre les installations cyclables et les véhicules en stationnement (bande de séparation de sécurité)</li> </ul>

Aménagement de nœuds	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indications de direction en temps utile pour le choix de la voie dans les giratoires</li> <li>• Bandes cyclables élargies</li> <li>• Obstacles visuels au centre du cercle</li> <li>• Virage indirect à gauche pour les vélos</li> </ul>
LSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feux de signalisation pour vélos</li> <li>• Lignes d'arrêt avancées trafic cycliste aux LSA</li> <li>• LSA (divers : compte à rebours, renonciation à la commutation en cas de conflit, indication de phases rouges longues, dépendance vis-à-vis du trafic, orientation vers la mobilité douce)</li> </ul>
Équipement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Éviter les obstacles (surtout aux endroits inattendus), les placer en dehors de la chaussée, les aménager de manière flexible</li> <li>• Bordures de trottoir aplaties pour les passages pour vélos</li> <li>• Eclairage suffisant</li> <li>• Réduire la publicité dans les zones de carrefour/traversées</li> <li>• Miroir Trixi</li> </ul>
Autres	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyage régulier des feuilles mortes et de la neige</li> <li>• Garantir les distances de visibilité nécessaires / éviter les obstacles visuels</li> <li>• Revêtement adhérent</li> <li>• Traversée en Z</li> <li>• FGS : coordination des lignes de marche/de souhaits avec placement de FGS</li> </ul>

Des expériences de réalité virtuelle ont été menées pour deux marquages. Un environnement routier en 3D a été présenté à 72 personnes au total et leur perception et intention comportementale ont été recueillies par le biais d'un questionnaire. Les résultats ne représentent donc pas le comportement réel des sujets, mais le comportement intentionnel délibéré.

Différents aménagements de lignes de direction ont été étudiées pour soutenir la limitation de vitesse à 30 km/h dans la zone de l'itinéraire. Au final, les lignes de direction ont eu un effet accélérateur par rapport aux routes sans lignes de direction, ce qui confirme également d'autres résultats de recherche. On en reste donc à la recommandation connue d'aménager les routes à 30 km/h sans lignes de direction (en comparaison avec la situation d'aménagement, c'est-à-dire des largeurs de chaussée plutôt étroites) afin de soutenir le régime de vitesse. Cela permet en règle générale d'augmenter par la même occasion la prégnance dans le sens d'une délimitation par rapport aux routes à 50 km/h avec lignes de direction.

Dans une deuxième série d'essais, des intersections avec priorité de droite ont été examinées avec un marquage tulipe, une coloration complémentaire et le marquage d'une rosace de revêtement. Les résultats pour tous les types d'intersections avec priorité de droite étudiés indiquent que les intersections standard sans le marquage ni les rosaces de revêtement sont les plus intuitives en comparaison.

### Recommandations générales d'action

Les recommandations d'action ont été différenciées selon les catégories suivantes : bases et normes, instruments de sécurité des infrastructures ISSI, sensibilisation et besoins de recherche.

Pour l'ensemble des normes, il a été recommandé de procéder à un examen unique et complet de l'ensemble des normes afin de réaliser d'une fois les potentiels d'amélioration actuels en matière de sécurité routière et satisfaire aux exigences de la mobilité douce qui évoluent actuellement rapidement. La mise en place d'un comité d'accompagnement supérieur et interdisciplinaire a été recommandée à titre de mesure continue, afin d'examiner en permanence les connaissances actuelles et de les intégrer dans le système de milice. Il a également été recommandé de renforcer le caractère intuitif des normes, en abordant notamment la question de la gestion des marges d'appréciation. En outre, indépendamment de l'ensemble des normes, les connaissances actuelles issues de la pratique devraient être rassemblées et communiquées à grande échelle. Les recueils d'exemples et les manuels sont tout indiqués à cet effet. Indépendamment du corset des réglementations imposées par

les normes, il est toujours possible d'utiliser des essais pilotes pour des formes d'aménagement nouvelles et adaptées.

Pour les ISSI, il y a relativement peu de besoins d'adaptation. Les check-lists pour l'audit de sécurité RSA et l'inspection RSI devraient être harmonisées avec les principes de conception. Par ailleurs, les enseignements tirés de SERFOR devraient être encore davantage pris en compte dans les ISSI proactives et leur développement. Le projet MEVASI devrait permettre d'intensifier encore les analyses d'efficacité des mesures, surtout celles qui ont un fort caractère SERFOR, afin que les personnes appliquant les ISSI disposent de meilleures bases pour le choix des mesures.

La sensibilisation aux exigences des routes intuitives et insensibles aux erreurs concerne tous les acteurs de la sécurité routière. A cet égard, il convient d'une part d'aborder la question de la formation initiale et continue, y compris celle des auditeurs et des inspecteurs. Mais il est encore plus important de disposer d'instruments de communication compréhensibles et facilement accessibles sur les aspects clés de la recherche SERFOR. Parallèlement, des stratégies contraignantes telles que des normes minimales ou le lien entre les subventions et les exigences de sécurité sont également importantes pour ancrer la thématique dans la pratique.

Les besoins de recherche concernent principalement les thèmes suivants :

- Comment peut-on définir des profils types d'infrastructures routières standardisées qui représentent un aménagement optimal au sens de SERFOR ?
- Transfert des principes de conception aux infrastructures routières pour les cyclistes et les piétons et déduction d'exemples de solutions comme orientation pour la planification.
- Comparaison des exigences actuelles en matière de conduite hautement automatisée, notamment en ce qui concerne le trafic mixte avec les véhicules actuels et la mobilité douce, avec les connaissances et les principes d'étude d'un aménagement conforme à SERFOR.
- Examen du potentiel de réalisation de maquettes dans des environnements virtuels (par ex. dans le contexte BIM) pour la mise en œuvre de SERFOR.
- Identifier et développer des approches permettant de tester efficacement le réseau existant pour vérifier sa conformité avec SERFOR.

# Summary

## Introduction

The research package SERFOR (Self Explaining (Roads) and Forgiving Roads) addresses the topic of self-explanatory and forgiving roads. With this research package, the Federal Roads Office (FEDRO) aims to provide specific and practical approaches for self-explanatory and forgiving road design and signalization (signs and markings). On the basis of three subprojects (TP), the need for action for urban and rural roads in Switzerland is to be identified, based on findings from traffic psychology.

In the first project (TP1, this report), the content-related fundamentals of the human factors are first described from the perspective of psychology. Subsequently, in the two subprojects (TP2: urban roads and TP3: rural roads outside built-up areas), the human factors are examined from the perspective of the project planning (concrete implementations) as well as their distribution in the existing network. The finale step will be recommendations on the need for adaption of the current practice of road design. In a synthesis (also TP1), the results from the two other subprojects will then be combined and recommendations for actions derived.

## Research human factors

### Requirements

The basis for the description of human factors are models for the description of the driving task (or rather the one who is steering a vehicle) and the walking task. These models are structured differently, but always in different levels, which partly influence each other. Boundary conditions result from the external factors vehicle, environment and road users. The focus is mainly on primary driving tasks. Secondary driving tasks, such as flashing lights, and tertiary driving tasks, such as making a phone call, play a more marginal role. The primary driving task can be classified according to different aspects. For the description of the human factors, the differentiation according to information intake, processing and implementation was chosen based on the handling of information of the traffic situation. Based on this, the requirements for the sensory, cognitive and motor skills of the road users were examined in more detail.

With regard to the sensory system - i.e. the reception of information from the traffic environment - the visual channel is the most important part of perception, accounting for around 90%. Hearing and the sense of balance play a greater role in bicycle and pedestrian traffic and offer approaches for providing additional information to the driver without burdening the visual channel. Vision can be divided either into fixation and gaze jumps or into the focused field of view as well as the periphery. The field of view in which fixation takes place is rather small; this is where the most important information for road users must be placed. Cues from the periphery should primarily serve to estimate speeds (own and other road users) as well as distances. Both pieces of information can be used, for example, to derive the time until a collision with other road users or obstacles. Speed estimation is strongly influenced by information in the periphery. Monotonous environments lead to underestimation of speeds, which must be prevented by targeted cues. Depth stimuli in the environment are relevant for distance perception, but it is recommended to show them adaptively. A certain uniformity of such stimuli increases their recognition value.

Due to the complexity of street spaces, selective attention or filtering of relevant information is required. This is either stimulus-driven ("bottom-up", most frequently) or active ("top-down", less frequently). Four factors play a central role in this process. For stimulus perception, a certain conspicuousness is required, which is additionally influenced by the associated effort (e.g., distance of the object). For active gaze attention, expectations (Where should one look?) but also value (What is the relevance of the cue?) are relevant. These four factors are relevant for a self-explanatory street design. Clarity and unambiguity of stimuli or increased attention due to increased subjective danger assessment are boundary conditions that additionally influence the four factors.

Ideally, information is offered on different channels (e.g., visual and auditory). It is also helpful if practiced behaviors can be "easily" recalled in recurring situations. This is supported by an area-wide standardized design that links design with expectation (e.g., towards potential conflict opponents) and necessary behaviors (e.g., speed limit). Another possibility to reduce resource

peaks or overload is the temporal or spatial distribution of information (sequential instead of parallel).

Behaviors can be divided into a sequence of movements. These are usually rehearsed and standardized. However, critical situations can arise if the practiced movement patterns of lane keeping are not sufficient due to an unfavorable sequence of curves (not corresponding to expectations, e.g. very tight curve followed by very wide curve or straight line), and readjustment is necessary.

From the point of view of children, older road users and people with limited mobility, there are increased requirements for a self-explanatory and forgiving road design. Children are not considered capable of correctly anticipating the behavior of others and estimating speeds and distances analogous to adults until they are 8-9 years old. Maintaining focused attention over a longer period of time does not seem possible until 14 years of age. Thus, children act to a large extent "bottom-up" in traffic and are thus dependent on corresponding cues in the traffic environment. Older persons show increasing limitations in the visual, auditory, cognitive and motor areas, which can, however, be partially or completely compensated.

Special consideration for self-explanatory and forgiving roads is needed by people with mobility impairments.

### **Error behavior of road users**

Misbehavior, for example as a result of too little self-declaration of a road, can be classified according to whether errors are committed intentionally or unintentionally. Important for self-explanatory roads are errors which are not committed intentionally. It is important whether the relevant information for error-free behavior was available. A further categorization distinguishes between capability-based errors - e.g. a situation does not proceed as expected - and rule-based errors, whereby a traffic situation is wrongly assessed and correspondingly wrongly acted upon.

Diagnostic errors occur, for example, when the right of way is disregarded, e.g. due to a non-self-explanatory intersection. Likewise, other types of errors show certain correlations to non-self-explanatory roads.

From in-depth accident analyses, error types were prioritized according to which are particularly helpful in clarifying the actual causes of accidents. Information errors are the main group (relevant for up to 77% of accidents). Action and goal-setting errors tend to play a subordinate role, even if goal-setting includes inappropriate speed and following too closely. In the case of information errors, distraction and inattention are often causal factors. Overload is considered another important error category. Closely related to this are false expectations of or surprising behavior by other road users. Habits are another relevant error category.

From continuous behavioral observations (Naturalistic Driving Studies, NDS) it was deduced that distraction is a constantly present error while driving (sometimes more than 50% of the time). In contrast, distraction only rarely results in actual conflict. In contrast, disregarding the right of way (e.g. information errors) is less frequent, but results in a conflict more quickly and more often. With regard to the adaptation of the road design in the inventory according to the aspects of the self-explanatory road, the second error category would be more promising insofar as only a part of the road network would have to be adapted.

In urban areas, disregarding the right of way at junctions (and also along the route for pedestrians) and speed (especially in curves) dominate accidents. However, speeds are also relevant at junctions when approaching, turning and with regard to the assessment of other conflicting road users. Bicycles are mainly affected by accidents at junctions.

So, in summary, a road space is self-explanatory, forgiving, and subsequently less risky if the following aspects are considered:

- Relevant information is visible.
- They can be noticed at an early stage.
- They attract the necessary attention of road users.
- They only appear when they are needed.
  
- Relevant information fosters desired and thus safe behaviors.
- They are unambiguous and allow only one - the desired - course of action.



- They point out the costs (disadvantages) and benefits (advantages) of alternative actions.
- They support road users in their decision-making.
- These requirements are consistently implemented throughout the road space to avoid unexpected situations for road users.
- Information provides background or explains traffic rules to reduce temptations for violations or intentional misconduct.

### Additional aspects

The relationship between subjectively perceived safety and (actual) objective safety plays a central role for self-explanatory roads. Risk perception directly influences safety-related behavior. If, for example, driving at excessive speed continuously remains without negative consequences, there is a risk that this behavior will become entrenched. Ideally, risky behavior should be reported back to road users. The overriding goal is to ensure that subjective and objective hazards are as congruent as possible.

The so-called safety-in-numbers effect illustrates this. If, for example, the exposure of non-motorized road users in the road space is increased, they receive more attention because the expectation regarding potential conflict opponents changes. However, this would require a substantial shift from motorized to non-motorized traffic.

The findings on shared space approaches make it clear that explicitly non-self-explanatory streets can also promote safety: An active increase in subjective hazard perception often has a positive effect on objective road safety. In this respect, this shows that the approach of self-explanatory roads has limits and that - depending on the situation - other design approaches can sometimes also be purposeful.

SERFOR is sometimes controversially discussed in connection with the further spread of automated driving. Is further improvement of the infrastructure expedient if, in the medium term, automated vehicles rule out accident-causing behavior? It is currently completely unclear when full-scale automation of the vehicle fleet can be expected, especially since both complete accident prevention through automation does not seem feasible. Therefore, self-explanatory roads continue to be highly relevant - also because the expected safety gains due to automated driving often forget that motorcycles and bicycles can hardly be automated to the same extent as four-wheeled vehicles, not to mention pedestrians.

### Alignment with scientific and operational practice

Workshops with experts showed that - irrespective of the perspective or discipline - similar assessments of self-explanatory roads emerge. The expert discussions on perception focused primarily on conspicuous signals (including colored, flashing, high-contrast) and the need for dynamics (including adaptive signals). The important role of a tidy environment and consideration of the differences between the requirements of younger and older people also became clear. The statements from driving instructors showed many parallels to the existing set of standards and thus also highlighted the problem of inadequate implementation of the standards in practice. An expert discussion on seniors and children confirmed the literature results found earlier, and the testimony of the safety officers highlighted knots in particular as a starting point for intensifying self-explanatory design.

### Derivation of the design principles

By defining project planning principles, the previously elaborated findings were aggregated for further processing as central conclusions for self-explanatory and forgiving roads. The main objective is to outline basic principles for SERFOR, the feasibility of which was then checked in concrete cases in subprojects 2 (for inner-city roads) and 3 (for outer-city roads).

**Tab. 1** Projecting principles of the research on human factors

Category	Project planning principles
Overarching principles	Support simplification or reduce complexity / Implement unification and standardization across the board / Identify conflict opponents / Increase acceptance / Promote attention / Increase passive safety through forgiving road spaces / Provide orientation / Clarify

	allocation of cross-section areas / Reduce speed differences / Ensure consistent traffic regimes at nodes / Increase adaptivity of traffic engineering facilities
Walking	Align signaling / use synergies
Cycling	Feedback / Increase salience / Mark ideal lines / Elicit expectations early on.
Motor Vehicle Driving	Conciseness / Activation

## Synthesis

### Introduction

Based on the psychological elaborations on the human factors, which resulted in the project planning principles, two further sub-projects were tendered in the SERFOR research package and worked on by two further research teams. The objectives of this research were:

- Review the existing set of standards in relation to human factors, and
- to identify approaches to measures and evaluate them for their use in Switzerland.

Due to the different requirements and framework conditions, urban and non-urban roads were treated separately. Both subprojects differ in their approaches but also in their level of detail. For urban roads, two individual measures were analyzed in great detail, but otherwise recommendations of a general nature were provided. For roads outside built-up areas, a comprehensive presentation of various concrete approaches to measures was provided, as well as an in-depth examination of the standards and a comprehensive discussion with experts in talks and workshops. One reason for the different approaches is, among other things, that for inner-city roads, fewer explicit SERFOR approaches have been available so far, and at the same time the requirements and restrictive framework conditions are higher.

### Approaches

For the extra-urban roads, 20 prioritized approaches were derived from a total of 48 measure approaches in the literature, which are shown in the following table. These were categorized according to network element and the superordinate measure approach and evaluated with regard to the percentage share of accidents on nonurban roads (potential), a categorical classification of effectiveness (1 - low, 5 - high) and the classification of legal admissibility.

Prioritization was carried out as part of an expert workshop in which all identified approaches to measures were evaluated according to their degree of innovation and effectiveness. Here it also became clear why highly effective and long established SERFOR approaches were not prioritized or did not end up in the following table. The reason is the low degree of innovation, because traffic circles, restraint systems, underride guards, separate bicycle facilities, and energy-absorbing fixtures are highly effective and have been established for a long time. It is essential to take this into account when interpreting the results.

**Tab. 2** Approaches to measures for roads outside built-up areas (subproject 3)

Measures for roads outside built-up areas	Network element	Approach	Potential	Effectiveness	Legally permissible
Paved banquettes	Route	Cross section	42%	5	situational
Transversal markings of the center line	Distance, singularity	Marking	42%	4	no
Oversize center line marking	Route	Marking	42%	4	no
Transversal marking of the lane edge lines	Route	Marking	42%	3	no
Vibrating strip centered	Route	Road surface	35%	5	situational
Removal planting side space	Curve	Side room	23%	5	yes

Planting side space	Curve	Side room	21%	5	yes
Guiding devices	Curve	Signage	21%	5	yes
Optical curve elements	Curve	Side room	21%	5	no
Colored speed border lines	Route	Marking	21%	4	no
Vibrating strip to outer lane demarcation	Route	Road surface	20%	5	yes
Sine thresholds ("Kobi" threshold)	Singularity	Road surface	18%	4	yes
Visibility reduction	Node	Fixtures	10%	3	yes
Middle, separating and guiding islands	Node, crossing	Fixtures	9%	4	yes
Core carriageway outside built-up areas	Route	Marking	8%	4	situational
Rumble strip across in front of tight curves (motorcycle)	Curve	Road surface	5%	3	no
Congestion detector and congestion warning	Singularity	dynamic signals	3%	3	yes
Standardization site management	Stretch/ Singularity	Signage, marking	1%	4	yes
Reflector foils for traffic signs	Singularity	Signage	1%	4	yes
Curve marking for motorcyclists	Curve	Marking	1%	4	no

For the inner-city area, design and traffic regulation approaches were provided without any claim to completeness but also without further evaluation. Exceptions are the virtual reality experiments for the design of right-of-way and clarification of speed 30 via adapted guidelines. In the following table, various planning recommendations to the practice within the SERFOR context can be found. The enumeration does not represent an exhaustive list.

**Tab. 3** Approaches to measures for urban roads (subproject 2)

Approach	Measures for urban roads
Traffic regime	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No right of way on speed 50 roads</li> <li>• Bicycle lanes with speed 30 and right of way</li> <li>• Reduce speed (e.g. in front of FGS, in mixed traffic)</li> </ul>
Cross section	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FGS: arrangement center island</li> <li>• Multi-purpose lane/ center lane</li> <li>• Curve radii suitable for bicycles</li> <li>• Separation of traffic types</li> <li>• FGS: without traffic light over max. 1 lane per driving direction</li> <li>• Clear lane width (make overtaking clear)</li> <li>• Center islands at bus stops to reduce overtaking operations</li> <li>• FGS: narrowing of the roadway</li> <li>• FGS: understandable design (also for sidewalk crossings).</li> <li>• Sidewalk noses at the edge of the roadway</li> <li>• Division of complex situation into sequences</li> <li>• Vertical offset</li> </ul>

Signage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Safety-relevant signals at the edge of the carriageway</li> <li>• Reduction signal density</li> <li>• Position informative signals in the peripheral field of vision</li> <li>• Zone signals instead of individual signals</li> <li>• Temporary/adaptive signalization</li> <li>• Supplementary explanation of signaling</li> <li>• Pre-signaling for junctions with unclear traffic</li> <li>• Signal bottlenecks</li> </ul>
Marking	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coloring bike lane</li> <li>• Continuous bicycle lanes</li> <li>• Marking streetcar approach with ground marking</li> <li>• No large-scale FGSO outside pedestrian zones</li> <li>• Special marking beginning/end of bus/vehicle lanes</li> <li>• Guidelines</li> <li>• Bicycle symbols on roadway in mixed traffic situations</li> <li>• Bfu "Füssli"</li> <li>• Marking distances between bicycle facilities and parked vehicles (safety separation strip)</li> </ul>
Node design	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Timely directional information for lane selection in traffic circles</li> <li>• Widened bike lanes</li> <li>• Visibility obstacles in the center of the circle</li> <li>• Indirect left turn for bicycles</li> </ul>
Traffic light signals	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bicycle traffic lights</li> <li>• Advanced stop lines for bicycle traffic at traffic lights</li> <li>• Traffic lights (various: countdown, abandonment of conflict switching, indication of long red phases, traffic dependency, orientation to slow-moving traffic)</li> </ul>
Equipment	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avoid obstacles (especially in unexpected places), place them outside the roadway, design them flexibly.</li> <li>• Flattened curbs for bicycle crossings</li> <li>• Adequate lighting</li> <li>• Reduce advertising in intersection areas/crossing points</li> <li>• Trixi mirror</li> </ul>
Other	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regular cleaning in terms of leaves and snow</li> <li>• Ensure required sight distances / avoid sight obstructions</li> <li>• Non-slip surface</li> <li>• Z-crossing</li> <li>• FGS: Reconciliation of walking/wish lines with placement of FGS.</li> </ul>

VR experiments were conducted for two markers. A total of 72 test subjects were shown a 3D street environment and their perception and behavioral intention were collected via a questionnaire. The results thus do not represent the actual, but the intended and reflected behavior of the test subjects.

Different designs of guiding lines were investigated for the area of the route to support speed 30 regulations. As a result, the guidelines had an accelerating effect compared to roads without guidelines, which also confirms other research results. Thus, it remains the known recommendation to design streets with a speed limit of 30 km/h without guidelines (in accordance with the design situation, i.e. rather narrow lane widths) to support the speed regime. At the same time, the conciseness in the sense of a demarcation to streets with speed limits of 50 km/h with guidelines is increased.

In a second series of tests, intersections with right-hand priority were investigated with tulip marking, supplemented colored coloring, and marking of a pavement rosette. The results for all examined intersection types with right-hand priority indicate that the standard intersections without the marking and pavement rosettes are the most self-explanatory in comparison.

## General recommendations for action

The recommendations for action were differentiated according to the categories of fundamentals and body of standards, infrastructure security instruments ISSI, awareness-raising and need for research.

For the set of standards, a one-time and complete review of the set of standards was recommended in order to catch up with current potential improvements for traffic safety as well as the currently rapidly changing requirements of non-motorized traffic in one go. As an ongoing measure, the establishment of an overarching and interdisciplinary monitoring committee was recommended, which would continuously review current findings and feed them into the militia system. An even stronger self-explanatory character for the norms was also recommended, whereby the handling of discretionary powers should be addressed in particular. Furthermore, regardless of the set of standards, current findings from practice should be collected and communicated more widely. Example collections and manuals are suitable for this purpose. Pilot tests for new and adapted forms of design can be used at any time, irrespective of the corset of regulations imposed by the body of standards.

For the ISSIs, there is rather little need for adaptation. The checklists for the security audit RSA and the inspection RSI should be aligned with the project planning principles. Furthermore, the findings from SERFOR should be taken into account even more in the proactive ISSIs and their further development. With the MEVASI project, the effectiveness analyses of measures, especially those with a strong SERFOR character, should be further intensified so that the users of the ISSIs have a better basis for selecting measures.

Raising awareness of the requirements for self-explanatory and forgiving roads concerns all actors in road safety work. Here, on the one hand, education and training, including auditors and inspectors, must be addressed. But even more important are easily understandable and easily available communication tools on the core aspects from the research on SERFOR. In parallel, however, mandatory approaches such as minimum standards or the linking of funding with safety requirements are also important in order to establish the topic in practice.

There is a need for research on the following topics in particular:

- How can ideal layouts for standardized traffic facilities be defined, which represent an optimal design in the sense of SERFOR?
- Transfer of the project planning principles to the traffic facilities of bicycle and pedestrian traffic and derivation of e.g. example solutions as orientation for the planning.
- Comparison of current requirements for highly automated driving, in particular for mixed traffic with today's vehicles and non-motorized traffic, with the findings and project planning principles of a SERFOR-compliant design
- Review of the potential in the realization of design layouts in virtual environments (e.g. in the BIM context) for the implementation of SERFOR.
- Identify and develop approaches to efficiently test the as-built network for SERFOR compliance.



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Das Forschungspaket SERFOR (**S**elf Explaining (Roads) and **F**orgiving Roads) behandelt das Thema der selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strasse. Auf Basis einer Voranalyse ([10]) wurden diese Begrifflichkeiten näher definiert:

- "Self Explaining Roads" zeichnen sich dadurch aus, dass alle Verkehrsteilnehmer anhand des Erscheinungsbilds (Strasse und Strassenraum) eindeutig erkennen können, welches Verhalten angemessen ist.
- "Forgiving Roads" zeichnen sich dadurch aus, dass sie den Prozess eines Unfallablaufs an der erstmöglichen Stufe der Schadensentstehung unterbrechen, wodurch schwere Folgen vermieden werden können.

Dieses Konzept bzw. die zugrunde liegenden Ideen waren Bestandteil von internationalen Forschungsvorhaben. Das Schweizer Strassennetz unterscheidet sich sowohl hinsichtlich topografischer und landschaftlicher Rahmenbedingungen als auch in Bezug auf den Anteil an Innerortsstrassen und die Unfallcharakteristik zu anderen Ländern, aus denen die Philosophie der "self explaining and forgiving roads" stammt. Eine direkte Übertragung der internationalen Forschungsergebnisse wird daher von den Autoren der Voranalyse zumindest mit Blick auf den selbsterklärenden Charakter bezweifelt ([10]). Hier schliesst das vorliegende Projekt an. Dabei wird SERFOR im Wesentlichen als ein Majoritätsprinzip insofern verstanden, als die Grundprinzipien für die meisten Verkehrsteilnehmenden möglichst intuitiv und ohne die Notwendigkeit kognitiver Anstrengung verstanden werden sollen. Gleichwohl ist nicht auszuschliessen, dass einzelne Unsicherheiten bei den Adressaten der Grundprinzipien von SERFOR bleiben mögen.

Das Thema Humanfaktoren ist grundsätzlich nicht neu. Indirekt ist es seit vielen Jahren ein Bestandteil der Entwicklung der Normen für die Projektierung. Die Erkenn- und Begreifbarkeit von Knoten durch abgestimmte Verkehrsregelung und Gestaltung der Zufahrten oder die geschwindigkeitsabhängige Auswahl von Radienfolgen sind nur zwei Beispiele, welche Anforderungen an die menschliche Wahrnehmung und Informationsverarbeitung berücksichtigen. Allerdings zeigt der Blick in die Praxis (siehe u. a. [11]), dass nicht alle Vorgaben der Normen sich auch flächendeckend im Bestandsnetz wiederfinden. Hier gilt es die Umsetzungsproblematik von der Berücksichtigung der Humanfaktoren in den Normen abzugrenzen.

## 1.2 Zielsetzung

Es wird daher zuerst identifiziert, ob und wo konkret das Thema der Humanfaktoren in der Projektierung stärker berücksichtigt werden muss. Dazu werden die inhaltlichen Grundlagen der Humanfaktoren aus Sicht der Psychologie im vorliegenden Teilprojekt des Forschungspakets SERFOR (TP1) aufgearbeitet. Im Anschluss werden dann in zwei darauf folgenden Teilprojekten (TP2: Innerortsstrassen und TP3: Ausserortsstrassen) die Humanfaktoren aus Sicht der Projektierung (konkrete Umsetzungen) sowie deren Verbreitung im Bestandsnetz untersucht. Abschluss bilden dann Empfehlungen zum ggf. notwendigen Anpassungsbedarf für die derzeitige Praxis der Strassenprojektierung. Im Rahmen einer Synthese (TP1) werden dann die Ergebnisse aus den beiden Teilprojekten 2 und 3 zusammengeführt und Handlungsempfehlungen daraus abgeleitet. Der vorliegende Bericht beginnt mit den Grundlagen der Humanfaktoren (Kapitel 2 bis 6) und schliesst mit der Synthese der beiden Teilprojekte 2 und 3 ab (Kapitel 7 und 8).

## 1.3 Abgrenzung

Das Thema der fehlerverzeihenden Strasse wird üblicherweise mit der passiven Sicherheit der Infrastruktur, d. h. vorrangig der hindernisfreie Seitenraum bzw. der Schutz durch Rückhaltesysteme bei Gefahrenstellen wie Hindernissen und Brücken, in Zusammenhang

gesetzt. Psychologische Aspekte spielen dabei eher am Rande eine Rolle. In der Voranalyse wird dabei auch auf fehlerverzeihendes Verhalten der potenziellen Konflikt- bzw. Unfallgegner Bezug genommen (social forgiveness). Aber auch dabei bleibt unklar, inwieweit dies im Zusammenhang mit einer an Humanfaktoren ausgerichteten Projektierung von Strassen im Zusammenhang steht. Der vorliegende Bericht fokussiert somit vor allem auf den Grundlagen der selbsterklärenden Strasse und thematisiert die fehlerverzeihende Strasse eher am Rande.

Im Laufe des Berichts, vor allem bei der Synthese der Teilprojekte 2 und 3, stehen bestimmte Elemente der Strassengestaltung stärker im Vordergrund als andere. Dies ergibt sich teilweise aus der Fokussierung der Teilprojekte 2 und 3 auf Massnahmen, welche ergänzend im Bestand zur Verbesserung der selbsterklärenden Charakteristik umgesetzt werden können. Grundlegende Entwurfgrundsätze wie die Linienführung oder auch die Ausbaugeschwindigkeit sind aber genauso relevant für eine selbsterklärende Strasse, auch wenn diese manchmal nur am Rande im Bericht thematisiert werden.

Das Thema der Umsetzung der Humanfaktoren wird am Ende des Berichts in der Synthese behandelt. Am Beginn geht es erstmal nur um eine unabhängige Zusammenstellung der theoretischen Grundlagen zur Beschreibung des Fahr- und Gehverhaltens von Verkehrsteilnehmenden im Strassenverkehr. Umsetzungsaspekte, die Bewertung des Bestandsnetzes sowie die Machbarkeit der Empfehlungen aus dem Forschungspaket SERFOR konnten erst nach dem Abschluss der beiden Teilprojekte 2 und 3 behandelt werden.

## 1.4 Projektierungsprinzipien und Schweizer Normen

Technische Normen geben den Stand der Technik zu bestimmten Fragen wieder. Sie erleichtern den Projektierenden die Arbeit, indem sie aktuelles Wissen und Regeln für den Entwurfsprozess und die Ausführung vermitteln. Im Gegensatz zu juristischen Normen haben technische Normen in der Regel empfehlenden Charakter. Einige Projektierungsprinzipien, welche auf den Humanfaktoren fussen, sind in den VSS-Normen schon enthalten. Dies soll anhand von vier Beispielen verdeutlicht werden:

- **SN-640060** Leichter Zweiradverkehr, Grundlagen: Das Verkehrsverhalten der Radfahrer wird in starkem Masse vom Fahrkönnen geprägt, das seinerseits mit den vier Faktoren körperliche Konstitution, Verkehrsausbildung, Erfahrung und Grundhaltung (Selbstvertrauen, Ängstlichkeit) beschrieben werden kann. Anlagen für den leichten Zweiradverkehr sollen unter anderem einfach gestaltet sein und sie sollen eine erkennbare, verständliche Linienführung aufweisen.
- **VSS-40200A** Geometrisches Normalprofil, Elemente: Der Bewegungsspielraum dient zum Ausgleich von Lenkungenauigkeiten sowie Fahrzeugschwingungen. Nicht vorhandener oder ungenügender Bewegungsspielraum fordert vom Fahrer eine erhöhte Lenkgenauigkeit, steigert seine Belastung und kann zu rascherer Ermüdung und daraus zu erhöhter Unfallgefahr führen.
- **SN-640250** Knoten, Grundlagenorm: Knoten müssen sichtbar und als solche erkennbar sein; sie müssen übersichtlich sein; sie müssen begreifbar sein (die Fahrzeuglenker sollen sie erkennen und verstehen; es sind typisierte und vertraute Knotentypen und Knotenelemente zu verwenden); sie müssen befahrbar und begehbar sein.
- **SN-640846** Signale, Anordnung auf Haupt- und Nebenstrassen: Signale sollen sich in Form und Farbe markant vom Hintergrund abheben, sie sollen nur aus der Richtung erkennbar sein, für die sie gelten. Längs eines Strassenzuges soll nach einheitlichen Gesichtspunkten vorgegangen werden.

Obwohl die oben angeführten und weitere Projektierungsprinzipien schon lange in den Normen existieren, gibt es nach wie vor viele Strassenabschnitte, welche diesen nicht entsprechen. Folgende Gründe sind aus Sicht der Autoren hauptsächlich für diese Situation verantwortlich:



- Die Projektierungsprinzipien befinden sich vielfach in den Grundnormen für bestimmte Bereiche des Strassenwesens. Die Grundnormen werden von den Normbenützenden weniger intensiv verwendet, da sie keine konkreten Regeln beinhalten. Sie wären aber sehr wichtig, wenn es um die Suche nach neuen Lösungen geht, welche in den Normen noch nicht enthalten sind.
- In der Aus- und Weiterbildung wird den Projektierungsprinzipien nicht immer die nötige Beachtung geschenkt. Nicht alle mit der Projektierung befassten Personen verfügen über den notwendigen Kenntnisstand. Die Umsetzung von relativ abstrakten Prinzipien ist viel anspruchsvoller als die Anwendung konkreter Regeln.
- Bei der Anwendung der Projektierungsprinzipien treten zum einen Konflikte mit anderen Zielen wie z.B. angemessenes Kosten-Nutzen-Verhältnis, Ortsbildschutz, Umweltschutz, schwierige Topografie oder vorhandene Bebauung auf, welche eine Interessenabwägung nötig machen. Andererseits weisen Strassen, abgesehen von einzelnen Ausnahmen, wie z.B. Belägen, eine grosse Lebensdauer auf, so dass Erneuerung und Anpassung eine langfristige und kostenaufwändige Aufgabe darstellen, welche kurzfristig nicht zu bewältigen ist.

Normen haben per Definition nicht zwingend einen innovativen Charakter. Sie basieren vielmehr auf der vergangenen Entwicklung. Sie geben den Stand der Technik wieder und müssen periodisch überprüft und angepasst werden. Die Verbreitung neuer Projektierungsprinzipien kann deshalb nur selten von Normen unterstützt werden. Erst wenn sich neue Ideen in der Praxis bewährt haben, werden diese in Normen aufgenommen.



## 2 Anforderungen an Verkehrsteilnehmende im Strassenverkehr

### 2.1 Einleitung

Das folgende Kapitel soll einen Überblick bezüglich der Aufgaben und Anforderungen geben, die der Strassenverkehr an die verschiedenen Verkehrsteilnehmenden stellt. Hierfür wurde hauptsächlich einschlägige verkehrspsychologische Literatur herbeigezogen, wobei aufgrund der Vielfalt an Theorien und Modellen lediglich eine aus Sicht der AutorInnen besonders relevante Auswahl berücksichtigt werden konnte. Um die Komplexität zu reduzieren, sind die im folgenden beschriebenen Modelle und Konzepte mitunter stark vereinfacht dargestellt und sollen als Überblick dienen.

Das vorliegende Kapitel ist folgendermassen gegliedert: Zunächst werden ausgewählte Modelle zur Beschreibung der Fahraufgabe sowie Fahrermodelle vorgestellt. Danach werden die konkreten Anforderungen für die jeweiligen Verkehrsteilnehmenden erläutert. Der Fokus liegt hierbei auf denjenigen Aspekten, über welche Verkehrsteilnehmende verfügen müssen, um sich erfolgreich im Strassenverkehr verhalten zu können.

Es folgt eine kurze Darstellung möglicher Einschränkungen bei älteren Verkehrsteilnehmenden und Kindern. Das Kapitel endet mit einem Fazit in Hinblick auf eine selbsterklärende Strassengestaltung.

Nicht Teil dieses Kapitels bzw. des vorliegenden Berichts ist die Ableitung von Erkenntnissen auf eine optimierte Strassengestaltung (selbiges wird in folgenden Teilprojekten realisiert). Der Hauptfokus liegt – entsprechend dem Grossteil der verfügbaren Literatur – auf Motorfahrzeuglenkende. Viele der hier dargestellten Erkenntnisse lassen sich jedoch gut auf den Velo- und Fussverkehr übertragen.

Da der berufliche Verkehr spezielle Anforderungen an Fahrzeuglenkende stellt [162] und bei Motorradfahrenden häufig das besonders stark ausgeprägte Motiv der Freude am Fahren mitunter beträchtliche Normabweichungen umfasst [195], wird auf eine nähere Betrachtung dieser beiden Verkehrsteilnahmegruppen verzichtet.

### 2.2 Fahraufgabe und Fahrende

Das Verkehrssystem beinhaltet insgesamt drei Aspekte, nämlich die Fahrzeuge, die Verkehrsumgebung und die Verkehrsteilnehmenden, wobei bei deren Interaktion jeweils eine Verkehrssituation entsteht [128]. Gstalter, H. & Fastenmeier, W. [79] schreiben den Autolenkenden die komplexeste Aufgabe im Strassenverkehr zu, da die Bewältigung dieser Aufgabe die höchsten psychomotorischen sowie -mental Anforderungen beinhalte. Autofahren ist deshalb so komplex, weil der Fahrzeuglenkende stets eine Vielzahl von Informationen beachten und situativ gleich Entscheidungen treffen muss [195]. Aber auch das Velofahren wird als eine komplexe Aufgabe betrachtet [190].

Die Fahraufgabe kann in mehrere Teilaufgaben unterteilt werden, die zum Teil gegenseitig unabhängig, als auch hierarchisch geordnet sein können [28]. Bubb [28] lehnt sich an die Unterteilung von Geiser, 1985, zit. n. [28]) an und unterteilt die Fahraufgabe in primär, sekundär und tertiär:

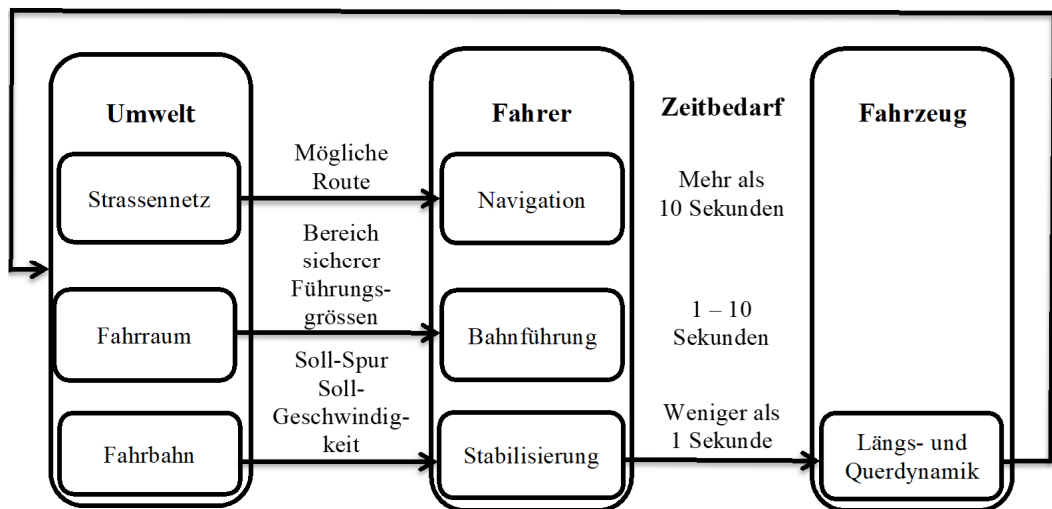
- Die **primäre Fahraufgabe** umfasse ganz allgemein den Personen- und Gütertransport, wobei diese Aufgabe weiter in die Bestimmung und Planung der Fahrroute (*Navigationsaufgabe*), die *Führungsaufgabe* sowie die Aufgabe der *Stabilisierung*, hierarchisch unterteilt werden könne. Letztere beinhalte das Steuern der Bedienelemente im Fahrzeug wie z. B. das Betätigen des Gaspedals.
- Als **sekundäre Fahraufgabe** werden Tätigkeiten beschrieben, welche zusätzlich und in Anlehnung an die primäre Fahraufgabe initiiert werden, wie beispielsweise die Kommunikation mit anderen durch ein Hupzeichen oder das Betätigen des Blinkers, um einen Spurwechsel anzuzeigen [28].

- Sämtliche zusätzlich ausgeführten Tätigkeiten, die jedoch nichts mit der eigentlichen Bewältigung der Fahraufgabe zu tun haben (z. B. Telefonanrufe tätigen oder Musik einschalten), werden unter **tertiären Fahraufgaben** zusammengefasst ([28]).

Michon, 1971, 1979; Janssen, 1979; alle drei zit. n. [117]) geht von einem Modell mit drei hierarchischen Ebenen der Fahraufgabe aus:

- **Strategische Ebene:** Planung und Festlegung der Route (obere Ebene)
- **Manöverebene:** Kontrolle von Manövern (mittlere Ebene)
- **Kontrollebene:** Ausführung von automatischen Handlungsmustern (unterste Ebene)

Dieses Modell wurde von Vollrath & Krems [195] erweitert und modifiziert und ist in Abb.1 dargestellt. Gstalter, H. [78] berichtet in diesem Zusammenhang von drei hierarchischen Ebenen, die Navigations-, Bahnführungs- und Stabilisierungsebene.



**Abb.1** Modell nach Michon (1985, zit., erweitert und modifiziert von Vollrath & Krems [195]; S. 27)

Wierda & Brookhuis [190] übertragen die Unterteilung der Fahraufgabe nach Michon (1971; Janssen, 1979, beide zit. n. [117]) auf das Velofahren:

- die *strategische Ebene* beinhaltet dabei die getroffenen Entscheidungen, wie beispielsweise das mit dem Velo angestrebte Reiseziel.
- Auf der *Manöverebene* komme es zu einer direkten Interaktion mit der Verkehrsumgebung. Dabei müssen Entscheidungen getroffen werden, wie z.B. ein Hindernis umfahren oder in welcher Art und Weise eine Kreuzung überquert werden soll.
- Der *Kontrollebene* werden gemäss den Autoren sämtliche Grundfertigkeiten, welche für die Ausübung der Velofahrtätigkeit zentral sind (z.B. das Halten des Gleichgewichtes) zugeordnet.

Hollnagel und Woods [93] gehen in ihrem „Extended Control Model (ECOM)“ von vier verschiedenen Ebenen aus: „targeting, monitoring, regulating und tracking“, deren Bedeutung die Autoren anhand des Autofahrens erläutern:

- Die eigentliche Zielvorgabe entspringe der *Targeting*-Ebene und beinhaltet unter anderem auch die Festlegung des Reiseziels. Wird während der Fahrt beispielsweise festgestellt, dass der Zielort nicht mehr rechtzeitig erreicht werden kann, so werden die Aufgaben der anderen Ebenen (insbesondere der Tracking- und Regulating-Ebene) entsprechend überarbeitet und angepasst (z. B. durch eine Erhöhung der Geschwindigkeit).
- Auf der *Monitoring*-Ebene werden Ziele bestimmt und Pläne für deren Umsetzung aktiviert. Auch das Überwachen des Fahrzeugzustandes sei u.a. Teil dieser Ebene,

wobei dieser Prozess oftmals von automatisierten Selbstdiagnosesystemen im Fahrzeug unterstützt werde.

- Das Auto ideal auf der Fahrspur zu halten oder das Initiieren und Durchführen eines Überholmanövers seien hingegen Aufgaben der *Regulating*-Ebene. Die Ausübung dieser Aufgaben benötigen gemäss den Autoren oftmals die Aufmerksamkeit und die Anstrengung des Fahrzeuglenkenden.
- Die *Tracking*-Ebene beinhalte Aufgaben wie beispielsweise das Kontrollieren und Beibehalten der Geschwindigkeit, wobei solche Prozesse mit der Zeit (aufgrund der Erfahrung) häufig automatisiert ablaufen und keine grosse Anstrengung oder Aufmerksamkeit mehr benötigen.

Vollrath & Krems [195] weisen darauf hin, dass die Tracking-Ebene der Stabilisierungsebene und die Regulating-Ebene der Bahnführungsebene zugeordnet werden können, während die Targeting-Ebene primär Aspekte der Navigationsebene beinhalte.

Ein ebenfalls hierarchisches – auf dem hierarchischen Ansatz von Keskinen [102], zit. n. [89]) basierendes – Modell schlagen Hatakka et al. [98] vor. Dieses geht von vier Ebenen des Fahrverhaltens aus, wobei die Motive und Ziele der Fahrzeuglenkenden eine zentrale Rolle einnehmen [89]:

- Auf der höchsten Ebene werden individuelle Ziele und Motive ([102]; zit. n. [89]) berücksichtigt. Das Verhalten in der Verkehrsumgebung scheint u. a. auch mit Lifestyle-Faktoren (Gregersen & Berg, 1994; Schulze, 1990, beide zit. n. [89]) sowie mit motivationalen Faktoren ([120], zit. n. [89]) zusammenzuhängen.
- Die zweithöchste Ebene beinhalte die Ziele sowie den Fahrkontext (z.B. Zweck der Autofahrt). Auch der soziale Kontext sei Teil dieser Ebene.
- Die Beherrschung der Verkehrssituation – eine Voraussetzung für das sichere Fortbewegen im Strassenverkehr – finde auf der zweit untersten Ebene statt. Die Fahrzeuglenkenden müssen gemäss Hatakka et al. [89] in der Lage sein, die eigenen Verhaltensabsichten für andere Verkehrsteilnehmende erkenntlich zu machen und deren Verhalten zu antizipieren. Die Kenntnis und das Befolgen von Verkehrsregeln seien ebenfalls zentrale Aspekte dieser Ebene.
- Die unterste Ebene beinhalte ebenfalls wichtige Voraussetzungen für das erfolgreiche Fortbewegen im Strassenverkehr, nämlich das Manövrieren des Fahrzeuges.

In diesem Modell wirken sich Veränderungen auf den oberen Ebenen nicht nur auf die unteren aus, auch Veränderungen auf den unteren Ebenen können einen Einfluss auf das gesamte System haben ([89]). Dieses Modell sowie die daraus abgeleitete GDE-Matrix («Goals of Driver Education») findet v. a. im Kontext der Fahrausbildung Anwendung (GADGET, 1999, zit. n. [89]).

Bekiaris, E. [24] erklären die Fahrleistung anhand ihres mehrdimensionalen „Drivability-Modells“: Unter Drivability wird die Fahrleistung eines Fahrers unter bestimmten Bedingungen und Umgebungsfaktoren verstanden. Bekiaris, E., et al. [24] gehen von fünf Faktoren aus, welche die Drivability beeinflussen:

- Der erste Faktor betreffe die *individuellen Ressourcen*, welche sowohl physische und mentale, als auch psychologische und soziale Aspekte beinhalte.
- Der zweite Faktor umfasse die Fähigkeiten und Kenntnisse, wobei dieser Punkt alles bisherige gesammelte Wissen und sämtliche erworbenen Kenntnisse – auch nicht fahrbezogene – subsumiere.
- Der dritte Faktor beinhalte die situativen Faktoren der Umwelt, wie z.B. Verkehrsgefahren oder Wetterverhältnisse.
- Als vierten Faktor benennt die Autorenschaft *Risikobewusstsein*, das weiter in die folgenden 3 Komponenten unterteilt werden kann: Risikowahrnehmung, Aufmerksamkeit oder das rechtzeitige Erkennen eines Risikos sowie der Aspekt der externen Unterstützung (beispielsweise durch Assistenzsysteme) für das rechtzeitige Erkennen.

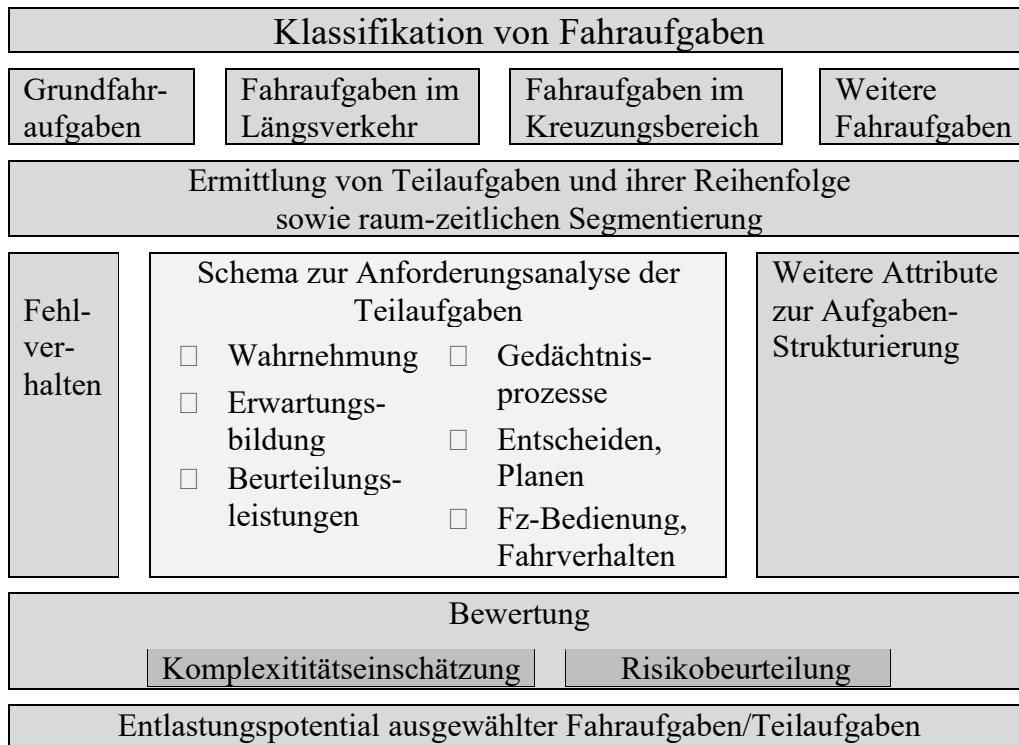
- Der fünfte Faktor bilde zudem die Arbeitsbelastung. Diese könne sowohl kontinuierlich oder auch nur temporär – z. B. beim Telefonieren – sein.

Während gemäss [24] die entsprechenden individuellen Ressourcen eine Voraussetzung für das Erlernen der Fahrleistung darstellen, werden Fähigkeiten und Kenntnisse sowie die Risikowahrnehmung erst mit zunehmender Fahrerfahrung erworben. Die Umgebungsfaktoren, die Aufmerksamkeit sowie die Arbeitsbelastung hängen hingegen von der jeweiligen Situation ab ([24]).

Das Modell der „Aufgaben- und Anforderungsanalyse“ (SAFE) von Gstalter, H. & Fastenmeier, W. [79] identifiziert die Anforderungen, die für eine erfolgreiche Bewältigung der Fahraufgabe nötig sind und bewertet diese. Verschiedene Fahraufgaben werden klassifiziert und von den Autoren in vier Gruppen eingeteilt: *Grundfahraufgaben (1)* umfassen sowohl Stabilisierungs- als auch Navigationsaufgaben, welche permanent ausgeführt werden müssen. Alle anderen (Fahraufgaben der Bahnführungs- oder Manöverbene) beziehen sich auf die jeweilige Verkehrssituation und lassen sich anhand situativer Merkmale folgendermassen unterteilen: Bei *Fahraufgaben des Längsverkehrs (2)* handle es sich um sogenannte kreuzungsfreie Bereiche und berücksichtige beispielsweise eine Folgefahrt. Die *Fahraufgaben des Kreuzungsbereiches (3)* werden den Autoren zufolge u. a. auch von der Verkehrsregelung, aber auch von Merkmalen der Anlage selbst determiniert. In der vierten Kategorie subsumiert Gstalter, H. & Fastenmeier, W. [79] *weitere Fahraufgaben (4)*, welche wiederum in vier Untergruppen gegliedert werden können:

- Die erste Gruppe beinhalte den querenden Verkehr, welcher sich jedoch ausserhalb von Kreuzungsbereichen abspiele (z.B. Bahnübergang).
- Besondere Streckenabschnitte werden als zweite Gruppe klassifiziert, wie z. B. das Durchfahren eines Tunnels.
- Besondere Situationen als dritte Gruppe betreffen u. a. eine Unfallsituation.
- Die vierte Gruppe subsumiere zudem besondere Fahrbahnverhältnisse (z. B. vereiste Strasse) und schlechte Sichtbedingungen wie beispielsweise eine Fahrt bei Nebel.

Sämtliche Fahraufgaben werden gemäss den Autoren anschliessend in Teilaufgaben unterteilt und räumlich-zeitlich gegliedert. Die Anforderungsanalyse schliesse sechs Punkte ein (vgl. Abb.2), anhand deren die Anforderungen abgeleitet werden. Anschliessend werde die Komplexität eingeschätzt und eine Risikobeurteilung vorgenommen sowie mögliche Entlastungspotentiale ermittelt ([79]).

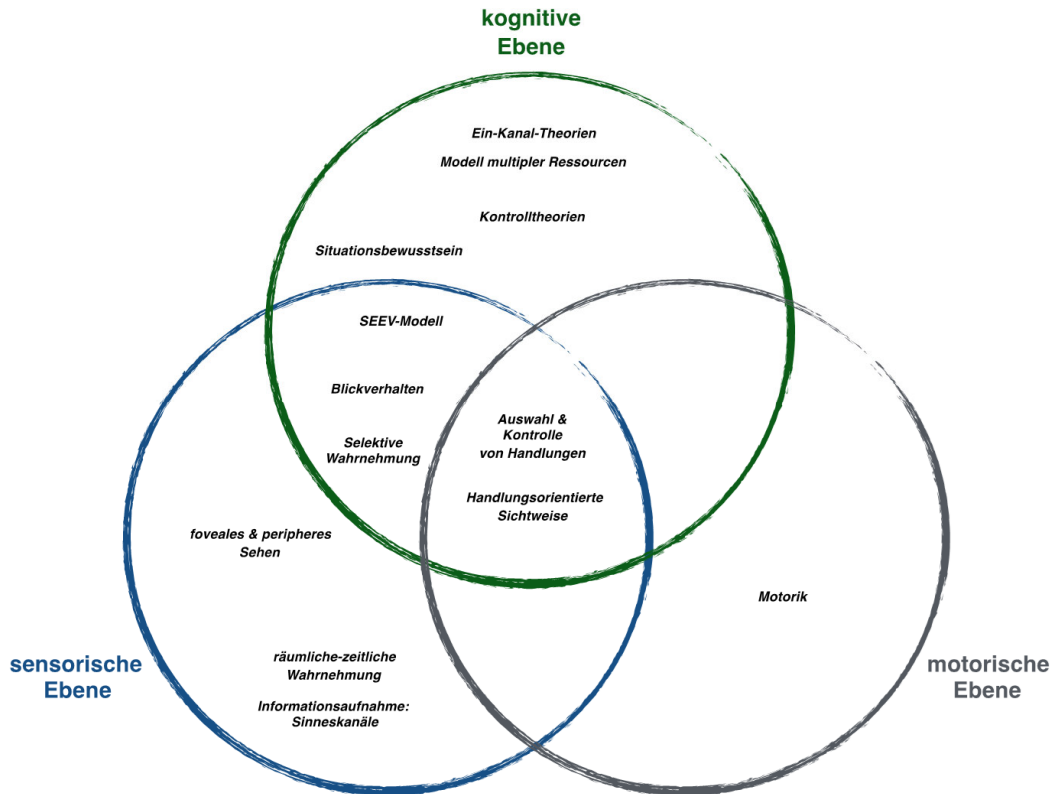


**Abb.2** Methode zur Aufgaben- und Anforderungsanalyse von Fahraufgaben nach [79]

Fuller [65] stellt in seinem Modell die Anforderungen der Fahraufgabe der Leistungsfähigkeit des Fahrzeuglenkenden gegenüber und weist so auf die daraus resultierende Aufgabenschwierigkeit hin. Übersteigen die Anforderungen die aktuellen Fähigkeiten des Lenkenden könne laut [65] daraus ein Kontrollverlust und im ungünstigsten Fall sogar ein Unfall resultieren.

Ein Überblick zu weiteren – teilweise weniger geläufigen - Modellen findet man zudem in [38] sowie in [96]). Letztgenannte weisen zudem darauf hin, dass die Mehrheit der Modelle in diesem Kontext nur einzelne, ausgewählte Aspekte aus einer gewissen Perspektive betrachten, ein vollständiges Fahrermodell hingegen nicht existiert.

Eine aktive Teilnahme am Verkehrsgeschehen erfordert u.a. die Aufnahme von Umgebungsinformationen sowie deren Verarbeitung und Umsetzung in Handlungen ([106], [42]) betrachtet die Fahraufgabe als eine zielgerichtete und sensomotorische Aufgabe, wobei alle relevanten Reize aus der Verkehrsumgebung aufgenommen und verarbeitet werden müssen, um sicherheitsrelevant reagieren zu können. Das Informationsverarbeitungsmodell von Atkinson & Shiffrin, 1965, 1968, beide zit. n. [151]; [151] beschreibt den Prozess der Informationsverarbeitung, welcher mit der Aufnahme von Informationen startet und mit einer Reaktion endet. Bubb, H., [28] skizzieren eine systemtechnische Betrachtungsweise des Lenkenden und beschreiben das Autofahren folgendermassen: Der Fahrer nimmt Informationen aus der Umwelt und seiner Umgebung auf (=Informationsaufnahme), verarbeitet und bewertet diese (=Informationsverarbeitung) und entscheidet anschliessend darüber, ob eine Handlung initiiert werden soll oder nicht (=Informationsumsetzung). Die Umsetzung erfolgt dabei durch motorische Handlungen, wenn beispielsweise mit den Händen das Steuerrad bedient wird [29]. Folglich lassen sich ganz grob drei Ebenen unterscheiden: sensorisch, kognitiv und motorisch. Die Einteilung und Gliederung der im folgenden Kapitel dargestellten Anforderungen an die verschiedenen Verkehrsteilnehmenden lässt sich diesen drei Ebenen sowie deren Schnittmengen zuordnen. Die schematische Darstellung kann der Abb. 3 entnommen werden. Dabei ist zu beachten, dass diese Einteilung als zusammenfassender Überblick dient.



**Abb.3** Inhaltliche Zuordnung der Kapitel «Anforderungen an die Verkehrsteilnehmenden» zu den drei verschiedenen Ebenen - sensorisch, kognitiv & motorisch - sowie deren Schnittmengen

## 2.3 Leistungsfähigkeit der Verkehrsteilnehmenden

### 2.3.1 Sensorische Ebene

#### Informationsaufnahme – Sinneskanäle

Das Individuum verarbeitet die durch die Sinnessysteme aufgenommenen Informationen, nimmt diese wahr und ist so grundsätzlich in der Lage mit seiner Umgebung zu interagieren ([39]). Für die erfolgreiche und sichere Bewältigung der Fahraufgabe ist die Aufnahme von bedeutsamer Information aus der Verkehrsumgebung – wie beispielsweise die Geschwindigkeit und Entfernung anderer Verkehrsteilnehmenden oder Informationen zum Strassenverlauf – unerlässlich (Vollrath & Krems, [202]).

Die Wahrnehmung ist ein Konstrukt, respektive eine Interpretation der Umgebung und nicht lediglich deren Abbild ([39], [41]). Folglich geht es bei der Wahrnehmung vielmehr um die Interpretation von teils unvollständigen und unter Umständen auch nicht eindeutigen Informationen aus der Umgebung ([39]). Es kommt weiter zu einer Selektion der vorhandenen Information, da unmöglich die ganze Fülle an Reizen in- und ausserhalb des Fahrzeuges wahrgenommen werden kann (Vollrath & Krems, [202]). Diese gezielte Selektion erfolgt mit Hilfe der Aufmerksamkeit und kann mit einer Art Filterfunktion verglichen werden ([41]).

Um sich sicher im Strassenverkehr fortzubewegen, sind Fahrzeuglenkende auf intakte Sinnesorgane angewiesen ([44]). Dabei sind, unabhängig von der Verkehrsteilnahmeart, alle Sinnesmodalitäten (bis auf den Riech- und Geschmackssinn) für die Teilnahme im Strassenverkehr relevant ([41]). Dem visuellen Wahrnehmungskanal beim Autofahren wird am meisten Bedeutung zugeschrieben und sein Beitrag dabei auf über 90% geschätzt ([138]). Auch Schlag, Petermann, Weller & Schulze [148] gehen davon aus, dass die



Aufnahme von relevanten Informationen über das Sehvermögen beim Autofahren bis zu 90% ausmacht. [41] teilt die Wahrnehmung in der Verkehrsumgebung folgendermassen auf: 5% über das Gehör, 5% über den Tast- und Gleichgewichtssinn und ca. 90% über den visuellen Kanal. Der auditive sowie der propriozeptive Sinn spielen hingegen beim Autofahren eine eher untergeordnete Rolle ([179]). Beim Velofahren steht mehrheitlich die visuelle sowie auditive Wahrnehmung für das sichere Fortbewegen im Strassenverkehr im Vordergrund ([178]). Velofahrende können im Gegensatz zu Motorfahrzeuglenkenden zudem vermehrt auch auf akustische Informationen achten, wie z. B. Motorengeräusche, da ihnen diese Informationen über sich nähernde Autos geben ([47]).

Lippold, Schulz, Krüger, Scheuchenpflug & Lorenz [109] führen die hohe Relevanz des visuellen Kanals für die Fahraufgabe darauf zurück, dass nur die Augen eine Voraussicht und somit frühzeitige Reaktionen ermöglichen. Aus diesem Grund wird der Schwerpunkt im Folgenden auf die visuelle Wahrnehmung gelegt.

### **Foveales und peripheres Sehen**

Ganz allgemein kann beim Sehen zwischen Sakkaden – sogenannten Blicksprüngen – und Fixationen (=foveales Sehen) unterschieden werden, wobei ersteres dafür verantwortlich ist, dass die Aufmerksamkeit auf ausgewählte und relevante Objekte (z. B. Zufussgehende) gerichtet wird (Vollrath & Krems [202]). Gemäss [138] entfällt die grosse Mehrheit (ca. 90%) der Fixationen während dem Autofahren auf den Bereich (+/- 4 Grad) des „Focus of Expansion“, ein kleiner Bereich, welcher in direkter Blickrichtung des Fahrzeuglenkenden liegt. In Kurven scheint zudem der Tangentenpunkt (Punkt auf der Innenseite der Kurvenkrümmung) häufig fixiert zu werden (Land & Lee [105]). Lehtonen et al. [205] stellten fest, dass Fahrzeuglenkende, die sich einer offenen Kurve ohne Sichthindernisse annähern, den Blick zwischen dem Okklusionspunkt (der am nächsten gelegene und durch ein Hindernis verdeckte Punkt im Strassenverlauf) und der Strasse wechseln. Während das foveale Sehen für detaillierte Informationen, wie z. B. das Erkennen von Verkehrsschildern zuständig ist, ermöglicht das periphere Sehen auch Objekte in dem Aussenbereich (Peripherie) zu detektieren (Vollrath & Krems [202]). Durch Übung und Fahrerfahrung kann die Spurhaltung auch mehrheitlich durch peripheres Sehen erfolgen ([160] Mit der peripheren Wahrnehmung können zudem auch Bewegungen in der Peripherie entdeckt werden, wobei dann in einem weiteren Schritt mit Hilfe der Aufmerksamkeitslenkung eine Einschätzung der Handlungsrelevanz erfolgt (Vollrath & Krems [202]). Nebst der Bewegung ziehen auch starke Kontrastveränderungen die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden auf sich, was das Detektieren von Objekten in der Peripherie ebenfalls erleichtert ([149]). Zusatzaufgaben (z. B. Ablesen von Informationen auf einem Navigationsgerät) können dazu führen, dass die Verkehrssituation in demselben Moment nicht mehr foveal wahrgenommen wird (Vollrath & Krems [202]). Die periphere Wahrnehmung kann zudem auch durch kognitive Beanspruchung beeinträchtigt werden (Vollrath & Krems [202]), was von Williams, 1985, zit. n. Vollrath & Krems [202] unter dem Begriff des «Tunnelblicks» zusammengefasst wird.

### **Räumlich-zeitliche Wahrnehmung**

Die Fähigkeit der räumlichen-zeitlichen Wahrnehmung ist für die Bewältigung der Fahraufgabe von besonderer Bedeutung ([39]): In Anlehnung an deren Unterteilung wird im Folgenden gesondert auf die Geschwindigkeits- und Distanzwahrnehmung sowie auf die Wahrnehmung der „Time-to-Contact“ eingegangen.

#### *Geschwindigkeitswahrnehmung*

Die korrekte Einschätzung der eigenen Geschwindigkeit ist im Strassenverkehr von grosser Bedeutung, nicht zuletzt deshalb, weil die Wahl einer adäquaten Geschwindigkeit davon abhängt ([39]). Für die Wahrnehmung der Eigenbewegung verwendet der Fahrer in der Regel sowohl visuelle, als auch auditive und vestibuläre Informationen ([39]). Die präziseste Aufnahme an Information erfolgt dabei durch das visuelle System ([42]). Gemäss Salvatore, 1968, zit. n. [39] führen periphere Informationen – im Vergleich zu zentralen Informationen - zu einer präziseren Geschwindigkeitsschätzung. Wird längere Zeit dieselbe Geschwindigkeit gefahren, so kann es zudem zu einer Adaption an diese Geschwindigkeit kommen ([42]) und mit der Zeit sogar zu deren Unterschätzung ([139]). Dies ist besonders dann problematisch, wenn nach längerer Zeit auf der Autobahn auf eine

Innerortsstrasse im städtischen Gebiet gewechselt wird ([42]). Um einer solchen Adaption entgegenzuwirken gibt es gemäss [42] zwei Möglichkeiten: Entweder man versucht mit Ampeln den Fahrer zum Anhalten zu bringen, damit sich die Geschwindigkeitswahrnehmung neutralisiert oder man baut eine Art Verbindungsstrasse mit reduzierter Geschwindigkeit ein, welche mit vielen Texturelementen ausgestattet wird, um so der Adaption entgegenzuwirken.

Gemäss [48] kann eine verzerrt wahrgenommene Geschwindigkeit infolge einer Adaptation, insbesondere dann, wenn nach längerem schnelleren Fahren eine grosse Geschwindigkeitsreduktion notwendig ist, eine Ursache für Unfälle darstellen. Der letztgenannte Autor macht deutlich, dass das Anbringen eines geschwindigkeitsverzerrenden Musters auf der Fahrbahn diesen Fehler weitestgehend aufheben kann. Manser und Hancock [113] stellen fest, dass visuelle Muster an Tunnelwänden die Geschwindigkeitswahrnehmung sowie die Wahl der gefahrenen Geschwindigkeit zu beeinflussen vermag. Die Wahrnehmung der eigenen Geschwindigkeit kann gemäss [181] durch die Textur auf der Strasse sowie in der Verkehrsumgebung (z.B. mit Hilfe von Fahrbahnmarkierungen) erleichtert werden.

Im Rahmen einer Fahrsimulatorstudie stellte Weller [181] einen starken Einfluss der Umgebungsgestaltung auf die Geschwindigkeitswahl fest: bei abwechslungsreicher Gestaltung der Fahrumgebung resultieren geringere Geschwindigkeiten, wobei monotone Umgebungen – sowie auch links und rechts mit Bäumen bepflanzte Strassen (sogenannte Alleen) – zu höheren Geschwindigkeiten führen. Lewis-Evans & Charlton [107] untersuchten in einer Fahrsimulatorstudie, ob die Strassenbreite einen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl hat und stellten fest, dass bei breiteren Strassen schneller und bei schmaleren Strassen langsamer gefahren wird. Anhand einer durchgeführten Metaanalyse halten [46] fest, dass es zu höher gefahrenen Geschwindigkeiten kommt, wenn einer bislang ohne Markierung ausgestattete Strasse eine Mittellinie oder eine Linie am Fahrbahnrand hinzugefügt wird.

Die Bewegungswahrnehmung sowie die Einschätzung von Geschwindigkeiten basiert auf dem Vorgang der Netzhautbildverlagerung ([42]). Cohen, A.S. [42] weist darauf hin, dass die objektive Geschwindigkeit jedoch selten auch der subjektiv wahrgenommenen entspricht. Kommt es zu einer Überschätzung der Geschwindigkeit – was oftmals dann auftritt, wenn man langsam unterwegs ist und lediglich kurze Sichtdistanzen herrschen –, so ist dies für die Verkehrssicherheit förderlich ([42]). Gefährlich wäre aus verkehrspsychologischer Sicht hingegen eine Unterschätzung der Geschwindigkeit, welche beispielsweise bei hohen Geschwindigkeiten vorkommen kann ([42]). Cohen, A.S. [42] verweist in diesem Kontext auf Metzger [116], welcher darauf hinweist, dass die Geschwindigkeit auf breiten Strassen wie z.B. auf Autobahnen unterschätzt werden. Wird die Verkehrsumgebung mit ausgeprägten Gradienten ausgestattet, so kann allenfalls eine Unterschätzung verringert werden ([42]).

Damit kritische Situationen frühzeitig antizipiert werden können, ist gemäss [42] auch die Einschätzung der Geschwindigkeit von anderen Verkehrsteilnehmenden von grosser Bedeutung. Zufussgehende müssen beim Querungsvorgang beispielsweise einschätzen, ob sie trotz einem sich nähernden Fahrzeug die Fahrbahn noch betreten oder ob sie besser noch warten sollten ([42]). Die Wahrnehmung von Fremdbewegungen kann dabei ausschliesslich durch das visuelle System eingeschätzt werden ([42]).

### *Distanzwahrnehmung*

Immer wieder muss beim Autofahren die Entfernung zu anderen Objekten eingeschätzt werden, wie z. B. bei einem Überholmanöver ([39]). Dies geschieht mit Hilfe von okulomotorischen (Akkommodation & Konvergenz), monokularen sowie binokularen (Tiefenwahrnehmung) Informationen (Vollrath & Krems [202]). Bei lediglich eingeschränkter Sicht – wie z.B. bei dichtem Nebel – kann aufgrund reduziert vorhandener Hinweisreize die Distanzwahrnehmung zudem beeinträchtigt sein ([39]; Vollrath & Krems[202]).

Cohen, A.S. [42] weist darauf hin, dass - ähnlich wie bei der Geschwindigkeitseinschätzung - auch die Distanzen oftmals nicht korrekt eingeschätzt werden. Gordon und Mast, 1970, zit. n. [42] fanden heraus, dass mit höheren gefahrenen Geschwindigkeiten die Distanzunterschätzung zum Vorfahrer zunimmt. Harte und Harte, 1976, zit. n. [42] weisen

darauf hin, dass auch die Strassenmarkierung einen Einfluss auf die Distanzschätzung zum Vorderwagen hat: gestrichelte Fahrbahnlinien führen zur grössten Abstandsunterschätzung, wobei durchgezogene Linien die geringsten Distanzunterschätzungen aufweisen, gefolgt von gar keinen Markierungen.

#### *Wahrnehmung von „Time-to-Contact“*

Das Prognostizieren von zeitnahen kritischen Ereignissen – insbesondere dann, wenn sich ein Fahrzeug auf Kollisionskurs befindet – ist für die erfolgreiche Bewältigung der Fahraufgabe unabdingbar ([39]). Mit Hilfe der „time-to-contact“ (= Zeit, bis man auf ein anderes Objekt trifft) kann abgeschätzt werden, ob und welche Handlungen (Ausweichen, Abbremsen, etc.) von Nöten sind, um eine Kollision zu vermeiden ([39]). Unter gewissen Umständen – z.B. bei reduzierten Sichtbedingungen oder hohen Geschwindigkeiten – kann es auch zu einer Fehlinterpretation der „time-to-contact“ kommen ([39]).

## 2.3.2 Sensorische - kognitive Ebene

### **Selektive Wahrnehmung**

Aufgrund der limitierten Leistungskapazität (Informationsaufnahme & -verarbeitung) des visuellen Systems, ist es von grosser Bedeutung, dass die für die Fahraufgabe bedeutsamen Objekte erkannt und wahrgenommen werden ([39]). Dieser Filterprozess ist umso schneller, je klarer und unmissverständlicher die Informationen sind ([109]). Selektive Aufmerksamkeit wird durch Blicksprünge gesteuert und führt dazu, dass auch die Wahrnehmung eines grösseren Bereiches – durch ein schnelles visuelles Abtasten – möglich ist ([41]).

Damit ein Objekt bewusst wahrgenommen werden kann, bedarf es an Aufmerksamkeit ([112]). Unter der Bedingung von Unaufmerksamkeit kann es hingegen zu Phänomenen wie inattentional blindness ([112]) oder change blindness ([133]) kommen.

- Inattentional blindness bezeichnet die Unfähigkeit ein bestimmtes Objekt oder einen Reiz wahrzunehmen, aufgrund der Tatsache, dass die Aufmerksamkeit bereits auf ein anderes Objekt gerichtet wird ([112]).
- Change blindness bezeichnet das Phänomen, dass unter Umständen auch grössere Veränderungen nicht wahrgenommen werden können, wenn diesen keine Aufmerksamkeit gewidmet wird ([133]).

Problematische Situationen im Strassenverkehr ergeben sich, wenn Reize oder Objekte an bestimmten Stellen nicht erwartet werden (z. B. Zufussgehende auf der Autobahn) und sich dadurch – bedingt aufgrund längerer Verarbeitungszeit – erhöhte Reaktionszeiten zeigen ([41]).

### **Blickverhalten**

Das Blickverhalten ist für die Bewältigung der Fahraufgabe, insbesondere für das Erkennen von Objekten, von grosser Bedeutung ([39]). Auch Vollrath & Krems [202] erachten den Erwerb von visuellen Strategien und Blickmustern – wie z.B. für den Überholvorgang - als wichtigen Aspekt.

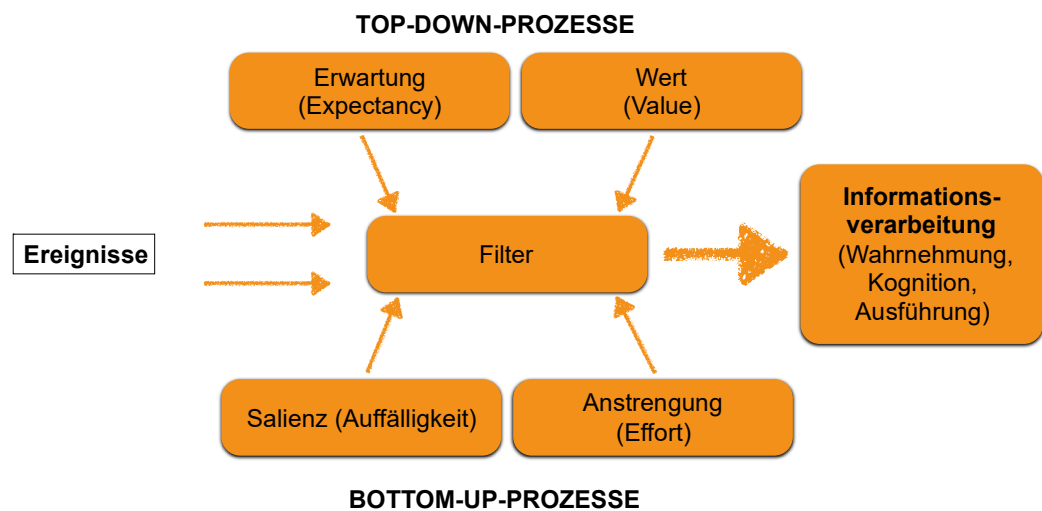
Es existieren Unterschiede im Blickverhalten von Fahranfängern und erfahrenen Fahrern: Im Gegensatz zu erfahrenen Fahrern zeigen Fahranfänger eine grössere Varianz in den Blickdauern, die sich einerseits durch kurze und vermutlich ineffektive Blicke sowie andererseits durch lange und riskante Fixationen bemerkbar macht ([194]). Gemäss [45] ist anzunehmen, dass Experten im Gegensatz zu unerfahrenen Fahrern beim Befahren von unterschiedlichen Strassentypen die visuelle Strategie der Komplexität der Fahrsituation anpassen. Robertshaw & Wilkie [137] weisen darauf hin, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Blickverhalten und der Lenkrichtung in Kurven zu geben scheint.

## Prozesse der Aufmerksamkeitszuwendung

Die Zuwendung der Aufmerksamkeit kann auf zwei Arten erfolgen, einerseits reizgesteuert – „bottom-up“ – oder andererseits durch eine willentliche – „top-down“ – Steuerung (Vollrath & Krems [64]; vgl. auch [51]):

- Ersteres erfolge automatisch und benötige keine willentliche Anstrengung, wobei dies dann der Fall sei, wenn z. B. plötzlich ein Warnlicht erscheine oder ein auditiver Reiz (z. B. Hupen) ertöne.
- Wird der Blick jedoch gezielt auf eine spezifische Stelle (z. B. Tacho) gelenkt, dann handelt es sich um einen „top-down“ Prozess.

Aufgrund der dynamischen Verkehrsumgebung erfolgt die Aufmerksamkeitssteuerung im Fahrkontext hauptsächlich „bottom-up“, also reizgesteuert (Vollrath & Krems [202]). Starke, ungewöhnliche oder sich verändernde Reize ziehen u.a. die Aufmerksamkeit auf sich ([41]).



**Abb.4** Schematische & modifizierte Darstellung des SEEV-Modells nach Wickens et al., 2003; zit. und modifiziert n. Vollrath & Krems [202]

Gemäss SEEV-Modell ([188]; [186]; vgl. Abb. 4) erfolgt der Filterprozess respektive die Aufmerksamkeitslenkung durch folgende vier Einflussfaktoren:

- *Erwartung*: Der Fahrzeuglenkende habe gewisse Erwartungen, wo in der Strassenumgebung bedeutsame Informationen, wie z. B. andere Verkehrsteilnehmende erwartet werden.
- *Wert*: Relevanz der Information für die vorliegende Fahraufgabe; wie z. B. der Hinweis Kinder in der Verkehrsumgebung, welche spontan auf die Fahrbahn laufen könnten.
- *Salienz*: Objekteigenschaften – etwa auffällige Fahrbahnmarkierungen –, welche die Aufmerksamkeit auf sich ziehen; z. B. spezielle Farbe oder plötzlich auftauchende Objekte.
- *Anstrengung*: Weit entfernte oder (durch die Notwendigkeit eines Schulterblicks) schwer zu erblickende Objekte werden weniger beachtet, da mehr Anstrengung benötigt werde.

Während die ersten beiden Faktoren top-down (bewusste und kognitive Kontrolle) gesteuert werden, sind die letzteren beiden Faktoren für die unwillkürliche Aufmerksamkeitslenkung (bottom-up) verantwortlich ([186]).

Eine intakte visuelle Leistungsfähigkeit ist eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Voraussetzung für ein unfallfreies und sicherheitsrelevantes Verhalten im Strassenverkehr (Vollrath & Krems [202]). Nicht selten kommt es auch zu sogenannten „looked-but-failed-

to-see“-Fehlern, bei welchen Personen zwar ein Objekt fixieren, dieses jedoch nicht wahrnehmen (Vollrath & Krems [202]; [15]). Vollrath und Krems [202] schlussfolgern, dass für das sichere Fortbewegen im Strassenverkehr auch auf Erfahrungen und Vorwissen beruhende Verarbeitungsprozesse eine wesentliche Rolle spielen.

### 2.3.3 Kognitive Ebene

Die aktive Teilnahme am Verkehr beinhaltet oftmals auch die simultane Bewältigung von unterschiedlichen Aufgaben, wie beispielsweise das Überwachen der Verkehrsumgebung, die Fahrzeugsteuerung sowie die Reaktion auf Ereignisse ([106]). Aufgrund der zahlreichen vorhandenen Informationen in der Verkehrsumgebung, muss der Fahrzeuglenkende eine Selektion treffen (Vollrath & Krems [202]).

#### Modelle beschränkter Informationsverarbeitung

Sogenannte Ein-Kanal-Theorien ([125], [37], [182], [145]) gehen von beschränkten Informationsverarbeitungsprozessen und einer erschwerten bis gar unmöglichen parallelen Verarbeitung aus. Auch Spence & Ho, 2009, verweisen darauf, dass die bewusste sowie simultane Informationsverarbeitung im Kontext der Fahrzeugführung, auch bei der Nutzung von unterschiedlichen Dimensionen, Probleme mit sich bringt.

#### Multiple Ressourcen

Das Modell der multiplen Ressourcen von Wickens [189] geht hingegen von verschiedenen Dimensionen der Informationsverarbeitung aus: so können gemäss diesem Modell – aufgrund der unterschiedlichen Art der Verarbeitung – nebst visuellen Reizen (z. B. beobachten einer zu Fuss querenden Person) auch auditive Informationen (z. B. Hupen des Fahrzeuges hinter einem) simultan verarbeitet werden. Aufgrund der Tatsache, dass zwei verschiedene Dimensionen (visuell & auditiv) in Anspruch genommen werden, stören sich diese beiden Aufgaben gemäss [189] weniger, als wenn beispielsweise zwei visuelle Informationen gleichzeitig verarbeitet werden müssten (z. B. Beobachten einer zu Fuss querenden Person und Ablesen der gefahrenen Geschwindigkeit auf dem Tacho). Gemäss Hackenfort [198] ist jedoch anzunehmen, dass bei bestimmten Tätigkeiten auch eine Zuweisung auf verschiedene Stufen und Dimensionen stattfinden kann, was wiederum dazu führen könnte, dass die Verarbeitungsgrenze bei parallelen Verarbeitungsprozessen relativ schnell erreicht wird.

#### Kontrolltheorie

Rasmussen [132] geht von einem zielorientierten Menschen aus, welcher aktiv Ziele setzt und nach relevanter Information sucht. Dessen Modell unterscheidet drei Ebenen, auf welchen das menschliche Verhalten kontrolliert wird: fertigkeitsbasiert, regelbasiert und wissensbasiert. Die unterste – fertigkeitsbasierte – Ebene integriert dem Autor zufolge, sämtliche sensomotorischen Leistungen, welche mehrheitlich automatisiert ablaufen und nicht bewusst kontrolliert werden. Die (mittlere) regelbasierte Ebene wird seiner Auffassung nach hingegen von der Person bewusst kontrolliert. Es handele sich hierbei um einen zielorientierten Prozess, bei welchem Regeln zuerst abgerufen werden müssen. Die wissensbasierte Ebene sieht Rasmussen [132] zugleich als die oberste Ebene, welche insbesondere in neuen und ungewohnten Situationen zum Zuge komme. Auf dieser Ebene werden gemäss dem Autor Ziele formuliert und Pläne entwickelt.

Gemäss Leutner et al. ([106], mit Bezug auf Rasmussen, [131]) wird deutlich, dass das der jeweiligen Strassenverkehrssituation angepasste Verhalten bei dem Modell von Rasmussen [132] auf verschiedenen Ebenen abläuft: Je nach Ebene weisen die Prozesse einen geringeren oder höheren Grad an Automatisierung auf, was – aufgrund der sich unterscheidenden Anzahl an involvierten Verarbeitungsprozessen – einen Einfluss auf die benötigte Zeit hat. Kommt es zu vielen Wiederholungen derselben Prozesse auf Stufe der wissensbasierten Ebene, führt dies zu einer zunehmenden Routine und die Prozesse laufen dann im Folgenden ebenfalls schnell und automatisiert ab ([106]). [40] verdeutlicht diesen Prozess anhand des Beispiels des vorausschauenden Fahrens: Autofahrer und Autofahrerinnen entwickeln mit der Zeit eine Vorstellung davon, wie sich andere Verkehrsteilnehmende im Strassenverkehr bewegen und verhalten. Diese Erfahrung führt

gemäss der Autorin dazu, dass auf zahlreiche Situationen – fertigkeitstbasiert – schnell und angemessen reagiert werden kann. Gemäss [106] können Fahrzeuglenkende eine kognitive Überforderung beispielsweise dadurch verringern, indem Aufgaben reduziert werden (z. B. ein Gespräch an einer komplexen Kreuzung einstellen). Gelingt es dem Fahrer nicht oder nur unzureichend, die kognitive Beanspruchung zu verringern, kann dies zu Fehlhandlungen bis hin zu Unfällen führen ([106]). Innerorts kommt es bei Fahrzeuglenkenden nicht selten zu einer Überbeanspruchung der biologischen Leistungsgrenzen, sowohl bei der Wahrnehmung als auch bei der Informationsverarbeitung ([179]).

Sind zu viele Informationen in der Verkehrsumgebung vorhanden (z.B. «Schilderwald»), kann es zu einer Überforderung beim Informationsverarbeitungsprozess kommen ([23]). Schlag et al. [149] weisen entsprechend darauf hin, dass Strassenabschnitte so gestaltet werden sollten, dass diese bei den Verkehrsteilnehmenden zu einer mittleren Aktivierung führen.

### **Situationsbewusstsein**

Ein weit verbreitetes, wenngleich mehr deskriptives als explikatives Modell ist das des Situationsbewusstseins nach ([53], [54]), welches von drei Stufen ausgeht:

- Die Ebene 1 beinhaltet die Voraussetzung, dass relevante Informationen überhaupt wahrgenommen werden.
- Die Ebene 2 macht deutlich, dass nebst der reinen Informationsaufnahme respektive Wahrnehmung auch gewährleistet sein muss, dass die Person deren Bedeutung auch versteht und korrekt deutet.
- Die höchste Ebene (3) umfasst gemäss ([53], [54]) die Antizipation der zukünftigen Situation. Zukünftige Ereignisse sollten demnach möglichst genau prognostiziert werden, so dass rechtzeitig eine Entscheidung gefunden werden kann.

Auf Basis dieses generierten Situationsbewusstseins erfolge dann die Entscheidungsfindung und später komme es zur Handlungsausführung ([53], [54]). Im Fahrkontext kann mit diesem Modell beschrieben werden, inwiefern noch angemessen und rechtzeitig auf Situationen reagiert werden kann, wobei es jedoch keine Aussagen über die Interaktion der einzelnen Ebenen zulässt (Vollrath & Krems [202]).

## **2.3.4 Sensorische – kognitive – motorische Ebene**

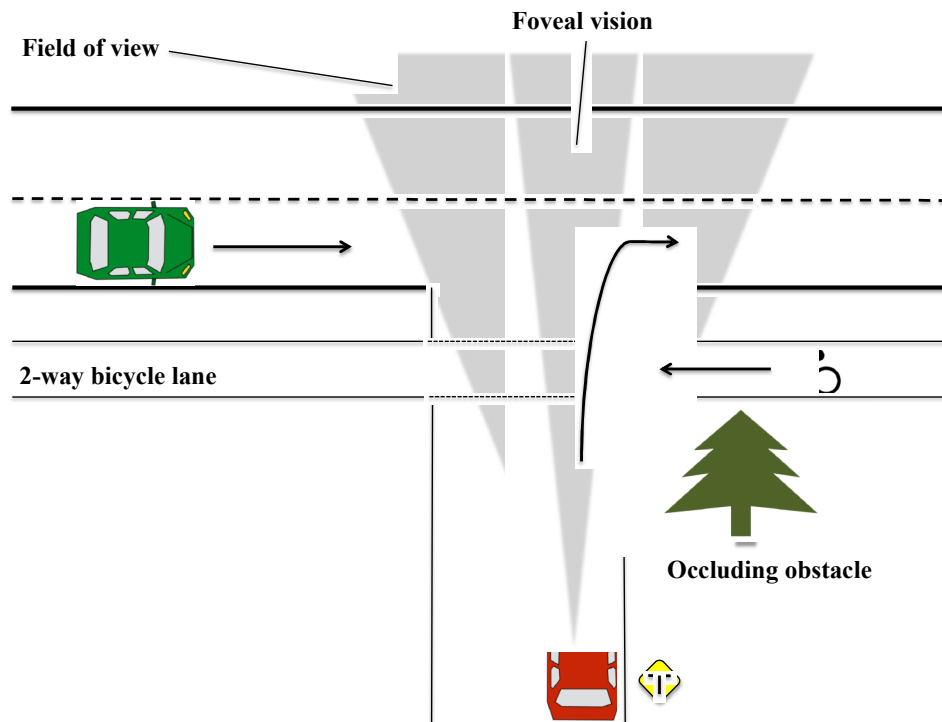
### **Auswahl und Kontrolle von Handlungen**

Beim Bewältigen der Fahraufgabe müssen fortlaufend Entscheidungen getroffen und Handlungen ausgeführt werden, wobei die Dauer dieser Prozesse davon abhängt, ob diese auf der Navigations-, Manöver- oder auf der Stabilisierungsebene erfolgen (Vollrath & Krems [202]). Das Modell von Norman und Shallice [123] beschäftigt sich mit der Auswahl und Kontrolle von Handlungen. Gemäss den Autoren wird davon ausgegangen, dass jeder über erworbene Handlungsabläufe in Form von Schemata verfügt. Wird zu einem bestimmten Zeitpunkt ein Schema aktiviert, so erfolge dadurch die Auswahl der jeweiligen Handlungssequenzen. Jedes Schema besitze zudem einen Aktivierungswert und bleibe so lange aktiviert, bis es aktiv beendet, die Handlung ausgeführt oder durch ein Schema mit einem höheren Aktivierungswert gehemmt werde. Es sei zudem möglich, dass die Aktivierung eines Schemas gleich auch andere Schemata auslöse. Wird beispielsweise das Schema des „Autofahrens“ aktiviert, werden gemäss den Autoren gleich auch all die dazugehörigen Schemata wie bremsen, beschleunigen oder steuern mitaktiviert. Ein überwachendes System («Supervisory Attentional System») kontrolliert zudem den Prozess und nimmt mittels Erhöhung oder Hemmung des Aktivierungswertes Einfluss ([123]).

### **Handlungsorientierte Sichtweise**

Das von [55] vorgeschlagene handlungsorientierte Modell, lehnt sich u.a. an das Modell von Norman und Shallice [123] an und beinhaltet die folgenden drei Hauptkomponenten:

- Sensorisches und efferentes System: Ersteres sei für die Verarbeitung von physikalischen Reizen in den Sinnesorganen verantwortlich. Letzteres hingegen sei für die Steuerung der Muskeln zuständig.
- Das Modell beinhalte zudem hierarchisch organisierte Schemata, welche unterschiedlich komplexe Handlungsmuster inkludieren. Schemata auf der unteren Ebene liegen gemäss den Autoren nahe bei dem sensorischen und efferenten System und umfassen grundlegende Handlungen (z. B. Ausführen der Spurhaltung). Schemata mit komplexeren Aufgaben und Handlungsmuster (z. B. Passieren einer komplexen Kreuzung) werden hingegen auf den oberen Ebenen angesiedelt. Jedes Schema enthalte zudem einen unterschiedlich stark ausgeprägten Aktivierungsgrad: Dieser entscheide darüber, ob das Schema ausgewählt werde und inwiefern es ihm gelingt, andere konkurrierende Schemata zu unterdrücken.
- Die dritte Modellkomponente bilde das übergreifende Kontrollsystem (supervisory control). Diese Instanz könne gegebenenfalls Einfluss auf die Auswahl der Schemata nehmen und so z. B. ein schwaches, jedoch für die Aufgabe relevantes Schema begünstigen. Dieser top-down-Prozess erfordere jedoch Anstrengung des Fahrers.



**Abb.5** Beispiel einer exemplarischen Situation, bei welcher sich ein Autofahrer (rotes Fahrzeug) einer T-Kreuzung annähert und rechts abbiegen möchte, wobei er einem sich von rechts annähernden Velofahrer sowie querenden Fahrzeugen Vortritt gewähren muss ([55])

[55] erläutern ihr Modell anhand der in Abb.5 dargestellten Verkehrssituation: Ein Fahrzeuglenker (rotes Fahrzeug) nähert sich einer zuvor signalisierten T-Kreuzung, welche einen in beide Richtungen befahrbarer Veloweg aufweist. Das rote Fahrzeug sei nicht vortrittsberechtigt und muss somit auf den sich von rechts annähernden Velofahrer sowie auf querende Fahrzeuge achten. Dieser werde zusätzlich von einem Baum verdeckt. Gemäss den Autoren ist das sensorische System für die Verarbeitung der physikalischen Reize verantwortlich und so auch für die Erfassung der Beschilderung (T-Kreuzung) oder z. B. das Erkennen von anderen Verkehrsteilnehmenden. Das efferente System übernehme die Steuerung von gezielten Blickzuwendungen. Durch das Erfassen des Schildes der T-Kreuzung werde beim Fahrzeuglenker (rotes Fahrzeug) auch gleich – bottom-up – das Schema «Rechtsabbiegen an einer T-Kreuzung» aktiviert. Daraus

resultiere eine top-down Aktivierung von dazugehörigen sensomotorischen Schemata wie beispielsweise «nach links schauen, um Fahrzeuge zu entdecken». Konkurrierende, aber schwächere Schemata (wie z.B. «rechts nach Velofahrenden Ausschau halten») hingegen werden unterdrückt. Das von [55] vorgeschlagene übergreifende Kontrollsystem (supervisory control) ermöglicht zudem, dass Schemata mit der Zeit auch angepasst und ergänzt werden können: So würde beispielsweise – falls diese Situation häufig auftritt – das Schema «rechts schauen, um auf Velofahrende zu achten» zukünftig mitaktiviert werden.

### 2.3.5 Motorische Ebene

Als weitere wichtige Komponente für die erfolgreiche Bewältigung der Fahraufgabe gilt die Motorik ([81]). Damit beim Autofahren Aktionen ausgeführt werden können, bedarf es an motorischen Leistungen des Fahrzeuglenkenden (Vollrath & Krems [202]). Die Informationsumsetzung wird durch mechanische Bewegungen ausgeführt und benötigen daher die Kraft der Muskeln ([29]). Für das erfolgreiche Ausführen von motorischen Lenkbewegungen bei einem Spurwechsel ist der Fahrzeuglenkende jedoch auf regelmässige visuelle Informationen aus der Umgebung angewiesen ([175]). Unter anderem stellen Robertshaw und Wilkie [137] daher fest, dass schmale Kurven zudem mit einem präziseren Steuern einher gehen.

Im Folgenden soll in Anlehnung an Vollrath [171] auf die Aspekte der Bedienung sowie der motorischen Kontrolle im Kontext der Interaktion von Mensch und Maschine eingegangen werden:

Für die Bedienung einer Maschine (z. B. Fahrzeug) seien sowohl Ziel- und Greifbewegungen (z. B. Erreichen des Bremspedals) als auch Manipulationsbewegungen (z. B. drücken des Bremspedals) zentral. Dabei spiele einerseits die Geschwindigkeit, bis ein gewünschtes Bedienelement (z. B. Bremse) erreicht werde sowie andererseits die Ausführbarkeit der Bedienung damit eine zentrale Rolle. Weiter kann gemäss [171] die menschliche Bewegung in einfache und komplexe Bewegungen unterteilt werden:

- Bei Ersterem werden gemäss dem Autor alle geplanten Bewegungen subsumiert, die lediglich ausgelöst werden und dann im Weiteren automatisch ablaufen und nicht weiter überwacht werden müssen (open-loop-Kontrolle). Das Betätigen der Hupe oder auch das Einschalten der Klimaanlage sind Beispiele für solch einfache Bewegungen.
- Komplexe Bewegungen hingegen müssen gemäss dem Autor nach dem Initiieren permanent überwacht und falls nötig, korrigiert werden (closed-loop-Kontrolle). Der Überwachungsprozess der Spurhaltung beim Autofahren ende beispielsweise erst beim Anhalten.

[81] weist zudem darauf hin, dass es bei der Handlungsausführung nicht lediglich um eine Bewegung oder Reaktion, sondern viel mehr um die Interaktion mit Objekten in der Umgebung geht. So umschreibt der Autor den Prozess des „Gangwechsels“ als eine objektorientierte Handlung, welche in Komponenten (u. a. Fuss anheben, Hand bewegen, etc.) unterteilt werden kann. Diese Komponenten könne man anschliessend in noch kleinere Einheiten – sogenannten motorischen Schemata – gliedern, welche Handlungsaktivitäten wie z. B. Hand vom Lenkrad lösen, Hand in Richtung Gangschaltung bewegen, nach Gangschaltung greifen, umfassen. Solche motorischen Schemata sind in der Regel aufgrund der Erfahrung (Lernprozess) gut verinnerlicht ([81]).

Auch Velofahren wird nicht als einfache Tätigkeit angesehen, für dessen sicheres Fortbewegen sensomotorische Fähigkeiten essentiell sind ([178]). Der Reaktionszeit, dem korrekten Bremsen sowie dem Gleichgewicht wird dabei eine zentrale Bedeutung zugeschrieben wird (Spitzer, 2005, zit. n. [178]). So benötigt das Ausführen einer spitzen Kurve bei langsamer Fahrt beispielsweise mehr körperliche Anstrengung, als dies beim Autofahren erforderlich wäre ([47]).



## 2.3.6 Leistungsfähigkeit spezieller Gruppen

### Kinder

Kinder sind (aktiv) sowohl zu Fuss als auch auf dem Velo im Verkehr unterwegs (Vollrath & Krems [202]). Gewisse Fähigkeiten – insbesondere kognitiver und motorischer Art – welche für die Verkehrsteilnahme bedeutsam sind, entwickeln sich nur schrittweise und sind bei Kindern unter Umständen noch nicht oder nur ungenügend vorhanden (Vollrath & Krems [202]). Die Untersuchung von Limbourg, 1976, zit. n. Vollrath & Krems [202] zum Orientierungsverhalten und Gehgeschwindigkeiten von Kindern im Strassenverkehr stellte fest, dass ein mehrheitlich dem Verkehr angepasstes Verhalten erst mit ungefähr 8-9 Jahren gezeigt wird. Aber auch in diesem Alter gibt es gemäss der Autorin teilweise noch Kinder, die unangepasste Gehgeschwindigkeiten wählen oder ein unzureichendes Orientierungsverhalten zeigen. Zusätzliche psychomotorische Fähigkeiten sowie komplexere Verkehrssituationen werden zudem bei der Ausübung der Tätigkeit des Velofahrens gefordert, somit braucht es noch mehr Zeit, bis den Kindern ein sicheres Bewegen im Strassenverkehr gelingt (Vollrath & Krems [202]). Limbourg, 1994, zit. n. Vollrath & Krems [202] fasst die zentralen Fähigkeiten für ein sicheres Verhalten im Strassenverkehr folgendermassen zusammen: Nebst dem Gefahrenbewusstsein und der Fähigkeit das Verhalten anderer zu antizipieren, ist auch die Distanz- & Geschwindigkeitseinschätzung von grosser Bedeutung. Um sich kontrolliert fortzubewegen seien auch psychomotorische Fähigkeiten nötig, ebenso wie die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit auf verkehrs- und sicherheitsrelevante Dinge zu lenken. Im Alter von ca. 9-10 Jahren (Limbourg, 1994, zit. n. Vollrath & Krems [202]) verfügen Kinder über die Fähigkeit, Gefahren aktiv aus dem Weg zu gehen. Eine annähernd korrekte Einschätzung der Geschwindigkeit von anderen Verkehrsteilnehmenden ist erst mit ungefähr 10 Jahren möglich (Vollrath & Krems [202]). Das Prognostizieren von Verhaltensweisen anderer gelingt Kindern unter 7 Jahren in der Regel nur unzureichend (Vollrath & Krems [202]). In den ca. ersten vier Lebensjahren erfolgt die Wahrnehmung beinahe nur „bottom-up“ gesteuert, wobei die gezielte Aufmerksamkeit – auf verkehrsrelevante Aspekte und über eine längere Zeitspanne hinweg – erst mit 14 Jahren vollständig gelingt (Vollrath & Krems [202]).

### Ältere Verkehrsteilnehmende

Mit zunehmendem Alter kommt es in unterschiedlichen Bereichen zu Beeinträchtigungen der Leistungsfähigkeit ([127]; Vollrath & Krems [202]). Ältere Fahrzeuglenkende haben somit im Strassenverkehr mit erheblichen Einschränkungen zu kämpfen und weisen auch entsprechende Defizite auf, welche jedoch interindividuell unterschiedlich stark ausgeprägt sein können ([80]). Diese altersbedingten Beeinträchtigungen können in sensorische, kognitive und motorische Defizite unterteilt werden ([183]).

Altersbedingte Veränderungen bei der visuellen Fähigkeit zeigen sich unter anderem durch die abnehmende Sehschärfe, die Verengung des Blickfeldes, einer erhöhten Blendeempfindlichkeit sowie einer beeinträchtigten Hell/Dunkel-Adaptation (Vollrath & Krems [202]; [80]). Nebst der Tatsache, dass die Kontrastwahrnehmung beeinträchtigt sein kann, nimmt auch die Wahrscheinlichkeit einer Augenerkrankung zu (Vollrath & Krems [202]). Weiter können Geschwindigkeiten schlechter eingeschätzt werden und die Distanzwahrnehmung scheint beeinträchtigt zu sein ([80]). Mit zunehmendem Alter kommt es zudem zu Beeinträchtigungen des peripheren Sehens, des Blickverhaltens sowie der Suchstrategie ([44]). Weller et al. [183] konnten bei Senioren ein mangelhaftes Blickverhalten identifizieren: häufig wurde auf Schulterblicke verzichtet, obwohl diese in den jeweiligen Situationen erforderlich gewesen wären. Altersbedingte Einschränkungen beim Sehen können jedoch oftmals erfolgreich kompensiert werden (Vollrath & Krems [202]). Mit zunehmendem Alter lässt zudem das Hörvermögen nach ([127], [80]).

Auch kognitive Funktionen können im Alter beeinträchtigt sein (Falkenstein & Sommer [59]). So kommt es beispielsweise zu einer Verlangsamung bei den Prozessen der Informationsverarbeitung (Vollrath & Krems [202]; [80]).

Mit fortschreitendem Alter verändert sich auch der Bewegungsapparat, was eingeschränkte motorische Fähigkeiten bedingen kann ([134]). Es zeigen sich somit Defizite bei motorischen Handlungen ([80], [127]), welche sich u.a. durch eine allgemeine Verlangsamung sowie auch durch eine eingeschränkte Beweglichkeit bemerkbar machen

können ([80]). Ebenfalls kann es mit zunehmendem Alter zu Problemen mit dem Gleichgewicht kommen (Kenshalo, 1977; Simoneau & Leibowitz, 1996; Sloane, Baloh & Honrubia, 1989; Stelmach & Worringham, 1985; alle vier zit. n. [134]).

Gemäss [80] versuchen ältere Fahrzeuglenkende eine Vielzahl der genannten Defizite durch ein entsprechendes Kompensationsverhalten (z.B. Geschwindigkeitsreduktion) auszugleichen. Teilweise meiden ältere Verkehrsteilnehmende auch ganz gezielt komplexe und schwierige Verkehrssituationen, so dass sie beispielsweise nicht zu Zeiten Auto fahren, bei welchen eine hohe Verkehrsdichte zu erwarten ist (Vollrath & Krems [202]).

Auch für eine aktive Teilnahme des Langsamverkehrs sind motorische Fähigkeiten essentiell, wobei der altersbedingte Rückgang zu einer eingeschränkten Mobilität führen kann ([134]). Beim Velofahren können aufgrund motorischer Defizite zudem kritische Situationen resultieren ([134]): So kann sich gemäss [134] z. B. die eingeschränkte Beweglichkeit sowie Gleichgewichtsfähigkeit bei einem Abbiegemanöver negativ auswirken. Draeger & Klöckner, 2001, zit. n. [134]) weisen zudem darauf hin, dass auch bei der Spurhaltung, beim Anfahren sowie beim Auf- und Absteigen altersbedingte Schwierigkeiten auftreten können. Bei Zufussgehenden resultieren – aufgrund von Einschränkungen der motorischen Fähigkeiten – kleinere Schrittlängen sowie langsamere Gehgeschwindigkeiten (Bohannon, Andrews & Thomas, 1996, zit. n. [134]). Dies kann dazu führen, dass ältere Verkehrsteilnehmende infolgedessen zu wenig Zeit haben, den Querungsvorgang während der Grünphase erfolgreich zu realisieren (Danneskiold-Samsoe et al., 1984, zit. n. [134]).

Ergänzende Erkenntnisse und Hinweise zu den speziellen Anforderungen an die Leistungsfähigkeit, die der Strassenverkehr an die Kinder und an die älteren Verkehrsteilnehmenden stellt, finden sich in Kapitel 5.4.

## 2.4 Fazit zur selbsterklärenden Strassengestaltung

Damit die Fahraufgabe sicher bewältigt werden kann, müssen der Verkehrsumgebung bedeutsame Informationen entnommen werden (Vollrath & Krems [202]). Folglich sollte, in Hinblick auf eine selbsterklärende Strassengestaltung, die Verkehrsumgebung derart mit bedeutsamen Informationen ausgestattet werden, dass die Verkehrsteilnehmenden diese auch wahrnehmen können. Da der visuelle Kanal als der gewichtigste angesehen wird (beim Autofahren wird der Anteil auf über 90% geschätzt; [138]), ist insbesondere der visuellen Strassengestaltung eine grosse Bedeutung beizumessen. Es ist jedoch anzunehmen, dass auch die anderen Kanäle – wie z.B. der auditive Kanal – noch Potential bieten, um den Verkehrsteilnehmenden Informationen zu vermitteln. Der Blick verweilt gemäss ([138]) beim Autofahren mehrheitlich in dem Bereich des «Focus of Expansion». Wichtige Informationen sollten daher nicht in der Peripherie, sondern im Blickfeld der Verkehrsteilnehmenden präsentiert werden. In der Peripherie ziehen Bewegungen oder stark veränderte Kontraste die Aufmerksamkeit auf sich ([149]). Werden relevante Informationen in der Peripherie dargeboten, sollten diese demnach dynamisch erfolgen oder sich durch eine starke Kontrastveränderung von der Umgebung abheben. Die Erkenntnisse von Manser & Hancock [113] deuten darauf hin, dass Gestaltungselemente gezielt für die Beeinflussung der gefahrenen Geschwindigkeit eingesetzt werden könnten. Auch vestibuläre und auditive Informationen spielen nebst den visuellen für die Einschätzung der selbst gefahrenen Geschwindigkeit eine Rolle ([39]). Eine Möglichkeit wäre folglich, den Verkehrsteilnehmenden zudem mit Hilfe der Strassengestaltung auch auditive und vestibuläre Informationen über die individuell gefahrene Geschwindigkeit zu vermitteln (z.B. mit sogenannten Rüttelstreifen). Es wäre denkbar, dass der Strassenbelag derart gestaltet werden könnte, dass dieser bei schnellen Geschwindigkeiten von den Fahrzeuglenkenden auch auditiv oder vestibulär erfassbar wird. Ein starkes Rütteln sowie die dadurch entstehenden Geräusche könnten den Autolenkenden darauf aufmerksam machen, dass er zu schnell unterwegs ist und seine Geschwindigkeit drosseln sollte. Die Distanzwahrnehmung kann zudem bei erschwelter Sicht – durch eingeschränkt vorhandene visuelle Hinweisreize – beeinträchtigt sein ([39]; Vollrath & Krems [202]). So könnten bei schlechten Sichtbedingungen (z. B. Nacht oder Nebel) beispielsweise leuchtende Punkte als Orientierungshilfe dienen. Wichtig ist hierbei, dass deren Einsatz

möglichst adaptiv erfolgen sollte, also bei guten Sichtverhältnissen nicht leuchten. Letztere Idee deckt sich mit derjenigen von Van Houten [166], welcher darauf verweist, dass adaptiv eingesetzte Warnhinweise (also nur dann warnen, wenn auch eine Gefahr vorhanden ist) effektiver sind, als permanent vorhandene Informationen. So wird gemäss dem letztgenannten Autor beispielsweise ein Blinklicht, welches die Fahrzeuglenkenden vor Zufussgehenden an einem Fussgängerstreifen warnt, mehr beachtet, wenn es nur dann blinkt, wenn auch tatsächlich Zufussgehende queren möchten.

Inattentional Blindness (vgl. [112]) ist die Folge einer falschen Aufmerksamkeitsausrichtung. Im Strassenverkehr kann sich dies z.B. dadurch zeigen, dass Fahrzeuglenkende die Aufmerksamkeit beim rechts abbiegen z. B. auf den rechts vorhandenen Fussgängerstreifen richten und so unter Umständen einen geradeaus fahrenden Velofahrenden, welcher parallel von hinten ebenfalls sich dem Kreuzungspunkt annähert, übersehen. Damit solche Situationen nicht eintreten, müsste der Fahrzeuglenkende auf die zusätzliche Gefahr aufmerksam gemacht werden. Wie bereits weiter oben erwähnt, sollten dabei Informationen und Reize nur dann auftauchen, wenn sie für die jeweilige Situation auch wirklich relevant sind – bezogen auf das Beispiel also nur dann, wenn sich auch tatsächlich ein Velofahrer oder eine Velofahrerin annähert. Es liegt zudem nahe, dass Fahrzeuglenkende in einer Stadt mit einer hohen Velo-Exposition (z. B. Kopenhagen oder Amsterdam) auch viele Velofahrende erwarten. Sind Velofahrende in einer Stadt oder in einem Bereich hingegen selten anzutreffen, so werden sie auch nicht erwartet und infolgedessen vermutlich eher übersehen. Auf der Autobahn wird beispielsweise unter Umständen ein Rückstau auf der linken Spur weniger erwartet als auf der rechten Spur. Demnach wäre ein situationsaktueller Stauhinweis für die jeweilige Spur einem allgemeinen Hinweis vorzuziehen.

Die Aufmerksamkeitszuwendung kann entweder top-down (willentlich) oder bottom-up (reizgesteuert) erfolgen (Vollrath & Krems [202]; [51]). Eine selbsterklärende Strassengestaltung kann sich dabei v. a. den bottom-up Ansatz zu Nutze machen, indem versucht wird, mit blinkenden oder auditiven Reizen, die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden zu erhalten. Möglich wäre, dass bei der Darbietung von Informationstafeln der Blick der Verkehrsteilnehmenden mit zunehmender subjektiver Bekanntheit des Ortes top-down gesteuert wird. Verkehrsteilnehmende würden dann infolgedessen bestenfalls aktiv nach dem Vorhandensein einer Information an einem bestimmten Ort – also bottom-up gesteuert – suchen. Gemäss [41] ziehen sich verändernde, starke und ungewöhnliche Reize grundsätzlich die Aufmerksamkeit auf sich. In Anlehnung an das SEEV-Modell ([188]; [186]) sollte die Strasse sowie die Verkehrsumgebung bei den Verkehrsteilnehmenden eine gewisse Erwartung hervorrufen. So haben Fahrzeuglenkende beim Durchfahren einer engen Kurve u. U. die Erwartung, dass diese gefährlich sein könnte. Auch sollte – in Anlehnung an das SEEV-Modell – jeweils der Wert einer Information vermittelt werden, so dass für den Verkehrsteilnehmenden klar ist, welche Wichtigkeit die Information darstellt und welche Bedeutung sie für die eigene Person besitzt. Auch sollten die Reize möglichst salient gestaltet werden, damit sie die Aufmerksamkeit auf sich ziehen ([188], [186]). Die Information sollte sich folglich von der Umgebung abheben. Denkbar wäre, dass dies einerseits dadurch ermöglicht werden kann, dass die Umgebung «aufgeräumt» gestaltet wird, so dass sich die relevante, saliente Information von alleine abhebt. Ebenfalls in Anlehnung an das SEEV-Modell sollten Informationen auch niederschwellig angeboten werden: Dies bedeutet, dass wichtige Hinweise jeweils an den Stellen dargeboten werden sollten, welche die Fahrzeuglenkenden sowieso bereits fixieren.

Hinsichtlich einer selbsterklärenden Strassengestaltung stellt sich sowohl für den Ansatz der beschränkten Informationsverarbeitungsprozessen (z.B. [125], [145]) als auch multiplen Ressourcen ([189]) die Frage, ob und in welchen Situationen z.B. zusätzliche auditive Informationen von Vorteil wären. Ein-Kanal-Theorien ([125], [37], [182], [145]) gehen davon aus, dass eine zeitgleiche Verarbeitung auf zwei unterschiedlichen Kanälen kaum möglich sei. Gemäss dem Ansatz der multiplen Ressourcen ([189]) wären hingegen bei einer Verarbeitung auf dem visuellen Kanal etwa immer noch Kapazitäten frei für eine auditive Verarbeitung von Information. Folglich wäre es für Fahrzeuglenkende möglich, dass sie trotz visueller Konzentration auf die Verkehrsumgebung auditive Warnsignale wahrnehmen, verarbeiten und darauf angemessen reagieren könnten.

Der regelbasierte Prozess im Modell von Rasmussen [132] beruht darauf, dass die Verkehrsteilnehmenden bereits (Verkehrs-)Regeln kennen. Dies kann man sich insofern zunutze machen, als Fahrzeuglenkende intuitiv das situationsangemessene Verhalten zeigen, wenn gleiche Strassensituationen auch ähnlich gestaltet werden sollten. Werden gleiche Zeichen für das Vermitteln von identischen Informationen genutzt, so deckt sich dies auch mit den jeweils gelernten Erwartungen. Dabei ist es wichtig, dass Personen Erfahrungen sammeln und lernen, wann welche Regeln gelten und sie diese anwenden müssen. Eine einheitliche gesamtschweizerische – oder sogar -europäische – Gestaltungsgrundlage würde diesen Aspekt begünstigen und vereinfachen. Beinhaltet die Verkehrsumwelt zu viele Reize und Informationen (z.B. «Schilderwald»), so kann der Prozesse der Informationsverarbeitung überfordert werden ([23]). Gemäss Schlag et al. [200] sollte die Strassengestaltung eine mittlere Aktivierung auslösen; demnach wäre eine mittlere Reizdichte (z. B. Beschilderungen) angezeigt. Um eine Überforderung insbesondere in komplexen Verkehrssituationen zu vermeiden, sollten folglich kognitive Spitzen dahingehend abgefangen werden, als ermöglicht wird, diese in kleinere Einheiten zu unterteilen. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass den Verkehrsteilnehmenden mehr Zeit zu Verfügung gestellt wird, indem Langsamfahr- oder Wartephase – etwa mithilfe von Lichtsignalanlagen – in die Verkehrsumgebung integriert werden. Für den Langsamverkehr zeigt sich dieser Effekt beispielsweise durch Mittelinseln: Personen können beispielsweise eine komplexe und stark befahrene Strasse in zwei Etappen überqueren.

In Anlehnung an das Konzept des Situationsbewusstseins nach ([53], [54]) ist es von zentraler Bedeutung, dass eine wichtige Information (z. B. Verkehrszeichen) auch gesehen werden kann und nicht beispielsweise durch ein Sichthindernis verdeckt wird. Weiter muss gemäss diesem Konzept das Zeichen oder eine Regel verstanden, also von den Verkehrsteilnehmenden auch korrekt gedeutet werden. Nicht zuletzt erhöht das Verständnis des Anlasses einer (Verkehrs-)Regel auch deren Akzeptanz und Befolgung ([147]).

In Anlehnung an [55] ist eine Situation, die nicht erwartet wird (z. B. eine Person, die mit dem Velo unterwegs ist und an einer T-Kreuzung entgegen der Signalisation von rechts kommt), regelmässig nicht selbsterklärend. Verkehrsteilnehmende haben bestimmte Schemata im Kopf und damit auch spezifische Erwartungen an eine Verkehrssituation. Können in spezifischen Situationen die Schemata nicht erfolgreich angewendet werden (z. B. in Baustellen), kann es zu gefährlichen Situationen kommen. Demnach sollte die Strassengestaltung möglichst schemagetreu, also den Erwartungen der Verkehrsteilnehmenden entsprechend, erfolgen und zwar idealerweise immer nach dem gleichen Prinzip. Ein Beispiel für eine nicht-selbsterklärende Situation im Strassenverkehr ist ein grüner Rechtsabbiege-Signalgeber an einer LSA mit einem zusätzlichen orangen Blinklicht. Während Ersteres dem Fahrer die freie Fahrt kommuniziert, beinhaltet Letzteres eine dem widersprechende, zumindest aber zuweilen verwirrende Information.

Wichtige Informationen sollten nur dann dargeboten werden, wenn diese für die aktuelle Situation auch relevant sind. Ein Verkehrszeichen zur Warnung vor querenden Kindern, welches immer sichtbar ist, verliert auf Dauer den warnenden Charakter. Besser wäre ein adaptiver Hinweis ([166]), welcher nur in den relevanten Zeitfenstern (wenn die Kinder auch tatsächlich unterwegs sind) leuchtet. Dies ist aufgrund zweier Aspekte förderlich: Einerseits wird die Aufmerksamkeit nicht auf zuweilen unnötige Hinweise gelenkt, womit es zu weniger kognitiver Überforderung kommt, und andererseits entspricht das adaptive Signal auch eher den in der jeweiligen Zeitphase des Passierens des Bereichs gemachten Erfahrungen der Verkehrsteilnehmenden. Beide Aspekte wären im Sinne einer selbsterklärenden Strassengestaltung förderlich.

Eine selbsterklärende Strassengestaltung könnte Verkehrsteilnehmenden zudem mit Hilfe von gestalterischen und baulichen Elementen spezifische Informationen über die motorische Ebene mitteilen. Wird an einer Mittelinsel beispielsweise auf der einen Seite der Randstein abgeflacht oder entnommen, so wird dadurch gekennzeichnet, dass Velofahrende an dieser Stelle den Bereich queren sollten. Diese Massnahme wirkt sich zudem positiv auf den Komfort des Velofahrens aus.

Insbesondere ältere Verkehrsteilnehmende können gemäss [59] von einer klaren räumlichen Trennung relevanter und nicht relevanter Hinweise sowie deren Darbietung an

vorhersehbaren Orten, profitieren. Ältere Velofahrende kennen oft ihre Defizite genau und haben so die Option, diese gezielt (z. B. durch Absteigen an gefährlichen Stellen) zu kompensieren ([178]). Haltebuchten sind eine gute Möglichkeit, den älteren Verkehrsteilnehmenden einen Platz zum Ausruhen zu ermöglichen sowie allen anderen eine Überholmöglichkeit zu bieten ([134]). Weiter sollten Grünphasen so signalisiert werden, dass auch ältere Zufussgehende die Strasse ohne Zeitdruck queren können ([134]).



## 3 Ursachen für Fehlverhalten im Strassenverkehr

### 3.1 Einleitung

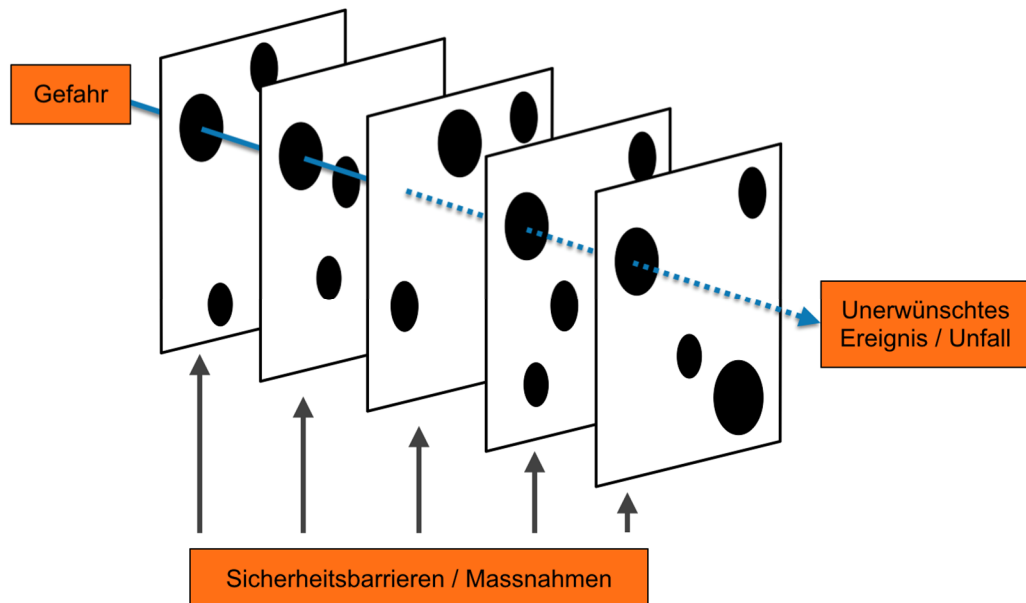
Nicht jede menschliche Fehlverhaltensweise mündet direkt in einen Unfall. Trotzdem sind Fehlhandlungen zentrale Bestandteile der Unfallentstehung. Bei mehr als 90% aller schweren Autounfälle mit Verletzten und Toten spielt der Lenkende eine wesentliche Rolle (Vollrath & Krems [202]). Die frühe Unfallforschung war noch von der Vorstellung des «Unfällers» geprägt (z. B. [114], [60], zit. nach [124]). Nach dieser Auffassung weisen Menschen eine Prädisposition für ein auffälliges Unfallverhalten auf. Heute werden die Ursachen, wie und weshalb es zu einem Unfall kommen kann, als deutlich umfassender und komplexer eingeordnet. Obwohl die Idee des «Unfällers» überholt und die Bandbreite möglicher Unfallursachen bekannt ist, wurden dennoch über eine lange Zeitspanne nur bedingt Informationen zu Unfallursachen<sup>1</sup> bei Unfällen registriert ([77], Vollrath & Krems [202]). Es wurden dafür Angaben, wie der offensichtliche Zustand des Fahrers, sein Alter, der Typ des Fahrzeugs, die Tageszeit oder Wetterbedingungen notiert. Da für die Klärung der Unfallschuldfrage die Gründe für ein bestimmtes Fehlverhalten jedoch nur nebensächlich sind, fanden in der Vergangenheit spezifische Unfallursachen oder Angaben zu begangenen Fehlern nur selten den Weg in die Unfallberichte ([77]). Aufgrund der Einschränkungen bei der Unfallaufnahme durch die Polizei (u. a. fehlende Informationen zu den Ausgangsgeschwindigkeiten, keine objektiven Aussagen der Unfallbeteiligten, zu wenige zur Verfügung stehende Informationen) haben mehrere Forschergruppen mit unterschiedlichen Ansätzen und Erfolgen versucht, Detailanalysen von Unfallursachen zu erstellen. Eines der Ziele war dabei, die relativen Risiken für einzelne Verhaltensweisen berechnen und vergleichen zu können. Solche Methoden reichen von der simplen Befragung von Unfallbeteiligten bis hin zur Auswertung von Echtzeitfahrverhalten direkt vor und während eines Unfalls (z.B. [49]).

Um das Fehlverhalten von Verkehrsteilnehmenden nachvollziehen zu können, bedarf es einer Auseinandersetzung mit den entsprechenden Ursachen bzw. dem schrittweisen Unfallablauf. Auch wenn jeder Unfall unterschiedliche Einflussfaktoren aufweist und als einmaliges Ereignis betrachtet werden sollte, führen gewisse Konstellationen respektive Begebenheiten in höherem Ausmass zu Unfällen als andere. Ein gutes Beispiel dafür sind Unfallschwerpunkte im Strassennetz. Wenn die Verkehrsteilnehmenden zwei Knoten hintereinander befahren aber sich nur an einem Knoten die Unfälle häufen, dann weist dieser Knoten eine ungünstige Charakteristik auf, welche wiederholt zu Unfällen führt. In diesem Kapitel sollen relevante Fehlverhaltensweisen identifiziert, in Gruppen gegliedert und anhand des Unfallgeschehens einer Priorisierung unterstellt werden.

### 3.2 Unfallentstehung und Fehlerklassifikation

Besonders die „Human Factors“-Forschung der 1980er und 1990er Jahre hat sich stark damit befasst, wie Fehlleistungen entstehen können (z.B. [131], [135], [142] oder [187]). Obwohl der Zustand des Fahrers eine wesentliche Rolle bei der Unfallentstehung spielt, besteht das Zustandekommen eines Unfalls jedoch meist aus einer Verkettung von mehreren, ungünstigen Ereignissen und Begebenheiten. Reasons „Swiss-Cheese-Model“ verdeutlicht den Ansatz der multikausalen Fehlerentstehung, bevor es zu einem Fehlverhalten oder Unfall kommt (s. Abb.6, [135]).

<sup>1</sup> Hier nicht mit den polizeilichen Unfallursachen zu verwechseln, welche vordergründig der Klärung der Schuldfrage dienen.



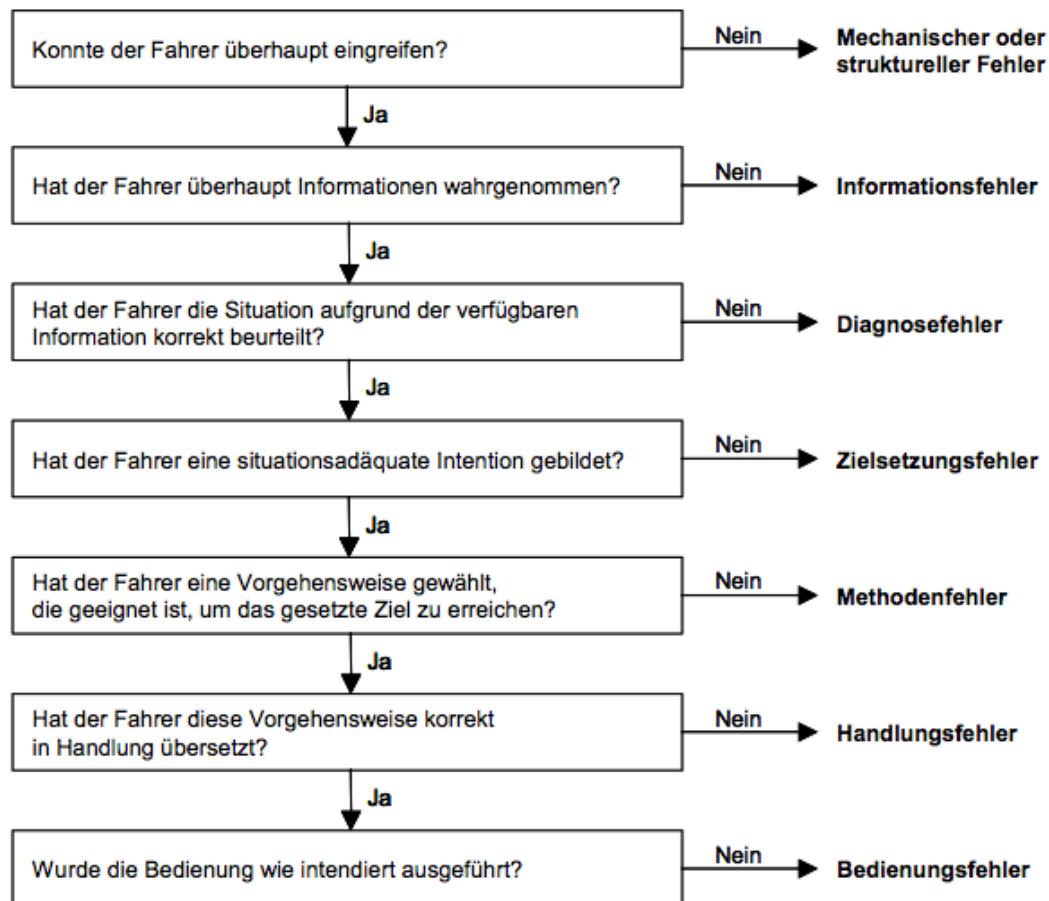
**Abb.6** Schweizer-Käse-Modell in Anlehnung an [135], S. 256; Schematische Darstellung für die multikausale Unfallentstehung. (Unfälle entstehen erst dann, wenn mehrere Sicherheitsbarrieren nicht greifen. In diesem Fall verhindert eine Sicherheitsbarriere, dass es zu einem Unfall kommt (blauer Pfeil).)

Der Umstand, dass erst mehrere Fehlverhaltensweisen zu einem Unfall führen, rückt die Einteilung von Fehlerklassifikationen stärker in den Vordergrund. Rasmussen [131] beispielsweise entwickelte ein dreistufiges Fehlermodell, welches 13 verschiedene Fehlertypen in fähigkeitsbasierte, regelbasierte und wissensbasierte Fehlleistungen unterteilt.

- **Fähigkeitsbasierte** („skill-based“) Fehlleistungen sind automatisierte Prozesse oder unbewusste Routineabläufe, bei denen gespeicherte Muster von Verhaltensweisen automatisch ablaufen ([135]). Fehler können dabei aufgrund von Variabilität in der Koordination von Kräften, Raum und Zeit entstehen.
- Bei **regelbasierten** („rule-based“) Fehlhandlungen geschehen die Fehler hingegen aufgrund falscher Klassifikation oder Erkennung der Situation, was zur Anwendung einer falschen Regel führt.
- Bei neuartigen Situationen, in denen bewusste analytische Prozesse und gespeichertes Wissen benötigt werden, können bei fehlerhaftem Wissen oder bei Einschränkungen von Ressourcen **wissensbasierte** („knowledge-based“) Fehlleistungen entstehen.

Zimmer 2001, adaptiert Rasmussens Fehlerentstehungsmodell auf das Lenken von Fahrzeugen und reduziert es dadurch auf sieben mögliche Fehler (s. Abb.7, nach [77]; nach Vollrath & Krems [202]).



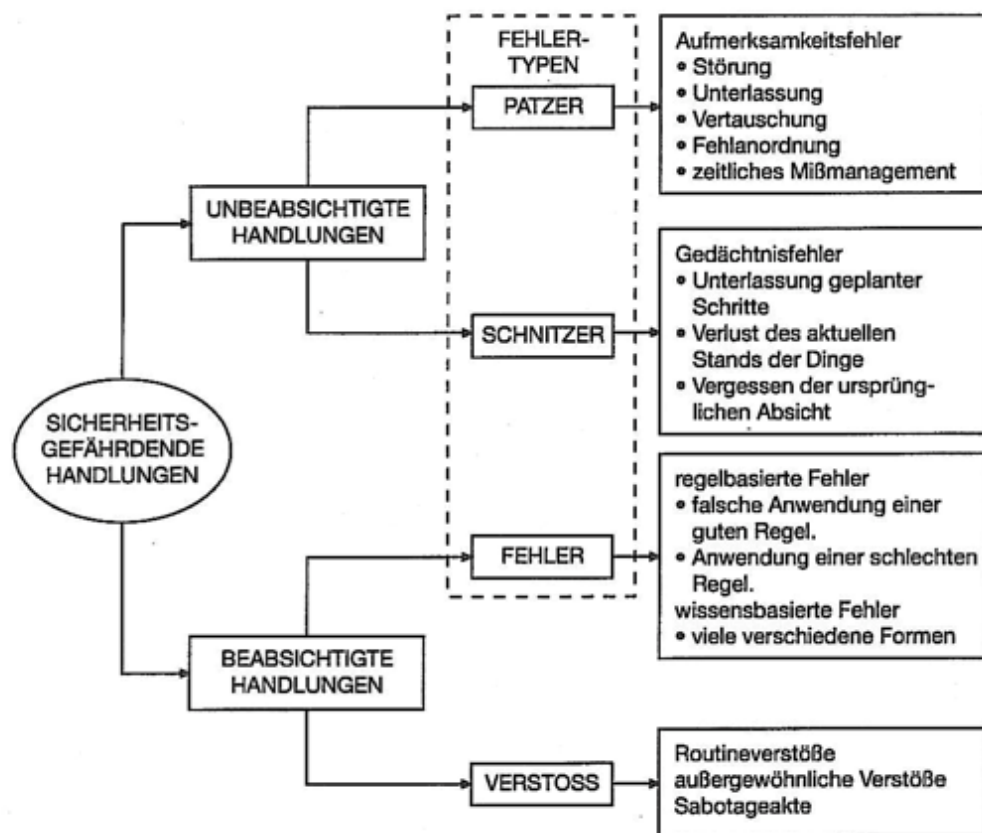


**Abb.7** Klassifikation von Fehlhandlungen beim menschlichen Informationsverarbeitungsprozess (in Anlehnung an Rasmussen, 1982, adaptiert von Zimmer, 2001, zit. n. [77], S.83, zit. n. Vollrath & Krems [202], S. 46)

- *Mechanische oder strukturelle Fehler* haben nur bedingt etwas mit dem Fehlverhalten der Lenkenden zu tun. Wenn zum Beispiel ein Tier auf die Fahrbahn läuft (struktureller Fehler) oder ein Reifen platzt (mechanischer Fehler), kann der Person nur indirekt ein Fehler attestiert werden (z. B. mangelnde Wartung des Fahrzeugs).
- Bei *Informationsfehlern* jedoch ist es die lenkende Person, welche die handlungsrelevante Information gar nicht erst oder zu spät sieht respektive wahrnimmt ([77]).
- Wird handlungsrelevante Information zwar gesehen, aber falsch interpretiert, liegt ein *Diagnosefehler* vor (z. B. falsche Einschätzung der Absichten anderer Verkehrsteilnehmender).
- *Zielsetzungsfehler* geschehen aufgrund falscher Entscheidungen (z. B. Ausweichen auf die falsche Seite oder gefährliches Umfahren eines Gegenstandes/Tieres).
- *Methodenfehler* entstehen bei mehreren Optionen, wobei eine falsche gewählt wird (z. B. Betätigen der Hand- statt Fussbremse). Im Strassenverkehr sind die Optionen jedoch meist reduziert, weshalb solche Fehler im Strassenverkehr auch eher selten anzutreffen sind ([77]).
- Eine falsche Ausführung der Handlung, die zur Erreichung eines Ziels führt, wird als *Handlungsfehler* bezeichnet (z. B. zu starkes Lenken beim Ausweichen oder Ausbleiben einer Gegenlenkung).
- Wenn hingegen ein Fehler in der Mensch-Maschine-Schnittstelle auftritt, wird ein *Bedienungsfehler* verzeichnet (z. B. Benutzung des Gaspedals statt der Bremse).

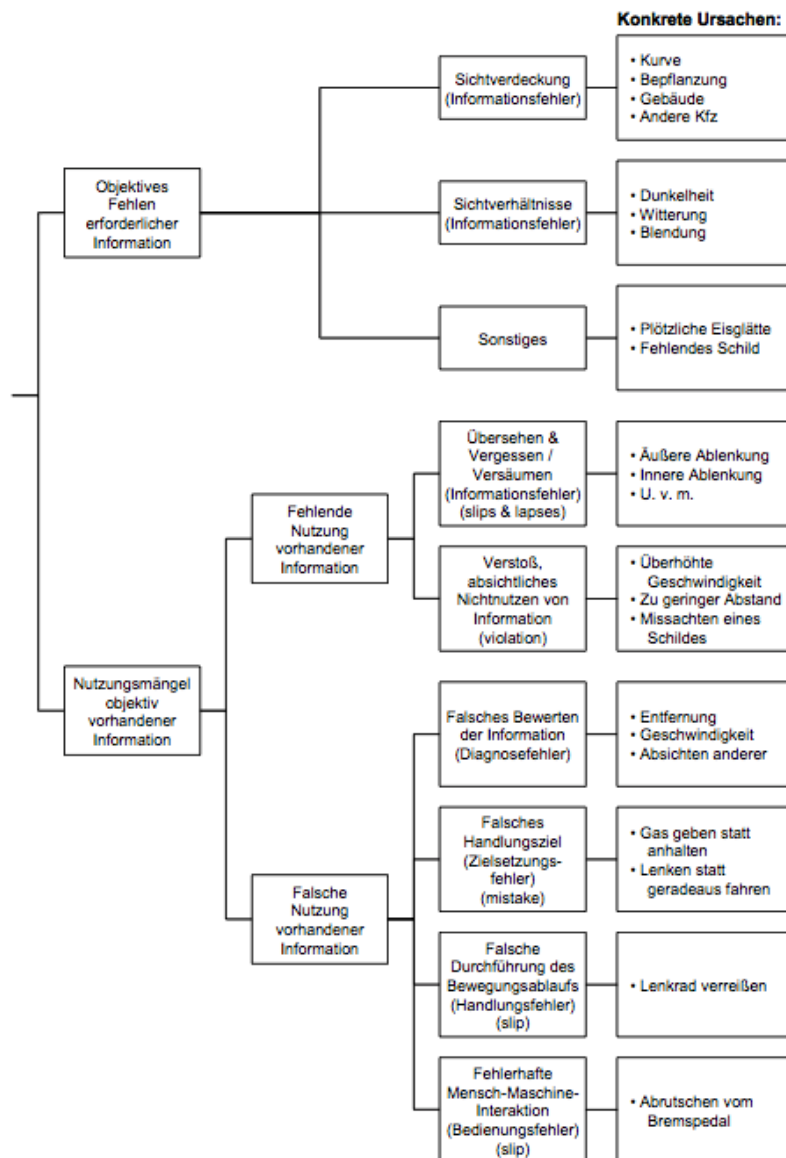
Der Vorteil des Klassifikationssystems von Rasmussen [131] respektive dessen Adaption von Zimmer, 2001, ist gemäss [77] die lückenlose Erfassung sämtlicher Fehlleistungen zwischen Informationsaufnahme und Handlungsausführung.

Auch Reason entwickelte ein ähnliches Fehlerklassifizierungsmodell wie Rasmussen: das *Modell der gefährdenden Verhaltensweisen* (s. Abb.8; [135]). Er unterteilt jedoch Handlungen in beabsichtigte und unbeabsichtigte Verhaltensweisen. Die beiden wichtigsten Fehlertypen von Rasmussen, die Informations- respektive Zielsetzungsfehler, sind auch im Modell von Reason als Aufmerksamkeits- respektive regel- & wissensbasierte Fehler zu finden. Der grösste Unterschied zum Modell von Rasmussen ist allerdings die Hinzunahme von „Verstössen“ unter den beabsichtigten Handlungen. Als Beispiele für Verstöße nennt [77] eine absichtlich überhöhte Geschwindigkeit, ein zu geringer Sicherheitsabstand oder die bewusste Missachtung von Verkehrszeichen. Reason [135] unterscheidet drei Fehlertypen, wovon Patzer („slips“, führen zu Aufmerksamkeitsfehlern) und Schnitzer („lapses“, Gedächtnisfehler) unbeabsichtigt geschehen, Fehler („mistakes“, regel- & wissensbasierte Fehler) hingegen sind beabsichtigt.



**Abb.8** Modell der sicherheitsgefährdenden Verhaltensweisen nach [135], S.255

Hacker [85] verknüpfte die beiden Fehlerentstehungsmodelle von Rasmussen und Reason (s. Abb.9). Hacker unterscheidet jedoch in einem ersten Schritt, ob für die Unfallentstehung *relevante Informationen* vorhanden sind oder nicht (z. B. bei Sichtverdeckung). Auch wenn wichtige Informationen vorhanden sind, kann es trotzdem zu Fehlern kommen, wenn z. B. die Information absichtlich nicht genutzt wird (analog zu „Verstössen“ bei [135]) oder die Information z. B. durch Ablenkung ausserhalb des Fahrzeugs unabsichtlich falsch genutzt wird (Informationsfehler, analog zu Rasmussen, nach [77]). Gemäss [77] entspricht das falsche Bewerten von Informationen den Diagnosefehlern von Rasmussen. Die Auswahl eines falschen Handlungsziels entspricht den Zielsetzungsfehlern von Rasmussen sowie den „Fehlern“ von Reason (s. Abb.8). Fehler in der Durchführung eines Handlungsablaufs entsprechen den Handlungs- und Bedienungsfehlern von Rasmussen sowie den „Patzern“ von Reason.



**Abb.9 Fehlerklassifikation nach [85] mit Beispielen für Ursachen im Strassenverkehr (Aufzählung nicht abschliessend); Grafik aus [77], S.91)**

### 3.3 Fehlertaxonomiesysteme

Bereits im Übersichtswerk der Verkehrspsychologie von Klebelsberg [103] wird das Geschwindigkeitsverhalten als eine der Haupteinflussgrößen für das Unfallgeschehen beschrieben. Dabei weisen die Autoren darauf hin, dass schlussendlich jeder Unfall durch eine Geschwindigkeitsherabsetzung zu vermeiden wäre, was spätestens beim Stillstand am trivialsten verdeutlicht wird. Obwohl überhöhte Geschwindigkeit gemäss Unfallzahlen zu den Hauptunfallursachen (z. B. [25] [26]) gezählt wird, wäre es aber zu einfach, jeden Unfall als Geschwindigkeitsunfall zu kategorisieren. Übergeordnet stellt sich folglich aber die Frage, was die „wahre“ Ursache für die unangepasste Geschwindigkeit gewesen sein könnte. Denkbar wären beispielsweise eine inakkurate Geschwindigkeitswahrnehmung oder Unaufmerksamkeit. Offen ist damit, welches Fehlverhalten dann schlussendlich berichtet wird. Da Unfällen meist mehrere Ursachen respektive Einflussgrößen zugrunde liegen, ist es aber nur bedingt möglich, *die eine* Ursache für den Unfall zu finden (vgl. Schweizer-Käse-Modell, s. Abb.6). Da in Polizeiprotokollen dennoch oft nur eine, meist relativ wenig umfassende Unfallursache (wie z. B. unangepasste Geschwindigkeit) berichtet wird, werden laut [77] Detailanalysen von Unfällen gewisse Schwachpunkte unterstellt. Auch das simple Befragen von Beteiligten kann gewisse Nachteile mit sich

bringen, da häufig die unfallverursachenden Personen keine aus ihrer Sicht falschen Aussagen machen möchten. Häufig wird deshalb auf Klassifizierungssysteme mit unterschiedlichen Ansätzen zurückgegriffen, meist Kombinationen aus Befragungen, Unfallprotokollauswertungen und Beobachtungen. Folgend werden ausgewählte Klassifizierungssysteme mit deren Auswertungen – und unter Zugrundelegung der bereits angedeuteten Schwächen – aufgeführt.

Böhm und Kollegen [27] erweiterten ein bestehendes Klassifizierungssystem von Undeutsch (1962) zu einem Einstufungssystem mit zehn „*Hauptunfallursachen*“ sowie zehn „*Hintergrundbedingungen*“ (nach [77]). Das *Abgelenktsein*\* wird dabei als häufigste Hauptunfallursache genannt (36.4%). Ebenso sind *falsche Abschätzungen* (30.2%), *eingeschliffene Verhaltensweisen und Gewohnheiten* (25.3%) und *falsche Erwartungen bezüglich anderer Verkehrsteilnehmenden* (17.9%) häufige Unfallursachen (Überblick in [77]). Eine deutlich geringere Verbreitung weisen die restlichen Hauptursachen auf (Indirekte Situationsbeurteilung<sup>2</sup>, 12.3%; Korrektur des Fehlverhaltens, 11.1%; Durchbruch natürlicher Verhaltenstendenzen, 8.0%; Bewusst regelwidriges Verhalten, 3.7%; Falsche Interpretationen von Verkehrsregeln, 3.1%; Wahrnehmungs- oder Reaktionsstörungen, 1.9%).

---

### \*Exkurs: Ablenkung, Unaufmerksamkeit & Vigilanz

(Quellen: [15], [17]; Hackenfort [198])

Ablenkung und Unaufmerksamkeit sind im Strassenverkehr in der Regel unerwünscht, jedoch allgegenwärtig. Zwar wird Ablenkung und Unaufmerksamkeit immer wieder als eine der häufigsten Ursachen für Verkehrsunfälle erwähnt, unklar bleibt jedoch oft, um welche Form von Ablenkung es sich dabei handelt. Gerade für die genaue Erfassung von Unfallursachen gilt es, die verschiedenen Arten und Formen von Ablenkungen und Unaufmerksamkeiten zu differenzieren.

Externe Reize – also alles was sich in der unmittelbaren Umgebung der Strassenverkehrsteilnehmenden befindet – können von der Person *visuell*, *auditiv*, *haptisch* oder *vestibulär* wahrgenommen werden. Findet eine solche Aufmerksamkeitslenkung statt, hin zu einem für die Fahraufgabe irrelevanten Stimulus (z. B. einem Werbeplakat), dann erfährt die Person eine **äussere/externe Ablenkung**. Im Strassenverkehr ist besonders die visuelle Aufmerksamkeit zentral für die akkurate Erfüllung der Fahraufgabe, was die *visuelle Ablenkung* zu einem der zentralen Probleme macht. Auch *auditive Ablenkung* (z. B. Radiohören) kann jedoch die Fahraufgabe massgeblich beeinträchtigen, in dem die Aufmerksamkeit beispielsweise auf die Musik, anstatt die Geräuschkulisse des Verkehrs gerichtet wird.

Eine Person kann jedoch auch abgelenkt sein, indem sie sich *gedanklich* mit Dingen beschäftigt, welche nichts mit der Fahraufgabe zu tun haben (z.B. während der Fahrt mental die Einkaufsliste durchgehen oder das Gespräch zuvor mit dem Chef verarbeiten). Solche **inneren/internen Ablenkungen** können unsere Aufmerksamkeit ebenso beanspruchen, wie die Reize aus der Umgebung, jedoch sind diese nicht direkt sicht-, hör- oder spürbar. Unfälle können dabei zustande kommen, wenn zu viele kognitive Ressourcen für die Verarbeitung der Gedanken verwendet werden, so dass sie schliesslich für die Verarbeitung der relevanten Stimuli fehlen. Ein Beispiel dafür sind die sog. *looked-but-failed-to-see* Unfälle, bei welchen die Leute zwar die wichtigen Stimuli (z.B. das

---

<sup>2</sup> Unter indirekten Situationsbeurteilungen sind diejenigen psychischen Vorgänge zusammengefasst, in denen der Fahrer sich keinen erschöpfenden Überblick über die Situation verschafft, sondern sich mit Anhaltspunkten begnügt, von denen aus er die übrige Situation erschliesst ([174]).

kollidierende Fahrzeug) fokussieren, jedoch aufgrund der inneren Ablenkung nicht instande sind, die Szenerie kognitiv zu verarbeiten und adäquat zu reagieren.

Zur «Ablenkung» wird teils auch der Begriff der **Unaufmerksamkeit** synonym verwendet, welcher jedoch nicht direkt dasselbe beinhaltet (Hackenfort [198]). Während die Ablenkung den Prozess des Konzentrierens auf einen internen Gedanken oder einen externen Stimulus versteht, kann die Unaufmerksamkeit als genereller Gemütszustand verstanden werden, welcher stärker von personenbezogenen Faktoren abhängt wie z. B. der Müdigkeit, der Impulskontrolle oder der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit der Person. Das Gegenstück zur Unaufmerksamkeit stellt die **Vigilanz** oder Daueraufmerksamkeit dar, welche den Zustand einer erhöhten und dauerhaften Reaktionsbereitschaft beschreibt.

---

Bei den Hintergrundbedingungen scheinen vor allem die *Mangelnde Vertrautheit mit den Erfordernissen des Verkehrs* (37%) sowie *Eile* (34.6%) weit verbreitet (Böhm et al. [27], nach [77]). Eine geringere Rolle bei Unfällen spielen Böhm et al., 1965, zufolge die übrigen Hintergrundbedingungen (Stimmung, 16.7%; Mangelnde Beherrschung des Unfallfahrzeugs, 16.0%; Vorübergehende Beeinträchtigung in Zusammenhang mit physiologischen Vorgängen, 16.0%; Geltungsbedürfnis, 4.9%; Mangelnde Beachtung des Zustands des Fahrzeugs, 4.3%; Mangelnde Kenntnis der Verkehrsregeln, 4.3%; Aggressivität, 0.6%; Dauernde Beeinträchtigung; 0.6%, nach [77]).

Das Konzept des „menschlichen Versagens“ nach [126] hat einen stark psychologisch geprägten Charakter und ist mit nur acht verschiedenen Unfallursachen komprimierter als das Klassifizierungssystem von Böhm et al. (nach [77]). Im Folgenden sind die Ergebnisse aus den Analysen von Otte [126] aufgeführt (nach [77]; Prozentzahlen entsprechen den Häufigkeiten der jeweiligen Fehlverhaltensweisen):

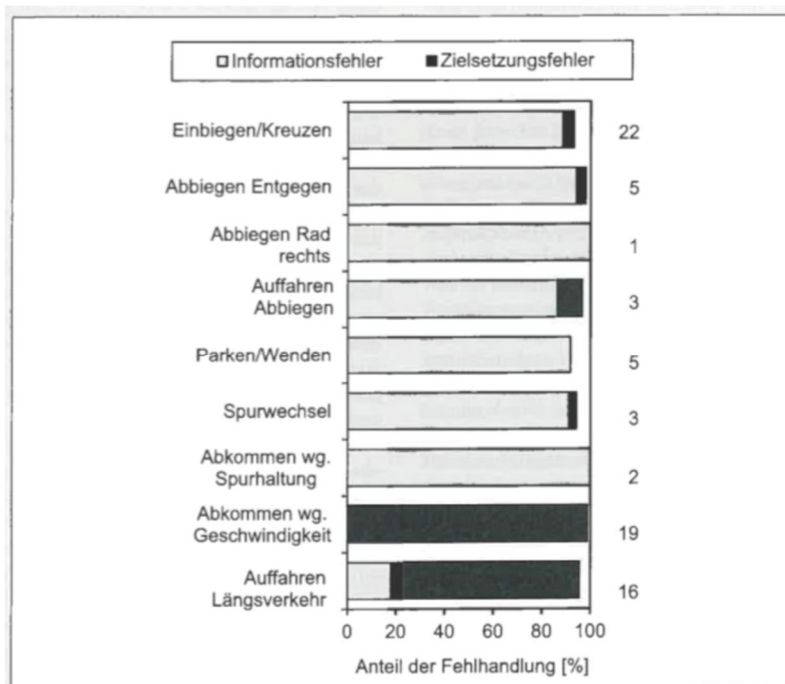
- 25% *Überforderung durch unangemessene Informationsgeschwindigkeit* (überraschendes, nicht vorhersehbares (Fehl)verhalten eines oder mehrerer anderer Verkehrsteilnehmenden)
- 24% *Zu geringe Aktivierung* (z. B. Übermüdung, Alkoholisierung oder eingeschliffene Verhaltensweisen)
- 12% *Detailüberforderung* (Unkenntnis des richtigen Fahrverhaltens in einer bestimmten Situation)
- 9% *Äussere Ablenkung\** (Ablenkung aufgrund ausserindividueller Reize innerhalb oder ausserhalb des Fahrzeugs, z.B. Ablenkung durch andere Verkehrsteilnehmende oder Werbung)
- 8% *Zu hohe Aktivierung* (Eile, Zeitdruck oder Wichtigkeit der Fahrt)
- 8% *Innere Ablenkung\** (Ablenkung durch wichtige private oder berufliche Ereignisse, Belastungen und Probleme)
- 6% *Überforderung durch unangemessenen Informationsumfang* (Überforderung des optisch- sensorischen Wahrnehmungsapparates, z. B. bei mangelnder Ortskenntnis)
- 6% *Angeborene Verhaltensmuster* (Überlagerung eines korrekten, erlernten Fahrverhaltens durch ein angeborenes Verhaltensmuster, z.B. sofortiges Betätigen der Bremse als unwillkürlich ablaufende Reaktion auf eine plötzliche Reizeinwirkung)

Gründl, M. [77] führte eine Detailanalyse zu Unfallursachen kurz vor Unfällen durch, basierend auf den Klassifikationssystemen von Reason, 1990, und Rasmussen [132]. In einem Literaturüberblick über Ursachen von Verkehrsunfällen nennt er die fehlende *visuelle Aufmerksamkeit* als einen der wichtigsten Faktoren, jedoch sei dies nur selten die alleinige Ursache. Als häufige Ablenkungsquelle nennt er ebenfalls Radios, lose Objekte im Fahrzeug und Interaktionen mit anderen Personen oder Tieren (in Anlehnung an Wierwille & Tijerina, 1995, nach [77]). Auch Stutts et al., 2001, fanden, dass rund die Hälfte der Fahrzeuglenkenden während dem Unfall *unaufmerksam* waren (nach [77]).

In den eigenen Analysen fand Gründl auf Basis von 312 untersuchten Unfällen bei 240 Unfällen (77%) einen *Informationsfehler* (Ablenkungs- & Wahrnehmungsfehler) als unfallverursachenden Grund. Deutlich seltener waren Handlungsfehler mit 38 Fällen (12.2%), wobei bei über der Hälfte der Unfälle mit Handlungsfehlern auch ein Informationsfehler vorausging. Nur selten waren Diagnosefehler (7.7%), strukturelle Fehler (7.4%), Zielsetzungsfehler (5.8%), Bedienungsfehler (1.9%) oder Methodenfehler (0) anzutreffen. Unabhängig vom Alter überwogen die Informationsfehler deutlich, allerdings ist der Anteil bei jungen Fahrzeuglenkenden deutlich geringer (44.9% bei unter 25-jährigen) als bei älteren (74.2% bei Senioren).

Die Auswertungen der Verstösse nach Reason (232 Unfälle) zeigte, dass *Überschreiten der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit* die häufigste Unfallursache darstellte (in 80 Fällen; 46.5%). *Zu geringer Sicherheitsabstand* war bei 15.7% und *Alkoholintoxikation* bei 14.5% der Unfälle ein aktiver Verstoß. Eine geringere Rolle spielten u. a. *Übermüdung* (5.2%), *Missachten von Vortritt-gewähren-Schildern* (3.5%) und *Stoppschildern* (2.9%) oder *Überholen im Überholverbot* (1.2%). Eine zusätzliche Regressionsanalyse brachte die *nicht angepasste Geschwindigkeit* als Hauptursache für Verkehrsunfälle zum Vorschein. Ebenfalls einen Einfluss hatten die Faktoren *Ausnahmeverstoß*, *mangelnde Ortskenntnis* (Beta = .15) sowie die *Sonnenblendung*.

Vollrath, Briest, Schiessl, Drewes & Becker [202] untersuchten ca. 1000 von Polizeibeamten ausgefüllte Unfallprotokolle, in welchen Informationen zur Unfallentstehung notiert wurden. Es zeigte sich, dass 76 % aller schweren Unfälle in *neun verschiedene Unfalltypen* eingeteilt werden können (s. Abb.10, Detailübersicht s. Tab. 1)<sup>3</sup>. Gemäss ihren Auswertungen spielen für die Unfallentstehung hauptsächlich *Informations-* und *Zielsetzungsfehler* eine zentrale Rolle.



**Abb.10** Neun verschiedene Unfalltypen in Anlehnung an Vollrath et al. [170], nach Vollrath & Kreams [202], S. 47

Bei 41% der schweren Unfälle gingen *Informationsfehler* voraus. Dabei kam es hauptsächlich zu Kollisionen, weil die vorfahrtsberechtigten Verkehrsteilnehmenden **nicht gesehen** wurden. Vollrath & Kreams [202] nennen folgende Ursachen für *Informationsfehler*:

<sup>3</sup> Dies lassen sich auch mit dem Schweizer Klassifikationssystem für die (zweistelligen) Unfalltypen abbilden.

- Objektiv fehlende Informationen (z.B. verdeckte Sicht auf entgegenkommendes Fahrzeug),
- Überforderung des Fahrers (zu viele oder zu schnell aufeinanderfolgende Informationen, u.a. auch aufgrund von Nebentätigkeiten wie Telefonieren),
- fehlerhafte Wahrnehmung in komplexen Situationen respektive Vergessen von relevanten Informationen aufgrund neuer dominanter Reize der Umgebung und
- Übersehen von Informationen (nur eingeschränkte Anzahl an relevanten Reizen kann verarbeitet werden).

Bei Unfällen, die durch **Zielsetzungsfehler** verursacht wurden, welche 35 % der schweren Unfälle ausmachten, setzten die Fahrzeuglenkenden meist falsche Ziele und fuhren zu schnell oder zu dicht auf (z. B. bei Auffahrunfällen). Die Autoren schliessen aus ihren Analysen, dass andere Verkehrsteilnehmende erkannt werden müssen, damit überhaupt reagiert werden kann (z. B. anhalten oder ausweichen) und die Verhaltensziele sollten besonders im Bereich der Längsführung (Abstand und Geschwindigkeit) an die Situation angepasst werden (z.B. bei schlechter Sicht oder dichtem Verkehr).

**Tab. 1** Übersicht über die häufigsten Unfalltypen und die dafür verantwortlichen Fehlhandlungen (nach Vollrath et al. [107], S.72)

	Anzahl		% alle Unfälle	
	Gesamt	Schwer	Gesamt	Schwer
<b>Einbiegen/Kreuzen Unfälle</b>	<b>695</b>	<b>211</b>	<b>16.3</b>	<b>21.2</b>
Vernachlässigung anderer, Unaufmerksamkeit	455	113	10.7	11.3
Vernachlässigung anderer wg. falscher Aufmerksamkeitsausrichtung	89	44	2.1	4.4
Vernachlässigung anderer wg. Fehleinschätzung, Situation	58	30	1.4	3.0
Fehlanpassung An-/Weiterfahren, Sichtbehinderung	33	8	0.8	0.8
Bewusst riskante Planung des Fahrmanövers	16	7	0.4	0.7
Vernachlässigung anderer, Fahrerzustand	9	5	0.2	0.5
Fehlanpassung Querführung an Straßenverlauf und andere	36	5	0.8	0.5
<b>Fahrunfälle</b>	<b>515</b>	<b>202</b>	<b>12.1</b>	<b>20.4</b>
Fehlanpassung Geschwindigkeit, Straßenzustand	354	128	8.3	12.9
Fehlanpassung Geschwindigkeit, Fahrerzustand	70	44	1.6	4.5
Vernachlässigung Querführung o. bes. Grund, Unaufmerksamkeit	62	21	1.5	2.2
Fehlanpassung Geschwindigkeit, Leistungsfähigkeit	29	9	0.7	1.0
<b>Unfälle im Längsverkehr Auffahren</b>	<b>933</b>	<b>149</b>	<b>21.9</b>	<b>15.1</b>
Fehlanpassung Abstand und Geschwindigkeit an andere	440	77	10.3	7.7
Fehlanpassung Abstand und Geschwindigkeit, Straßenzustand	338	45	7.9	4.5
Vernachlässigung Abstandshaltung, Unaufmerksamkeit	55	16	1.3	1.6
Vernachlässigung Abstandshaltung, Fahrerzustand	23	7	0.5	0.7
Vernachlässigung anderer wg. Fehleinschätzung, Situation	78	5	1.8	0.5
<b>Abbiegeunfälle Entgegenkommender</b>				
Vernachlässigung anderer, Unaufmerksamkeit	92	41	2.2	4.1
<b>Unfälle im Längsverkehr Spurwechsel</b>	<b>262</b>	<b>31</b>	<b>6.1</b>	<b>3.1</b>
Vernachlässigung Info-Aufnahme o. bes. Grund	211	23	5.0	2.3
Vernachlässigung Info.-Aufnahme weg. Überforderung	51	8	1.2	0.8
<b>Abbiegeunfälle Auffahren</b>				
Vernachlässigung Abstandshaltung, Unaufmerksamkeit	162	24	3.8	2.4
<b>Sonstige Unfälle Wenden</b>				
Vernachlässigung anderer, Unaufmerksamkeit	25	14	0.6	1.4
<b>Abbiegeunfälle rechts Radfahrer</b>				
Vernachlässigung anderer, Unaufmerksamkeit	19	13	0.4	1.3
<b>Unfall beim Ausparken</b>				
Vernachlässigung anderer, Unaufmerksamkeit	80	10	1.9	1.0
<b>Sonstige Unfälle Rangieren Parkplatz</b>				
Vernachlässigung anderer, Fahrerzustand	10	7	0.2	0.7

In einer vertieften Analyse zu Handlungsfehlern und Fehlhandlungen aus Unfallprotokollen konnten Vollrath und Briest drei grosse Gruppen an Handlungsfehlern identifizieren ([143]): *Kollision mit Bevorrechtigten* (36.4% der schweren Unfälle, Haupthandlungsfehler: Weiterfahrt ohne Vortritt beim Einbiegen/Kreuzen), *Auffahren* (bei 18.8% der schweren

Unfälle, Haupthandlungsfehler: ungenügender Abstand im Längsverkehr) und *Abkommen von der Strasse* (bei 21.3% der schweren Unfälle, Haupthandlungsfehler: unangepasste Geschwindigkeit).

Als Hauptursachen für schwere Unfälle (auf Basis von  $n=775$  Unfällen), nennen die Autoren *Informationsmangel* (41.5%) und *Fehlentscheidungen* (33.2%). Eine geringere Bedeutung scheinen Fehlinterpretationen (2.9%) sowie eine mangelhafte Ausführung (0.6%) zu haben.

### 3.4 Naturalistic Driving Studies

Als Königsweg, um Unfallursachen genau zu untersuchen, gelten so genannte Naturalistic Driving Studien, bei welchen die Handelnden sowie die Umgebung während der Fahrt gefilmt werden. [49] konnten Fahrdaten einer Zeitspanne von drei Jahren von rund 3500 Personen auswerten und dabei entstehende Unfallsequenzen genau analysieren (Verhalten vor und während einem Unfall). Für verschiedene Fehlverhaltensweisen wurden *Odds-Ratios*<sup>4</sup> und *Baselineprävalenzen*<sup>5</sup> berechnet. Odds-Ratios und Baselineprävalenzen können Wahrscheinlichkeiten abbilden, mit denen es zu einem Unfall kommt sowie die tatsächliche Auftretenshäufigkeit von Fehlverhaltensweisen abbilden, jedoch liefern sie keine Hinweise auf die Unfallschwere resp. Unfallfolgen.

Bei insgesamt 74.7% der Unfälle wurden von den Autoren Fehler seitens des Fahrers identifiziert. Im Durchschnitt war während rund 5% der gesamten Fahrdauer ein Fahrfehler des Fahrers „anwesend“. Das Relative Risiko<sup>6</sup> für einen Unfall stieg um das 18-fache, wenn Fahrfehler vorhanden waren ( $OR=18.2$ , s. Tab. 2). Besonders *Vortrittsfehler* ( $OR=936.1$ ), *Plötzliches Bremsen* ( $OR=247.8$ ) und *Unkenntnisse über Fahrzeug oder Strasse* ( $OR=204.5$ ) wiesen extrem hohe Risiken für einen Unfall auf. Allerdings traten diese Fehler **nur sehr selten** auf (alle unter .07% der Fahrdauer).

---

<sup>4</sup> Das Odds Ratio (OR) liefert einen Hinweis darauf, um welchen Faktor das Risiko für einen Unfall beim Ausführen einer bestimmten Tätigkeit (z.B. Telefonieren) steigt. Das Odds Ratio von «Telefonieren» beispielsweise betrug in dieser Studie 2.2 und bedeutet somit, dass das gängige Risiko für einen Unfall ungefähr verdoppelt ist (vgl. *Tab. 2*).

<sup>5</sup> Die Baselineprävalenz zeigt auf, wie lange die Verhaltensweise tatsächlich während der Fahrt gezeigt wurde, also wie lange die Leute während der Fahrt z.B. mit Telefonieren beschäftigt waren. In diesem Fall waren die Fahrzeuglenkenden zu 3.24% der gesamten Fahrdauer am Telefonieren, was ungefähr 2 Minuten pro Stunde entspricht (vgl. *Tab. 2*).



**Tab. 2** Resultate aus „naturalistic driving data“ nach [49], S. 2639; Odds Ratios und Häufigkeiten für verschiedene Fehlverhaltensweisen vor einem Unfall

	O.R. (95% CI)	Baseline Prevalence
<b>Observable Impairment*</b>		
Overall	5.2 (3.8 - 7.1)	1.92%
Drug/alcohol	35.9 (17.0 - 75.8)	0.08%
Drowsiness/fatigue	3.4 (2.3 - 5.1)	1.57%
Emotion (anger, sadness, crying, and/or emotional agitation)	9.8 (5.0 - 19.0)	0.22%
<b>Driver Performance Error</b>		
Overall	18.2 (14.8 - 22.3)	4.81%
Major error sub-categories (observed in crash and baseline events)		
Apparent inexperience with vehicle/roadway	204.5 (111.1 - 376.6)	0.07%
Blind spot error	55.1 (21.6 - 140.6)	0.05%
Improper turn	92.1 (68.8 - 123.4)	0.51%
Right-of-way error	936.1 (123.8 - 7078.3)	0.01%
Signal violation	28.3 (15.9 - 50.2)	0.19%
Stop/yield sign violation	7.4 (4.9 - 11.4)	1.05%
Wrong side of road	22.3 (12.0 - 41.5)	0.19%
Driving too slowly	2.3 (1.1 - 4.8)	0.97%
Sudden or improper braking/stopping	247.8 (53.1 - 1156.2)	0.01%
Failed to signal	2.5 (1.5 - 4.0)	2.27%
<b>Driver Momentary Judgment Error (Speeding/Aggressive Driving)</b>		
Overall	11.1 (9.0 - 13.8)	4.22%
Aggressive driving (general observed behavior)	34.8 (17.2 - 70.5)	0.10%
Speeding (over limit and too fast for conditions)	12.8 (10.1 - 16.2)	2.77%
Speeding/unsafe in work zone	14.2 (3.9 - 52.0)	0.05%
Illegal/unsafe passing	14.4 (7.2 - 28.8)	0.18%
Following too closely	13.5 (4.4 - 41.4)	0.07%
Intentional signal violation	15.3 (7.9 - 29.9)	0.19%
Intentional stop/yield sign violation	5.3 (3.4 - 8.4)	1.04%
<b>Observable Distraction**</b>		
Overall	2.0 (1.8 - 2.4)	51.93%
Major distraction sub-categories (observed in crash and baseline events)		
In-vehicle radio	1.9 (1.2 - 3.0)	2.21%
In-vehicle climate control	2.3 (1.1 - 5.0)	0.56%
In-vehicle device (other)	4.6 (2.9 - 7.4)	0.83%
Total in-vehicle device	2.5 (1.8 - 3.4)	3.53%
Cell browse	2.7 (1.5 - 5.1)	0.73%
Cell dial (handheld)	12.2 (5.6 - 26.4)	0.14%
Cell reach	4.8 (2.7 - 8.4)	0.58%
Cell text (handheld)	6.1 (4.5 - 8.2)	1.91%
Cell talk (handheld)	2.2 (1.6 - 3.1)	3.24%
Total cell (handheld)	3.6 (2.9 - 4.5)	6.40%
Child rear seat	0.5 (0.1 - 1.9)	0.80%
Interaction with adult/teen passenger	1.4 (1.1 - 1.8)	14.58%
Reading/writing (includes tablet)	9.9 (3.6 - 26.9)	0.09%
Eating	1.8 (1.1 - 2.9)	1.90%
Drinking (non-alcohol)	1.8 (1.0 - 3.3)	1.22%
Personal hygiene	1.4 (0.8 - 2.5)	1.69%
Reaching for object (non-cell phone)	9.1 (6.5 - 12.6)	1.08%
Dancing in seat to music	1.0 (0.4 - 2.3)	1.10%
Extended glance duration to external object	7.1 (4.8 - 10.4)	0.93%

The baseline prevalence of a factor represents the percentage of time the factor was present during the normal driving condition.

\*Observable from 20-second pre-crash and baseline sample video segments

\*\*Observable from 6-second pre-crash and baseline sample video segments

Während über der Hälfte (51.93%) der Zeit waren die Personen einer *Ablenkung* ausgesetzt. Obwohl dieser Wert sehr hoch scheint, waren die Auswirkungen vergleichsweise gering. Das relative Risiko für einen Unfall stieg unter Ablenkung «nur» um das Zweifache ( $OR=2.0$ ). Als häufigste Ablenkungs-Subkategorien wurden das Sprechen mit anderen Passagieren (14.6%) sowie die Handybenutzung (6.4%) eruiert. Zwar nur selten ausgeübt wurde das Tippen auf dem Handy, generelles Lesen und Schreiben und Fassen nach Gegenständen. Diese Ablenkungssubkategorien wiesen jedoch ein rund 10-fach erhöhtes Risiko für einen Unfall auf.

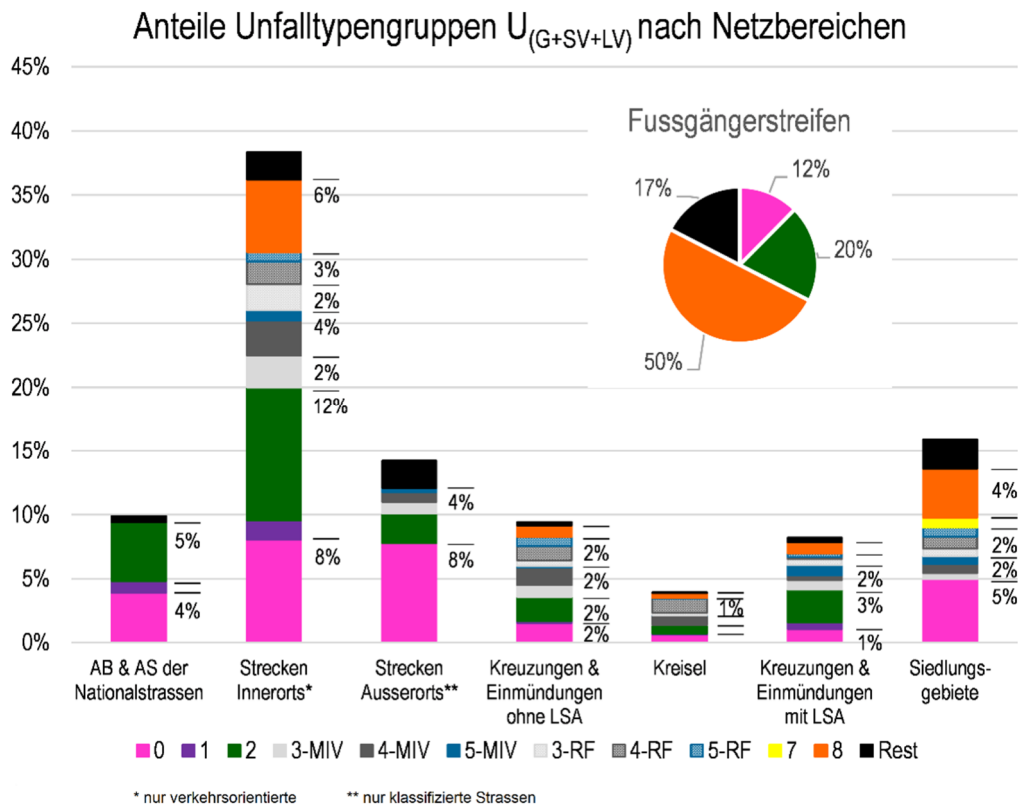
## 3.5 Unfallursachen gemessen am Unfallgeschehen

### Generelles Unfallgeschehen

Unfallstatistiken bieten zahlreiche Ansatzpunkte für Analysen. Im Sinne der hier vorliegenden Arbeit sind vor allem die Unfalltypen (Konfliktsituationen) sowie die Unfallursachen von Relevanz. Sie beschreiben die konkrete Verkehrssituation, aus der sich ein Unfall entwickelt hat (Typ) sowie die – allerdings vor dem Hintergrund der Klärung der Schuldfrage – von der Polizei vor Ort festgelegten Unfallursache. Die Problematik der polizeilich registrierten Unfallursachen zeigt sich darin, dass bei ca. einem Viertel der Unfälle in der Schweiz die Unfallursache 91 «unbekannte Ursache» von der Polizei angegeben wird (siehe Schüller et al. [11]). Es fehlt der Polizei also häufig die Grundlage, um eine zentrale Ursache festzulegen. Daher sollten diese Unfallursachen auch nicht überinterpretiert werden.

Unterschiedlichen Publikationen mit Bezug zum Schweizer Verkehrsraum ist zu entnehmen, dass hauptsächlich *Vortrittsmissachtungen, Unaufmerksamkeit & Ablenkung, Geschwindigkeit* und *Alkohol* als häufigste (polizeiliche erhobenen) Ursachen für schwere Strassenverkehrsunfälle gelten ([25], [26]). Der Grossteil der Unfälle wird dabei auf Verhaltensfehler zurückgeführt. Von den Unfallursachen fordert *Geschwindigkeit* die meisten Todesfälle ([25]). (Direkte) Mängel an Fahrzeugen oder der Infrastruktur spielen dagegen eine untergeordnete Rolle. Auch Auswertungen des Bundesamts für Statistik (2017) zu Verstössen im Strassenverkehr weisen darauf hin, dass in der Schweiz Geschwindigkeitsübertretungen häufig stattfinden. Von 20'000 Führerausweisentzügen sind rund 3'000 auf Geschwindigkeitsübertretungen zurückzuführen. Noch mehr Ausweisentzüge geschehen aufgrund einer zu hohen Blutalkoholkonzentration des Fahrers (ca. 4'000). Weitaus am häufigsten wird der Ausweis jedoch bei *Unaufmerksamkeit* am Steuer (ca. 8'000) entzogen.

Generell sind *Kollisionen* (ca. 50%) sowie *Schleuder-/Selbstunfälle* (ca. 40%) die häufigsten Unfalltypen ([26]). Andere Unfalltypen, wie z. B. Tierunfälle, sind nur in seltenen Fällen ausschlaggebend (3%). Je nach Ortslage, Strassentyp und oder Netzbereich kann diese Struktur aber unterschiedlich sein (siehe Abb.11), so spielen Schleuder-/Selbstunfälle (Unfalltyp 0, rosa) ausserorts eine wesentlich grössere Rolle als innerorts, wo Fussgänger- und Auffahrunfälle eine höhere Relevanz aufweisen.



**Abb.11** Verteilung Unfalltypen/Konflikte nach Ortslage, Strassentyp und Netzbereich (Schüller et al. [11])

### Örtlichkeit und Infrastrukturobjekte

Laut Schüller et al. [11] ist die Ursachengruppe Missachtung des Vortrittsrechts (20%) nach den unbekanntem Ursachen schweizweit am häufigsten bei Unfällen mit Personenschaden festzustellen.

Gemäss [26] ist Innerorts die *Vortrittsmissachtung* (35%) die häufigste Hauptursache bei schweren Unfällen, gefolgt von *Unaufmerksamkeit und Ablenkung* (26%), *Geschwindigkeit* (12%), *Alkohol* (11%) und *mangelhafter Fahrzeugbedienung* (10%). Ausserorts dominiert als Hauptursachengruppe die *Geschwindigkeit* (32%), gefolgt von *Unaufmerksamkeit und Ablenkung* (25%) und den *Vortrittsmissachtungen* (19%).

Die zentrale Rolle der Geschwindigkeit (Nichtanpassen) wird bei Schüller et al. (2016) sowohl für den Innertorts- (z. B. sehr breite Strassen) als auch den Ausserortsbereich bestätigt (z. B. unerwartete Trassierung und als Folge nicht angepasste Geschwindigkeit). Zweiteres betrifft die Kombination von unangepasster Geschwindigkeit mit Kurvenfahrten, wonach über die Hälfte (51%) der Fehlverhaltensweisen in Zusammenhang mit unangepasster Geschwindigkeit in Kurven passieren (s. Tab. 3; [57]). Dabei tragen vor allem die *unangepasste Linienführung* (59%) sowie *fehlerhaftes Anpassen an die Strassenverhältnisse* (32%) zu Unfällen bei. In diesen Fällen war die Strasse vermutlich häufig nicht selbsterklärend in Bezug auf die Wahl einer «sicheren Geschwindigkeit». Auf geraden Strecken geschehen 17% aller geschwindigkeitsbezogenen Fehler, wobei das *Nichtanpassen an die Strassenverhältnisse* den grössten Anteil ausmacht (34%). In Einmündungen (10% aller Geschwindigkeitsunfälle) und Kreuzungen (9%) ist ebenfalls das *Nichtanpassen an die Linienführung* die häufigste Fehlverhaltensweise bei Geschwindigkeitsunfällen (38% respektive 36%). Hier muss man allerdings unterscheiden zwischen Annäherungsgeschwindigkeiten an den Knoten (beeinflusst u. a. durch Erkennbarkeit des Knotens) und den Abbiegegeschwindigkeiten (beeinflusst durch die Knotengeometrie, z. B. der Abbiegeradien).

**Tab. 3 Fehlverhaltensweisen mit Geschwindigkeitseinfluss, aus dem Sicherheitsdossier „Faktor Geschwindigkeit“ ([57])**

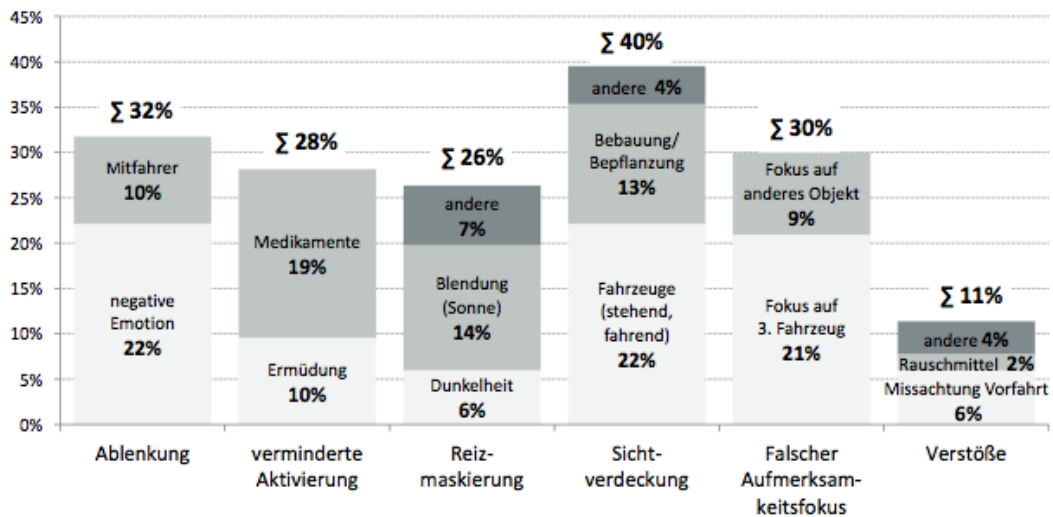
Tabelle 8 Anteil Unfälle mit Geschwindigkeitseinfluss an alle Unfällen mit schweren Personenschäden nach Unfallstelle, Ø 2004–2008							
	Gerade Strecke	Kurve	Einmündung	Kreuzung	Platz / Verkehrsfläche	Parkplatz / Nebenanlage	Andere
Alle Geschwindigkeitsmängel	17%	51%	10%	9%	6%	6%	9%
<b>Anteil einzelner Mängel an allen Geschwindigkeitsunfällen</b>							
Nichtanpassen an die Linienführung	16%	59%	38%	36%	21%	17%	46%
Nichtanpassen an die Strassenverhältnisse	34%	32%	22%	24%	29%	33%	18%
Nichtanpassen an die Verkehrsverhältnisse	16%	2%	14%	15%	21%	8%	0%
Nichtanpassen an die Sichtverhältnisse	12%	3%	7%	9%	14%	17%	9%
Überschreiten der gesetzlichen oder signalisierten Höchstgeschwindigkeit	17%	15%	22%	16%	0%	13%	18%
Anderes Fehlverhalten im Zusammenhang mit der Geschwindigkeit	14%	7%	10%	10%	29%	25%	18%
Quelle: BFS							

Insgesamt spielt laut Schüller et al. [11] die Geschwindigkeit (vor allem die nicht angepasste Geschwindigkeit) in folgenden Situationen eine Rolle:

- in Kurven, Rampen sowie im Bereich von Ein- und Ausfahrtbereichen auf Autobahnen
- in Bereichen mit ungünstigen Radienfolgen (Relationstrassierung) sowie nicht signalisierten Knoten/Anschlüssen auf Ausserortsstrecken
- in Bereich mit breiten Querschnitten oder Ausserortscharakter auf Innersortsstrecken und
- bei zügig trassierten Knoten generell (u. a. weite Abbiegeradien, freie Rechtsabbiegefahrstreifen, ungenügende Ablenkung durch Kreisinseln bei Kreiseln).

Eine Analyse von Velounfällen zeigte, dass der Anteil an Velounfällen besonders bei *Kreisverkehrsplätzen* sehr hoch war (Bundesamt für Strassen, 2015). Im Durchschnitt war bei fast jedem dritten Unfall im Kreisverkehr ein Velofahrer beteiligt. Im Kreisverkehr geschahen den Velofahrenden hauptsächlich *Einbiegeunfälle* (58%), verursacht durch einbiegende Motorfahrzeuglenkende. Hier spielen laut Schüller et al. (2016) u. a. auch die fehlenden (geschwindigkeitsdämpfenden) Ablenkungen innerhalb der Kreisfahrbahn eine zentrale Rolle. Das Überqueren der Fahrbahn sowie das Abbiegen hingegen führten im Kreisverkehr nur in je 12% der Fälle zu einem Unfall. Auf geraden Strecken und in Kurven geschahen meist Schleuder- und Selbstunfälle (auf gerader Strecke: 41%; in Kurven: 50%). An Kreuzungen führte das Überqueren der Fahrbahn meist (41%) zu Unfällen, gefolgt von Abbiege- (25%) und Einbiegeunfällen (17%). Bei Einmündungen sind es vor allem Einbiege- (43%) und Abbiegeunfälle (28%). Insgesamt ist konzentriert sich aber ein wesentlicher Teil des Unfallgeschehens mit Beteiligung des Veloverkehrs an Knoten.

Gerstenberger, M [72] führte eine ausführliche Unfallauswertung an Knotenpunkten in Deutschland anhand von 1475 Unfällen durch. Als häufigste Unfallursache stellte sich dabei die *Missachtung der Vorfahrtsregelung* heraus (54%). Bei 25% der Unfälle waren es *Fehler beim Abbiegen*, die zum Unfall führten. Gerstenberger, M., [72] erwähnt auch Auswertungen zu Knotenpunkten von Staubach (2010), in welchen vor allem die *Sichtverdeckung* (40%), *Ablenkung* (32%) und *falscher Aufmerksamkeitsfokus* (30%) zum Unfallgeschehen an Knotenpunkten beitragen (s. Abb.12). Interessant daran ist vor allem die Aufgliederung der Kategorien wie Ablenkung oder Sichtverdeckung.



**Abb.12** Häufigkeit der Einflusskategorien bei der Verursachung von Unfällen an Knotenpunkten, in Anlehnung an Staubach, 2010 (nach [72], S. 48)

Gerstenberger, M., [72] erwähnt ebenfalls eine Studie von Lange, 2007, welche sich mit Fehlhandlungen am Knotenpunkt auseinandersetzte. Gemäss Lange sind folgende Fehlhandlungen an Knotenpunkten relevant (nach [72]): Die *Fehleinschätzung der Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer*, das *Überschätzen des eigenen Beschleunigungspotentials*, die *Sichtbehinderungen in andere Strassen*, die *Unaufmerksamkeit* bzw. das *Übersehen anderer Verkehrsteilnehmer* („looked-but-failed-to-see“-Phänomen), die *Fehleinschätzung der Vorfahrtssituation*, das *unzureichende Blickverhalten* (zu wenig sichern), die *Spurungenaugigkeit beim Abbiegen nach links an Kreuzungen mit Lichtsignalsteuerung* und das *Übersehen der Verkehrszeichen* bzw. *Vorfahrtszeichen*.

### Langsamverkehr

Gemäss [179] ist unvorsichtiges Überqueren der Strasse (bei 29% der Unfälle) als häufigste Unfallursache für Zufussgehende aufgeführt (s. Tab.4). Ebenfalls führt das *Überspringen/-laufen der Fahrbahn* (16%) oder das *Nichtbenützen des Fussgängerstreifens* (13%) gehäuft zu einem Unfall.

**Tab.4** Fehlverhaltensweisen der Fussgänger nach Alter in den Jahren 2007-2011, aus dem Sicherheitsdossier Fussverkehr ([179], S. 67)

Mögliche Unfallursachen (Mehrfachnennungen bis max. 3 möglich)	Anzahl				Prozent		
	0-14	15-64	65+	Total	0-14	1-64	65+
Unvorsichtiges Überqueren der Strasse (Gehen)	129	275	189	593	22	46	32
Springen/Laufen über die Fahrbahn	204	110	6	320	64	34	2
Anderes Fehlverhalten des Fussgängers	64	146	49	259	25	56	19
Nichtbenützen des Fussgängerstreifens	50	122	71	243	21	50	29
Einwirkung von Alkohol (Verdacht)	0	141	19	160	0	88	12
Falsches Verhalten bei Lichtsignalanlage	14	70	23	107	13	65	21
Momentane Unaufmerksamkeit	14	30	26	70	20	43	37
Spielen auf der Strasse	29	1	0	30	97	3	0
Falsches Verhalten auf dem Fussgängerstreifen	14	10	3	27	52	37	11
Nichtbenützen des Trottoirs	3	18	5	26	12	69	19
Gehen oder Laufen auf der falschen Strassenseite	2	16	7	25	8	64	28
Missachten des Rotlichts	0	9	3	12	0	75	25
Anderer Mängel	32	106	41	179	18	59	23
<b>Total</b>	<b>555</b>	<b>1 054</b>	<b>442</b>	<b>2 051</b>	<b>27</b>	<b>51</b>	<b>22</b>

Quelle: ASTRA, Auswertungen bfu

Laut Schüller [11] sind bei den Fahrbahnüberquerungen vor allem Bereiche mit grösseren Fahrbahnbreiten resp. schnell befahrene Strassen<sup>7</sup>, erhöhten Knotendichten, intensiverer Randnutzung (erhöhte Komplexität), Sichtbehinderungen sowie Bereich von Tramhaltestellen auffällig. Das «Unvorsichtige Überqueren der Strasse» bzw. das Queren «ohne ausreichende Prüfung der Verkehrslage» klingt zwar nach eine Fehlverhaltensweise der Fussgänger, ist aber häufig auch fehlenden Möglichkeiten für eine sichere Querung, Sichteinschränkungen sowie den Einschränkungen bei der Abschätzung von Zeitlücken im motorisierten Verkehrsstrom (erschwert bei hohen Geschwindigkeiten) geschuldet. Laut Ohnmacht et al., 2016, sind die beiden wichtigsten Risikokonstellationen Querungen von Kindern (0-13 Jahre) auf und ausserhalb von Fussgängerstreifen entlang der freien Strecke sowie Querungen von Älteren Zufussgehenden auf Plätzen oder Fussgängerstreifen.

Besonders *Vortrittsmissachtungen und falsches Linksabbiegen* sind gemäss [103] häufige Unfallursachen bei Radfahrenden. Damit sind vor allem die Knoten für die Radfahrenden aus Sicht der Verkehrssicherheit problematisch (siehe auch Schüller et al. [11]). Die von Klebelsberg [103] erwähnten Vortrittsmissachtungen bzw. das falsche Linksabbiegen sind hier allerdings etwas irreführend. Eine hohe Relevanz bei Radfahrenden haben die Unfalltypen 4 und 5 (Einbiegen, Überqueren der Fahrbahn), dabei geht aber die Vortrittsmissachtung häufig von einem einfahrenden motorisierten Fahrzeug aus. Das ist dann häufig eine Frage von Sichtbehinderungen oder des zuvor erwähnten looked-but-failed-to-see Fehlers. Oder Radfahrende nähern sich dem Knoten von rechts und werden dort nicht erwartet (siehe Abb.5).

Aus dem Sicherheitsdossier «Fahrrad» der bfu ([178]) ist jedoch zu entnehmen, dass vor allem *Unaufmerksamkeit und Ablenkung* (bei 22% der Unfälle) die häufigste Unfallursache bei Velofahrenden darstellt. Auch der *Zustand der Person* (18%) und *spezifisches Fahrverhalten* wie beispielsweise Fahren in verbotener Richtung oder Befahren eines Trottoirs (14%), *mangelhafte Bedienung des Fahrzeugs* (13%, u.a. kein Licht oder falsche Zeichengabe) und *Geschwindigkeit* (12%) sind häufige Unfallursachen. Mängel am Strassenzustand spielen nur bei 7% der Fahrradunfälle eine Rolle, das Einspuren respektive Links-/Rechtsfahren hingegen nur bei 3%. Die aktuellen Unfallzahlen decken sich somit nicht mit den von Klebelsberg postulierten Unfallursachen des Linksabbiegens. Ohnmacht et al. 2016 leiten drei zentrale Risikosituationen für Velofahrende ab (das sind nicht notwendigerweise die häufigsten aber die in Bezug auf die Exposition die risikoreichsten Situationen):

1. Einbiege (allenfalls Abbiege-) Unfälle innerorts im Konflikt mit Personenwagen
2. Selbstunfälle unter Beeinträchtigung durch Rauschmittel
3. E-Bikes (kleines Kollektiv) mit Auffälligkeiten bei Einbiege-Unfällen sowie Selbstunfälle bei beeinträchtigter Sicht

Räsänen & Summala untersuchten 1998 die Erwartungen von Fahrradfahrern und Automobilisten vor Unfällen an Kreuzungen, bei denen der Autofahrer rechts abbiegen möchte (und somit die Aufmerksamkeit nach links richtet) und entgegen der Erwartung ein Fahrradfahrer das Fahrzeug von rechts kreuzen möchte (Vollrath & Krems [202]). In 19 solcher Unfälle hatten 6 Velofahrende das Auto gar nicht erst bemerkt (**Informationsfehler**). Obwohl die restlichen 13 Radfahrenden das Objekt erkannten, versuchte nur einer zu bremsen und auszuweichen (wobei es aufgrund der mangelhaften Bremsung des Automobilisten trotzdem zum Unfall kam. Die übrigen 12 gingen davon aus, dass das Fahrzeug dann schon anhalten würde. Bei Radfahrern spielen demnach **Zielsetzungsfehler** aufgrund der falschen Annahmen eine entscheidende Rolle (Vollrath & Krems [202]).

<sup>7</sup> Hier sind auch zügig trassierte Knoten mit weiten Eckausrundungen (höhere Abbiegegeschwindigkeiten) zu nennen.

## 3.6 Synthese

Bei der überwiegenden Mehrheit (90% gemäss Vollrath & Krems [202]; 75% gemäss [49]) aller Unfälle ist die Ursache auf das Fehlverhalten von Fahrzeuglenkenden (oder Zufussgehenden) zurückzuführen. Die Zusammenstellung aus Unfallentstehungsmodellen, Unfalltaxonomiesystemen, Daten aus Naturalistic-Driving-Studien sowie die Betrachtung der aktuellen Unfallzahlen hat gezeigt, dass sich dabei im Wesentlichen drei distinkte Fehlverhaltensgruppen herausbilden: *Informationsfehler*, *Zielsetzungsfehler* und *Verstösse*.

**Informationsfehler (bottom-up):** Informationsfehler subsumieren die gesamte Bandbreite an Fehlverhaltensweisen, die auf einen eingeschränkten Empfang von Informationen zurückzuführen sind. Sämtliche Fehlleistungen, welche somit die Informationsaufnahme, respektive den «Bottom-Up-Verarbeitungsprozess» behindern oder stören, fallen unter diese Art von Fehlern. Die weitaus häufigsten Unfallursachen in diesem Zusammenhang sind Unaufmerksamkeit und Ablenkung (z. B. [25], [26], [72], [178]). Auch Einschränkungen in der Wahrnehmung oder Aufmerksamkeit, Überforderung, Sichtverdeckungen von relevanten Objekten und «looked-but-failed-to-see»-Fehler gehören in diesen Verbund an Fehlleistungen.

Informationsfehler scheinen im Strassenverkehr omnipräsent zu sein, berichten beispielsweise [49] in ihrer Naturalistic-Driving-Studie, da sich Fahrzeuglenkende in über der Hälfte der Zeit mit anderen Dingen, als der Fahraufgabe beschäftigen. [77] fand in seinen Analysen bei 77% der Unfälle einen Informationsfehler als Unfallursache und Vollrath & Krems [202] gehen davon aus, dass diese für rund 41% aller schweren Unfälle verantwortlich sind. Auch die Unfallzahlen verdeutlichen, dass Informationsfehler (v. a. nicht Anpassen der Geschwindigkeit an Linienführung, Sichtverdeckung, eingeschränkte Erkenn- und Begreifbarkeit von Knoten) problematisch sind. In diesem Zusammenhang sind vor allem auch die Unfälle mit Beteiligung des Langsamverkehrs relevant (u. a. querende Fussgänger oder parallel fahrende Velos kurz vor Knoten sind durch parkende Fahrzeuge verdeckt). Auch und gerade die Unaufmerksamkeit und Ablenkung werden häufig als zentrale Unfallursachen von der Polizei registriert. Es stellt sich allerdings die Frage, auf welcher Basis dies die Polizei feststellt. So werden in Bezug auf die Klärung der Schuldfrage, die Unfallbeteiligten nur bedingt von der eigenen Ablenkung berichten. Auch ist der Übergang zwischen Unaufmerksamkeit und Überforderung aufgrund einer komplexen Verkehrssituation fließend und ebenfalls nur bedingt im Nachhinein voneinander abzugrenzen. Dementsprechend wird bei Berücksichtigung der Naturalistic-Driving Daten die Gefährdung durch Ablenkung stark relativiert. Fahrzeuglenkende scheinen zwar sehr häufig abgelenkt zu sein (in über der Hälfte der Fahrtzeit), eine drastische Unfallerrhöhung führen die meisten Formen von Ablenkung jedoch offenbar nicht mit sich ([49]). So ist das relative Risiko, unter Ablenkung in einen Unfall verwickelt zu werden, verhältnismässig klein ( $OR=2.0$ ). Auch Artho, J. [17] haben in der Schweiz eine Naturalistic Driving Studie durchgeführt um herauszufinden, mit welchen Nebentätigkeiten sich die Lenkenden während der Fahrt beschäftigen. Ähnlich wie bei [49] hat sich bei [17]. (2012) gezeigt, dass die Leute sehr häufig mit Dingen abseits des Fahrgeschehens abgelenkt sind.

Ein Grund, weshalb es bei Ablenkung in vielen Fällen nicht zu einem Unfall kommt, ist vermutlich ein ausgeprägtes Kompensationsverhalten seitens der anderen Verkehrsteilnehmenden. Ansätze weshalb die Anwendung von Kompensationsstrategien nicht immer funktioniert, liefert eine Studie von [15] zum Blickverhalten im Strassenverkehr. Die Probanden griffen bei hoher kognitiver Beanspruchung auf eine einfache Kompensationsstrategie zurück, die dazu führte, dass weniger auf irrelevante Dinge, sondern auf sicherheitsrelevante Aspekte fokussiert wurde. Obwohl die Strategie auf den ersten Blick plausibel scheint, unterlief den Probanden dabei ein fundamentaler Fehler, der sog. «looked-but-failed-to-see-Fehler», welcher im Zusammenhang mit Strassenverkehrsunfällen immer wieder berichtet wird. Obwohl die Leute unter der Ablenkung also sicherheitsrelevante Dinge, wie z. B. ein Warnschild anvisierten, fehlte ihnen offenbar die Kapazität, um das Gesehene auch tatsächlich zu verarbeiten.

**Zielsetzungsfehler (top-down):** Wenn die relevanten Informationen der Unfallentstehung an die Verkehrsteilnehmenden gelangen (z. B. Kollisionsobjekt wird wahrgenommen) und

somit keine Informationsfehler vorliegen, handelt es sich in den meisten Fällen um Zielsetzungsfehler. Dabei ist die Fehlerquelle hauptsächlich bei der «Top-Down-Verarbeitung» auszumachen, also dann, wenn Informationen aus dem Gedächtnis für das Handeln benötigt würden. Dabei handelt es sich generell um Fehlentscheidungen, falsche Annahmen, falsche Erwartungen oder falsche Anwendungen von Regeln. In den Unfallzahlen tauchen diesbezüglich besonders häufig Auffahrunfälle, Unfälle mit querenden Fussgängern (Einordnung Zeitlücke und Fahrzeuggeschwindigkeiten) und Unfälle mit Vortrittsmissachtungen auf. Gemäss Vollrath & Krems [202] sind 35% aller schweren Verkehrsunfälle auf Zielsetzungsfehler zurückzuführen.

Gerade im Hinblick auf die vorliegende Fragestellung der selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strasse spielen die Erwartungen von Verkehrsteilnehmenden eine zentrale Rolle, wenn es darum geht, zu jedem gegebenen Zeitpunkt zu wissen, wie z.B. eine Signalisation erfolgt. Auch der Studie von Gerstenberger, M. [72] ist zu entnehmen, dass Zielsetzungsfehler besonders an Knotenpunkten von hoher Relevanz sind, wo häufig das Fehleinschätzungen der Geschwindigkeit oder der Vorfahrtsituationen zu Unfällen führen.

**Verstösse:** Eine weitere Kategorie, welche sich aus den Unfallursachen herauskristallisiert, sind Verstösse. Darunter können Ursachen zusammengefasst werden, denen eine gewisse Absicht im Verhalten zugrunde liegen. Besonders vorsätzliche unangepasste Geschwindigkeit und zu geringer Abstand, aber auch aggressives Fahrverhalten gehören dazu. Obwohl Verstösse im Vergleich zu Informationsfehlern und Zielsetzungsfehlern vergleichsweise selten zu einem Unfall führen, sind sie aufgrund ihrer hohen Mortalitätsrate trotzdem an oberster Stelle in den Unfallzahlen zu finden. Gemäss [25] fordert die Ursache «Geschwindigkeit» die meisten Todesfälle.

### 3.7 Fazit in Hinblick auf eine selbsterklärende Strassengestaltung

Die Strassengestaltung hat einen wesentlichen Einfluss auf die Wahrnehmung und Beurteilung einer Situation von Verkehrsteilnehmenden. Aus den Fehlerklassifikationsmodellen und den Unfallzahlen stechen dabei besonders zwei zentrale Elemente der Fehlerentstehungskette heraus, welche eine selbsterklärende Strassengestaltung tangieren: Informations- und Zielsetzungsfehler. Einerseits können Fehler entstehen, wenn wesentliche Informationen beim Empfänger nicht ankommen, also wenn die „Botschaft der Strasse“ gar nicht erst zum Verkehrsteilnehmenden gelangt (Informationsfehler). Die Strassengestaltung müsste demnach so gestaltet sein, dass die Botschaft den Verkehrsteilnehmenden erreichen kann. Beispielsweise könnte die Salienz der Botschaft erhöht werden oder die Information frühzeitig dargeboten werden. In diesem Zusammenhang dürften auch die Erwartungen seitens der Verkehrsteilnehmenden eine wichtige Rolle spielen, wenn beispielsweise eine Information an einem Ort dargeboten wird, den die Person aufgrund ihrer bisherigen Routine nicht beachtet. Auch eine Gefahrenwarnung, welche ständig auftaucht, ohne dass dann ein gefährliches Ereignis eintritt – wenn z.B. trotz ständigem Blinken einer „Vorsicht-Tram“-Signalisation kein Tram kommt – kann es vorkommen, dass die Information gar nicht erst zur Person gelangt. Bei einer selbsterklärenden Strassengestaltung sollte somit darauf geachtet werden, dass ein Informationswert:

- überhaupt vorhanden ist
- frühzeitig wahrnehmbar ist
- salient ist (genügend Aufmerksamkeit auf sich zieht resp. wahrgenommen werden kann)
- nur dann auftaucht, wenn er auch benötigt wird (adaptiv), damit keine falschen Erwartungen entstehen

Wenn kein Informationsfehler vorliegt und die Botschaft somit den Empfänger erreicht, dann sollte die Botschaft resp. der Inhalt der Botschaft eine gewisse Handlungsintention auslösen, welche das erwünschte Verhalten schlussendlich begünstigt (Zielsetzungsfehler). Wenn es die Strassengestaltung jedoch nicht schafft, mit der



gesendeten Information eine sicherheitsrelevante Handlungsintention zu bilden, hat die Botschaft eine missverständliche oder falsche Interpretation bei der Person ausgelöst. Zielsetzungsfehler entstehen auf der kognitiv/intellektuellen Ebene - der Reiz löst somit zwar einen Gedankengang aus, dieser führt jedoch zur Wahl einer schlechten Handlungsoption. Ein Beispiel dafür sind Gelbphasen bei Ampelschaltungen, welche den Empfänger zwingen, kurz zu überlegen, ob man die Strasse noch passieren soll oder nicht. Das gelbe Signal könnte von einigen Personen falsch interpretiert werden, so dass sie das Gefühl haben, bei Gelb reicht die Zeit noch gut, um sicher über die Strasse zu kommen. Generell finden bei solchen Entscheidungen ständig Kosten-Nutzen-Abwägungen im Kleinen statt. Wenn dabei der Nutzen überwiegt, also z.B. die erhoffte Zeitersparnis höher gewichtet wird als die Sicherheit, dann hat man eine Handlungsintention gebildet, welche das Verhalten begünstigt (bei Gelb noch loslaufen). Eine Möglichkeit, dieses Prinzip in SERFOR aufzugreifen, könnte z.B. anhand einer Präsenzsteigerung des persönlichen Nutzens oder der Kosten umgesetzt werden. Am Beispiel des Wartens an der Ampel könnten womöglich die Kosten präsent gemacht werden, indem auf eine kurze Wartezeit hingewiesen wird (Reduktion der Kosten des erwünschten Verhaltens) oder die Konsequenzen des „Bei-Gelb-über-die-Strasse-gehens“ könnten aufgezeigt werden (Erhöhung der Kosten des unerwünschten Verhaltens). In diesem Fall hätten beide Massnahmen das Ziel, die Person aufgrund ihrer Kosten-Nutzen-Abwägung zum Warten zu animieren. Es sollte also darauf geachtet werden, dass eine selbsterklärende Strasse:

- eine eindeutige Botschaft aufweist, welche nur eine Handlungsoption zulässt
- auf mögliche Kosten und den Nutzen von Handlungsalternativen hinweist
- die Person in ihrer Entscheidung unterstützt

**Diagnosefehler**, welche im Fehlerverlauf zwischen den Informations- und Zielsetzungsfehlern anzusiedeln sind, passieren dann, wenn die Person die Situation aufgrund der vorhandenen Informationen falsch beurteilt. Ein Beispiel dafür ist die unerwartete Rechtsvortrittsituation. Wenn also eine Person aufgrund der Strassengestaltung das Gefühl hat, im Moment Vortritt zu haben (z. B. wenn sie auf einer breiten Strasse unterwegs ist, welche das Fahren auf einer Hauptstrasse mit Vortritt suggeriert), dann wird sie sich auch dementsprechend verhalten. Um solche Situationen zu vermeiden ist eine konsequente und einheitliche Verkehrsregelung nötig.

Auch **Verstösse** sind aufgrund der Unfallzahlen problematisch. Allerdings dürfte es äusserst schwierig sein, diese Problematik in den Griff zu bekommen, da Verstösse in der Regel auch das Element des Vorsätzlichen beinhalten. Eine selbsterklärende Massnahme könnte dahingehen, dass womöglich die Versuchung für Verkehrsteilnehmende reduziert wird, eine regelwidrige Verhaltensweise an den Tag zu legen. Dies könnte beispielsweise durch einen Hinweis darüber geschehen, der aufklärt, weshalb die Wartezeit an dieser bestimmten Stelle etwas erhöht ist. Wenn den Leuten klar wird, aus welchem Grund sie beispielsweise eine längere Zeit vor einer Ampel stehen, obwohl sonst auch gar keine Verkehrsteilnehmenden in Sicht sind, tendieren sie womöglich eher dazu das Rotlicht abzuwarten.

Besonders Kurven in Zusammenhang mit überhöhter Geschwindigkeit sind gemäss den Unfallzahlen ein grosses Problem des motorisierten Individualverkehrs. Eine absichtlich herbeigeführte erhöhte Geschwindigkeit im Sinne eines Verstosses könnte auch hier wieder über eine Aufklärung über den entgangenen Nutzen oder die Höhe der möglichen Kosten reduziert werden. Es könnten jedoch auch unbewusste Kanäle der Fahrzeuglenkenden anhand der Strassengestaltung aufgegriffen werden, indem z. B. die Geschwindigkeitswahrnehmung beeinflusst wird. Eine Möglichkeit diesbezüglich wären adaptive Warnhinweise z. B. in Form von leuchtenden Bodenmarkierungen zu installieren, die ein erhöhtes Geschwindigkeitsgefühl suggerieren und nur auftauchen, wenn die Geschwindigkeit vor oder in einer Kurve zu hoch ist. Bei starken Änderungen der Fahrtrichtung sind gerade auch Rückstaus ein Problem, welche häufig zu Auffahrunfällen führen. Es wären daher womöglich auch Massnahmen im Vorfeld der Kurve in Form von adaptiven Kurven- oder Rückstauwarnungen hilfreich, damit die Geschwindigkeiten bereits vor dem Befahren der Kurve ausreichend reduziert und die Abstände zum Vorderfahrzeug erhöht werden.

Aus den Naturalistic Driving Studien sowie den Unfallzahlen geht hervor, dass besonders Ablenkung ein allgegenwärtiger Begleiter im Strassenverkehr ist. Aus welchen Gründen auch immer die Leute abgelenkt sind oder nicht, SERFOR sollte den Leuten einen Hinweis liefern, weshalb sie an gewissen Stellen besser nicht abgelenkt sein sollten. Dies könnte beispielsweise anhand einer Echtzeitanalyse von Sicherheit geschehen (z. B. ein Beinaheunfallzähler), so dass den Verkehrsteilnehmenden bewusst wird, wie die objektive Gefährlichkeit an dieser Stelle einzustufen ist. Eine weitere Möglichkeit wäre beispielsweise, die Komplexität leicht zu erhöhen, so dass die Leute nicht auf die Idee kommen, sich ablenken zu lassen (z.B. auf langen geradeaus Fahrten).

Auch ein falscher Aufmerksamkeitsfokus respektive das Übersehen von anderen Personen (z. B. aufgrund des looked-but-failed-to-see-Fehlers) steht in diesem Zusammenhang. Diesbezüglich könnte in gewissen Situationen eine adaptive Hilfe nützlich sein, welche Warnhinweise über die Situation resp. andere Verkehrsteilnehmende liefert (z. B. ein Totwinkelassistent). Auch wären beispielsweise Bodenmarkierungen (Blinksignale oder Pfeile) denkbar, um Leute auf eine nähernde Gefahr aufmerksam zu machen respektive ihren Fokus auf eine gefährliche Stelle zu lenken.

Bei Zufussgehenden stellt besonders das unvorsichtige Queren eine grosse Problematik dar. Es gibt viele Gründe, beim Queren nicht genau aufzupassen, sei es aufgrund einer Ablenkung (z. B. Gespräch am Handy), eines falschen Aufmerksamkeitsfokusses (z. B. Fokus nur auf MIV gerichtet), einer falschen Geschwindigkeits- und Distanzwahrnehmung (z. B. Falsche Einschätzung der Distanz und Geschwindigkeit eines Fahrzeugs) oder aufgrund einer falschen Erwartung (z. B. das Gefühl haben, dass der andere Verkehrsteilnehmer bremsen wird). Auch hier könnte wiederum eine Salienzmachung der Konsequenzen von Unaufmerksamkeit eingesetzt werden, so dass den Verkehrsteilnehmenden klar ist, dass sie beim Queren aufpassen müssen. Auch das subjektive Sicherheitsempfinden könnte beispielsweise an gewissen reizarmen Querungsstellen reduziert werden, indem die Komplexität minimal erhöht wird (diese Variante ist jedoch mit Vorsicht zu beachten, da das Queren per se bereits ein Verarbeitungsprozess von höchster Komplexität darstellt).

Velofahrende weisen besonders bei Verkehrsknotenpunkten wie dem Einbiegen in den Kreisverkehr erhöhte Unfallzahlen auf. Hier wären Signalisationshilfen denkbar, welche die Velofahrenden und Fahrzeuglenkenden in der Linienführung unterstützen. Beispielsweise könnten mittels Markierungen am Boden die spezifischen Bereiche resp. die sicheren Fahrrouten für Velofahrende aufgezeigt werden, so dass auch die Fahrzeuglenkenden erkennen, an welchen Stellen mit Radfahrenden zu rechnen ist.

## 4 Weitere Einflüsse auf das Fahrverhalten

### 4.1 Einleitung

Die Frage, welche spezifischen Faktoren einen Einfluss auf die routinemässige Erwartung von Verkehrsteilnehmenden besitzen und damit auch bei selbsterklärenden Strasse berücksichtigt werden sollten, wird im Folgenden unter Berücksichtigung spezifischer Erkenntnisse betrachtet: Einerseits werden Studien analysiert, die die Wechselwirkung zwischen menschlichen Fehleinschätzungen des Risikos durch Verkehrsteilnehmende und der Verkehrsinfrastruktur analysierten. Darauf basiert das ebenfalls im Folgenden diskutierte Konzept «Safety in Numbers». Gleichfalls in diese Kategorie fallen Erkenntnisse zur Wirkung spezifischer infrastruktureller Konzepte, beispielsweise welche das flächige Queren in Ortszentren ermöglichen und daher gleichermassen besondere Anforderungen an Verkehrsteilnehmende stellen. Schliesslich wird im folgenden Kapitel auch der Einfluss des automatisierten Fahrens abgeschätzt.

### 4.2 Risikowahrnehmung und Fahrverhalten

Ein Risiko kann zwar objektiv beziffert werden, z. B. in relativen Zahlen zu Unfällen oder Todesfällen, und als Funktion „Schadenshöhe  $\times$  p/Wahrscheinlichkeit eines ungünstigen Ereignisses“ dargestellt werden. Anhand von einer Risikomatrix zur Einschätzung des möglichen Schadens und der Eintrittswahrscheinlichkeit eines riskanten Ereignisses kann ein Risiko eingegrenzt werden kann, wenn die relevanten Fakten bekannt sind. Diese Risikoanalyse kann sinnvoll sein, um anhand von Zwischenfällen oder Vorfällen Risiken abzuwägen (z. B. Übermüdung/Sekundenschlaf = Personenschaden  $\times$  p(Verkehrsunfall)). Wie eine spezifische Verkehrssituation und ob sie als Risikosituation wahrgenommen wird ([39]), ist nicht lediglich objektiv, sondern konstruiert und subjektiv ([62], [191]). Risiken im Verkehr werden hingegen an einem Verkehrsunfall objektiviert und berücksichtigen andere wichtigen Faktoren weniger stark. Verkehrsunfälle sind tendenziell seltene Risikosituationen im Verkehr, auch gemessen an möglichen Vorboten von riskantem Fahrverhalten, die nach wiederholten brenzligen Situationen in einem Verkehrsunfall mit objektivierbaren Konsequenzen münden können. Sie stellen die Spitze des Eisbergs dar. Eine objektiv gefährliche Verkehrssituation sollte auch an der Häufung von Beinahe-Unfällen gemessen werden, was jedoch deutlich schwieriger ist. Objektives (Verkehrsunfälle) und subjektives Risiko nähern sich einander an, wenn es Personen bewusst ist, was gemessen an den Fallzahlen (Verletzte, Tote) objektivierbar riskant ist, gerade wenn keine eigenen Erfahrungen damit im Verkehr vorhanden sind.

Fahrerfahrung bzw. Routine im Strassenverkehr kann die Risikowahrnehmung und Sensibilität für Gefahren schärfen, indem unterschiedliche Verkehrssituationen aufgrund der Erfahrung rascher eingeschätzt und auf adäquate, da bewährte Handlungsweisen zurückgegriffen werden kann ([24]). Dafür spricht auch der unten näher erläuterte Safety in Numbers-Effekt, wonach die Wahrscheinlichkeit für einen Verkehrsunfall z. B. zwischen Autofahrern und Fahrradfahrern mit der Zunahme der Velofahrer im Verkehr abnimmt, da sowohl Autofahrer als auch Velofahrer sensibilisierter respektive gefahrenbewusster geworden sind und sich aneinander anpassen, sprich jeweils die Erwartung des anderen Verkehrsteilnehmers vorhanden ist ([97], [66], [146]). Aufgrund der vorhandenen Erwartung, dass Fahrräder und Motorfahrzeuge auf engerem Raum aufeinandertreffen, gehen beide Verkehrsteilnehmer davon aus, dass sie vermehrt auf den anderen treffen und daher zu achten haben. Insgesamt betrachtet ist aufgrund der statistischen Zahlen davon auszugehen, dass die meisten routinierten Handlungen zuverlässiger durchgeführt werden im Strassenverkehr als nicht routinierte Handlungen und dadurch das objektive Risiko einer Handlung eher reduziert wird (Mayhew & Simpson, 1995).

Wenn eine Situation häufig erlebt wird respektive vertraut ist, können mögliche Risikofaktoren auf der anderen Seite auch unterschätzt und die eigenen Möglichkeiten der aktiven Einflussnahme auf eine mögliche Risikosituation überschätzt werden ([121], 1976 & 1994, [154], [192], [185], [13]). Die Vertrautheit mit einer Aktivität, Situation oder Technologie bei Abwesenheit von negativen Erfahrungen kann zur positiven Bewertung

der Aktivität oder Situation führen. Dies wiederum kann eine subjektive Unterschätzung einer objektiv gefährlichen Verkehrssituation begünstigen, wenn Unfälle trotz hoher Fahrpraxis und mit oder ohne riskanten Fahrstil ausbleiben, obwohl das Ausbleiben des Unfalls nicht bedeuten muss, dass kein Risiko besteht, das heisst zufällig sein kann. Vor allem Personen, die mögliche Risiken weniger stark reflektieren und wenige Kenntnisse darüber haben, welche Situationen objektiv betrachtet riskant sind (z. B. zu schnelles Fahren in Zusammenhang mit Unfällen, gemessen am objektiven Risiko), überschätzen die eigene Fahroutine. Dabei handelt sich um klassische Verkehrssituationen, in denen Personen die Anforderungen einer Fahraufgabe eher unterschätzen und/oder sich in der Bewältigung dieser Aufgabe also bezüglich eigener Fähigkeiten überschätzen, wenn sie die Fahrsituation für absehbar und leicht einzuschätzen halten (u. a. [66]; Schlag & Heger [64]; [147], [13]). Zum Beispiel wird eine Kurve in übersichtlichen Kurvenbereichen eher unterschätzt bzw. die eigenen Fähigkeiten, diese zu bewältigen, dadurch überschätzt, was zu Verkehrsunfällen führen kann. Grundsätzlich sollte die Strassengestaltung darauf ausgerichtet sein, dass Motorfahrzeugführende nicht zu viel, aber auch nicht zu wenig Sicherheit erfahren bzw. die Strasse sollte selbsterklärend sein, jedoch nicht zu viel erklären, damit nicht zu sehr auf Routine verlassen wird. Solche Massnahmen sollten adaptiv, situativ/ aktuell und möglichst transparent/ klar sein, so dass unerwartete Ereignisse auf dem Radar bleiben, z.B. indem Abwechslung geschaffen wird (nicht zu vertraute Situation), Klarheit über das spezifische Risiko in einer Verkehrssituation vorhanden ist (z. B. Aktualität eines Problems betonen und nicht Beschilderung, die warnt, obwohl gar nichts zu befürchten ist) und darüber informiert wird, welches Organ eine bestimmte Verhaltensanpassung im Verkehr verlangt (z. B. Schild durch Behörde/ Polizei).

In einer Untersuchung von Slovic et al. [154] lag die subjektive Risikowahrnehmung der Experten näher am objektiven Risiko als diejenige der Laien. Laien unterschätzten ein Risiko häufig, wenn ihnen eine Situation (Aktivität oder Technologie) geläufig vorkam, und überschätzten ein Risiko, wenn diese eher unbekannt oder als nicht kontrollierbar beurteilt wurde. Wenig Furcht (u. a. kontrollierbar, geringes Katastrophenpotenzial) und eine hohe Vertrautheit (u. a. viel Wissen/Erfahrung, keine unmittelbaren Folgen) mit einer Aktivität bestimmen danach bei Laien die Wahrnehmung einer Aktivität oder Technologie als risikoarm. Die befragten Personen unterschätzten ein objektiv hohes Risiko dann deutlicher, wenn sie in diese Situation (Aktivität oder Technologie) viel Vertrauen hatten und positive Erfahrungen damit überwiegen ([177], [152]). Das subjektive Risiko im Strassenverkehr wurde vergleichsweise als gering beurteilt, obwohl es im Vergleich zu anderen Situationen als objektiv hoch eingestuft worden war. Dies lag vor allem an der Beurteilung der Laien, das Motorfahrzeugführende als stark kontrollierbar wahrzunehmen ([154]). Kernkraftwerken wurde z. B. ein hohes Risiko zugeschrieben, da unvertraut und angsteinflössend und wenig kontrollierbar in der Wahrnehmung der Laien. Die objektiven Risiken im Strassenverkehr wurden dagegen eher unterschätzt bzw. die eigene Kontrollierbarkeit möglicher Risikosituationen überschätzt. Seltene und zusätzlich negativ beurteilte Ereignisse (vor allem bei neuen Technologien und selbst bei geringem Schaden) haben eine stärkere und nachhaltigere Wirkung auf die Risikoeinschätzung (u. a. [91]). Daraus folgt eine höhere Akzeptanz der Förderung von Massnahmen zur Unfallprävention in anderen Bereichen (als dem Strassenverkehr) oder zur Eindämmung von (extrem seltenen) und schweren Verkehrsunfällen wie z. B. Massunfällen im Vergleich zu anderen, weniger spektakulären Ereignissen im Strassenverkehr. Mit Risikokommunikation und Aufklärung über objektiv riskantes Fahrverhalten kann einer möglichen Fehlwahrnehmung entgegengewirkt und objektive Risiken berücksichtigt werden, so dass auch kleinere, weniger spektakuläre, aber sehr häufige Risikosituationen im Strassenverkehr bei der Unfallprävention Beachtung erlangen.

Wenn eine Situation oder Aktivität als risikoarm interpretiert wird, wird sie sinngemäss auch regelmässiger ausgeführt ([184]). Autofahrende, die z. B. das Nicht-Einhalten von Tempolimits als ungefährlich einstufen, tendieren eher zu regelmässigen und groben Geschwindigkeitsüberschreitungen, im Vergleich zu denjenigen, welche Geschwindigkeitsüberschreitungen als gefährlich wahrnehmen ([90], [67]). Obwohl Geschwindigkeitsüberschreitung aufgrund der Unfallstatistik als objektiv riskant zu werten ist, wird dieses Risiko subjektiv häufig unterschätzt ([56]). [14] konnten in ihrer Studie aufzeigen, dass ein Risiko als eher gering wahrgenommen wird, wenn der wahrgenommene Nutzen hoch ist. Dies obwohl das objektive Risiko und der objektive Nutzen tatsächlich positiv zusammenhängen, das heisst ist der Nutzen für den Autofahrer

hoch (z.B. schnell ans Ziel gelangen), steigt das objektive Risiko eher (z.B. unangepasst schnell fahren) als das es gering sei ([62]). Diese Wahrnehmung kann durch die Zuschreibung von positiven oder negativen Gefühlen einer Person sogar verstärkt werden ([61], [130]). Lösen z. B. selbstfahrende Autos oder der mögliche Stress beim Fahren in der Stadt negative Gefühle aus, wird das Risiko eher hoch und der Nutzen als eher gering wahrgenommen. Gehen Personen davon aus, dass eine positiv gewertete Aktivität nicht riskant ist, wird diese sogar als nützlich eingestuft. Umgekehrt beurteilen Personen den Nutzen eines Verhaltens z.B. innerhalb einer Verkehrssituation als eher gering, wenn sie die Information erhalten hatten, dass das Risiko hoch sei ([61], [155]). Dies obwohl dabei der Nutzen gleichermassen steigen würde. Möglicherweise agiert Autofahrende eher passiv, wenn sie davon ausgehen, dass sie wenig Einfluss auf eine Fahrsituation nehmen können, da sie das subjektive Risiko als hoch wahrnehmen, indem sie sich die Bewältigung der Fahrsituation nicht zutrauen bzw. die Fahraufgabe als zu hoch einstufen. Affekte und persönliche Präferenzen können demnach über das Urteil über die Sicherheit entscheiden und Einfluss auf die subjektive Gefahreinschätzung nehmen. Emotionale und motivationale Aspekte der Autofahrenden tragen daher wesentlich zu ihren Entscheidungen bezüglich des Verhaltens im Strassenverkehr bei ([87], [120], [130], [172]). Das ist insbesondere dann der Fall, wenn rasch gehandelt werden muss oder Stress bzw. Druck von aussen besteht ([98], [61], [76], [14]). Dies kann unter anderem zur Erhöhung von sicherem Fahrverhalten genutzt werden, indem bei Massnahmen darauf geachtet wird, dass der Nutzen von regelkonformen bzw. die Kosten von regelwidrigen Fahrverhalten klar aufgezeigt und objektiviert wird.

Wilde [191] geht in seinem Modell der Risikohomöostase davon aus, dass Autofahrende stetig zwischen akzeptiertem und wahrgenommenem Risiko abwägen, was sie zu einem bestimmten Fahrverhalten motiviert, und über eine relativ konstante Risikoakzeptanz verfügen. Die verschiedenen Verkehrssituationen werden laufend hinsichtlich ihrer Sicherheit bzw. Gefährlichkeit bewertet und die gemachten Erfahrungen gespeichert. Spezifische positive Fahrerfahrungen beeinflussen das wahrgenommene Risiko, das Sicherheitsempfinden innerhalb einer spezifischen Situation und die Erwartung zukünftiger vergleichbarer Verkehrssituationen. Fühlt sich ein Autofahrer sicher, wird vorsichtiges und achtsames Fahrverhalten unwahrscheinlicher und das objektive Risiko wahrscheinlicher. In Anlehnung an das hierarchische Risikomodell nach [167] bestehen verschiedene Ebenen der Erwartungen. Die strategische Ebene bezieht sich auf eine Entscheidung auf Basis der Erwartung an die Sicherheit der Fahrumgebung. Zum Beispiel wird der Stadtverkehr vermieden, da er als unsicher eingestuft wird oder es wird schneller gefahren als erlaubt, wenn es keinen übrigen Verkehr hat. Mit der taktischen Ebene wird die Erwartung in die eigenen Fertigkeiten beim Lenken eines Fahrzeugs bezeichnet, z. B. das Vertrauen in die eigene Fahrkontrolle bei überhöhter Geschwindigkeit. Die operationale Ebene umfasst zumindest bei routinierten Lenkenden automatische Handlungen, welche sich der bewussten Erwartungen entziehen (z. B. Kupplung).

Auch Fuller, R. [64] und [65] orientiert sich in seiner Theorie am Modell nach [191] und berücksichtigt die Ansätze des hierarchischen Risikomodells, indem das objektive Risiko in einer spezifischen Verkehrssituation steigen kann, wenn ein Autofahrer sich seines Fahrverhaltens zu sicher ist und die Erwartung hat, dass eine Verkehrssituation ungefährlich ist. [66] geht aber davon aus, dass das von Wilde [191] beschriebene Sicherheitsempfinden lediglich die Voraussetzung darstellt, eine Verkehrssituation als leicht oder schwierig bzw. leicht oder schwer zu bewältigen einzustufen und vor allem die Einschätzung des Schwierigkeitsgrads der Fahraufgabe in dieser Verkehrssituation zur Wahrnehmung des Risikos beiträgt, womit er sich auf die Selbstwirksamkeitserwartung eines Autofahrers bezieht und in Analogie vom akzeptierten Schwierigkeitsgrad einer Fahraufgabe spricht und Motive des Fahrzeuglenkenden berücksichtigt (z.B. Geschwindigkeitsanpassung an Strassenverhältnisse). Die Beurteilung des Schwierigkeitsgrads einer Fahraufgabe hängt dabei von der empfundenen Fahrkompetenz (z.B. Fahrerfahrung, Fertigkeiten, Training, aktueller Zustand) und der Einschätzung der Fahranforderung (z.B. Fahrstrecke, generell Verkehrssituation, Fahrzeug, andere Verkehrsteilnehmenden) ab und berücksichtigt weniger explizit die Motive bzw. motivationalen Aspekte des Autofahrers. Werden die eigenen Kompetenzen als hoch und die Verkehrsanforderung als niedrig eingestuft (z.B. wenig Verkehrsaufkommen), wird die Aufgabe als leicht empfunden, was riskantes Fahrverhalten, z.B. zu schnelles Fahren begünstigen kann, um die Balance zwischen eigener Kompetenz und Anforderung

wiederherzustellen. Auch werden z.B. Velofahrer durch Autofahrer weniger erwartet, wenn bisher wenige Erfahrungen mit Velofahrern gemacht wurden, womit das Zusammentreffen der beiden Verkehrsteilnehmer riskanter wird. Die Funktion aus eigener Kompetenz und Fahranforderung definiert Fuller ([66], 2011) zudem als subjektiv empfundene Reizschwelle (u.a. Stress im Strassenverkehr durch hohe Komplexität der Verkehrssituation). Gemäss Fuller gebe es vier Typen von Autofahrern: Solche mit hoher und niedriger Reizschwelle, den Opportunisten, der Geschwindigkeitsüberschreitungen in Kauf nimmt, um rasch ans Ziel zu gelangen, und den emotional geleiteten Reaktivisten (z.B. Ärger, Stress). Übersteigt die Anforderung an die Fahraufgabe die aktuellen fahrerischen Fähigkeiten, kommt es zu einem Kontrollverlust, aus welchem ein Verkehrsunfall resultieren kann. Eignet sich kein Unfall, kann dies laut Fuller ([66], 2011) reiner Zufall sein oder mit den Eigenschaften anderer Verkehrsteilnehmenden sowie mit den Verkehrsbedingungen zusammenhängen, womit externe Einflussfaktoren z. B. von selbsterklärenden Strassen unfallvermeidend einwirken können.

Auch wenn die Theorien von Wilde [191] und Fuller ([66], 2017) wegen ihrer Unwiderlegbarkeit kritisiert werden, liefern sie Ansätze für die Prävention von Verkehrsunfällen. Eine Reduktion des objektiven Risikos in verschiedenen Verkehrssituationen liesse sich in der Konsequenz nicht vordergründig durch fahrzeugtechnische Veränderungen oder verkehrsinfrastrukturelle Massnahmen verändern, da Autofahrende ihre Erwartungen laufend an die veränderten Bedingungen anpassen. Vielmehr haben verkehrssicherheitsfördernde Massnahmen bei den motivationalen Zielen der Autofahrende bzw. deren Erwartungen anzusetzen, um langfristig risikovermeidendes Fahrverhalten etablieren zu können (z. B. mittels Belohnung von sicherem Fahrverhalten und Bestrafung von Risikoverhalten). Fehlverhalten durch Autofahrende kann hingegen durch Umgebungsfaktoren beeinflusst und sogar gefördert werden. Die Verkehrsumgebung kann anlehnend an die psychologischen Theorien derart gestaltet werden, dass eine Fahranforderung durch den Autofahrenden stets als hoch eingestuft, die Erwartungshaltung an die spezifische Verkehrssituation quasi durchbrochen und die Selbstwirksamkeitserwartung herabgesetzt wird [67], was vorsichtiges Fahrverhalten begünstigt. Zum Beispiel kann bei geringer Verkehrsauslastung eine Verkehrssituation komplexer gestaltet werden, um die Fahranforderung hoch zu halten, so dass diese nicht unterschätzt wird ([72]). Ist die Verkehrsumgebung jedoch zu anspruchsvoll oder ständig sehr hoch, können Wahrnehmungskapazitäten und kognitive Ressourcen von Autofahrenden allerdings überfordert werden, was Ablenkung und Fahrfehler tendenziell fördert ([93], [108], [19], [21], [52]). Wenn das Autofahren für den Einzelnen trotz Routine und (Selbstwirksamkeits-)Erwartungen aber als potenziell riskant bzw. nicht kontrollierbar (unsicher) wahrgenommen wird sowie diese Situationen als solche gekennzeichnet sind und sich ein Gefahrenbewusstsein entwickeln kann, ist erhöhte Vorsicht und sicherheitssensibles, unfallvermeidendes Verhalten zu erwarten, wenn die Verkehrssituation nicht zu komplex und zu anforderungsreich ist.

Die Erkenntnisse über die Risikowahrnehmung und Bedeutung der Erwartungen von Verkehrsteilnehmenden liefern Anstösse, das Gefahrenbewusstsein durch Risikokommunikation zu verstärken, unter Berücksichtigung von Urteils- und Verarbeitungsprozessen. Dabei ist es unerlässlich, dass verkehrsrelevantes Wissen situationsadäquat und nachvollziehbar mitgeteilt wird, und zwar von Personen oder Institutionen, die als kompetent und glaubwürdig wahrgenommen werden. Zum Beispiel gibt es eine App, welche auf objektive Gefahren im Verkehr aufmerksam macht, während sich Verkehrsteilnehmende in einer solchen Situation befinden (siehe [www.avertu.ch](http://www.avertu.ch)). Wie hilfreich solche unterstützenden Massnahmen zur Risikoaufklärung und -verminderung sind, muss jedoch noch ausgewertet werden. Durch solche unterstützenden Massnahmen kann die subjektive Risikowahrnehmung Richtung Risikowahrnehmung der Experten und auch Richtung objektiver Risikowahrnehmung gerückt werden. Sogenannte Risiko-Laien lernen dann aus konkreten Situationen, welche sie allenfalls als harmlos eingestuft haben, da trotz wiederholtem Erleben ihnen selber nie etwas passiert ist, das Konsequenzen hatte. Verkehrsteilnehmende sollten daher durch vertrauenswürdige Fachpersonen möglichst frühzeitig, regelmässig und in nachvollziehbarer Weise über riskante Verkehrssituationen aufgeklärt werden ([61], [153], [110]). Damit kann die Risikowahrnehmung geschärft und können Verkehrsteilnehmende zu risikovermeidendem Verhalten motiviert werden (Wilde [192]). Eine Vermeidung von riskantem Fahrverhalten kann zudem gefördert werden,

indem dieses nicht nur als Risikoverhalten wahrgenommen, sondern auch negativ konnotiert wird, womit auch der Nutzen dieses Verhaltens durch z. B. weniger risikoaffine Personen in Frage gestellt würde (unmittelbares Feedback auf Fehlverhalten im Verkehr: z. B. trauriges/wütendes Smiley bei zu schnell fahren oder Feedbackanzeige der Geschwindigkeit). Positives Feedback durch persönlich relevante Personen kann risikovermeidendes Fahrverhalten zusätzlich verstärken respektive negatives Feedback das Risikoverhalten reduzieren, z. B. wenn deviantes Fahrverhalten in Anlehnung an Regelverstöße in der Referenzgruppe nicht akzeptiert wird ([173], [95], [168], [18]). Hier gibt es in Frankreich z. B. das dynamische Anzeigen von Autokennzeichen von fehlbaren Lenkenden, für alle anderen Verkehrsteilnehmenden sichtbar, was einer Art Stigmatisierung von fahrerischen Fehlverhalten dienen soll. Damit wird die soziale Komponente der Risikowahrnehmung bzw. der Motor der sozialen Akzeptanz eingesetzt, um die kollektive Risikowahrnehmung positiv zu verändern und sozial erwünschtes risikovermeidendes und achtsames Fahrverhalten sowie das konsequente Einhalten von Strassenverkehrsregeln zu fördern. Dies erfordert eine klare Kommunikation darüber, was im Strassenverkehr sozial erwünscht und als normentsprechend definiert werden soll (injunktive Norm) und was nicht (z. B. [147]). Dafür werden Normen dynamisch aufgezeigt und Normverletzungen unmittelbar angeprangert, wodurch auf die Norm selber fokussiert wird ([99]), was eine eigens motivierte Berücksichtigung dieser Norm durch die Fahrzeugführer verstärkt.

### 4.3 Safety in Numbers

Bereits im Jahr 2003 wurde von Jacobsen darauf hingewiesen, dass die Anzahl in einem begrenzten Verkehrsraum regelmässig anwesender Velofahrender einen systematischen Einfluss auf die Sicherheit in diesem Bereich besitzt. Der Autor verweist dabei auf einen *negativen* Zusammenhang, demzufolge das Unfallrisiko mit zunehmender Anzahl von Velofahrenden sinkt. Walker [176] führt dies im Wesentlichen ganz im Sinne des vorhergehenden Kapitels auf Erwartungen als kognitiver Top-Down-Prozess zurück: Dort, wo viele Personen auf dem Rad unterwegs sind, werden sie durch motorisierte Verkehrsteilnehmende auch in höherer Masse erwartet, worauf hin die Fahrweise entsprechend angepasst wird. Unterschiedliche aktuelle Studien konnten systematisch Belege dafür sammeln, dass es einen grundsätzlichen Zusammenhang gibt (z. B. [69]; [111]). Auch in Schweizer Beispielen konnten [73] entsprechende Korrelationen vorweisen:

- Wurden wenige Querungen zwischen Fussgängern und Motorfahrzeugen gezählt, waren diese in höherer Zahl konflikthaft (Korrelationskoeffizient  $r = -0.26$ ).
- Noch stärker wurde dieser Zusammenhang bei der Betrachtung von Begegnungen ( $r = -0.47$ ) bzw. dem DTV ( $r = -0.37$ ) relativ zu Konflikten.

Nicht nur der genaue Grund für Safety in Numbers, schon bereits die Frage, ob es sich dabei um einen linearen Effekt handelt (wohl eher nicht; Lücken, 2018) und welcher Kausalschluss überhaupt möglich ist, sind unklar.

Auch eine Aufklärung des Zusammenhangs durch Drittvariablen ist möglich. [73] konnten beispielsweise zeigen, dass Wartezeiten ( $r = 0.2$ ) sowie die Geschwindigkeit ( $r = 0.28$ ) ebenso mit der Zahl der Konflikte korrelierte. Ausserdem wurde ein negativer Zusammenhang zwischen DTV und  $v_{85}$  nachgewiesen ( $r = -0.21$ ).

Gefolgert werden kann in jedem Fall, dass das Verkehrsaufkommen grundsätzlich sowie der Modal Split mit Blick auf die Anlage und Ausgestaltung selbsterklärender Strassen wichtige Faktoren sind. Typischerweise würden daher Verkehrsteilnehmende anhand der Gestaltung einfach, schnell und verlässlich erkennen können, mit wie vielen Verkehrsteilnehmenden welcher Verkehrsteilnahmeart – idealerweise sogar relativ zur Tageszeit und «Saison» – zu rechnen ist.

### 4.4 Flächiges Querens in Ortszentren

Im Rahmen mehrerer Untersuchungen wurden in verschiedenen Jahren untersucht, welchen Einfluss flächige Querungsmöglichkeiten von Zufussgehenden in Ortszentren besitzen – vor allem ohne Präsenz von Fussgängerstreifen ([74], [73]). Mit Hilfe umfassend

angelegter verkehrspsychologischer und -technischer Analysen wurden insbesondere in letzterer Studie zehn Fallbeispiele betrachtet, um Aussagen zur Risikoeinschätzung, Verkehrsmengen, Geschwindigkeiten und Verkehrskonflikten ableiten zu können. Untersucht wurden zehn unterschiedliche Orten in der Schweiz, deren Gemeinsamkeit die Bezeichnung Fussgängerstreifenloses Ortszentrum zuliess, da in der Regel nicht nur Fussgängerstreifen entfernt wurden, sondern zudem eine vorrangig markierungsbasierte Umgestaltung erfolgte. An einigen Orten wurden darüber hinaus Gestaltungselemente – etwa in Form von Wehrsteinen, Pollern oder Stelen – in Mittelstreifen oder an Fahrbahnrandern eingebaut.

Eine zentrale Erkenntnis, die sich mit Blick auf selbsterklärende Strassen aufgreifen lässt, ist, dass «eine auf die besonderen Gegebenheiten ausgerichtete Gestaltung des Strassenraums, die eine fussgängerfreundliche Geschwindigkeit des fahrenden Verkehrs unterstützt, eine flächige Querung ermöglicht» ([73]). Die Autoren geben hierzu mehrere Praxisbeispiele, wobei sich allerdings keine eindimensionalen Designregeln ableiten liessen. Ebenfalls wurde in der Studie auch auf möglicherweise essenzielle Wechselwirkungsgrössen hingewiesen, denn eine unter Sicherheitsaspekten förderliche Wirkung setze ein «ausgewogenes Mengenverhältnis zwischen Fuss- und Fahrverkehr» voraus. Es wurden zudem geringe Anteile an spezifischen Nutzergruppen und Schwerverkehr sowie geringe Fahrgeschwindigkeiten als Voraussetzung für sichere flächige Querungsstellen in Ortszentren erachtet.

Ebenfalls relevant könnte folgende Erkenntnis von [73] sein, demzufolge an vielen Orten ohne erhöhte Konfliktzahlen ein hohes Mass an Unsicherheit bezüglich der Vortrittsregelung vorlag – selbst längerfristig, was zumindest einen Zeitpunkt von einem Jahr nach Umgestaltung impliziert. Zumindest hinsichtlich der tatsächlichen Gefahr – operationalisiert anhand von auf Videobeobachtungen gestützten Beinaheunfall-Analysen und der davon abweichenden subjektiven Bewertungen – liessen sich ausgewählte Bereiche als *nicht-selbsterklärend* bezeichnen. Unter den vorliegenden Rahmenbedingungen der Studie wurde dies somit nicht als sicherheitsabträglich – eher sogar als sicherheitsförderlich – bewertet. Demnach konnten die Autoren im längerfristigen Vergleich an einigen Orten eine geringere Zahl von Konflikten identifizieren, obwohl – oder vermutlich besser: weil – diese Bereiche durch sämtliche Verkehrsteilnehmende als gefährlicher wahrgenommen wurden.

In weiteren Untersuchungen sollte daher folgende Thematik umfassender analysiert werden: Inwieweit kann eine selbsterklärende Strasse auch dann objektiv sicher sein, wenn sie die (zuweilen) hohen subjektiven Gefährlichkeits- und uneindeutigen Vortrittsentschätzung der sich dort aufhaltenden Verkehrsteilnehmenden nicht vollständig auf- oder besser erklärt. Dabei ist jedoch der bereits oben erwähnte mögliche Einfluss von Wechselwirkungen, beispielsweise der Verkehrsbelastung und -durchmischung, zu berücksichtigen.

Solche Wechselwirkungen führen möglicherweise auch dazu, dass das in Teilen vergleichbare Gestaltungskonzept «Shared Space» nicht unumstritten ist ([70], [58]). Gleichwohl weisen auch letztere Autoren darauf hin, dass die Gestaltung der von ihnen untersuchte Shared Space-Bereich in der Niederländischen Stadt Drachten zumindest eine «befriedigende Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeiten» erreichen konnte (S. 194). Gleichwohl kann der vermeintliche Widerspruch zwischen der erhöhten Sicherheit in derartigen Bereichen ([88]) einerseits und des grösseren Ausmasses der Interaktion zwischen motorisierten Fahrzeugen und Zufussgehenden andererseits aus einer verkehrstechnischen Perspektive paradox erscheinen ([100]). Zumindest jedoch wird gezielt eine Mehrdeutigkeit geschaffen, die zu einer erhöhten Vigilanz führt – jedoch zugleich auch die Sicherheit grundsätzlich erhöhen kann ([101]).

Festzuhalten ist somit, dass systematische Umgestaltungen, die etwa flächiges Queren von Zufussgehenden klar signalisieren und damit visuell erleichtern, insofern einen selbsterklärenden Charakter haben, als Fahrzeuglenkende offenbar eher mit Langsamverkehr rechnen. Darauf deuten auch die Ergebnisse von Schüller 2010 hin, wonach bei intensiver Randnutzung (geht meist mit erhöhten Fussverkehrsstärken einher) tendenziell niedrigere Geschwindigkeiten bei den Fahrzeuglenkenden gewählt werden. Allerdings wurde auch dort festgestellt, dass dieses Kompensationsverhalten nicht ausreichend ist, um die zusätzlichen Risiken in Strassenräumen mit erhöhter Randnutzung (häufig auch



mehr Querverkehr, zusätzliche Parkwechselforgänge usw.) nachweisbar im Unfallgeschehen zu reduzieren.

Zentraler Prozess könnte die Veränderung der Erwartung von Fahrzeuglenkenden sein, was wiederum zu einer erhöhten Wachsamkeit gegenüber Zufussgehenden führt. Gleichwohl wird dieser Prozess wiederum mit hoher Wahrscheinlichkeit von weiteren Faktoren beeinflusst, insbesondere dann, wenn sich die einmal generierten Erwartungen als falsch erweisen. Dies könnte dann der Fall sein, wenn trotz – etwa durch die Markierung suggerierte – anscheinende Präsenz von Fussgängern nur selten Personen tatsächlich queren.

Deutlich wird anhand in diesem Abschnitt genannter infrastruktureller Konzepte aber auch, dass *nicht-vollständig selbsterklärende* Bedingungen – und die damit offenkundig entstehende Unsicherheiten – bis zu einem gewissen Grad sicherheitsförderlich sein könnten. Ähnliches deutet sich offenbar zumindest in Teilen auch für *nicht-fehlerverzeihende* Strassen an, welche sich in direktem Vergleich als objektiv sicherer erwiesen als vergleichbare fehlerverzeihende Strassen ([129]). Das genaue Verhältnis (ob beispielsweise linear oder – wahrscheinlicher – U-förmig) zwischen der objektiven Sicherheit und dem Grad der Selbsterklärung und/oder Fehlerverzeihung ist jedoch zu weiten Teilen noch ungeklärt. Auch ist unklar, inwieweit den bestehenden Korrelationen kausale Verhältnisse zugrundeliegen.

Als Mittler zwischen diesen scheinbaren Paradoxen könnten sich kognitive Faktoren, wie etwa die bereits oben beschriebene eingeschätzte Gefährlichkeit von Strassenabschnitten herausstellen, wie letztgenannte Autoren sowie zahlreiche weitere Studien aus unterschiedlichen Kontexten nahelegen ([82], [83], [92], [119]). Wohl auch vor diesem Hintergrund betrachten Kaparias et al. [101] es als wesentlich, die zugrundeliegenden Humanfaktoren beispielsweise in Shared-Space-Bereichen genauer zu analysieren.

## 4.5 Relevanz Automatisierung in der Fahrzeugtechnik

Die Automatisierung der (vorrangig motorisierten) Fahrzeuge in all seinen Facetten wird derzeit intensiv diskutiert. Die Diskussion war anfangs von einem hohen Optimismus geprägt, verläuft mittlerweile aber zunehmend kontroverser oder zu mindestens nüchterner. Die Diskussion wird auch komplexer, d. h. es werden nicht nur die technische Machbarkeit, sondern auch rechtliche, ethische, datenschutztechnische Fragen sowie Aspekte der Marktdurchdringung und Akzeptanz diskutiert. Erschwerend kommt hinzu, dass verlässliche Aussagen derzeit kaum möglich sind und aufgrund der Wettbewerbssituation zwischen den Autoherstellern (Original Equipment Manufacturer, OEM) nicht alle Informationen zum tatsächlichen Entwicklungsstand öffentlich verfügbar sind.

Von Seiten der Prüf- und Regulierungsbehörden werden z. B. in Deutschland derzeit noch Vorbehalte bezüglich Sicherheitsgewinnen und ausstehenden Regulierungsbedarfen hinsichtlich des hochautomatisierten Fahrens (ab SAE-Stufe 3) formuliert. Relevante Potenziale für die Unfallvermeidung werden bspw. Bei der Bundesanstalt für Strassenwesen BASt [1] in nächster Zeit bei den Notbremssystemen (Autonomous Emergency Braking AEB) und später den Notausweichsystemen (ab 2020, Autonomous Emergency Steering AES) gesehen. Eine Vielzahl an offenen Fragen werden derzeit durch die mit der Weiterentwicklung der Fahrzeugprüfung betrauten Institutionen diskutiert (siehe hierzu [2] oder hier<sup>8</sup>). Interessant in diesem Zusammenhang ist auch die Feststellung, dass zwar der Grossteil der Unfälle durch menschliches Fehlverhalten verursacht aber ein noch viel grösserer Anteil der Unfälle durch den Menschen selbst, vermieden werden (fehlerverzeihendes Verhalten). „Das müssen wir Ingenieure mit den Autos erst einmal schaffen“ so ein Vertreter der Prüfindustrie<sup>9</sup>. Auch die Fahrzeugindustrie selbst ist eher vorsichtig in ihren Abschätzungen<sup>10</sup>. So werden die ersten Einsätze auf den Autobahnen

<sup>8</sup> <https://www.verkehrsbrief.de/viele-ungeloste-konflikte-im-gesetz-fur-automatisiertes-fahren/>

<sup>9</sup> [https://www.swp.de/wirtschaft/news/wissmann\\_-automatisiertes-fahren-wird-den-strassenverkehr-sicherer-machen-23506461.html](https://www.swp.de/wirtschaft/news/wissmann_-automatisiertes-fahren-wird-den-strassenverkehr-sicherer-machen-23506461.html)

<sup>10</sup> <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Automatisiertes-Fahren-Verkehrstote-wird-es-immer-geben-3902934.html>

gesehen, wo allerdings die geringsten Risiken und damit auch die kleinsten Verbesserungspotenziale für die Verkehrssicherheit existieren. Hinzu kommt dann noch ein Zeitraum bis entsprechende Durchsetzungsgrade in der Fahrzeugflotte erreicht werden. Gleichzeitig wird sehr kritisch die SAE-Stufe 3 beurteilt, mit der nach einer Zeitverzögerung der Fahrzeuglenkende wieder die Kontrolle über das Fahrzeug übernimmt ([1] und [3]). Allein die Bandbreite der genannten Zeitdauern von 2,8 s bis 40 Sekunden verdeutlichen die stark theoretische Relevanz dieser Stufe der Teilautomatisierung (siehe vertiefte Ausführung dazu am Ende des Kapitels). Zusammenfassend ist/wird laut dem VDI ([4]):

- „...auf öffentlichen Strassen langfristig eine Koexistenz von automatisierten und konventionellem Fahren zu erwarten.“
- „...das automatisierte Fahren zwar zu einer Steigerung der Verkehrssicherheit beitragen kann. Aufgrund der noch nicht vollständigen Marktdurchdringung und dem daraus auf lange Sicht vorhandenen Mischverkehr..., der begrenzten Einsatzfähigkeit der Systeme und der physikalischen Randbedingungen, das komplett unfallfreie Fahren allerdings weiterhin eine Vision“ bleiben.

Diese Tendenzen aus Deutschland werden zumindest in Grundsätzen auch von einer aktuellen Schweizer Studie bestätigt ([5]). Danach werden vor allem durch die Notfallsysteme in den SAE-Stufen 1 und 2 Verkehrssicherheitsgewinne erwartet. Erst ab SAE Stufe 4 ergibt sich insgesamt ein Rückgang der Unfall- und Verunglücktenzahlen, da vor allem im Mischverkehr mit dem konventionellen Fahren nicht unerhebliche zusätzliche Unfallrisiken abgeschätzt werden.

Die Auseinandersetzung mit selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strassen besitzt damit weiterhin – mindestens mittelfristig – eine hohe Relevanz für die weitere Verbesserung der Verkehrssicherheit. Die Fahrzeugsicherheit wird eine Vision Zero auch nicht alleine realisieren können.

Im Rahmen der Berliner Erklärung zur Fahrzeugsicherheit des VDI<sup>11</sup> werden gemeinsam mit Herstellern und Zulieferern die Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit durch die Fahrzeugindustrie diskutiert. Ausgewählte Punkte der Diskussion mit Relevanz für SERFOR werden im Folgenden aufgeführt:

- Der Schutz des Konfliktgegners ausserhalb des Fahrzeugs sollte mindestens so hoch sein, wie die der Fahrzeuginsassen.
- Herausforderungen in Bezug auf sowie Anforderungen an die Infrastruktur bestehen bspw. Bei winterlichen Bedingungen (z. B. Schnee auf der Strasse), der Fahrt in Baustellenbereichen oder bei verdeckten Verkehrszeichen bzw. Lichtsignalanlagen; u. a. auch deswegen enthält der derzeit diskutierte Entwurf der EU-Direktive zum Sicherheitsmanagement der Strasseninfrastruktur auch Forderungen nach Mindeststandards für Verkehrszeichen und Strassenmarkierungen (siehe hierzu [6])
- Es bleiben unvorhersehbare Konfliktsituationen, in denen u. a. die Infrastruktur unterstützen muss (z. B. Querung Fussgänger hinter Sichthindernissen hervor). Für diese Fälle werden auch unterschiedliche Geschwindigkeiten der Risikobewertung der durchfahrenen Strasse durch das Fahrzeug diskutiert (im übertragenden Sinne eine Definition einer angepassten Geschwindigkeit). Dies deutet auf eine deutlich defensivere Fahrweise bei automatisiert fahrenden Fahrzeugen z. B. auf Innerortstrassen hin.
- Schleuder-/Selbstunfälle sowie Auffahrunfälle und Unfälle beim Überholen oder Fahrstreifenwechsel werden als erstes von der zunehmenden Automatisierung profitieren. Bei typischen Knotenunfällen werden auch weitere Anstiege bis 2050 diskutiert bzw. abgeschätzt.
- Es ergeben sich neue Herausforderungen durch abnehmende Fahrpraxis der Fahrzeuglenkenden bei zunehmender Automatisierung.

<sup>11</sup><https://www.vdi.de/technik/fachthemen/fahrzeug-und-verkehrstechnik/fachbereiche/sicherheit-methoden-und-prozesse/berliner-erklaerung/>

- Kommunikation zwischen dem Langsamverkehr und motorisierten Fahrzeugen könnte eine Rolle spielen, allerdings wurden hier bereits Verhalten in Richtung Risikokompensation festgestellt, welche die positiven Effekte teilweise wieder aufhebt (siehe [7]).

Die Versicherer gehen (zumindest in Deutschland mit einem höheren Unfall- bzw. Ausgangsniveau, siehe [8]) für die Zeitspanne von 2015 bis 2035 bei dem Szenario der maximalen Verbreitung von Fahrassistenzsystemen von Reduktionspotenzialen bis maximal 20% bezogen auf die Schadenskosten aus. FAS «machen» damit «Autofahren sicherer, verhindern in der Praxis aber deutlich weniger Schäden als in der Theorie». Das wird zumindest teilweise auch mit den höheren Reparaturkosten begründet. Weiterhin wird festgestellt, dass sich FAS «nur mit starker Verzögerung» durchsetzen und daher die Schäden nur langsam senken.

Der kurze Überblick zur Automatisierung im Fahrzeugverkehr führt zu folgenden Schlussfolgerungen für das Forschungsthema:

- Fahrerassistenz- und Notfallsysteme (SAE-Stufen 1-2) machen kurz- und mittelfristig relevante Verbesserungspotenziale für die Verkehrssicherheit wahrscheinlich.
- Deren Verbreitung wird allerdings noch Zeit in Anspruch nehmen, selbst bis 2035 bleiben die Reduktionspotenziale überschaubar.
- Es wird langfristig – vor allem auf den Strassentypen mit erhöhten Verbesserungspotenzialen (Landstrassen, Innerortsstrassen) – nur Mischverkehr zwischen konventionellen und automatisiert fahrenden Fahrzeugen geben. Dies wird auch neue Unfallsituationen nach sich ziehen. Vor allem die SAE-Stufe 3 wird mittlerweile sehr kritisch diskutiert (teilweise als nicht realistisch eingeordnet).
- Aufgrund weiterhin unvorhersehbarer Situationen (für das automatisierte Fahrzeug) z. B. in Bezug auf Zufussgehende werden sich auch Verbesserungspotenziale aus anderen Handlungsfelder ausserhalb der Fahrzeugsicherheit erwartet.

Aus Sicht der Strasseninfrastruktur (siehe [8]) wird aktuell der Betrieb «selbstfahrender ... Roboterfahrzeuge» als Vision eingeordnet, wobei vor allem die ständige Überwachung des Systems (SAE Stufe 3) die Automatisierung «teilweise infrage» stellt.

Selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassen werden solange einen Nutzen haben, wie eine Vollautomation nicht vollständig in sämtlichen motorisierten Fahrzeugen, in allen Bereichen des Strassennetzes implementiert ist und manuelle Zugriffe damit unmöglich sind. Zumindest solange Eingriffsmöglichkeiten durch Fahrzeuglenkende möglich sind, verhelfen selbstklärende Strassen zu einer schnelleren und angemesseneren Interpretation der Fahrzeugumgebung und damit zu einer adäquateren Handlung.

Wie lange dieser Prozess wiederum dauert, bis eine Vollautomation vollständig implementiert ist andererseits auch nach mehr als zehn Jahren Entwicklung wiederum völlig unklar ([141]), auch weil sich zentrale Fragen als unlösbar erweisen könnten ([94]). Demzufolge wird von Marshall, 2017, angenommen, dass das letzte Prozent der technologischen Entwicklung automatisierter Fahrzeuge schwieriger wird, als die ersten 99 Prozent.

Solange jedoch keine vollständig automatisierten Fahrzeuge ohne jeglichen Mischverkehr mit geringer automatisierten Fahrzeugen auf Strassen(abschnitten) fahren, besitzen selbstklärende und fehlerverzeihende Strassen einen zentralen Nutzen.

Dies trifft in so genannten Übernahmesituationen zu, in denen aufgrund der Erreichung der Systemgrenzen – etwa ausgelöst durch unvorhersehbare Ereignisse – Fahrzeuglenkende die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen müssen. Zwar könnte bei Vorliegen höherer Automationsgrade (z. B. auf Stufe 4) in vom Mischverkehr isolierten Bereichen die Zeit für die Übernahme der Fahraufgabe nach dem Take-over-Request relativ zu niedrigeren Automationsstufen vergleichsweise höher sein; dennoch werden selbstklärende Strassen auch in diesen Fällen dazu beitragen, dass Fahrzeuglenkende schneller zur angemessenen Übernahme der Fahraufgabe in der Lage sein werden. Insbesondere könnte dies der Fall in dem Moment sein, in dem die Übernahmezeit nur sehr kurz ist, beispielsweise auf SAE-Automationsstufe 3 voraussichtlich nur wenige Sekunden beträgt. Dabei konnten beispielsweise Vogelpohl, Vollrath, Kühn, Hummel & Gehlert [169] zeigen,

dass bereits junge und gesunde Fahrzeuglenkende ohne Müdigkeit selbst bei einer relativen kurzen automatisierten Fahrt bis zu 15 Sekunden für erste Anzeichen eines angemessenen Situationsbewusstseins benötigten, nachdem sie vom System zur Übernahme auf-gefordert wurden. Selbsterklärende gegenüber «konservativen» Strassen würden eine schnellere Einordnung für Fahrzeuglenkende ermöglichen, auf welchem Strassenabschnitt sie sich genau befinden – und somit eine weniger verzögerte situationsangemessene erste Reaktion ermöglichen.

Fehlendes Situations- und Systembewusstsein kann auch einhergehen mit einer Verminderung der Vigilanz der Fahrzeuglenkenden, welche wiederum auf den Automationsstufen 2 und 3 zu vermuten sind. Dabei geht es nicht nur um die korrekte Detektion der Verkehrsumgebung, in der man sich befindet, sondern auch um die beste situationsangemessene Handlung. Auch hier bieten selbsterklärende Strassen insofern Vorteile, als sie bei einer Vigilanz-minderung – etwa hervorgerufen durch Ablenkung und/oder übermässiges Systemvertrauen – schneller die optimale Handlung «kommunizieren» können. Ein Fahrzeugführer beispielsweise, der sich – mit einer Kombination von Fahrassistenten der Längs- und Querführung fahrend – gewissen Ablenkungsphasen oder Blickabwendungen aussetzt, wird dabei möglicherweise die Signalisation der Geschwindigkeitslimite übersehen. Sobald er sich jedoch der Fahraufgabe wieder widmet, etwa ausgelöst durch eine Warnung der Assistenzsysteme oder ohne besonderen Anlass, vermittelt eine selbsterklärende Strasse unverzüglich die angeratene bzw. vorgeschriebene Geschwindigkeit – auch ohne, dass der Fahrer bis zum nächsten Geschwindigkeitssignal fahren muss, um die entsprechende Information zu erhalten. Wenngleich diese Information allenfalls noch von einem im Fahrzeug installierten System geboten werden könnte (beispielsweise verfügen heutige Fahrzeuge teilweise bereits über eine Erkennung von Verkehrszeichen), wäre eine nicht-signalisierte, dennoch empfohlene Geschwindigkeit nicht über Informationssysteme im Fahrzeug abbildbar. Denkbar wäre dieses Szenario beispielsweise in der Annäherung an engen Kurven in Ausserortsbereichen:

- Ein Fahrer nähert sich einem Kurvenbereich an, nachdem er bereits eine längere Strecke auf einem relativ geraden Streckenabschnitt mit zunehmend geringerer Vigilanz absolviert hat.
- Das Fahrzeug ist ausgestattet mit entsprechender Automation (z.B. technische Einrichtungen zur Quer- und Längsführung; eine Verkehrszeichenerkennung, die unter Umständen sogar die Geschwindigkeit des Fahrzeugs limitieren würde; all das wäre in den SAE-Stufen 2 und 3 möglich), es wird die Geschwindigkeit aber nicht reduziert. Die wahrscheinlichste Ursache dafür dürfte sein, dass regelmässig keine Geschwindigkeitslimite vor Kurven in Ausserortsbereichen signalisiert sind.
- Das System würde also wohl nicht eingreifen, wenngleich dies insbesondere bei ungünstigen Witterungsverhältnissen ratsam wäre. Ein kurzer Blick auf die Strasse in der Annäherung an den Kurvenbereich würde jedoch einzig bei Vorhandensein einer selbsterklärenden Strasse den vigilanzgeminderten Fahrer veranlassen, die manuelle Kontrolle wieder zu übernehmen.

Hinsichtlich des Situationsbewusstseins ungünstige Folgen von teilautomatisierten Systemen, die insbesondere in den Stufen 2 und 3 befürchtet werden ([5]), lassen sich also mit selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strassen mindern.

Doch auch im Mischverkehr von nicht-, gering- und hochautomatisierten Fahrzeugen sowie im Zusammenhang mit Teilnehmenden des Langsamverkehrs könnten sich selbsterklärende Strassen als nützlich erweisen. Zumindest solange eine Vollautomation noch nicht erreicht ist, könnte sich ein Eingriff in die Fahrt als notwendig erweisen, wenn sich beispielsweise Personen der Fahrbahn nähern. Selbst wenn diese grundsätzlich vom System erkannt werden würden, dürfte deren Intentionserkennung – also die Vorhersage der nächsten Handlungen der Person – weit schwerer fallen. Hierzu bedarf es einer fahrzeuglenkenden Person, die nicht nur weiss, dass sondern auch worauf sie zu achten hat. Dies wiederum wird deutlich leichter fallen, wenn ein Strassenabschnitt bereits aufgrund seiner Gestaltung impliziert, von wo welche Gefahren drohen.

Es bleiben also eine Vielzahl von Fragen offen. Der Nachweis, dass eine weitere Verbesserung der Strasseninfrastruktur für die konventionell fahrenden

Fahrzeuglenkenden nicht notwendig wäre, lässt sich derzeit nicht erbringen. Empirisch validierte Wirksamkeiten bei Infrastrukturmassnahmen in Bezug auf die Verbesserung der Verkehrssicherheit liegen vor.



## 5 Expertengespräche und Workshops

Ein weiteres Kernelement des Projekts stellt der Einbezug von Experten dar, die – in ihrer jeweiligen Disziplin – mit den gleichen Grundfragen wie im vorliegenden Projekt konfrontiert sind. Wertvolle Hinweise zur Generierung von Aufmerksamkeit mithilfe von Hinweisreizen kann aus Sicht der Wahrnehmungspsychologie und Ergonomie, der Kunst (Architektur, Mediengestaltung, App-Entwicklung etc.), sowie von fachbezogenen Fahrlehrenden entstehen. Daher wurden Workshops und standardisierte Interviews mit den vorgenannten Gruppen durchgeführt.

Insgesamt fanden folgende Workshops und Gespräche mit Fachleuten statt:

- 5.1 Expertengespräche zur **Wahrnehmung**
- 5.2 Interdisziplinäre Gespräche zur **Aufmerksamkeit**
- 5.3 Workshop **Ergonomie** (Hinweise Fahrlehrer und Fachinstitutionen)
- 5.4 Gespräch zu **Kindern und Senioren** (bfu)
- 5.5 Workshop Austauschplattform **Sicherheitsbeauftragte** (ASTRA)

### 5.1 Wahrnehmung

#### 5.1.1 Einleitung

Die Expertengespräche fanden im Rahmen des “18th Annual Meeting of the Vision Sciences Society” (VSS) vom 18. bis 23. Mai 2018 in St. Pete Beach, Florida, USA statt.

Zwei Forschende der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) führten vor Ort Befragungen durch. Ziel war es, möglichst viele Forschende im Feld der menschlichen Wahrnehmung zu befragen und Anregungen zu den Themen Aufmerksamkeits-erregung, Blicklenkung und Habituationsresistenz zu erhalten.

Vorbereitend wurde ein Fragebogen (siehe Anhang) für die Befragung mit iPads programmiert, die Antworten auf die offenen Fragen wurden mit Einverständnis der Befragten als Tonaufnahme registriert. Diese wurden anschliessend abgehört und mittels Keywords oder Stichpunkten transkribiert. Dabei ergaben sich bis zu fünf Antworten/Antwortteile pro Frage und Interviewpartner. Dieses Transkript wurde in einem zweiten Schritt überarbeitet, indem Kodierungen für die Antworten festgelegt wurden, welche im nächsten Schritt ausgezählt wurden. Manche Antworten oder Antwortteile wurden in mehrere Kategorien aufgenommen (z. B. «flashing red light» unter *light & color*). Weiterhin wurden besonders differenzierte, neue oder spezielle Aspekte als Zitate extrahiert. Einige Interviewte verwiesen bei den Fragen 2 und 3 auf bereits zuvor von ihnen gegebene Antworten.

#### 5.1.2 Stichprobenbeschreibung

Es wurden insgesamt 170 Interviews geführt, von den Befragten waren 56 Personen Frauen (33%) und 114 (67%) Männer. Von allen Befragten hatten 44% bis zu 5 Jahre Berufserfahrung in ihrem Fachgebiet, 33% hatten 6-10 Jahre und 23% 11 Jahre oder mehr Erfahrung. Die grosse Mehrheit der Befragten forschen nach eigenen Angaben in der Wahrnehmungspsychologie (88%), 11% waren Forschende anderer Disziplinen und 1% bezeichneten sich als nicht aktiv forschend.

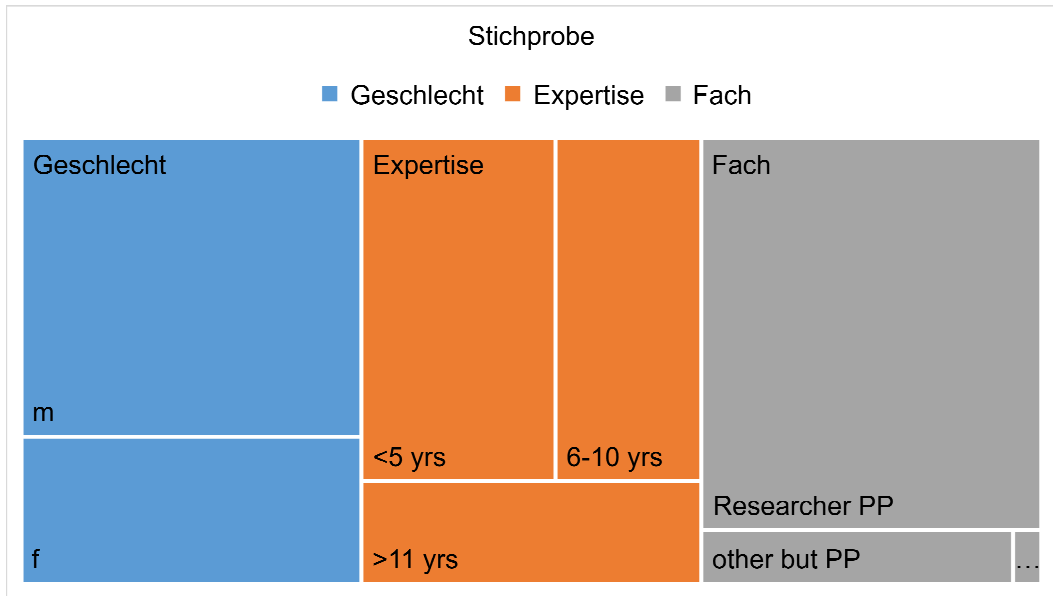


Abb.13 Stichprobenbeschreibung Workshop «Wahrnehmung»

### 5.1.3 Ergebnisse

Bei der ersten Frage, wie man die Aufmerksamkeit von Personen auf etwas richten kann, das möglicherweise Risiken/Gefahren birgt<sup>12</sup>, wurden am häufigsten Antworten der Kategorie *Farbe* gegeben (106 Antworten). Dabei wurde die Subkategorie *Helle Farben* mit 33 Nennungen deutlich öfter genannt als die Subkategorie *Rote Farben* (18). Die zweithäufigste Kategorie war *Licht* (67), wobei sich die Mehrheit der Antworten dieser Kategorie (54) speziell auf *Blinkende Lichter* bezog. Jeweils zwischen 28 und 38 Nennungen entfielen auf die Kategorien *Kontrast* (38) mit den Subkategorien *Kontrast zum Hintergrund* (10) und *Kontrastierende Farben* (5); *Bewegung* (33); *Zeichen/Symbol* (32) und *Ton* (28). Etwas seltener wurden die Kategorien *Dynamik* (19), *Grösse* (16) und *Lokalisation* (13) genannt.

Abgesehen von der Kategorie *Ton* bezogen sich somit alle Antwortkategorien auf die visuelle Wahrnehmung.

Antwortkategorien mit weniger als 10 Nennungen wurden nicht aufgeführt. Die aus Sicht der Autoren besonders interessanten Antworten werden als Zitate erwähnt, eine vollständige Darstellung aller Antworten befindet sich im Anhang.

Tab. 5 Auswertung Frage 1 – Workshop «Wahrnehmung» (Aufmerksamkeitslenkung)

Kategorie	Subkategorie	Häufigkeit der Merkmalsnennung
Color		106
	bright colors	33
	red colors	18
Light		67
	blinking lights	54
Contrast		38
	contrast with background	10
	contrasting colors	5
Motion		33
Sign/symbol		32

<sup>12</sup> "How would you draw people's attention to make something perceptible that carries risks?"



Sound	28
Dynamic	19
Size	16
Localisation	13

**Tab. 6 Zitate Frage 1 (Aufmerksamkeitslenkung)**

Zitat	Relevanz für vorliegenden Kontext
“if you can afford to devote your full attention to something, you want something maybe that's flashing, that becomes very salient to see, but if it's taking someone's attention away from something else they need to be doing it's a mistake“	Hinweis darauf, dass Verkehrsteilnehmende multiple Aufgaben zu bewältigen haben. Volle Aufmerksamkeit auf einer Aufgabe birgt möglicherweise Gefahren.
“as long as there is no cost to pulling their attention to something, having it flash, or otherwise salient, especially sensural transient - multisensory transient even better, so sound plus visual change, or even vibration”	Blinkende, zeitlich variierende Reize für mehrere Sinne (Ton plus visueller Wechsel, Vibration)
“depending on the properties of the retina, I would use the essentricity for the foveal field and if the danger is in the periphery, I would use e.g. motion or flicker” “something, that does not need focal attention”	Hinweise darauf, dass es im Blickfeld Bereiche gibt, in denen die Aufmerksamkeit unterschiedlich leicht oder schwer zu erregen ist. Für Reize im peripheren visuellen Feld: Bewegung oder Blinken.
“don't make it look too safe, when there is a traffic light, people take less attention” “people look at things they expect to be there” “priming / primed information”	Erwartungen können eine Rolle spielen
“try different saliency models until max effect”	Unterschiedliche saliente Reize bis zur Maximierung des Effekts anbieten
“use something that draws on people's intuitive senses” “expressive, aggressive faces attract attention” “acylated in luminance that it's looking ugly and scary” “make the person more aroused”	instinktive Reaktionen, Emotionen auslösen
“mention possible consequences” “reward based training” “personal relevant information (name, episodic information)”	Relevanz, persönlicher Bezug
“use augmented reality” “3D specialized sound alert”	Neue Technologien

Folgern lässt sich aus den Rückmeldungen zur ersten Frage eine Bestätigung bereits vorhandener Wege, Relevantes im Strassenverkehr sichtbar zu machen. Auffällige, primär rote Farben werden systematisch bereits eingesetzt. Auch leuchtende, allenfalls blinkende Elemente finden sich bereits im Schweizer Verkehrsraum, wobei deren Einsatz beispielsweise relativ zu anderen Ländern wie Frankreich, zurückhaltender erscheint. Wahrnehmungspsychologisch spricht für eine allzu restriktive Verwendung jedoch vermutlich nicht allzu viel, muss man doch davon ausgehen, dass sich Lichtreize und Blinken grundsätzlich von einer nicht-beleuchteten oder -blinkenden Umgebung abhebt – zumindest jedoch abheben sollte, zieht man den an dritter Stelle genannten Aspekt in Betracht. Reize, die einen Kontrast zur vorhandenen (Verkehrs-)Umgebung bieten, werden mit höherer Wahrscheinlichkeit wahrgenommen. Bezogen auf den Strassenraum könnte dies jedoch bedeuten, dass beispielsweise Signale auch unter Berücksichtigung des genauen Ortes platziert oder sogar angepasst werden sollten. Würde ein Warnsignal etwa

auf freier Fläche stehen, würde es genügend Kontrast bieten; stünde es jedoch vor dem Hintergrund einer Waldfläche oder Häuserkulisse, wäre folglich eine zusätzliche Kontrastierung – etwa durch Beleuchtung oder Blinken – ratsam.

Einzelnen Antworten auf die vorliegende Frage ist zudem zu entnehmen, dass die (visuelle) Komplexität berücksichtigt werden sollte. Elemente, die zu einer selbsterklärenden Strasse beitragen sollen, müssten daher in solchen Bereichen platziert werden, die eine genügende kognitive Aufnahmekapazität der Fahrzeuglenkenden zulassen. Dabei sollte auch der typische Blickfluss der Verkehrsteilnehmenden für eine Informationsgabe berücksichtigt werden.

Schliesslich weisen einige Antworten auf Möglichkeiten hin, die sich wohl erst bei Fahrzeugen mit höherer Automationsstufe und entsprechend ausgestatteter Infrastruktur ermöglichen lassen. Demzufolge könnten in der Zukunft auch gezielt Audiosignale ins Fahrzeug übertragen werden, die einen selbsterklärenden Hinweis – beispielsweise das temporär häufige Vorkommen von Wildwechsel – ankündigen.

Mehrere Hinweise bezogen sich auf einen Aspekt («instinktive Reaktionen/Emotionen»), der insbesondere bei der zweiten Frage ebenfalls eine Rolle spielte und daher unten vertieft betrachtet werden soll. In diesem Zusammenhang steht aber auch der Verweis einzelner Befragter auf die persönliche Relevanz, die bei der Gestaltung von Strassen bzw. der Darstellung von Hinweisen berücksichtigt werden sollte. Auch dieses wird bereits in Strassenräumen praktiziert, beispielsweise insofern, als dynamische Verkehrszeichen zuweilen auch gleich den Grund für ihr Erscheinen zeigen. Konkret finden sich beispielsweise auf Autobahnen zeitweise Geschwindigkeitslimite, die phasenweise aktiviert sind und den Grund, etwa einen Stau oder Unfall, zugleich darstellen. Entsprechend verweist Schlag [147] auch darauf, dass es zu einer Erhöhung der Regelbefolgung kommt, wenn die Verkehrsteilnehmenden die zugrunde liegende Zielsetzung hinter der Regel verstehen. Diese Zielsetzung wiederum sollte – und regelmässig: kann – auch eine persönliche Relevanz umfassen und entsprechend darstellen. Schlicht ausgedrückt umfasst es die bereits in der Schweiz an einigen Orten visualisierte Antwort auf die Frage, *warum* ein Signal an dem betreffenden Ort steht – und *warum* es für Adressaten relevant ist.

Die zweite Frage im Rahmen der Expertengespräche zur Wahrnehmung lautete, welche Signale die Befragten einsetzen würden, um den Blick von Personen in eine bestimmte Richtung oder auf ein bestimmtes Objekt zu lenken<sup>13</sup>. Die Mehrheit der Befragten (87) hätte ein *Schild* genutzt, darunter entfielen 49 Antworten auf die Signalisation durch *Pfeile*. Die am zweithäufigsten (65) genannte Kategorie waren *Lichtsignale*, wovon 54 Antworten speziell *Blinkende Lichter* meinten. *Farben* bildeten eine Kategorie, die 51-mal genannt wurde, davon entfielen 22 Antworten auf *Leuchtende Farben* und 8-mal wurden *Rote Farben* genannt. *Bewegung* empfahl ein Teil der Befragten (34) als Mittel zur Blicklenkung, weiterhin ergab sich die Kategorie *Klang* (26). Die *Positionierung* eines wie auch immer gearteten Signals spielte für 13 Personen eine Rolle, 12 empfahlen *Dynamische Signale* und 11 Personen würden *Kontrastreiche Signale* für die Blicklenkung einsetzen. Auf das Objekt oder in die Richtung zu *zeigen* war für 10 Personen das Mittel der Wahl.

Antwortkategorien mit weniger als 10 Nennungen wurden nicht aufgeführt. Die aus Sicht der Autoren besonders interessanten Antworten werden als Zitate erwähnt, eine vollständige Darstellung aller Antworten befindet sich im Anhang.

**Tab. 7** Auswertung Frage 2 – Workshop «Wahrnehmung» (Signale für Aufmerksamkeitslenkung)

Kategorie	Subkategorie	Häufigkeit der Merkmalsnennung
Sign/symbol		87
	Arrows	49
Light		65
	Blinking lights	54

<sup>13</sup> "Which signals would you use to direct the glance: e.g. up, down, left or right or towards a dangerous object?"

Color	51
Bright colors	22
Red colors	8
Motion	34
Sound	26
Localisation	13
Dynamic	12
Contrast	11
Pointing	10

**Tab. 8 Zitate Frage 2 (Signale für Aufmerksamkeitslenkung)**

Zitat	Relevanz für vorliegenden Kontext
<p>“abrupt onsets, the color doesn’t matter so much, it’s more about the fact that it has temporal information that is different from the continuous information when driving on the road”</p> <p>“abrupt onset flashing stimulus, then people will make an eye movement”</p> <p>“suddenly put a lot of blurring to a scene and keep the important thing on the focus”</p>	Plötzliche Änderung / Erscheinen der Signalisation oder eines Reizes
<p>“people prefer to look in a top-right-section, so put warnings there”</p>	Lokalisation
<p>“problems with interpreting arrows pointing up: understood as pointing forwards”</p>	Interpretation von Signalen prüfen
<p>“change the potential for the attention”</p>	Aufmerksamkeit als begrenztes Gut
<p>“teach it in the lessons for driving exams”</p>	Verkehrsteilnehmende sensibilisieren
<p>“red is too low frequency to come through bright light, better yellow “</p>	örtliche Gegebenheiten berücksichtigen
<p>“you have those cars with windshield that has something there, so kind of flicker up one slider on top or bottom”</p> <p>“smart cars reminding the drivers”</p>	neue Technologien
<p>“same answer as before: blinking, red and making sounds simultaneously”</p> <p>“directional signals (arrows) with bright colours, flashing and sound”</p>	multisensorisch
<p>“social cues (following people’s gaze, following a crowd)”</p> <p>“electronic eye-gaze”</p> <p>“using a frightened face looking in the direction of the hazard (emotions)”</p> <p>“dummy of a construction worker”</p>	Menschliche Blicke/Augen/Gesichter/Erscheinung

Mehrere Aspekte lassen sich entsprechend der Antworten der Befragten auf den Kontext von selbsterklärenden Strassen beziehen. Zunächst ist die für die Verkehrsteilnehmenden unerwartete Veränderung der Signalisation ein bislang nur wenig genutzter Zugang, um die temporäre Aufmerksamkeit zu gewinnen. Auf welche Weise dabei eine Veränderung herbeigeführt wird, ist zunächst offen. Aus Frankreich beispielsweise sind Signale bekannt, die erst bei Annäherung eines Fahrzeugs zu blinken beginnen; in den Niederlanden wiederum werden über mehrere hundert Meter in der Strasse eingelassene LED getestet, die bei Annäherung bestimmte Signale geben, um die Geschwindigkeit von Verkehrsteilnehmenden auf einer Autobahnausfahrt zu senken ([104]). Auch im Zusammenhang neuer adaptiver (O)LED-Lichttechnologien ist mit vielfältigen Möglichkeiten zu rechnen, selbsterklärende Elemente in die Gestaltung von Strassen integrieren und auf relevante Dinge im Strassenraum hinweisen zu können: etwa mit leuchtenden und/oder sich bewegenden Pfeilen oder mithilfe von Social Cues, wie ebenfalls mehrfach erwähnt. Dabei sollte aber – darauf weisen ebenfalls mehrere

Rückmeldungen hin – genau darauf geachtet werden, dass allfällig verwendete neue Symbole keine Missverständnisse auslösen und an nützlicher Stelle (z.B. «im Blickfeld oben rechts») angeordnet sind.

Die dritte offene Frage im Rahmen der Interviews zielte auf mögliche Stimuli, die resistent sind gegen Habituation oder Routine<sup>14</sup>. Die grosse Mehrheit (108) der Antworten entfiel auf *Dynamische Signale*, wobei die Subkategorien mehr Aufschluss darüber zulassen, in welchem Sinne die Signale dynamisch sein könnten. So meinten 68 Personen *Wechselnde Stimuli*, 26 meinten *Zufällige Muster* und 6 mal war etwas *Unterwartetes* gemeint. Mit 50 Nennungen war *Licht* die nächste Kategorie mit der Subkategorie *Blinkende Lichter* (39). *Farbe* war bei 39 Antworten der Schlüssel gegen Routine, 29 mal wurde ein *Schild/Symbol* genannt, *Klang/Ton* fast ebenso oft (21) und *Bewegung* wurde in 18 Antworten als Mittel gegen Habituation empfohlen.

Die aus Sicht der Autoren besonders interessanten Antworten werden im Folgenden als Zitate erwähnt, eine vollständige Darstellung aller Antworten befindet sich im Anhang.

**Tab. 9** Auswertung Frage 3 – Workshop «Wahrnehmung» (potenzielle Stimuli mit Resistenz gegen Habituation/Routine)

Kategorie	Subkategorie	Häufigkeit der Merkmalsnennung
Dynamic		108
	Changing Stimuli	68
	Randomised patterns	26
	Unexpected	6
Light		50
	Blinking lights	39
Color		39
Sign/symbol		29
Sound		21
Motion		18

**Tab. 10** Zitate Frage 3 (potenzielle Stimuli mit Resistenz gegen Habituation/Routine)

Zitat	Relevanz für vorliegenden Kontext
„I don't think there is one (stimulus resistant to habituation), anything can become habitual“ “the overall frequency of how often you are heading it will matter“	Hinweis darauf, dass nicht der Stimulus selbst die Gewöhnung ausschliessen kann
“very brief presentations might be under perceptual threshold for habituation (<30ms)“	Sehr kurze Präsentationen eines Reizes (< 30ms) könnten immun sein gegenüber Habituation.
“make it jitter, so that it is more difficult in terms of spacial location“	Kurze, schnelle Bewegungen zur schwereren Lokalisation des Reizes.
“when people learn that something is irrelevant, then they learn to ignore it“ “light on only when it's relevant“ “if they don't carry information, you learn to ignore it“	Relevanz
“keep one feature constant but change part of it (e.g. form of a star always the same, but color changing)“; “something changing over time for sure, but connected to the other one, it has to maintain the semantic content“ “color is not very useful; change parameters like orientation of the stimulus“ “changing the scenery and holding the stimulus stable“	Variable und multisensorische Stimuli

<sup>14</sup> “Which stimulus would you recommend being resistant to habituation or routine?”

„try to use a set of stimuli that triggers the same kind of attention by mixing up and randomizing the presentations, using the widest set as possible“	
“trade off: if you change the signal, people need time to learn”	Möglicher Nachteil variabler Stimuli
“haptic feedback” “speed bumps”	Haptische Reize
“ocelli is the name of eye spots that animals have, attracts people’s attention“ (e.g. butterflies)	Opt. Täuschung, Illusion von Augenpaaren
“present the people from time to time after a signal an objective, what the signal warns about” “not to have too many false alarms”	vermeiden oder verringern
“anything we naturally find frightening” “something very scary, we don’t want to see like pictures of dying people or cancer in smoking prevention” “expressive, fearful, threatening faces” “something that is unpleasant to people”	Emotionen
“capture effect by disrupting the habituation with an outbar”	Routine durchbrechen

Die Beantwortung dieser Frage – die den Befragten sichtlich schwer fiel – bestätigt die auch schon in der vorherigen Frage gesammelten Antworten. Sich verändernde und unerwartet erscheinende bzw. aufleuchtende Signale sind offenbar die wirksamste Möglichkeit, einer Routineentwicklung vorzubeugen. Zum Teil wird dies im Schweizer Strassenverkehr bereits praktiziert, indem etwa bestimmte Signale zum Tramvortritt erst dann (per Prismenwender) eingeblendet werden, wenn sich ein Tram nähert. Im weitesten Sinne kann dieser Aspekt auch angewendet werden auf Geschwindigkeitslimit, die beispielsweise nur zu Schulzeiten sichtbar sind.

(O)LED gestützte Anzeigen wiederum bieten zukünftig vielfältige Möglichkeiten, bewegende Elemente innerhalb eines Signals darzustellen und dabei allenfalls auch unerwartete Elemente zu integrieren. Möglich wäre beispielsweise die von den Befragten ebenfalls angeregte Verwendung von Ocelli (primär bei Gliederfüssern vorkommende Einzelaugen): Diese kann insofern bedeutsam sein, als sich dies als ein Reiz herausstellen könnte, der – möglicherweise ähnlich wie Feuer – besonders häufig den Blick auf sich lenkt. Auch statisch liesse sich die Grundidee der Verwendung von Elementen aus der Tierwelt realisieren, die die Aufmerksamkeit von Menschen auf sich ziehen können. In der Verkehrsunfallprävention etwa wurden durch die Kantonspolizei Thurgau bei Leuchtwesten Motive verwendet, die die auffällige Markierung von Insekten (hier: Wespen) reflektierend darstellten ([158]).

In den Rückmeldungen der Befragten wurde ebenfalls auf ein relevantes Kriterium hingewiesen, das bei selbsterklärenden Strassen zur Verhinderung von Routineeffekten entscheidend sein könnte: Die Reduzierung bzw. Vermeidung von «falschen Alarmen».

#### 5.1.4 Fazit

Das Ziel, möglichst viele Forschende im Feld der menschlichen Wahrnehmung zu befragen und Anregungen zu den Themen Aufmerksamkeitserrregung, Blicklenkung und Habitationsresistenz zu erhalten, konnte im Workshop E1 – Wahrnehmung mit 170 durchgeführten und ausgewerteten Interviews erreicht werden.

Zur Erzeugung von Aufmerksamkeit für potenziell gefährliche Dinge oder Situationen verwiesen die Experten mehrheitlich auf die Nutzung besonders salienter Reize. Dazu gehören insbesondere leuchtende Farben, Licht, Kontrast, Bewegung und der Einsatz geeigneter Zeichen gefolgt von auditiven, dynamischen Reizen, wobei Grösse und Lokalisation des Reizes ebenfalls zu berücksichtigen sind.

Zur Blicklenkung empfahlen die Wahrnehmungsexperten Verkehrsschilder (insbesondere mithilfe von Pfeilen), Lichter, Farben, Bewegungen, Töne (unter Berücksichtigung der

passenden Lokalisation der Reize), dynamische wie auch kontrastreiche Signale und das Zeigen auf die potenziell gefährliche Stelle bzw. den Gegenstand.

Als herausfordernd empfanden es die Fachpersonen, Massnahmen gegen eine Routinebildung zu benennen. Hier wurden besonders häufig *dynamische* Reize genannt, also solche, die unerwartet, zufällig oder wechselnd sichtbar sind. Vor allem blinkende Lichter wiederum scheinen gegen Habituation relativ resistent zu sein. Die Verwendung von Farben, Symbolen, Tönen und Bewegung fanden die Experten ebenfalls empfehlenswert.

Neben den Eigenschaften der betreffenden Reize nannten die Wahrnehmungsexperten allerdings auch physiologische und psychologische Faktoren. So blieb nicht unerwähnt, dass das menschliche Sehen im fovealen bzw. peripheren Bereich unterschiedlich empfänglich ist für verschiedene Reize; dies hat zur Folge, dass insbesondere sicherheitsrelevante Signalisation immer in natürlicher Blickrichtung vorzufinden sein sollte, während informative Signale auch in Blick-peripheren Bereichen positioniert sein können.

Zudem wurde darauf hingewiesen, dass die Aufmerksamkeit limitiert ist und sich nicht ohne Nachteile auf viele Reizquellen verteilen lässt. Hinzu kommt die bedeutende Rolle der Erwartungen, der persönlichen Relevanz und der emotionalen Ebene bei der Ansprache.

## 5.2 Aufmerksamkeit

### 5.2.1 Vorgehen

Ziel des Workshops zur Aufmerksamkeit war es, Erkenntnisse aus anderen Disziplinen (ausserhalb des Verkehrswesens) zur Generierung von Aufmerksamkeit zu erhalten. Hierzu wurden verschiedene Forschungsstellen innerhalb der Hochschule der Künste in Zürich kontaktiert und um Input gebeten. Die Rücklaufquote war eher gering. Folgende Themengebiete haben sich bereit erklärt, an einem Telefoninterview teilzunehmen:

- Industrial Design
- Audiovisuelle Medien
- Kunst und Medien

Im Rahmen des Telefoninterviews wurden die folgenden Fragen thematisiert:

1. Welche Werkzeuge stehen in Ihrer Disziplin zur Verfügung, um Aufmerksamkeit zu generieren aber auch um diese über die Zeit (hoch) zu halten?
2. Mit welchen visuellen Reizen arbeiten Sie, um den Adressaten Informationen zu übermitteln?
3. Kann man und wenn ja, wie bei visuellen Reizen zwischen bewusst und unbewusst wahrgenommenen Reizen unterscheiden?
4. Welche Unterschiede sind dabei in Bezug auf die Charakteristik der Adressaten zu berücksichtigen (u. a. Alter, Hintergrund, kulturelle Prägung)?
5. Was führt zu einer Überforderung bzw. eine Unterforderung in Bezug auf die Generierung von Aufmerksamkeit?
6. Wie kann man das visuelle Umfeld gestalten, um einzelne Reizen/Signalen mehr oder eine besondere Aufmerksamkeit zu verleihen?
7. Durch welche Art an visuellen Reizen, kann die Konzentration auf einem bestimmten Punkt im räumlichen Sichtfeld gerichtet werden?
8. Wie kann auch nach mehreren Jahren noch die Aufmerksamkeit auf ein Element gelenkt werden ohne, dass Reize zur Routine werden?
9. Welches Verkehrsmittel benutzen Sie am häufigsten?
  - Personenwagenlenkende – Stellen Sie sich eine unübersichtliche Kreuzung vor. Wenn Sie unabhängig von Regeln/Vorgaben entscheiden könnten, diese Kreuzung umzugestalten, was würden Sie tun, damit diese Kreuzung

übersichtlicher wird (übersichtlich = Sie wissen wo sie langfahren müssen, sie wissen wer vortrittsberechtigt ist, ...)?

- Velofahrende – Stellen Sie sich eine vielbefahrene Stadtstrasse vor. Wie müsste diese gestaltet sein (keine Regeln/Vorgaben), damit sie intuitiv die Fahrbahn und nicht das Trottoir benutzen bzw. diese als sicher wahrnehmen?
- Zufussgehende – Stellen Sie sich eine unübersichtliche Geschäftsstrasse wie die Bahnhofstrasse vor. Nur an bestimmten Stellen ist eine sichere Querung möglich. Wie müssten diese Stellen gestaltet sein (keine Regeln/Vorgaben), damit Sie als Zufussgehender dort intuitiv die Strasse queren?

Diese Fragen gaben eine Struktur für das Telefoninterview vor, konnten aber häufig nicht direkt abgearbeitet werden. Vielmehr ergaben sich die im folgenden dokumentierten Ergebnisse aus der Diskussion.

## 5.2.2 Ergebnisse

Aufmerksamkeit wird durch folgende Aspekte generiert bzw. fördern folgende Aspekte eine im Vergleich erhöhte Aufmerksamkeit:

- Aktualität, Neuheit
- Menschen stärker als Objekte
- Licht
- Farbe
- Audio
- rote Farbe
- aufgeräumtes Umfeld
- implizite Verständlichkeit
- einfaches, klares und eindeutiges Design
- Reduktion aufs Wesentliche
- Kontraste
- „Cliffhänger“ (im Ungewissen lassen)
- Hinweise/Signale, welche auf möglichst vielen Dimensionen laden<sup>15</sup>

Die Steuerung und Fokussierung der Aufmerksamkeit kann dabei folgendermassen erfolgen:

- Temporäres Signal (mehr Licht, Audiosignal)
- Label und Bezeichnungen
- Ansprache mehrerer Sinne
- Konditionierung Nutzer
- Rückgriff auf erlernte Verhaltensweisen
- Es ist bei der Steuerung auf die Grösse des Bildausschnitts zu achten (u. a. bei Filmen die Grösse des Displays).
- Schlüssige Bewegungsabläufe z. B. über visuelle Hinweise andeuten

Audiosignale werden stärker unbewusst – vor allem als Hintergrundgeräusche – wahrgenommen. Generell werden niederschwellige Signale und Reize stärker unbewusst aufgenommen.

Eine Überforderung tritt dann ein, wenn zu viele Farben, Schrift und Schriftarten verwendet werden. Eine Überforderung kann z. B. bei älteren Leuten zu Nichtnutzung bzw. einer Verweigerungshaltung führen.

Das Einstudieren von typischen Abläufen, welche dann auch mit einer geringen Aufmerksamkeit korrekt durchgeführt werden, steht in Konkurrenz zur Unterbrechung einer Routine, um die Aufmerksamkeit wieder zu erhöhen. Es wird davon ausgegangen, dass

<sup>15</sup> Hier wurde der Nachrichtenwert aus dem Journalismus herangezogen. Dieser ist dann hoch, wenn eine Nachricht möglichst viele der Themen menschliches Drama, Kriminalität, Gewalt, Unglück, Sex, Leben von VIPs, „Nähe“ (u. a. räumlich, Gefühlswelt) oder, Macht betrifft bzw. berührt.

maximal drei Sekunden für das „Einfangen“ Aufmerksamkeit zur Verfügung stehen, da sonst eine Abwendung erfolgt bzw. das Signal dann u. U. nicht mehr wirkt. Reize können in ihrer Intensität verändert werden, um die Aufmerksamkeit hoch zu halten.

Grundsätzlich wird das Alter als wesentlicher Einflussfaktor in Bezug auf unterschiedliche Adressaten für Reize zur Generierung von Aufmerksamkeit angesehen:

- Ältere Menschen stehen kritisch einem Mehr an Funktionalität, Neuheit und auch einer grossen Menge an Inhalten gegenüber.
- Jüngere Menschen wollen im Gegensatz zu den Älteren mehr Tempo, viele Informationen und vor allem ständig neue Impulse.

Ein weiterer Hinweis aus der Robotik im Zusammenspiel von Mensch und Maschine betrifft die Sensorik der Roboter, welche mittlerweile auf Widerstände reagiert, um Verletzungen von Menschen zu vermeiden.

### 5.2.3 Fazit

Ähnlich wie beim Workshop zuvor, wurden bereits bekannte Ansätze aus dem Verkehrswesen durch die interdisziplinäre Ansprache nochmals bestätigt (u. a. zu Farben, akustische Signale, Licht, temporäre Signale). Es konnten aber auch weniger geläufige Ansätze identifiziert werden. Hierzu gehört vor allem die höhere Gewichtung von Personen gegenüber Signalen, die Rolle eines aufgeräumten Umfelds oder die Unterschiede zwischen den Anforderungen jüngerer und älterer Menschen. Am nächsten zur selbsterklärenden Strasse steht wahrscheinlich der Hinweis zur impliziten Verständlichkeit von Gegenständen bzw. Strassenräumen.

## 5.3 Ergonomie

### 5.3.1 Vorgehen

Ziel des Workshops war es Erkenntnisse der Fahrlehrer aus der Fahrausbildung einzusammeln. Ausgangspunkt war die Hypothese, dass selbsterklärende Strassen (quasi) automatisch ein richtiges Verhalten bei den Fahrschülern und Fahrschülerinnen hervorrufen. Im Vergleich von Situationen, welche den Schülern/-innen mehr Probleme bereiten, werden sich Erkenntnisse für ein besseres Design von Strassen erhofft.

Der Workshop – an dem letztendlich sechs Fahrlehrende teilgenommen haben – wurde nach dem Prinzip des Design-Thinking aufgebaut. Dabei wurden sukzessive verschiedene Fragestellungen in einen vglw. kurzen Zeitraum in Kleingruppen bearbeitet. Die Antworten auf diese Fragen wurden auf Karteikarten gesammelt, priorisiert und miteinander verknüpft.

1. An welchen Ihnen bekannten Orten zeigen FahrschülerInnen intuitiv angemessenes Fahrverhalten?
2. Bei welchen Handlungen (z. B. Fahrmanövern) zeigen FahrschülerInnen intuitiv angemessenes Verhalten?
3. An welchen Ihnen bekannten Orten zeigen FahrschülerInnen auch nach längerer Zeit **kein** angemessenes Fahrverhalten?
4. Bei welchen Handlungen (z. B. Fahrmanövern) zeigen FahrschülerInnen auch nach längerer Zeit **kein** angemessenes Fahrverhalten?
5. Sortieren Sie bitte diese Antworten. Fassen sie die Antworten nach Ihrem Ermessen sinnvoll zusammen und gewichten Sie diese Kategorien.
6. Warum glauben Sie, wird dort bzw. dabei intuitiv ein angemessenes Verhalten gezeigt?
7. Wie kann man Orte so gestalten, dass sich angemessenes Verhalten zeigt trotz der zuvor ermittelten Hindernisse?

### 5.3.2 Ergebnisse

Ein Grossteil der Erkenntnisse ergab sich aus den Hinweisen zu Orten und Verhaltensweisen, welche intuitiv richtig bzw. nicht richtig sind. Die Verhaltensweisen wurden in Tab. 11 in verschiedene Kategorien aus Gründen der Übersichtlichkeit gegliedert. Interessanterweise finden sich dort eine Vielzahl an Nennungen wieder, welche



auch in der Ausbildung von Verkehrsingenieuren in Bezug auf den Strassenentwurf eine Rolle spielen (z. B. Einfachheit, Klarheit und Widerspruchsfreiheit bei der Knotengestaltung). Insgesamt war der Tenor der Fahrlehrenden, dass es an einer konsequenten und durchgängigen Strassengestaltung fehlt. Vor allem die Widersprüche zwischen Verkehrsregelungen (z. B. Beschilderung Tempolimit) und der baulichen Gestaltung wurden als Problemfeld angesprochen.

**Tab. 11** Clusterung von Verhaltenskategorien (+ begünstigen sicheres Verhalten, - erschweren sicheres Verhalten)

Kategorie	Tendenz	Nennungen
Automatismus, Bekanntheit, frühe Prägung	+	Bahnübergänge, Kreisel, Automatismus, Voraussicht, bekannte Strassen, einfache Strassenführung, Kindheit, ...
Einfachheit, Klarheit, Widerspruchsfreiheit	+	LSA, Querschnitt (Breite und Geschwindigkeit), Gestaltung und Verkehrsregeln in Einklang (breite Strasse mit Mittelmarkierung und höherem Tempolimit), Übergangsbereiche, Trennung Verkehrsteilnehmer, ohne Fremdeinwirkung, gerade Strassen, breite Strassen, Rückwärts senkrecht einparken, Weg des geringsten Widerstands, kein Vortritt, ...
Angst, Respekt	+	Engstellen, Kurven, Dunkelheit, Platzverhältnisse, viel Verkehr, ...
Stetigkeit, Konsequenz	+	durchgängiges Tempolimit, einheitliche Gestaltung Rechtsvortritt, durchgängige Veloführung, Übergangsbereiche, verkehrs-/siedlungsorientiert, ...
Nachvollziehbarkeit	+	Tempolimits, Markierung, klare Abgrenzung verkehrs-/siedlungsorientiert, Geschwindigkeitsanpassung, NICHT Rechtsvortritt, rechtsabbiegende Velo bei Rot, ...
Erwartbarkeit	+	Sichtkontakt zu Anderen, verkehrs-/siedlungsorientiert, keine Haltestellen in Kreuzung (plötzlicher Bushalt), Erkennbarkeit FGS, Voraussicht, ...
Übersichtlichkeit	+	Kurven, ...
Barrieren	+	physische Hindernisse, bauliche Massnahmen/Gestaltung, ...
externe Einflüsse	+/-	Einfluss der Eltern/peer group, Einfluss anderer Verkehrsteilnehmer, kollektives Fehlverhalten vs. Vorbildfunktion, ...
Unkenntnis	-	fehlende Ausbildung, neue Markierung, fehlendes Verständnis physikalischer Hintergründe, Gelbblinker LSA, Selbstüberschätzung, Abstand, Verhalten gegenüber Rettungsdienst, Notfallgasse, Ausparken, Geschwindigkeitsanpassung, (einfache Manöver), ...
Überforderung	-	Mischverkehr, Haltestellen, Baustellen, kreuzende Ströme, unerwartete LSA, Tempo 30, Kreisel, Mehrzweckstreifen, räumliches Vorstellungsvermögen, ...
persönliche Einstellung	-	innere Blockade, Abwehrreaktion, Trotzphase, Generationsunterschiede, ...
Unaufmerksamkeit	-	Abstand, Ausparken, Geschwindigkeitsanpassung, Ausfahrt Autobahnen, ...
Egoismus	-	auf Recht beharren, Rücksichtslosigkeit, ...

In Tab. 12 finden sich die Massnahmenennung wieder. Auf eine Priorisierung wurde verzichtet, da aufgrund der kleinen Teilnehmeranzahl keine Häufigkeiten in der Nennung abzuleiten waren.

**Tab. 12** Nennung von Massnahmen zur Verbesserung der Strassengestaltung

konsequente, stetige und widerspruchsfreie Tempolimit entlang Strasse
durchgängige Veloführung
mehr Radstreifen, mehr Radwege
Veloführung konsequent trennen von Fahrbahn und farblich unterstützen (generell stärkere Trennung Verkehrsarten)

---

rechts und links Vorbeifahren auf Autobahnen

---

Reisverschluss bei Kreiseinfahrt

---

Kreisel mit LSA bei hoher Belastung

---

gleiches Tempolimit Pkw/Lkw (Harmonisierung aller Geschwindigkeiten)

---

Autobahn: zügiges Einfahren, gleichmässige Befahren, Verzögerung beim Ausfahren fördern

---

einheitliche Gestaltung Rechtsvortritt

---

Beeinflussung Geschwindigkeitsverhalten über Querschnitt und Mittelmarkierung

---

physische Barrieren (z. B. vertikale Versätze)

---

Übergangsbereich aktiv gestalten (z. B. Ende Busfahrstreifen, Veränderung Veloführung)

---

klare und farblich differenzierte Markierung

---

Vereinheitlichung von Kreuzungen

---

Übersichtlichkeit gewährleisten

---

Sichtbarkeit Fussgängerstreifen und deren Wartebereiche verbessern

---

Platzierung Haltestellen, wo Bushalt erwartet wird

---

(Trixi-Spiegel, Countdown-Anzeige LSA, Reisverschluss bei Kreiseinfahrt)

---

In den Diskussionen wurden weitere Sachverhalte angesprochen:

- Widerspruch von baulicher Gestaltung und Verkehrsregelung (Signalisation und Markierung)
- Hinweis auf unterschiedliche Verhaltensweisen bei jüngeren und älteren Fahrschüler/-innen
- „Viele Fahrschüler/-innen verstehen Strassen überhaupt nicht“
- „Das Strassenumfeld ist ein Dschungel“
- Baustellen und Baustellenführungen werden als ein grösseres Problem angesehen.
- Angst vor Stadtfahrten
- Problematik Rechtsvortritt: Verkehrsregelung kommt in vielen unterschiedlichen Regelungen in der Praxis vor (auf siedlungs- und verkehrsorientierten Strassen, mit und ohne Markierung, generell Problematik fehlender Vortritts-Verkehrszeichen). Eine Vielzahl an Fahrschülern/-innen haben Probleme den Rechtsvortritt zu verstehen.

### 5.3.3 Fazit

Auch in diesem Workshop waren (überraschend) viele Parallelen zu den Projektierungsgrundsätzen (z. B. Einheit von Gestaltung und Verkehrsregelungen/Signalisation) feststellbar. Es wurde im vertieften Gespräch aber auch deutlich, dass zahlreiche genannte Defizite in den Bereich Umsetzungsdefizit fallen (z. B. keine konsequente Signalisierung entlang eines Strassenzugs). Für die weitere Konkretisierung der Design-Regeln aus den Humanfaktoren heraus, liefert dieser Workshop praktische Anknüpfungspunkte, welche Stellen mehr oder wenig selbsterklärenden Charakter haben.

## 5.4 Kinder und Senioren (bfu-Gespräch)

### 5.4.1 Vorgehen

Ziel des Gesprächs war es Erkenntnisse über Kinder und Senioren in Bezug auf eine selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassengestaltung zu gewinnen. Dabei ging es hauptsächlich darum herauszufinden, mit welchen Begebenheiten die Interessengruppen im Strassenverkehr gut - oder eben gerade nicht – zurechtkommen und was ihnen helfen könnte, sich sicherer zu verhalten. Inhaltlich konnten die besprochenen Hinweise von ganz Allgemeinem (z.B. Senioren kommen in reizarmen Umgebungen gut zurecht) bis hin zu sehr Spezifischem alles Mögliche beinhalten (z.B. Senioren fühlen sich bei Strassenübergängen mit Lichtsignalanlagen oft gestresst, da die Gründauer meist zu kurz eingestellt ist). Im übertragenen Sinne ging es in diesem Gespräch auch darum, Hinweise

zu erhalten, was alles im Strassenverkehr für die beiden Anspruchsgruppen selbsterklärend und forgiving sein könnte und was diese beiden Begriffe aus der Sicht von Kindern und Senioren bedeuten könnten. Das Gespräch war so ausgelegt, dass auch hypothetische oder utopische Ideen oder Gedanken Raum erhielten.

Am Gespräch haben zwei Fachpersonen der Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) teilgenommen. Folgende Fragestellungen standen dabei im Zentrum:

- Was können K&S (Kinder und Senioren) im Strassenverkehr generell gut resp. womit haben sie Mühe?
- An welchen Orten/in welchen Situationen sind K&S im Strassenverkehr besonders auf spezifische Hilfen angewiesen?
- Welche (infrastrukturbezogenen) Elemente sind in der Praxis vorhanden, damit K&S besser zurechtkommen?
- Was wäre die ideale Strassengestaltung für K&S, wenn das Leben ein Wunschkonzert wäre, ohne dabei auf andere Aspekte oder Verkehrsteilnehmergruppen Rücksicht nehmen zu müssen?
- Was könnte ein selbsterklärender Strassenabschnitt aus der Sicht von K&S beinhalten und von welchen Aspekten können K&S profitieren, wenn ein Strassenübergang selbsterklärend ist?
- K&S sind im Strassenverkehr besonders gefährdet (z.B. hohe Mortalitätsrate bei Senioren), was könnte zusätzlich berücksichtigt werden, damit die Unfallfolgen minimiert werden? (Aspekt des Forgings)
- Schlagworte: Wahrnehmung, Kognition/Verarbeitung, Wissen, Einschränkungen, Verkehrsinstruktion, Fussgänger, F&G, Velo, Auto, fehlerverzeihend, selbsterklärend, intuitiv, Infrastruktur, Queren, FLOZ, Signalanlagen.

## 5.4.2 Ergebnisse

Folgende Aspekte wurden im Rahmen eines rund einstündigen Gespräches als SERFOR relevant bezüglich Kinder<sup>16</sup> und Senioren<sup>17</sup> herausgestellt (für SERFOR relevante Inhalte werden «fett» markiert:

- Kinder haben eine Gabe, die Welt auf eine andere Art und Weise wahrzunehmen als Erwachsene. Sie nehmen beispielsweise Dinge wahr, welche den Erwachsenen entgehen.
- **Kinder nehmen die Umwelt meist interessengeleitet wahr** und handeln dementsprechend; sie wird im Vergleich zu Erwachsenen **eher detailfokussiert** statt ganzheitlich wahrgenommen.
- Kinder leben im Moment.
- Kinder sind meist regeltreuer als Erwachsene, wenn sie nicht abgelenkt sind und befolgen Regeln und Handlungsanweisungen relativ rigide (zumindest bis ca. ins Alter von 8-9 Jahren).
- **Kinder werden sehr schnell von allem Möglichen abgelenkt** (z.B. dem Hund auf der anderen Strassenseite).
- **Kinder haben Mühe, sich konsistent zu verhalten**, da teils die Selbstkontrolle fehlt.
- **Kinder sind von der Flut an Informationen im Strassenverkehr überfordert** und haben oft Mühe, wenn viele Inputs und Handlungsanweisungen zeitnah miteinander verarbeitet werden müssen (gerade im Strassenverkehr, wo es teils schnell gehen muss).
- Kinder können Gefahren nicht vorhersehen resp. antizipieren, da der Perspektivenwechsel teils noch nicht vorhanden ist.

<sup>16</sup> Als Diskussionsgrundlage wurde im Gespräch ein Altersrange von ca. vier bis zwölf Jahren festgelegt, auch wenn sich die Lebenswelt sowie die kognitive Entwicklung eines Vierjährigen massgeblich von jener eines Zwölfjährigen unterscheidet.

<sup>17</sup> Der Gesundheitszustand einer 65-jährigen Person kann sich diametral von jener einer 92-jährigen unterscheiden. Hier wird allgemein von Senioren gesprochen, jedoch sind damit vor allem jene gemeint, welche bereits altersbedingte Einschränkungen aufweisen (z.B. körperliche oder kognitive Einschränkungen).

- Kinder können nicht auf einen grossen Erfahrungsschatz zurückgreifen.
- **Kinder haben Mühe, den Transfer von einer Situation auf eine andere zu leisten** (z. B. wenn sie an einer Stelle das Queren gelernt haben, heisst das nicht, dass es auch an einer anderen Stelle gleichermassen klappt).
- Senioren sind regeltreuer als die restlichen Erwachsenen, jedoch geschehen ihnen mehr Fehler (ungewollt und teils unbewusst).
- **Senioren fühlen sich schnell gestresst resp. überfordert.**
- Senioren können gut einschätzen, was sie noch können und was nicht, jedoch haben sie teils Mühe, sich dies auch einzugestehen resp. die entsprechenden Massnahmen (z.B. auf das Auto verzichten) auszuführen.
- Senioren haben teils Angst vor Einschränkungen der Mobilität
- Senioren haben ein starkes Bedürfnis nach Selbstbestimmung (Einschränkungen werden nur hingenommen, wenn diese aus eigenen Überlegungen passieren).
- Die grosse Erfahrung kann teils störend wirken, da sie womöglich von gewissen Leuten als Defizitkompensation verstanden wird.
- Senioren haben teils entwicklungsbedingte Einschränkungen (z.B. **Verminderte Reaktionsgeschwindigkeit**)
- **Kinder und Senioren sind vor allem beim Queren auf Hilfe angewiesen**
- Fussgängerstreifen, Ampeln oder Mittelinseln sind Elemente, welche S&K beim Queren unterstützen.
- **Je komplexer die Situation ist, desto mehr Hilfe benötigen K&S** (z.B. Senioren an Kreuzungen).
- **Markierungen, welche die Kinder leiten, wären hilfreich (z.B. eine Linienführung ähnlich wie für Personen mit einer Sehbehinderung)**
- **Bodenmarkierungen (aufgemalte Füsschen) helfen den Kindern, die richtige Stelle zum Queren zu finden** (s. *Abb. 14*; vgl. [163]).
- **Es ist wichtig, dass Markierungen so gestaltet sind, dass sich das Kind angesprochen fühlt**, sonst wird es als etwas aus der «Erwachsenenwelt» wahrgenommen (z.B. anhand von kindgerechten Symbolen). Gerade die aufgemalten Füsschen auf dem Boden, welche den sicheren Weg weisen, sollten als kleine Kinderfüsse abgebildet werden statt als grosse Sohlen (*Abb. 14* stellt demzufolge eher ein schlechtes Beispiel dar).



**Abb. 14** «bfu-Füsschen» (nach [163])

- **Kindern hilft es, wenn sie wissen wo genau sie sich aufhalten können/sollen und wo sie am besten durchfahren** (auf dem Trottoir wird z.B. gekennzeichnet, dass es auf der Trottoirhälfte, die nicht dem Verkehr zugewandt ist, laufen sollte oder eine **klare Linienführung** für Velofahrende im Kreisverkehr)
- Radstreifen sind gut für Kinder, Radwege noch besser.

- Eine komplette **Trennung nach Verkehrsteilnahmegruppe** wäre der Idealfall (z.B. sind Radstreifen gut, jedoch Radwege noch besser).
- Generell ist für K&S das Trennen resp. das **Aufsplitten von Gefahren und Handlungsabläufen auf mehrere Sequenzen** hilfreich. Ein gutes Beispiel dafür ist die Mittelinsel, welche den Prozess des Querens auf zwei Teilsequenzen aufteilt und dazwischen noch eine Pause zulässt (1. Querung der einen Strassenhälfte, Pause, 2. Querung der zweiten Strassenhälfte)
- Mit Fussgängerstreifen, Mittelinseln und Ampeln ist man gut unterwegs, aber in 30er Zonen besteht noch Handlungsbedarf, möglicherweise wären auch da **Bodenmarkierungen (Füsschen, aufgemalte Inseln) als Verhaltenshilfen** denkbar.
- Querungsstellen (z.B. auch Fussgängerstreifen) sollten an Orten platziert sein, damit sie gute Verkehrswege für K&S zulassen.
- Lichtsignale sind wichtig für K&S.
- **Adaptives Warnen an Lichtsignalen ist für K&S momentan eher nicht geeignet** aufgrund der noch zu hohen Falsch-Positiv- und Falsch-Negativ-Raten.
- Ampelsteuerungen könnten teils noch verbessert werden: **Zu kurze Grünzeiten sind für Senioren nicht gut**, da sie mehr Zeit zum Queren benötigen.
- **Das Konzept des Selbsterklärenden ist für K&S generell ein guter Ansatz, besonders wenn sie vom System geleitet und unterstützt werden.**
- **Kinder profitieren von Einheitlichkeit in der Verkehrsgestaltung**, weil die Welt oft auch vereinfacht werden muss, wenn man ihnen Regeln beibringen möchte.
- **Unterschiedliche Markierungen auf den Strassen sind teils etwas verwirrend**, so dass man nicht mehr genau weiss, wie man sich verhalten soll resp. wo man queren kann (z.B. gelbe Fläche in Thun oder blaue Welle). FLOZ ist für Senioren aufgrund der nicht klar erkenntlichen Querungsstellen eher schlecht geeignet.
- **Mittelinseln sind als Element der Fehlerverzeihung zu betrachten** (wenn man einen Fehler macht, dann kann man sich evt. auf die Mittelinsel noch retten).
- Man sollte für Senioren möglichst Sturzfallen eliminieren und eine **Hindernisfreiheit** gewährleisten (dieser Punkt steht jedoch in einem Konflikt mit den Bedürfnissen von Personen mit einer Sehbehinderung, welche auf gewisse Elemente für ihre Orientierung angewiesen sind)
- **Kurze, direkte Wege** wären für Senioren erwünschenswert, da z.B. Unterführungen mit dem Rollator schwierig zu passieren sind. Der Motorisierte Verkehr müsste eigentlich den Umweg machen müssen, nicht die mobilitätseingeschränkten Senioren.
- Man könnte z.B. mehr Sitzgelegenheiten einrichten, damit sich ältere Leute **vermehrt ausruhen** können.
- Breitere Trottoirs könnten helfen, dass die Verkehrsteilnehmenden besser aneinander vorbeikommen. Gerade Senioren mit Rollatoren oder eingeschränkten Körperfunktionen (Kopf drehen) **benötigen etwas mehr Raum** um sich beispielsweise umzudrehen.
- Tramschienen werden nicht als fehlerverzeihend betrachtet.

## 5.5 Austauschplattform Sicherheitsbeauftragte (ASTRA)

### 5.5.1 Vorgehen

Im Rahmen der jährliche Austauschplattform der Sicherheitsbeauftragten beim Bundesamt für Strassen ASTRA wurde den Teilnehmenden (u. a. Sicherheitsbeauftragte der Kantone, Gemeindevertreter) das Forschungspaket SERFOR sowie die Ergebnisse aus dem Teilprojekt 1 Forschung Humanfaktoren in einem kurzen Vortrag vorgestellt.

Im Anschluss wurden die folgenden Fragestellungen in wechselnden Gruppen der Teilnehmenden diskutiert und auf Karteikarten (differenziert für Velofahrende, Zufussgehende und Motorfahrzeuglenkende) dokumentiert.

1. Welche Unfallsituationen assoziieren Sie mit Strassen, die nicht den Anforderungen an SERFOR genügen?
2. An welchen Orten ereignen sich solche Unfallsituationen (aufgrund von Defiziten hinsichtlich selbsterklärender Strassen)?

3. Bitte ergänzen und priorisieren Sie die ausgearbeiteten Unfallsituationen? Konkretisieren Sie Hintergründe/Ursachen für diese Situationen.
4. Bitte ergänzen und priorisieren Sie die ausgearbeiteten Unfallorte? Konkretisieren Sie Hintergründe/Ursachen für diese Orte.
5. Was müsste an diesen Orten verändert werden, um die Unfallsituationen und/oder deren Folgen zu reduzieren?

Im Anschluss wurden die Ergebnisse der Diskussionsrunden für die Teilnehmenden zusammengefasst und in die Ergebnisse der anderen Workshops und Gespräche eingeordnet.

## 5.5.2 Ergebnisse

Folgende Ergebnisse wurden im Rahmen der Gruppendiskussionen auf Plakaten dokumentiert.

### Zufussgehende

**Tab. 13** Ergebnisse Workshop Austauschplattform zu den Zufussgehenden (Anmerkungen mit eingeschränkter Relevanz für SERFOR in Klammern)

Orte / Netzelemente	Unfallsituationen / Konflikte / Verhalten	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fussgängerstreifen</li> <li>• Querungsstellen</li> <li>• Querungshilfen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrzeugverkehr rechnet nicht mit Querungen</li> <li>• Erkennbarkeit Warteraum</li> <li>• Einschränkungen Sichtweiten u. a. durch Parkierung</li> <li>• unklare Vortrittsregelung</li> <li>• (Norm nicht konsequent umgesetzt)</li> <li>• (Rücksichtskultur, Egoismus)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• übergeordnete Planung Fusswegenetze</li> <li>• normgerechte Standardsituationen schaffen (keine «Pseudangebote» wie z. B. zu schmale Radstreifen)</li> <li>• (Konsequente Normenumsetzung)</li> <li>• (Aufklärungskampagnen)</li> <li>• (Klare Vorgaben in den Normen bezüglich gemeinsamer Führung Fuss- und Radverkehr)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velos auf Trottoir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velos vs. Zufussgehende</li> <li>• Fehlende Trennung</li> <li>• Fehlender Raum</li> <li>• Geschwindigkeitsunterschiede</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trottoir</li> <li>• Flächen mit unklaren Regelungen (z. B. Bahnhofsvorplätze)</li> <li>• fehlende Trottoirs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sichtprobleme</li> <li>• Güterumschlag</li> <li>• E-Mobilität</li> <li>• begrenzter Raum</li> <li>• Fahrmanöver (z. B. Rückwärtsfahren)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• klare Anordnungen</li> <li>• (Parkierungsanlagen e-Mobilität)</li> <li>• (konsequente Normenumsetzung, z. B. Umsetzung korrekten Breiten)</li> <li>• (Betriebskonzepte entwickeln)</li> <li>• (Überwachung)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trottoirüberfahrten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vortrittsregelung</li> <li>• Ausgestaltung / Erkennbarkeit / Sicht</li> <li>• fehlende Kenntnis bei Verkehrsteilnehmenden</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tempo 20 / 30</li> <li>• Begegnungszone</li> <li>• Erschliessungsstrassen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vortrittsregelung</li> <li>• unklare und fehlende Signalisation</li> <li>• unbekannte Regelungen (z. B. Rechtsvortritt bei Tempo 30)</li> <li>• Ausgestaltung / Erkennbarkeit / Sicht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Mobilitätsverhalten)</li> <li>• (Verkehrsmittelwahl)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beleuchtung Fussverkehrsanlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausfall Beleuchtung</li> </ul>	

## Velofahrende

**Tab. 14** Ergebnisse Workshop Austauschplattform zu den Velofahrende (Anmerkungen mit eingeschränkter Relevanz für SERFOR in Klammern)

Orte / Netzelemente	Unfallsituationen / Konflikte / Verhalten / Fragestellungen	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Knoten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eingeschränkte Sichtbarkeit der Velos/Velofahrenden (Silhouette, Farbe, Licht)</li> <li>• Rotlichtmissachtung Velos</li> <li>• Linksabbiegen</li> <li>• Vorsortierung</li> <li>• Abbiegen bei Knoten mit engen Radien</li> <li>• Unkenntnis Vortrittsregelung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdeutlichung Radstreifen in Knoten (z.B. Roteinfärbung)</li> <li>• (bessere Ausbildung Lenkende)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreisel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende Spurunterteilung</li> <li>• Fahrverhalten Velo</li> <li>• Fahrverhalten Motorfahrzeuge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alternative Linienführung für Velos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ÖV-Haltestellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkennbarkeit Haltekante</li> <li>• Überholvorgang Velo-Bus</li> <li>• fehlende durchgehende Veloführung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Busbucht</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tramschienen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stürze</li> <li>• Überraschung bzw. fehlende Erwartung bezüglich der Gleise</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichkeiten für senkrechte Querung schaffen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mischverkehrsflächen Velo mit Motorfahrzeugen, Zufussgehenden und E-Bikes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eingeschränkte Platzverhältnisse</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fahrbahnbreiten</li> <li>• Radstreifenbreiten</li> <li>• Radwegbreiten</li> <li>• Kernfahrbahn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eingeschränkte Platzverhältnisse</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein-/Ausfahrten</li> <li>• Trottoirüberfahrten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anforderungen Barrierefreiheit</li> <li>• Unkenntnis Vortrittsregelung</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ruhender Verkehr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• unerwartete Querung der Zufussgehenden</li> <li>• sich öffnende Fahrzeugtüren</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begegnungszonen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mangelnde Kenntnis über Vortritt</li> <li>• Vortrittsverhältnisse unklar</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gefällestrecken</li> <li>• Passstrassen talwärts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erhöhte Geschwindigkeiten Velos</li> <li>• Fehleinschätzung Kurvenverlauf</li> <li>• Fahrverhalten Velos</li> <li>• (Nichtbeherrschen des Velos)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enge Kurven</li> <li>• glatte Fahrbahnoberflächen oder Markierungen</li> <li>• Ausfall Strassenbeleuchtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbstunfälle</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strassenführung</li> <li>• Baustellenführung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klarheit und Verständnis der Gestaltung</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sonstiges (Sammlung von Nennungen ohne direkten Bezug untereinander)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufmerksamkeitsverlust</li> <li>• Werbungsflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mehr und klarere Vorschriften und Normen</li> </ul>

## Motorfahrzeuge

**Tab. 15 Ergebnisse Workshop Austauschplattform zu den Motorfahrzeuglenkenden**  
(Anmerkungen mit eingeschränkter Relevanz für SERFOR in Klammern)

Orte / Netzelemente	Unfallsituationen / Konflikte / Verhalten / Fragestellungen	Lösungsansätze
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Querungsstellen Fussverkehr</li> <li>• Fehlende Fussgängerstreifen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sichtverdeckung durch zwei Fahrstreifen je Fahrtrichtung</li> <li>• unzureichende Sichtweiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umgestaltungsmassnahmen (baulich)</li> <li>• (Aufwertung des Strassenraums)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kreisel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fehlende Ablenkung («Durchschuss»)</li> <li>• unzureichende Normeinhaltung</li> <li>• überbreite Fahrstreifen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entflechtung Velo und Motorfahrzeuge</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linksabbiegen ohne Linksabbiege-/ Linksvorsortierungsstreifen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mangelhafte Zeichengebung (Blinken)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (assistiertes Fahren)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechtsvortritt (nicht markiert)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eingeschränkte Erkennbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkennbarkeit verbessern</li> <li>• Widererkennungswert schaffen</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• «Konfliktschaltungen» bei Lichtsignalregelungen (LSA)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konflikte bei LSA-Knoten besser verdeutlichen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• weniger «Konfliktschaltungen» (bedingt verträgliche Ströme)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einheit Bau und Betrieb (Übereinstimmung von Signalisation und Gestaltung)</li> <li>• Erscheinungsbild Strasse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schleuderunfälle</li> <li>• Schlechte und inhomogene Trassierung</li> <li>• nicht angepasste Tempolimits</li> <li>• Breite Strassen vs. niedrige Tempolimits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angepasste Sichtweiten</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auffahr- und Einbiegeunfälle</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermeidung Sichtbehinderungen (z. B. durch ruhenden Verkehr)</li> <li>• weniger Signale</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurvigkeit, Trassierung ausserorts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkennbarkeit und Erwartbarkeit der Strassenführung («überraschende» Strassenführung)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hindernisse im Seitenraum</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bäume am Strassenrand</li> <li>• unzureichender Sicherheitsraum</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• sonstiges (Sammlung von Nennungen ohne direkten Bezug untereinander)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ablenkung durch Umgebung</li> <li>• Informationsüberschuss</li> <li>• fehlender Platz (z.B. Breiten)</li> <li>• Überholvorgang Velofahrende rechts neben Mittelinseln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aggressionshemmende Infrastruktur</li> <li>• eintönige Strassenraumgestaltung</li> <li>• Konfliktkarten in der Verkehrsplanung</li> </ul>

### 5.5.3 Fazit

Der Schwerpunkt der Ergebnisse dieses Workshops liegt eher auf der Benennung von Konfliktsituationen und betroffenen Infrastrukturelementen, welche als relevant für SERFOR angesehen werden. Das sind vorrangig:

- Knoten (u. a. Sicht, Rechtsvortritt und dessen Kennzeichnung, Erkennbarkeit, Kreisel für Velofahrende und bezüglich unzureichender Ablenkung, bedingt verträgliche Ströme an Lichtsignalanlagen, fehlende Kenntnis Vortrittsregelungen)
- Querungsstellen Fussverkehr (u. a. Sichteinschränkungen, Erkennbarkeit, Trottoirüberfahrten und unklare Vortrittsregelung)
- Flächenaufteilung und -konkurrenz (u. a. Mischverkehrsführungen, Platzverhältnisse, erkenn- und begreifbare Trennung zwischen Verkehrsmittelarten, Abstände ruhender Verkehr und Veloverkehr, Baustellenführung)
- Übereinstimmung Signalisation und Gestaltung (u. a. passendes Tempolimit vs. Querschnittsgestaltung, Trassierung ausserorts)



In Bezug auf Massnahmenansätze wurde weniger Hinweise gegeben. Relevante Nennungen betreffen die Gewährleistung von Sichtbeziehungen oder Erkenn- und Begreifbarkeit von Konfliktstellen auch in Bezug auf Wiedererkennung/Standardisierung.



## 6 Fazit Humanfaktoren

### 6.1 Humanfaktoren bei der Projektierung von Infrastrukturelementen

#### 6.1.1 Anforderungen

Grundlage für die Beschreibung von Humanfaktoren stellen Modelle zur Beschreibung der Fahraufgabe bzw. des Lenkenden sowie der Gehaufgabe dar. Diese Modelle werden ganz unterschiedlich aber immer in verschiedenen Ebenen gegliedert, welche sich teilweise gegenseitig beeinflussen. Randbedingungen ergeben sich aus den externen Gruppen Fahrzeug, Umgebung und Verkehrsteilnehmende. Im Fokus stehen vor allem primäre Fahraufgaben. Sekundäre Fahraufgaben wie Blinken sowie tertiäre Fahraufgaben wie nebenbei telefonieren, spielen eher am Rande eine Rolle. Die primäre Fahraufgabe lässt sich nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen, u. a. nach:

- *Teilaufgaben des Fahrens* wie Navigation, Führung, Monitoring, Stabilisierung oder Kontrolle
- *Motiven und Zielen* des Lenkenden wie individuelle Ziele (Lifestyle), Zweck der Fahrt oder Beherrschung der Verkehrssituation
- *Ressourcen* wie individuelle Möglichkeiten (u. a. physisch, mental), Fähigkeiten und Kenntnisse, situative Faktoren des Umfelds, Risikobewusstsein und Arbeitsbelastung
- *Teilaufgaben des Fahrens unter Berücksichtigung externer Anforderungen* wie Grundaufgaben (Stabilisierung etc.), Fahraufgabe Längsverkehr, Fahraufgabe Querverkehr (v. a. Kreuzungsbereiche) und weiteren Fahraufgaben (u. a. Tunnel, Unfallsituationen, Nässe, Sicht)
- *Verknüpfung Fahraufgaben mit Leistungsfähigkeit des Lenkenden*
- *Umgang mit Informationen der Verkehrssituation* wie Informationsaufnahme, -verarbeitung und -umsetzung

Die zuletzt genannte Einteilung wurde dann im Bericht verwendet, um die Anforderungen an sensorische, kognitive und motorische Leistungsfähigkeit der Verkehrsteilnehmenden zu vertiefen.

Bezogen auf die Sensorik – also die Aufnahme von Information aus dem Verkehrsumfeld – stellt der visuelle Kanal mit rund 90% den wichtigsten Teil der Wahrnehmung. Gehör sowie Gleichgewichtssinn spielen einerseits beim Rad- und Fussverkehr eine grössere Rolle und bieten andererseits Ansätze, um zusätzliche Informationen – ohne Belastung des visuellen Kanals – an den Fahrzeuglenkenden zu geben. Das Sehen kann entweder in die Fixation und Blicksprünge oder in das fokussierte Blickfeld sowie die Peripherie aufgeteilt werden. Das Blickfeld, in dem die Fixation stattfindet, ist vergleichsweise klein, hier müssen die wichtigsten Informationen für die Verkehrsteilnehmenden platziert werden. Informationen in der Peripherie sollten eher dynamische sein. Hinweise aus dem Umfeld sollen vor allem der Einschätzung von Geschwindigkeiten (eigener und anderer Verkehrsteilnehmender) sowie Distanzen dienen. Aus beiden Informationen lässt sich z. B. die Zeit bis zur Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmenden oder Hindernissen ableiten. Die Geschwindigkeitseinschätzung erfolgt stark durch Informationen in der Peripherie. Monotone Umgebungen führen zur Unterschätzung von Geschwindigkeiten, was es durch gezielte Hinweise zu unterbinden gilt. Für die Distanzwahrnehmung sind Tiefenreize in der Umgebung relevant, allerdings wird empfohlen diese adaptiv (und nicht durchgehend) zu zeigen. Eine gewisse Einheitlichkeit solcher Reize steigert deren Wiedererkennungswert.

Es wurde bereits deutlich, dass nicht nur visuelle Leistungsfähigkeit sowie das Vorhandensein von Reizen notwendig sind, sondern auch, dass die Verkehrsteilnehmenden hinschauen und die Information aufnehmen. Hierzu bedarf es aufgrund der Komplexität von Strassenräumen der selektiven Aufmerksamkeit bzw. der Filterung relevanter Informationen. Diese Filterung erfolgt entweder reizgesteuert («bottom-up», am häufigsten) oder aktiv («top-down», weniger häufig). Dabei spielen vier Faktoren eine zentrale Rolle. Für die Wahrnehmung von Reizen bedarf es einer bestimmten Auffälligkeit,

welche zusätzlich durch die damit verbundene Anstrengung (z. B. Entfernung des Objektes) beeinflusst ist. Für eine aktive Blickzuwendung sind die Erwartung (Wo schaut man hin?) und der Wert (Welche Relevanz besitzt der Hinweis?) relevant. Diese vier Faktoren stellen wesentliche Stellschrauben für eine selbsterklärende Strassengestaltung dar. Klarheit und Eindeutigkeit von Reizen oder erhöhte Aufmerksamkeit aufgrund verstärkter subjektiver Gefahreinschätzung sind Randbedingungen, welche die vier Faktoren zusätzlich beeinflussen.

Komplexe Fahraufgaben erfordern eine simultane Bewältigung zahlreicher Eindrücke und Reize. Das ist problematisch, da die Ressourcen für die Informationsverarbeitung begrenzt sind. Eine Möglichkeit besteht ggf. darin, dass Informationen auf verschiedene Kanäle (z. B. visuell und auditiv) aufgeteilt und verarbeitet werden. Hilfreich ist es weiterhin, wenn eingeübte Verhaltensweisen bei wiederkehrenden Situationen «einfach» abgerufen werden können. Das wird durch eine flächendeckende standardisierte Gestaltung unterstützt, welche Gestaltung mit Erwartung (z. B. gegenüber potenziellen Konfliktgegnern) und notwendigen Verhaltensweisen (z. B. Tempolimit) verknüpft. Eine weitere Möglichkeit um Ressourcenspitzen bzw. Überforderung zu reduzieren, ist die zeitliche oder räumliche Aufteilung von Informationen (sequenziell anstatt parallel). Grundsätzlich ist es wichtig, dass Informationen gesehen, verstanden, korrekt bewertet und in diesem Zusammenhang auch akzeptiert werden. Erneut kommen adaptive Hinweise ins Spiel, da keine Aufmerksamkeit «verschwendet» wird und Hinweise auf Gefahren häufiger mit den Erwartungen bei den Verkehrsteilnehmenden übereinstimmen.

Eine Strassenraumgestaltung, bei welcher Informationen sowie Verhaltensweisen anderer Verkehrsteilnehmender nicht den Erwartungen des Fahrzeuglenkenden bzw. Zufussgehenden entsprechen, ist nicht selbsterklärend. Denn nur, wenn entsprechende Erwartungen auch eintreten, können die zutreffenden Schemata, also «sichere» Verhaltensweisen auch korrekt abgerufen werden. In diesem Zusammenhang spielt auch die Motorik eine Rolle. Verhaltensweisen lassen sich in eine Abfolge von Bewegungen einteilen. Diese sind meist eingeübt und standardisiert. Wenn aufgrund einer ungenügenden Kurvenabfolge (nicht selbsterklärend, nicht den Erwartungen entsprechend, z. B. sehr enge Kurve folgt auf sehr weite Kurve oder Gerade) die eingeübten Bewegungsmuster der Spurhaltung nicht ausreichen und nachgesteuert werden muss, können kritische Situationen entstehen (Unfall).

Aus der Sicht von Kindern, älteren Verkehrsteilnehmenden und mobilitätseingeschränkten Personen gelten erhöhte Anforderungen an eine selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassengestaltung. Kinder sind erst ab 8-9 Jahren in der Lage, Verhaltensweisen anderer zutreffend zu antizipieren sowie Geschwindigkeiten und Distanzen analog zu Erwachsenen einzuschätzen. Das Aufrechterhalten einer gezielten Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum ist erst ab 14 Jahre möglich. Damit handeln Kinder im Verkehr zu grossen Teilen «bottom-up» und sind damit auf entsprechende Hinweisreize in der Verkehrsumgebung angewiesen.

Bei Älteren treten zunehmen Einschränkungen im visuellen, auditiven, kognitiven und motorischen Bereich auf. Das betrifft u. a. schlechtere Sehschärfe, eingeschränkte Hell-Dunkel-Adaption, reduziertes Hörvermögen für hohe Töne, verlangsamte Informationsverarbeitung sowie Probleme beim Ab-/Aufsteigen und Kurvenfahren auf dem Velo sowie bezüglich reduzierter Gehgeschwindigkeiten und eingeschränktem Gleichgewichtssinn. Vorteil bei Älteren ist, dass sie versuchen, komplexe oder subjektiv gefährliche Situationen durch angepasstes Verhalten zu kompensieren oder ganz zu vermeiden.

Menschen mit Behinderungen erschwert eine körperliche, geistige oder psychische Einschränkung, sich fortzubewegen, die Übersicht über das Verkehrsgeschehen zu erlangen oder sich im Verkehrsraum zu orientieren.

## 6.1.2 Fehlerverhalten Verkehrsteilnehmende

Fehlverhalten kann nach verschiedenen Kategorien klassifiziert werden. Kriterien hierfür sind u. a., ob Fehler absichtlich oder unabsichtlich begangen werden. Dabei sind typische Verstösse nur eine Untergruppe der absichtlich begangenen Fehler, denn auch die Anwendung falscher (persönlicher) Regeln wird als absichtlich eingeordnet. Wichtiger für selbsterklärende Strassen sind allerdings Fehler, welche nicht absichtlich begangen werden. Hier wird eine weitere Einteilung danach getroffen, ob die relevanten

Informationen für fehlerfreies Verhalten überhaupt den Verkehrsteilnehmenden zur Verfügung standen. Ist das der Fall, so kann im nächsten Schritt nach fehlender und «falscher» Nutzung von Informationen unterschieden werden. Eine weitere Kategorisierung unterscheidet fähigkeitsbasierte Fehler, d. h. erwartete Verkehrssituationen laufen nicht (immer) genauso ab, wie erlernt oder erwartet (Variationen), und regelbasierte Fehler, d. h. Verkehrssituationen werden falsch eingeschätzt und es wird entsprechend falsch gehandelt.

Einem typischen Unfallablauf (oder Ereigniskette) entsprechend lässt sich folgende Klassifizierung zuordnen: Strukturelle Fehler stehen nicht im Zusammenhang mit dem Verhalten, sondern betreffen z. B. ein kaputtes Fahrzeug. Informationsfehler betreffen z. B. Sicht Hindernisse. Ein Diagnosefehler wäre eine Missachtung des Vortritts, aufgrund eines nicht-selbsterklärend gestalteten Knotens. Zielsetzungsfehler betreffen vor allem nicht angepasste Geschwindigkeiten oder zu dichtes Auffahren. Methodenfehler treten dann auf, wenn aus mehreren Optionen die falsche gewählt wird (falsches Abbiegen und Einfahren entgegen der Fahrtrichtung auf einer Autobahn). Handlungsfehler sind Defizite in der Ausführung, wie z. B. das zu schwache Betätigen einer Bremse bei plötzlich auftauchenden Hindernissen. Bedienungsfehler betreffen dann z.B. das Verwechseln von Gaspedal und Bremspedal.

Bei den meisten Unfällen führt erst eine Verkettung verschiedener Fehler und Umstände zur Kollision. Unter anderem daher ist hier die Verwendung von polizeilich erhobenen Ursachen (Hintergrund: Klärung Schuldfrage) für die Analyse bzw. die Priorisierung der zuvor erläuterten Fehlerkategorien unzureichend. Aus vertieften Unfallanalysen wurden aber Ursachengruppen abgeleitet, welche tendenziell eher hilfreich für die Klärung der tatsächlichen Ursachen von Unfällen sind. Die Hauptgruppe stellen die Informationsfehler dar (für bis zu 77% der Unfälle relevant). Handlungs- und Zielsetzungsfehler spielen eher eine nachgeordnete Rolle, auch wenn die Zielsetzung nicht angepasste Geschwindigkeit und zu dichtes Auffahren umfassen. Bei den Informationsfehlern spielen Ablenkung und Unaufmerksamkeit eine zentrale Rolle. Ablenkung lässt sich weiter nach interner (z. B. Nachdenken) und externer (z. B. Werbung am Strassenrand) Ablenkung unterscheiden, ist aber grundsätzlich fokussiert (auf etwas anderes als die relevante Verkehrssituation). Unaufmerksamkeit ist im Gegensatz dazu nicht fokussiert (Abschweifen). Überforderung ist eine weitere wichtige Fehlerkategorie. Eng damit verbunden sind falsche Erwartungen zu oder überraschendes Verhalten von anderen Verkehrsteilnehmenden. Gewohnheiten stellen eine weitere Fehlerkategorie von Relevanz dar.

Aus kontinuierlichen Verhaltensbeobachtungen (Naturalistic Driving Studies, NDS) wurde abgeleitet, dass Ablenkung ein ständig präsenter Fehler beim Fahren darstellt (tlw. über 50% der Zeit). Dafür resultiert die Ablenkung nur in den seltensten Fällen tatsächlich in einen Konflikt. Im Gegensatz dazu sind z. B. Vortrittsmissachtungen (z. B. Informationsfehler) zwar weniger häufig, resultieren dafür aber schneller bzw. häufiger in einem Konflikt. In Bezug auf die Anpassung der Strassengestaltung im Bestand nach den Aspekten der selbsterklärenden Strasse wäre die zweite Fehlerkategorie wichtiger, da nur ein Teil des Strassennetzes angepasst werden müsste (Fehler tritt selten auf, ist dann aber in hohem Masse unfallrelevant).

Die Unfallstatistik beschreibt Vortrittsmissachtung, Unaufmerksamkeit und Ablenkung, Geschwindigkeit sowie Alkohol als die wichtigsten Unfallursachen. Dabei dominiert innerorts die Vortrittsmissachtung an Knoten (bei den Zufussgehenden auch entlang der Strecke) und ausserorts die Geschwindigkeit (dann vor allem in Kurven). Geschwindigkeiten sind aber auch an Knoten beim Annähern, Abbiegen und bezüglich der Einschätzung anderer konfligierender Verkehrsteilnehmender relevant. Velos sind vor allem von Unfällen an Knoten betroffen.

Ein Strassenraum ist zusammenfassend also selbsterklärend, fehlerverzeihend und in der Folge risikoärmer, wenn folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Relevante Informationen sind sichtbar.
- Sie können frühzeitig wahrgenommen werden.
- Sie ziehen die notwendige Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden auf sich.
- Sie tauchen nur auf, wenn sie auch benötigt werden.

- Relevante Informationen begünstigen erwünschte und damit sichere Verhaltensweisen.
- Sie sind eindeutig und lassen nur eine – die erwünschte – Handlungsoption zu.
- Sie weisen auf die Kosten (Nachteile) und Nutzen (Vorteile) von Handlungsalternativen hin.
- Sie unterstützen die Verkehrsteilnehmenden in ihrer Entscheidungsfindung.
- Diese Anforderungen werden konsequent und durchgängig im Strassenraum umgesetzt, um unerwartete Situationen für die Verkehrsteilnehmenden zu vermeiden.
- Informationen geben Hintergründe weiter bzw. erklären Verkehrsregeln, damit Versuchungen für Verstösse bzw. absichtliche Fehlverhaltensweisen reduziert werden.

### 6.1.3 Nebenaspekte

Der Zusammenhang zwischen subjektiv wahrgenommener Sicherheit und (tatsächlicher) objektiver Sicherheit spielt indirekt eine zentrale Rolle für selbsterklärende Strassen. Die Risikowahrnehmung beeinflusst direkt das sicherheitsrelevante Verhalten. Bleibt das Fahren mit überhöhter Geschwindigkeit andauernd ohne negative Folgen für den Fahrzeuglenkenden (u. a. kein Unfall, keine Sanktionierung), besteht die Gefahr, dass sich dieses Verhalten verfestigt. Auch wenn u. U. bisher nur wenige Ansätze dafür existieren, sollte es das Ziel selbsterklärender Strassen sein, die potenziellen Folgen objektiv unsicheren Verhaltens auch direkt an den Verkehrsteilnehmenden zurück zu melden. Übergeordnetes Ziel ist dabei, dass subjektive und objektive Gefährdung möglichst deckungsgleich werden.

Der sogenannte Safety-in-Numbers-Effekt verdeutlicht dies. Wird die Exposition von nicht-motorisierten Verkehrsteilnehmenden im Strassenraum erhöht, so erhalten diese mehr Aufmerksamkeit. Gleichzeitig ändert sich auch die Erwartung bezüglich potenzieller Konfliktgegner (z. B. querender Zufussgehender, kreuzender Velofahrender), was ebenfalls als sicherheitsfördernd eingeordnet wird. Die praktischen Grenzen des Safety-in-Numbers-Effekts wurden allerdings bereits aufgezeigt. Elvik (2009) wies anhand realer Unfallmodelle nach, dass tatsächlich eine erhebliche Verlagerung vom motorisierten zum nicht-motorisierten Verkehr notwendig wäre, um absolut eine Verbesserung der Unfall- und Verunglücktenzahlen zu erreichen (z. B. Rückgang MIV um 50%).

Die Erkenntnisse zu Shared Space Ansätzen verdeutlichen die Grenzen der selbsterklärenden Strassen. Ausgewählte Untersuchungen zeigen, dass wohl auch explizit nicht selbsterklärende Strassen sicherheitsfördernd sein können. Es wird also durch eine aktive Erhöhung der subjektiven Gefahreinschätzung ein positiver Effekt für die objektive Verkehrssicherheit erwartet. Letztendlich zeigt dies aber auch nur, dass der Ansatz von selbsterklärenden Strassen Grenzen hat und – je nach Situation – auch andere Gestaltungsansätze zielführend sein können. Ebenfalls von Relevanz sind Zielkonflikte mit den Themen wie u. a. Leistungsfähigkeit des Verkehrs, Umweltschutz oder städtebaulichen Anforderungen. Damit ist auch die Prüfung der Praktikabilität von Empfehlungen zu SERFOR in den späteren Teilprojekten wichtig.

SERFOR wird teilweise kontrovers im Zusammenhang mit der weiteren Verbreitung des automatisierten Fahrens diskutiert. Es stellt sich wohl die Frage, ob eine weitere Verbesserung der Infrastruktur zielführend ist, wenn mittelfristig entsprechende Fahrzeuge unfallbegünstigendes Verhalten ausschliessen. Die Ausführungen zeigen, dass einerseits aktuell völlig unklar ist, wann mit der flächendeckenden Automatisierung der Fahrzeugflotte zu rechnen ist (vor allem in den Bereichen mit hohem Unfallvermeidungspotenzial) und andererseits sowohl eine vollständige Unfallvermeidung durch die Automatisierung nicht leistbar ist als auch auf dem Weg dorthin – vor allem im Übergang zwischen manuellem und automatisiertem Fahren – selbsterklärenden Strassen weiterhin eine hohe Relevanz zukommt. Bei den erwarteten Sicherheitsgewinnen infolge automatisierten Fahrens wird auch oft vergessen, dass Motorräder und Velos kaum im selben Ausmass wie vierrädrige Fahrzeuge automatisiert betrieben werden können, ganz zu schweigen von den Zufussgehenden.

Die Workshops haben gezeigt, dass – unabhängig von der Perspektive oder Fachdisziplin – sich ähnliche Einschätzungen zur selbsterklärenden Strasse ergeben. Die Fachgespräche zu Wahrnehmung stellte vor allem auffällige Signale (u. a. farblich, blinkend, kontrastreich) sowie die Notwendigkeit für Dynamik (u. a. adaptive Signale) ins Zentrum, wobei auch die Limitierung der Aufmerksamkeit beim Menschen nochmals hervorgehoben wurde. Die Gespräche zur Aufmerksamkeit in anderen Fachdisziplinen haben den bereits erwähnten Sachverhalten vor allem die höhere Gewichtung von Personen gegenüber Signalen, die Rolle eines aufgeräumten Umfelds oder die Unterschiede zwischen den Anforderungen jüngerer und älterer Menschen hinzugefügt. Die Aussagen der Fahrlehrer zeigten auffällige viele Parallelen zum existierenden Normenwerk und verdeutlichten damit auch das Problem der unzureichenden Umsetzung der Normen in der Praxis. Das Fachgespräch zu Senioren und Kindern mit der bfu ergänzte die zuvor gefundenen Literaturergebnisse, die Aussage der Sicherheitsbeauftragten hoben vor allem Knoten als Ansatzpunkt für eine Intensivierung der selbsterklärenden Gestaltung hervor.

## 6.2 Formulierung Projektierungsprinzipien

Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Definition von Projektierungsprinzipien. Grundlage dieses Abschnitts bilden die bislang dargestellten Ergebnisse aus den vorangegangenen Kapiteln, die im Rahmen eines Workshops der Projektgruppe zu zentralen Folgerungen für selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassen aggregiert wurden. Im Folgenden werden diese dargestellt und mit Beispielen veranschaulicht. Dabei ist zu beachten, dass diese Beispiele exemplarisch und für ein besseres Verständnis dargestellt und nicht notwendigerweise ohne weiteres im Strassenverkehr realisierbar sind. Das Hauptziel dieses Kapitels ist insofern, Grundzüge für SERFOR zu skizzieren, deren Realisierbarkeit in konkreten Fällen geprüft werden muss.

### 6.2.1 Übergreifende Projektierungsprinzipien

Ausgewählte Prinzipien gelten in weitestgehend ähnlichem Masse für alle Verkehrsteilnehmendengruppen. Ergänzend soll erwähnt werden, dass die Ansätze für die Umsetzung der Projektierungsprinzipien im gesamten Lebenszyklus der Strasse erfolgen sollte (Planung, Projektierung, Bau und Betrieb) aber auch, dass – gerade die Hinweis zur ergänzenden Signalisierung – nur bedingt flächendeckende Massnahmen, sondern eher Ansätze für auffällige Bereiche darstellen. Letzteres betrifft somit vor allem die «richtige Dosis» bei der Konkretisierung und Umsetzung der Empfehlungen.

- **Vereinfachung unterstützen bzw. Komplexität reduzieren:** Als eine zentrale Prämisse innerhalb dieses Prinzips wurde zusammengefasst, dass eine möglichst unkomplizierte Strassenführung angeboten werden sollte, um einer kognitiven Überlastung der Verkehrsteilnehmenden entgegen zu wirken. Ein hohes Mass an Einheitlichkeit und Klarheit unterstützt den selbsterklärenden Charakter von Strassen. Ein klassisches Beispiel stellen Kreiseln dar, da die Anzahl der Konfliktpunkte gegenüber Kreuzungen erheblich reduziert und damit die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden fokussiert wird.
- **Vereinheitlichung/Standardisierung flächendeckend umsetzen:** Eine stärkere Standardisierung von Strecken-/Knotenelementen z. B. für verschiedene Projektierungssituationen oder Strassentypen lenkt die Erwartungshaltung der Verkehrsteilnehmenden – entsprechend des «Top-Down»-Ansatzes – auf die relevanten Bereiche des Strassenraums. Zusätzlich bedeutet eine stärkere Standardisierung des Strassenraums auch die einheitliche Verknüpfung von Strecken-/Knoten- und Signalisationselementen. Das bedeutet u. a., dass auf Strassen mit einem höheren Geschwindigkeitsregime keine Knoten mit Rechtsvortritt geplant werden. Die Standardisierung kommuniziert gleichzeitig bei konsequenter Umsetzung dem Verkehrsteilnehmenden die korrekte Verhaltensweise wie z. B. die Wahl der Geschwindigkeit.
- **Konfliktgegner erkennen:** Eine selbsterklärende Strasse sollte ein frühzeitiges Erkennen von Konfliktgegnern ermöglichen sowie proaktiv und adaptiv vor allfälligen

Kollisionsgegnern warnen. Basis dafür sind u. a. eine ausreichende Sicht auf bspw. Zufussgehende am Strassenrand oder ausreichende Sichtbeziehungen bei sich kreuzenden Verkehrsströmen. Hier kommen vor allem auch Massnahmen der Signalisierung und Markierung zum Einsatz. Ein typisches Beispiel wäre die Bodenmarkierung im Einmündungsbereich als Hinweis auf einen Zweirichtungs-Veloverkehr auf der vortrittsberechtigten Strasse. Aber auch bauliche Elemente wie vorgezogene Seitenräume (wie z. B. Einengungen) bringen wartende Zufussgehende am Fahrzeugrand vor den ruhenden Verkehr und ins Sichtfeld des fliessenden Fahrzeugverkehrs.



**Abb. 15** Blinkendes Warnlicht für Fahrzeuglenkende auf Anmeldung durch Zufussgehende beim Queren

- **Akzeptanz erhöhen:** Selbsterklärende Verkehrsbereiche sollten die Ursachen für das Vorhandensein von Projektierungselementen und Signalisationen möglichst intuitiv vermitteln, um die Bereitschaft zur Befolgung des erwünschten Verhaltens zu erhöhen. Ein mögliches Beispiel wären Hinweise zur Erklärung von einzuhaltenden Regeln, etwa bei verlängerten Rotphasen an Lichtsignalanlagen durch Verweis auf die Ursache (z. B. Anforderungen durch ÖV). Eine Erhöhung der Nachvollziehbarkeit ist ebenfalls bei weiteren Ge- und Verboten sowie komfortreduzierenden Infrastrukturelementen zu empfehlen. Häufig ist aber nicht unbedingt die Kommunikation der Ursache, sondern überhaupt eine verständliche Kommunikation der Verkehrsregeln auch unabhängig von der Signalisierung z. B. der zulässigen Höchstgeschwindigkeit hilfreich, um die Akzeptanz zu erhöhen. Dies steht dann auch in engem Zusammenhang mit der Vereinheitlichung und Standardisierung von Strecken-/Knotenelementen (eindeutiges Element steht für ein bestimmtes Tempolimit). Letztendlich ist aber auch hier eine – stärker unbewusst wahrgenommene – Integration von Verkehrsregeln in bzw. über die bauliche Gestaltung als wirksamer einzuordnen im Vergleich zu Ansätzen der Signalisation. Letztendlich benötigt eine optimal selbsterklärende Strassengestaltung (theoretisch) gar keine Signalisation (unabhängig von rechtlichen Erfordernissen).
- **Aufmerksamkeit fördern:** Wesentlicher Bestandteil von selbsterklärenden Strassen sollte es sein, eine systematische und gezielte Förderung der optimalen Aufmerksamkeitslenkung aller Verkehrsteilnehmenden zu erreichen. Als entscheidend wird dabei erachtet, dass der Fokus insbesondere auf diejenigen Konfliktbereiche gelenkt wird, die sich in der Vergangenheit als problembehaftet erwiesen haben. Eine entsprechende Auswahl sollte daher datenbasiert erfolgen. Typische Beispiele dafür sind eine entsprechende Hinführung zu engen Kurven für Motorfahrzeuglenkende (Geschwindigkeitsdiagramm: keine enge Kurve auf lange Gerade oder weite Kurve), Hinweise an Radfahrende, Abstand zu parkierten Fahrzeugen (Dooring-Unfälle aufgrund sich plötzlich öffnender Fahrzeugtüren) zu halten oder spezielle Signalisation für Zufussgehende an Gleisquerungen, welche subjektiv von den Zufussgehenden häufig als unkritischer eingeschätzt und damit nachlässiger gequert werden.
- **Passive Sicherheit durch fehlerverzeihende Strassenräume erhöhen:** Passive Sicherheit ist mehr als nur Rückhaltesysteme. Vor allem die ausreichende



Dimensionierung von Querschnitten mit zusätzlichen Sicherheitsräumen (u. a. Pannestreifen auf Autobahnen, erhöhter Abstand zwischen Radstreifen und parkierten Fahrzeugen oder grössere Trottoirbreiten, um ausreichende Sicherheitsräume zwischen Zufussgehenden und ein-/ausparkierenden Fahrzeugen zu schaffen). Hierzu gehört auch, entsprechende Hindernisse von den Verkehrsanlagen und Seitenräumen zu entfernen, diese besser kenntlich zu machen oder den Anprall mittels Fahrzeugrückhaltesystemen zu unterbinden. Dieses Prinzip sollte auch vermehrt unter Berücksichtigung der Bedürfnisse von Motorrad- und Velofahrenden berücksichtigt werden.

- **Orientierung geben:** Es empfiehlt sich, Referenzpunkte und Tiefenhinweisreize den Verkehrsteilnehmenden anzubieten, die u. a. bei der Abschätzung von Geschwindigkeiten (eigene und die der Konfliktgegner) und Abständen aber auch bei Dunkelheit als Orientierungshilfen unterstützen. Dies kann z. B. in der Form von Bäumen in bestimmten Abständen (Zielkonflikt mit passiver Sicherheit beachten, da Bäume feste Hindernisse im Seitenraum darstellen), Leitposten und punktuellen Markierungen erfolgen.
- **Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen:** Auch wenn Führungen im Mischverkehr bei entsprechend geringen Differenzgeschwindigkeiten möglich sind, so erfolgt doch bei einem Grossteil der Querschnittsaufteilung eine Separation zwischen den Verkehrsteilnehmendengruppen. Hier bieten sich farbliche, physische/bauliche, haptische/akustische Unterscheidungen von Querschnittsbereichen an, welche eindeutig und wiedererkennbar die vorgesehene Nutzung kommunizieren. Dies ist insbesondere für den Mischverkehr von Motorfahrzeugen und Velo auf der Fahrbahn sowie bei Mischverkehr von Zufussgehenden und Velofahrenden auf kombinierten Geh-/Radwegen relevant.
- **Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen:** Aufgrund räumlicher Zwangspunkte wird auch zukünftig eine Flächenkonkurrenz zwischen Verkehrsmitteln mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsniveaus bestehen bleiben. Hier gilt es im Sinne einer fehlerverzeihenden Gestaltung, die Geschwindigkeiten stärker zu harmonisieren. Das betrifft Velos und Motorfahrzeuge auf der Fahrbahn genauso wie Velos und Zufussgehende auf dem Trottoir. Ansatzpunkte in der Gestaltung betreffen u. a. Einschränkungen von Fahrbahnbreiten um z. B. das Hintereinanderfahren von Velos und Motorfahrzeugen im Gegensatz zum Nebeneinanderfahren mit geringen Abständen und hohen Differenzgeschwindigkeiten zu fördern.
- **Konsistente Verkehrsregimes in Knoten gewährleisten:** Es empfiehlt sich, eine konsistente Gestaltung des Verkehrsregimes in Knoten in allen Strassenräumen zu gewährleisten. In diesem Sinne sollte auf – als solche erkennbaren – verkehrsorientierten Strassen innerorts grundsätzlich Vortritt gelten. In entsprechend identifizierbaren siedlungsorientierten Strassen sollte hingegen Rechtsvortritt zur Anwendung gelangen. Das verdeutlicht eine der zentralen Umsetzungen von selbsterklärenden Strassen im Ausland. Eine einheitliche und standardisierte Gestaltung von Strassenräumen impliziert nicht nur eine «sichere» – weil angepasste – Geschwindigkeitswahl, sondern auch das zu erwartende Verkehrsregime an Kreuzungspunkten. Rechtsvortritt auf einer verkehrsorientierten Strasse ist widersprüchlich und sollte vermieden werden. Knoten ohne LSA auf mehrstreifigen (mehr als ein Fahrstreifen je Richtung) Ausserortsstrassen mit vglw. hohen Geschwindigkeiten können nur bedingt sicher betrieben werden und sollten – entsprechend der Anforderung nach Konsistenz – dort nicht vorkommen. Der Veloverkehr im Mischsystem auf der Fahrbahn ist z. B. laut [12] nur bei einem Tempolimit von 30 km/h sicher abzuwickeln.
- **Adaptivität verkehrstechnischer Einrichtungen erhöhen:** Neue Sensor- und Beleuchtungstechnologien ermöglichen deutliche Veränderungen auch im Strassenverkehr, die sich insbesondere zugunsten einer höheren Adaptivität von Signalen und Warnungen auswirken könnten. Gemeint ist damit vor allem, dass ein Signal nur dann erkennbar bzw. aktiviert ist, wenn der zugrundeliegende Bedarf tatsächlich vorliegt – wie es beispielsweise bei Strassenzustandswarnungen oder bei temporär erhöhtem Querungsvorkommen an Schulen vorstellbar ist. Im Fahrbahnbelag installierte adaptive beleuchtungsgestützte Hinweise könnten aber

auch in komplexen Kreuzungsbereichen zur Geltung kommen, um beispielsweise mehrere parallele Abbiegespuren dann visuell voneinander abzugrenzen, während die entsprechenden Verkehrsteilnehmenden in ihrer Grünphase abbiegen. Als sinnvoll wird zudem die Integration von dynamischen Verkehrszeichen erachtet, die etwa an Gefahrenstellen spezifische Aussagen zum jeweiligen Risiko darstellen können. Optimaler Weise würde dies sogar situativ erfolgen, nämlich nur dann, wenn sich ein Fahrzeug etwa mit überhöhter – statt angemessener – Geschwindigkeit einem sicherheitskritischen Bereich nähert.

## 6.2.2 Zufussgehende

Neben den übergreifenden Projektierungsprinzipien sind bei den Zufussgehenden zusätzlich folgende Aspekte zu berücksichtigen.

- **Signalisation ausrichten:** Gemessen daran, dass Zufussgehende im Strassenverkehr Blicke eher in Richtung des Wegs bzw. des Bodens ausrichten – was wiederum durch regelmässige Blicke auf Smartphones befördert werden könnte – erscheint es sinnvoll, die Signalisation dem anzupassen. Konkret könnte dies bedeuten, dass Signale für Zufussgehende – auch Lichtsignale – insbesondere an sicherheitsproblematischen Orten in Bodennähe installiert werden.



**Abb. 16** LED-Leuchten am Boden für die Lenkung von Zufussgehenden und Velofahrenden im Bereich einer Tram-/Bushaltestelle

- **Synergien nutzen:** Auf dem Trottoir finden sich zuweilen taktil-visuelle Markierungen, die für Personen mit reduziertem Sehvermögen oder mobilitätseingeschränkten Personen sichere Querungsmöglichkeiten oder besondere Gefahrenpunkte verdeutlichen. Ebenfalls finden sich in ausgewählten Bereichen manchmal schräg gestellte Randsteine oder solche mit einem geringen Anschlag, die ebenfalls ein besonders einfaches bzw. sicheres Queren ermöglichen. Daher empfiehlt es sich, solche Massnahmen auf Ihre Nutzung für alle Zufussgehenden hin zu überprüfen.

## 6.2.3 Velofahrende

Neben den übergreifenden Projektierungsprinzipien sind bei den Velofahrenden zusätzlich folgende Aspekte zu berücksichtigen.

- **Feedback:** Als häufiges Problem für Velofahrende werden Elemente in der Strasse angesehen, die zu Stürzen führen könnten. Dies könnten beispielsweise Lamellen bei Fahrbahnübergängen, Tramgleisen oder Randsteinen mit grösserem Anschlag sein. Befürwortet werden daher entweder ein Einfahrerschutz (z. B. Schienengummis<sup>18</sup>) oder – falls dieser technisch nicht realisierbar wäre – haptische Feedbacks in der Fahrbahn, um Velofahrende rechtzeitig vor der Gefahrenstelle zu warnen. Denkbar wären hier

<sup>18</sup> auch wenn deren Test in der Praxis bisher nicht durchgängig zufriedenstellend waren

Einfürsungen in die Fahrbahn, wie sie von Rüttelstreifen bekannt sind. Auch möglich wären Bodenmarkierungen, wobei diese wiederum primär den visuellen Sinneskanal bedienen würden, der unter Umständen an bestimmten Orten ohnehin stark belastet ist oder man ohnehin den Velofahrenden nicht vom Blick nach vorne ablenken möchte. Eine haptisch wahrnehmbare Signalisation – alternativ oder zusätzlich zur visuellen – sollte auch in Bereichen installiert werden, bei denen vergleichsweise häufige falsche Einfahrten (z. B. trotz vorliegenden Verbots) zu verzeichnen sind.

- **Salienz erhöhen:** Es sollten saliente visuelle Reize insbesondere in direktem Blickfeld von Velofahrenden installiert werden, wobei immer auch die Reizdichte berücksichtigt werden muss. Sind beispielsweise in einem Verkehrsbereich zahlreiche visuelle Hinweise vorhanden (z. B. Lichtsignalanlagen, Bodenmarkierungen und Verkehrsschilder), ist in Erwägung zu ziehen, auditive oder haptische Signale zu integrieren. Insgesamt sollte berücksichtigt werden, dass die Zahl von salienten Signalen im Strassenverkehr möglichst gering gehalten werden sollte. Bei der Umsetzung sind dann solche zu bevorzugen, die objektive Gefahren kennzeichnen.
- **Ideallinien kennzeichnen:** Insbesondere mit Blick auf Kreisverkehre empfiehlt sich, die Linienführung für Velofahrende sichtbar zu integrieren. Dies ermöglicht einerseits, dass diese den Bereich besser wahrnehmen, den sie im Kreisverkehr idealerweise befahren sollten – nämlich möglichst mittig. Andererseits signalisiert eine markierte Führung für Velofahrer ebenfalls den Teilnehmenden des MIV, dass sie mit langsameren Velofahrern rechnen sollten und dass diese idealerweise in der Mitte der Spur im Kreisverkehr fahren sollten.



**Abb. 17** Linienführung für Velofahrende im Kreisverkehr kennzeichnen

- **Frühzeitig Erwartungen hervorrufen:** Die zentralen Risiken für Velofahrende sind einbiegende Fahrzeuge an Knoten ohne LSA, links und rechts abbiegende Fahrzeuge an Knoten generell, sich öffnende Fahrzeugtüren und Stürze. Für diese Gefahren gilt es im Strassenraum Hinweise zu integrieren, dass die Aufmerksamkeit darauf gelenkt wird oder aber ein anderes Verhalten, welches diese Risiken umgeht, suggeriert wird. Ein Ansatz sind bspw. Fahrradpiktogramme auf der Fahrbahn, um Velofahrende zu ermutigen mehr in Fahrbahnmitte und nicht im Einflussbereich sich öffnender Türen zu fahren.

#### 6.2.4 Motorfahrzeuglenkende

Neben den übergreifenden Projektierungsprinzipien sind bei den Motorfahrzeuglenkenden zusätzlich folgende Aspekte zu berücksichtigen.

- **Prägnanz:** Dieser Aspekt bezieht sich insbesondere auf eine Exaktheit, Eindeutigkeit und Verarbeitbarkeit von Signalen für Motorfahrzeuglenkende. Dies geht einerseits einher mit einer Komplexitätsreduktion, die insbesondere durch eine mittlere Reiz-/Signaldichte sowie eine hohe Salienz der Signalisation erreicht werden kann. Dies impliziert die Empfehlung, Hinweise – etwa zu Spurverläufen von komplexen Innerortsstrassen oder in Baustellen – möglichst frühzeitig zu platzieren, so dass allfällig

notwendige Spurwechsel durch die Fahrzeuglenkenden frühzeitig und ohne Stress initiiert werden können. Eine Komplexitätsreduktion in Baustellenbereichen – etwa auf Autobahnen – könnte dadurch unterstützt werden, dass auditive Signale die Ideallinie in dem Fahrstreifen anzeigen (alternativ: das Verlassen der Ideallinie) und damit den visuellen Sinneskanal der Verkehrsteilnehmenden entlasten. Konkret könnte es sich als sinnvoll erweisen, als Fahrstreifentrennung auf Autobahnen Geräusch erzeugende Markierungen – analog zu Rüttelstreifen – zu verwenden.

- **Aktivierung:** Eine selbsterklärende Strasse sollte Verkehrsteilnehmende aktivieren, was beispielsweise über eine gezielte aktive Blicklenkung auf sicherheitsrelevante Aspekte erfolgen könnte. Dabei ist zu beachten, dass Signale im visuellen «focus of expansion» angeordnet werden sollten. Darüber hinaus empfiehlt es sich, Verkehrsteilnehmende auch motorisch fortlaufend zu aktivieren, was etwa lang gezogene, gerade Abschnitte im Ausserortsbereich ungünstig erscheinen lässt.

## 7 Massnahmenfindung

### 7.1 Konzeption Teilprojekte Massnahmenfindung

#### 7.1.1 Einleitung

Ausgehend von den psychologischen Ausarbeitungen zu den Humanfaktoren, welche in den Projektierungsprinzipien mündeten, wurden zwei weitere Teilprojekte im Forschungspaket SERFOR ausgeschrieben und durch zwei weitere Forschungsteams bearbeitet. Ziele dieser Forschungen war es:

- das bestehende Normenwerk in Bezug auf die Humanfaktoren zu überprüfen sowie
- Massnahmenansätze zu identifizieren und auf ihren Einsatz in der Schweiz hin zu bewerten.

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen und Rahmenbedingungen auf Innerorts- und Ausserortsstrassen wurden diese Ziele in zwei getrennten Teilprojekten behandelt (Teilprojekt 2 mit Gloor et al., 2022 für innerorts und Teilprojekt 3 mit Willi et al. [197] für ausserorts).

Beide Teilprojekte unterscheiden sich in ihren Ansätzen aber auch hinsichtlich des Detaillierungsgrads. Im Teilprojekt 2 wurden für Innerortsstrassen sehr vertieft zwei Einzelmassnahmen analysiert, ansonsten aber eher Empfehlungen genereller Art bereitgestellt. Im Rahmen von Teilprojekt 3 erfolgt eine umfangreiche Darstellung verschiedener konkreter Massnahmenansätze, eine vertiefte Auseinandersetzung mit den Normen aber auch eine umfassende Auseinandersetzung mit Fachexperten in Gesprächen und Workshops. Ein Grund für die unterschiedlichen Herangehensweisen ist u. a. auch, dass für Innerortsstrassen bisher weniger explizite SERFOR-Ansätze zur Verfügung stehen und gleichzeitig die Anforderungen sowie beschränkenden Rahmenbedingungen höher sind.

#### 7.1.2 Teilprojekt 2 - Innerortsstrassen

Zentrale Ziele des Teilprojektes 2 waren die Hervorhebung der in TP1 ausgearbeiteten Humanfaktoren und Projektierungsprinzipien für den Innerortsbereich, sowie die Diskussion konkreterer Umsetzungen bei der Planung von Neubau- und Umgestaltungsprojekten.

Ausgehend von einer kurzen Übersicht zur Literatur zu SERFOR-Ansätzen im Innerortsbereich wurde eine kompakte Analyse des Unfallgeschehens durchgeführt. Dies wird ergänzt um eine Beschreibung der Situation sowie der Besonderheiten auf Innerortsstrassen. Dies erschien den Bearbeitenden als notwendig, da SERFOR international bisher stark auf Massnahmenansätze im Ausserortsbereich bezogen ist. Hierbei kamen Themen wie u. a. die Grenzen der Standardisierung aufgrund der Komplexität und Platzverfügbarkeit, die vielfältigen Arten an Verkehrsteilnehmenden oder Aspekte des Lärmschutzes zur Sprache.

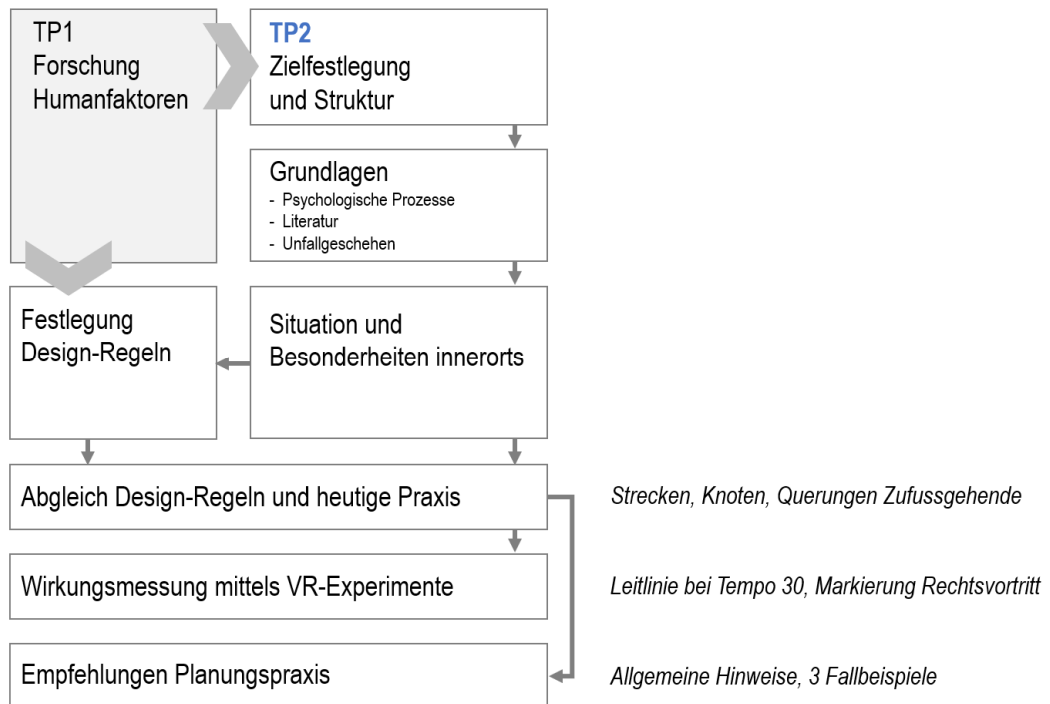
Ausgehend von drei Expertenmeinungen wurden die sieben wichtigsten Design-Regeln für den Innerortsbereich abgeleitet und definiert. Diese wurden dann der heutigen Planungspraxis gegenübergestellt. Dabei wurde sowohl auf das Normenwerk aber auch den Bestand an Strassen im Innerortsbereich eingegangen. Hieraus wurde differenziert nach Strecken, Knoten und Querungen für Zufussgehende eine Art Handlungsbedarf abgeleitet.

Für zwei konkrete Massnahmenansätze, angepasste Leitlinienmarkierung für Tempo30-Strecken sowie modifizierte Markierung von Knoten mit Rechtsvortritt, wurden in einer virtuellen Strassenumgebung Experimente zu deren Wirkung auf das Verkehrsverhalten durchgeführt.

Das Teilprojekt schliesst mit eher allgemeinen Empfehlungen und Ansätze zur Berücksichtigung der Design-Regeln bei der Gestaltung von Strecken, Knoten sowie

Querungsstellen von Zufussgehenden. Es werden drei reale Fallbeispiele zur Verdeutlichung der SERFOR-Ansätze beschrieben und Empfehlungen zur Umsetzung dokumentiert.

Die Vorgehensweise ist nochmals grafisch in Abb. 18 dargestellt.



**Abb. 18** Vorgehensweise Teilprojekt 2 SERFOR für Innerortsstrassen

### 7.1.3 Teilprojekt 3 - Ausserortsstrassen

Ausgehend von einer Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse für Ausserortsstrassen aus den im vorliegenden Bericht beschriebenen Humanfaktoren werden zuerst Ziele definiert, Schnittstellen zum Teilprojekt 2 identifiziert und Forschungsbereiche abgegrenzt. Beispielsweise wird der Fokus auf die Ausserortsstrassen ausserhalb von Autobahnen gelegt, da laut den Autorinnen und Autoren auf den Autobahnen eher wenig Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Humanfaktoren besteht. Eine weitere Abgrenzung oder Fokussierung erfolgte auf Massnahmen zur Anpassung des Bestandsnetzes und weniger auf eine stärkere Standardisierung von Gestaltungselementen in der Planung (u. a. zum Querschnitt oder der Trassierung). Auch wenn Weiterem der grössere Effekt attestiert wird, wird vom Forschungsteam die Anpassung des Bestandsnetzes durch «korrigierende Massnahmen» als relevanter (höheres Verbesserungspotenzial) eingeordnet und dementsprechend der Fokus darauf gelegt.

Im Folgenden wird nochmal der psychologische Ansatz der Humanfaktoren kategorisiert und aus den Projektierungsprinzipien sechs Design-Regeln abgeleitet und priorisiert. Entsprechend dieser Regeln werden dann Massnahmen identifiziert und kategorisiert.

Im Anschluss wurde das Normenwerk des VSS zur Gestaltung in seiner Gänze grob eingeordnet und die wichtigsten Normen priorisiert. Zehn zentrale Gestaltungsnormen für den Ausserortsbereich wurden dann im Detail analysiert. Dies wurde begleitet durch Gespräche mit drei Fachexperten zur Normierung, um Hintergründe zu den jeweiligen Ausführungen in den Normen zu beschreiben.

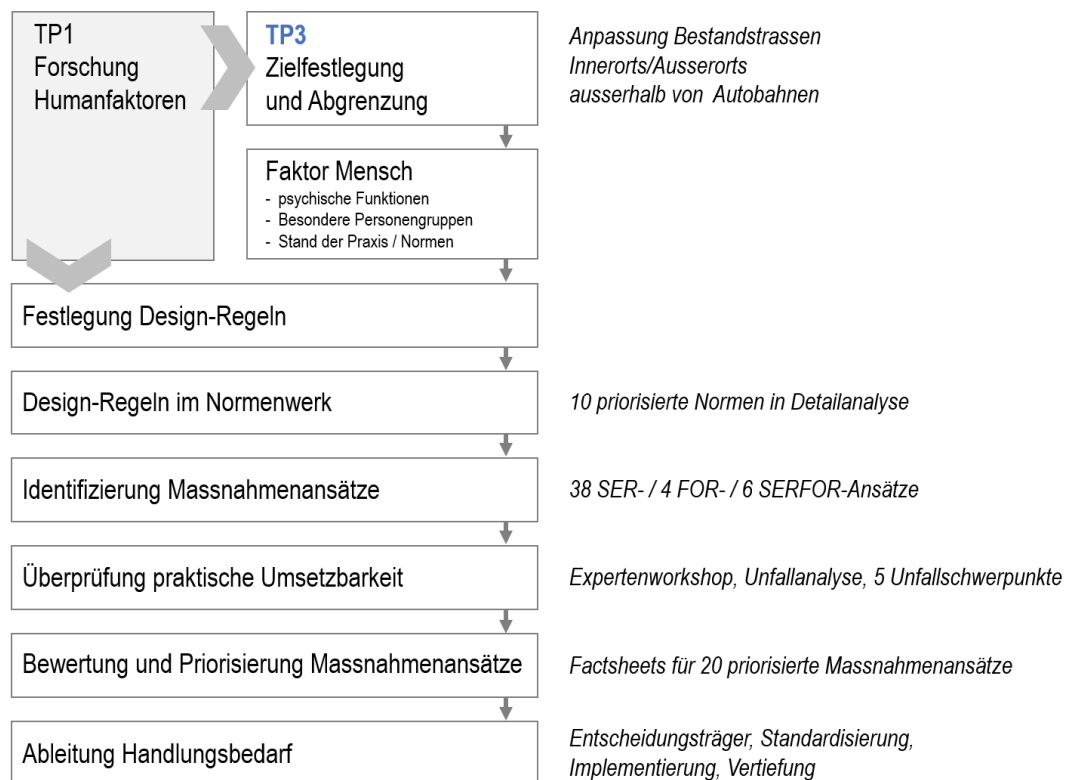
Im nächsten Schritt wurden 48 SERFOR-Ansätze für Ausserortsstrassen ausserhalb von Autobahnen identifiziert und kategorisiert. Hierbei stand deren praktische Umsetzbarkeit u. a. in Bezug auf den Rechtsrahmen, Aufwand oder die Akzeptanz im Fokus. Dafür wurde im Rahmen eines Expertenworkshops verschiedenen Fachmeinungen eingeholt und

konsolidiert. Weiterhin wurde die Relevanz anhand des Schweizer Unfallgeschehens sowie (ganz konkret) anhand von fünf Unfalldhäufungen im Kanton Zürich eruiert.

Letztendlich wurden 20 Massnahmenansätze priorisiert, anhand von Faktenblättern detailliert beschrieben und hinsichtlich Umsetzbarkeit, Wirksamkeit und Innovationsgrad bewertet.

Die Forschung schliesst dann mit Handlungsempfehlungen aus jeweils vier unterschiedlichen Perspektiven der Sensibilisierung, Standardisierung, Implementierung und Vertiefung ab.

Die Vorgehensweise ist nochmals grafisch in Abb. 19 dargestellt.



**Abb. 19** Vorgehensweise Teilprojekt 3 SERFOR für Ausserortsstrassen

## 7.2 Ergebnisse Teilprojekte Massnahmenfindung

### 7.2.1 Ausgangssituation, Anforderungen und Abgrenzungen

#### Planung vs. Bestandsnetz

Eine zentrale Unterscheidung hinsichtlich der selbsterklärenden Strassen wird im Teilprojekt 3 zu den Ausserortsstrassen vorgenommen. Es ist demnach zwischen Massnahmenansätze für die Projektierung neu gebauter Strassen und den «korrigierenden» Massnahmenansätzen für Bestandsstrassen zu unterscheiden. Erstere betreffen vor allem eine jeweils «optimale» Gestaltung von Querschnitt und Linienführung. Dies entspricht auch der Definition selbsterklärender Strassen der Voranalyse zum Forschungspaket ([10]). Demnach gründen praktische Umsetzung der Theorie selbsterklärender Strassen vor allem auf dem Prinzip der Kategorisierung von Strassen. Dies spiegelt sich auch in den beiden zuerst genannten Projektierungsprinzipien (siehe Kapitel 6.2.1) «Vereinfachung unterstützen» sowie «Standardisierung flächendeckend umsetzen» wider. Entsprechend TP3 ist dieser Ansatz vorzuziehen, sofern es die Randbedingungen zulassen. Letztendlich wurde der Fokus in beiden Teilprojekten aber auf die korrigierenden Massnahmenansätze beziehungsweise die Anpassung des

Bestandsnetzes gelegt. Dies ist dahingehend nachvollziehbar, da hier die grössten Potenziale für Verbesserungen der Verkehrssicherheit bestehen. Es sollte aber auch bei der Übersicht der hier dokumentierten Massnahmenansätze berücksichtigt werden, dass einerseits nicht für alle Projektierungsprinzipien Massnahmen abgeleitet wurden und andererseits die Möglichkeiten selbsterklärender Strassengestaltung bei alleiniger Konzentration auf Bestandsstrassen bei weitem nicht ausgeschöpft werden. Insbesondere eine auf das Temporegime angepasste Querschnittsgestaltung des gesamten Strassenraums im Rahmen der aktuellen Diskussion zu Tempo 30 in Städten weist hier eine besondere Relevanz auf (wozu sich auch grundsätzliche Überlegungen im Teilprojekt 2 finden).

### **Unterschiede Innerorts und Ausserorts**

Bereits in der Voranalyse zum Forschungspaket (siehe [10]) kam die Frage auf, ob bezüglich der Gestaltungsphilosophie der selbsterklärenden Strasse nur Ausserortsstrassen oder alle Strassen gemeint sind. Eine Ursache für die Frage sind (wahrscheinlich) die Beispiele aus der Literatur für selbsterklärende Strassengestaltungen, welche häufig Ausserortsstrassen betreffen. Auch aktuellere Veröffentlichungen aus dem deutschsprachigen Raum wie bspw. Schlag et al. [150] beziehen sich explizit auf Ausserortsstrassen. Grundsätzlich gelten die Projektierungsprinzipien aus Kapitel 6.2 für alle Strassen.

In TP2 wird auf folgenden Konflikt verwiesen: Innerortsstrassen mit ihrer ortsbezogenen Ausgestaltung («eigene Identität und Charakteristik») aber auch den Beschränkungen durch die anliegende Bebauung sind teilweise sehr heterogen, auch im Vergleich unterschiedlicher Regionen. Hier bräuchte es eigentlich aufgrund der daraus resultierenden Komplexität einen höheren Grad an selbsterklärender Gestaltung, obwohl einer Vereinheitlichung bzw. «gleichmachende» Ausgestaltung von Strassenräumen und -querschnitten kaum möglich ist. In diesem Zusammenhang wird auch die FGSO-Arbeitshilfe («Farbliche Gestaltung von Strassenoberflächen») erwähnt, welche eine Vielzahl möglicher Farbtöne anbietet, diese aber in der Anwendung bei den Kantonen ganz unterschiedlich gehandhabt werden. Dies führt teilweise zu regional unterschiedlichen farblichen Gestaltungen von Strassenräumen, was den selbsterklärenden Charakter unter Umständen wieder einschränkt. Schlussendlich führt dies zu einer ähnlichen Fokussierung auf «korrigierende» Anpassungen wie bei den Ausserortsstrassen bei TP3.

In diesem Zusammenhang spielt auch ein weiterer Unterschied von Innerortsstrassen eine Rolle. Das ist die grössere Vielfalt und Relevanz weiterer Verkehrsarten neben dem MIV mit Zufussgehenden, Velofahrenden sowie Trendfahrzeugen und fahrzeugähnlichen Geräten. Wie die Forschung zu den Humanfaktoren zeigt, sind selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassenräume auch für diese Verkehrsarten wichtig. Die Vielzahl der sich überlagernden Ansprüche an die Strassenräume macht aber eine stärkere Standardisierung schwierig sowie die Berücksichtigung all dieser Anforderung komplex. Dies wird sich in Zukunft voraussichtlich noch weiter verschärfen, da zusätzliche Ansprüche vor allem aus dem Klimaschutz (siehe hier beispielhaft [71]) auch auf die innerörtliche Strassengestaltung unter anderem in Form von stärkerer Entsigelung und Begrünung zukommen. All dies stellt höhere Anforderungen an die Gestaltung und Signalisierung nach den SERFOR-Prinzipien, macht diese aber keineswegs unmöglich. Vielmehr bedingt diese Komplexität in besonderem Masse die Berücksichtigung der Humanfaktoren sowie der daraus abgeleiteten Projektierungsprinzipien, damit die Verkehrsteilnehmenden eine Orientierung sowie Hinweise für ein sicherheitsbegünstigendes Verhalten bekommen. Dieser Bedarf erhöht sich auch noch dadurch, dass mehr Verkehrsteilnehmende (gerade ausserhalb des MIV) unterwegs sind, welche die Verkehrsregeln nicht kennen und daher auf eine SERFOR-gerechte Gestaltung angewiesen sind.

Aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten im Innerortsbereich verlagert sich die Betrachtung fehlerverzeihender Ansätze viel stärker auf den Schutz des Langsamverkehrs. Entsprechend des Safe System Ansatzes sind Geschwindigkeitsunterschiede zwischen verschiedenen Verkehrsarten entweder zu reduzieren oder diese Verkehrsarten entsprechend getrennt im Strassenraum auf eigenen Anlagen zu führen.



Eher ein Nebenaspekt sind auditive Ansätze im Innerortsbereich, welche im Zielkonflikt zum Lärmschutz stehen. Hier muss allerdings differenziert werden. Denn die auditiven Ansätze betreffen häufig temporäre oder punktuelle Lärmentwicklungen, die zum Teil durch subjektive Einschätzungen von Anwohnenden in ihrer tatsächlichen Lärmentwicklung überschätzt werden. Weiterhin sind rechtliche Implikationen von auditiven Ansätzen im Ausserortsbereich zu berücksichtigen.

Im Rahmen von TP3 wird der Fokus auf die Ausserortsstrassen ausserhalb von Autobahnen und Autostrassen gelegt. Grundsätzlich ist die Fokussierung auf Ausserortsstrassen ausserhalb von Autobahnen und Autostrassen nachvollziehbar, da Autobahnen die sicherste Strassenkategorie auch in der Schweiz darstellen. SERFOR weist aber auch noch Potenziale für die Gestaltung von Autobahnen und Autostrassen auf. So zeigt sich u. a. im Forschungspaket VeSPA (siehe Schüller et al. [11]), dass auf Autobahnen Auffälligkeiten im Unfallgeschehen unter anderem in Kurvenbereichen, auf Steigungs- und Gefällestrecken und im Bereich von eng trassierten Rampen sowie Ein- und Ausfahrten bestehen. All diese Bereiche weichen von der Gestaltung der Stammachsen entlang der freien und geraden Strecke ab und bedingen gerade deshalb ein besonderes Augenmerk auf einer selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Gestaltung.

### Psychologische Hintergründe und Unfallgeschehen

In beiden Teilprojekten werden die Grundsätze der Humanfaktoren sehr komprimiert aufgegriffen und rekapituliert. Im Wesentlichen werden die psychologischen Hintergründe des Verkehrsverhaltens auf die vier Stufen Wahrnehmen, Erkennen, Verstehen und Motivieren heruntergebrochen und daraus Gestaltungsimplicationen im Teilprojekt 3 abgeleitet.

**Tab. 16** Gestaltungsimplicationen abgeleitet aus den psychischen Funktionen der Verkehrsteilnehmenden (angepasste Darstellung basierend auf [197])

Wahrnehmen	Erkennen	Verstehen	Motivieren
Reizwahrnehmungen über...	Saliens der Signalisation und Markierung	Bedeutung und Implikation von z. B. der Signalisation und Markierung	Förderung gewünschtes, weil sicherheitsgerichtetes Verhalten
...verschiedene Wahrnehmungskanäle (optisch, akustisch, taktil, usw.)	Interaktion mit anderen Parametern (bauliche Gegebenheiten, Lichtverhältnisse, Witterung, usw.)	Eindeutigkeit	Erschweren unerwünschtes, weil risikoreiches Verhalten
...bestimmte Signalparameter (Frequenz, Farbe, Tonhöhe, Lautstärke, statisch vs. dynamisch, usw.)		Selbsterklärend durch Anknüpfen an bestehendes oder (besser) ohne notwendiges Vorwissen	Berücksichtigung ggf. unerwünschter Nebenwirkungen
...NICHT zu viele Informationen (Vermeidung «information overload»)			
Berücksichtigung Gewöhnungseffekte			

TP2 greift das Thema der Gewöhnungseffekte oder der Langzeitwirkung von SERFOR-Massnahmen auf. Dabei wird deutlich, dass dies vor allem die korrigierenden Massnahmen betrifft, wenn bspw. durch zusätzliche Signale Wirkungen auf das Verhalten erzielt werden sollen. Aus diesem Grund wird auch in TP3 auf den Vorzug einer Optimierung der Gestaltung hingewiesen.

In TP2 werden aus den drei Stufen Aufmerksamkeit, Informationsverarbeitung und Motivation im Wesentlichen drei zentrale Verhaltensweisen abgeleitet: angepasste Geschwindigkeiten, Vortritt gewähren und adäquates Abstandsverhalten. Dies wird weiter ergänzt über die Erkenntnisse zum Schweizer Unfallgeschehen aus dem Forschungspaket VeSPA, wonach vorrangig die unfallbegünstigenden Umstände hohe Geschwindigkeiten, fehlende Übersichtlichkeit und Erkennbarkeit, hohe Komplexität (vor allem von Kreuzungssituationen) sowie Sonderformen (u. a. Tramgleise für Velos) relevant sind. Eine

Betrachtung der polizeilichen Unfallursachen weist für das innerörtliche Unfallgeschehen die Unaufmerksamkeit sowie die Vortrittsmissachtung bei allen drei Hauptverkehrsarten (MIV, Velo, Zufussgehende) als zentrale Fehlverhaltensweisen auf. Hinzukommen bei Velos und Zufussgehenden noch die fehlerhafte Nutzung anderer Verkehrsflächen. Velos weisen weiterhin nicht ausreichende Abstände sowie geöffnete Fahrzeigtüren als Problem auf, bei den Zufussgehenden kommt noch das Rückwärtsfahren von Fahrzeugen hinzu.

## 7.2.2 Design-Regeln

Entsprechend den Aussagen von TP3 konkretisieren die Design-Regeln die Projektierungsprinzipien aus Kapitel 6.2 im Sinne einer Zielsetzung zur Umsetzung der Projektierungsprinzipien. In Tab. 17 finden sich die durch die Teilprojekte priorisierten Design-Regeln als Grundlage für die spätere Herleitung der Massnahmen. Dabei wird deutlich, dass für ausser- und innerorts sowohl ähnliche als auch jeweils andere Design-Regeln priorisiert wurden. Die Nummer in den Klammern hinter der Design-Regel ist nicht als eine weitere Priorisierung zu verstehen, sondern dient der Orientierung beim Lesen des Berichts. Der zweite Buchstabe hinter der Nummer entspricht der Kennzeichnung der Designregel in den Berichten der beiden Teilprojekte 2 und 3. Nebeneinander stehende Design-Regeln entsprechend der Ortslage stehen für gleiche oder ähnliche Designregeln, welche aber in den beiden Teilprojekten leicht anders formuliert und manchmal auch definiert wurden.

**Tab. 17** *Priorisierte Design-Regeln für Innerorts- und Ausserortsstrassen (angepasste Darstellung basierend auf [196, 197])*

Ausserorts	Innerorts
Orientierung geben (A.1 // A)	
Standardisierung fördern (A.3 // C)	Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen (I.1)
Prägnanz erhöhen (A.5 // E)	
Aufmerksamkeit lenken (A.2 // B)	Aufmerksamkeiten und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken (I.2)
Konfliktgegner erkennen (A.4 // D)	
Passive Sicherheit erhöhen (A.6 // F)	Fehlerverzeihende Strasse (I.6)
	Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen (I.3)
	Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen (I.4)
	Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen (I.5)

Die «Standardisierung von Entwurfs- und Signalisationselementen» (A.3 und I.1) sowie deren «Prägnanz» (A.3 und I.1) stellen einen wesentlichen Kern der selbsterklärenden Strassen dar. Die Standardisierung stimmt Gestaltungselemente untereinander (bspw. Querschnittsformen und Knotentyp) sowie mit weiteren Merkmalen (bspw. Temporegime und Querschnittsgestaltung) ab. Innerorts betrifft das die Verkehrsregelung mit Signalisation und Markierung, die Verkehrsfunktion (Netzhierarchie und Verkehrsmenge), die eigentliche Gestaltung (Breiten, Trennung Verkehrsströme, Oberflächen, Einengungen, Querungsmöglichkeiten, Verkehrsberuhigung) aber vor allem auch die Umfeldnutzung (Art und Intensität sowie Aufenthaltsfunktion). Ausserorts betrifft dies vor allem das Temporegime, die Längsmarkierungen, die Querschnittsgestaltung sowie die Abstimmung der Verkehrsfunktion mit den Knotentypen (Vortritt, LSA, Kreisverkehr, niveaugleich, kreuzungsfrei). Daneben spielt die Prägnanz (vor allem) der Signalisationselemente (Lichtsignale, Beschilderung und Markierung) eine zentrale Rolle. Hierbei geht es vor allem um eine reduzierte Signalisationsdichte, aber auch um die Exaktheit und Eindeutigkeit der Signale. Dies gilt sowohl inner- als auch ausserorts, wobei die Anforderungen innerorts gleichwohl grösser aufgrund der Komplexität des Strassenraums sowie der dort vorhandenen höheren Signaldichte sind.

«Aufmerksamkeit lenken» (A.2 und I.2), um damit «potenzielle Konfliktgegner zu erkennen» (A.4 und I.2) sind weitere Design-Regeln, die vor allem an Kreuzungspunkten inner- als auch ausserorts eine zentrale Rolle spielen. Dafür bedarf es entsprechender Reize für die Lenkung auf Konfliktbereiche aber auch eine freie Sicht, um potenzielle Konfliktgegner auch erkennen zu können. Gerade letzteres hat eine besondere Bedeutung für Innerortsstrassen, wo aufgrund der engen Bebauung und der Vielzahl an Strassenausstattungen die eingeschränkte Sicht ein vglw. häufiges Defizit darstellt.

Ebenfalls für innerorts wie ausserorts sind die Themen der passiven Sicherheit (A.6 und I.6) relevant. Während ausserorts damit vor allem der hindernisfreie oder geschützte (Fahrzeug-Rückhaltesysteme) Seitenraum im Fokus steht, ist das Thema innerorts vielfältiger. Dort gehören dann auch ausreichende seitliche Abstände bspw. zwischen Velos und parkenden Fahrzeugen (wegen geöffneter Fahrzeurtüren) oder zwischen Velos und dem fliessenden Verkehr dazu. Aber auch ungünstige Tramgleisüberfahrten oder Linienführungen (Thema Sturzgefahr) für Velos sowie gemeinsame und getrennte Führungen von Velos und Zufussgehenden im Seitenraum sind Themen der passiven Sicherheit bzw. des fehlerverzeihenden Strassenraums.

Die Design-Regel Orientierung geben (A.1) wurde zwar nur für die Ausserortsstrassen priorisiert, spielt aber innerorts auch eine relevante Rolle (im Rahmen der Bearbeitung der Teilprojekte 2 und 3 musste auf ausgewählte Projektierungsprinzipien fokussiert werden). In erster Linie ist hiermit die Bereitstellung von Referenzpunkten und Tiefenreizen gemeint, welche die Geschwindigkeits- und Distanzwahrnehmung der Verkehrsteilnehmenden verbessern sollen. Es kann aber auch weiter gefasst werden und bei Vortrittssituationen oder der Wahrnehmung anderer Verkehrsteilnehmender unterstützen.

Ein sehr innerortsspezifische Design-Regel stellt «Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen» (I.3) dar. Durch die Vielzahl an Verkehrs- und Nutzungsarten (fliessend, wartend, parkend) ist auch die korrekte Nutzung von Querschnittsbereichen sicherheitsrelevant, damit die Verkehrsteilnehmenden die Infrastruktur auch so nutzen wie von der Planung vorgesehen. Dies hilft auch dabei, die Erwartungen anderer Verkehrsteilnehmender an potenzielle Konflikte (Beispiel: Wo erwarte ich kreuzende und vortrittsberechtigzte Velos?) entsprechend zu erfüllen.

In besonderem Masse innerortsspezifisch ist auch die Design-Regel Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen (I.4), welche sowohl das Zusammenspiel von motorisiertem und nicht motorisiertem Verkehr aber auch die Situationen zwischen Velos und Zufussgehenden betrifft. Hier kommt der Safe System Ansatz zum Tragen, dass bei höheren Geschwindigkeitsdifferenzen bestimmte Konflikte nicht mehr ermöglicht werden sollten. Übersetzt bedeutet das, dass Verkehrsströme mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten zu trennen sind oder das Geschwindigkeitsniveau im Mischverkehr insgesamt gesenkt werden muss.

Die letzte Design-Regel, welche für die Innerortsstrassen priorisiert wurde, die aber in ähnlicher Weise auch für Ausserortsstrassen gilt, ist «Akzeptanz für Verkehrsregelungen erhöhen» (I.6). Hierbei spielen drei Unterpunkte eine Rolle. Zuerst sollten Regelungen intuitiv nachvollziehbar sein, sie sollten alle Verkehrsteilnehmenden und Personen-/ Altersgruppen ansprechen und sie sollten mit der Gestaltung des Strassenraums oder der Trassierung abgestimmt sein (dies steht in Zusammenhang zu I.1 und A.3). Letzteres bezieht sich bspw. darauf, dass eine Strasse mit Tempo 30 auch hinsichtlich der Gestaltung dieses Regime unterstützen sollte.

### 7.2.3 Normenwerk

Die Spiegelung der Humanfaktoren mit den Normen erfolgt hauptsächlich im TP3 für die Ausserortsstrassen, damit beziehen sich die folgenden Aussagen vor allem darauf.

Folgenden Schweizer Normen bzw. Themenbereiche der Normen weisen eine besondere Relevanz bezüglich der Humanfaktoren und SERFOR-Ansätze auf.

**Tab. 18 Schweizer Normen mit besonderer Relevanz für SERFOR (angepasste Darstellung basierend auf [196, 197])**

Themengebiet	Stichworte (nur Auswahl)	Normengruppe
Grundlagen der Projektierung	Strasstypen, Geschwindigkeit als Projektierungselement	VSS 40 0XX
Linienführung	horizontale und vertikale Linienführung, optische Anforderungen	VSS 40 1XX
Querschnitt	Geometrisches Normalprofil und dessen Erarbeitung, Strassenraum, Parken	VSS 40 20X VSS 40 30X
Knoten	Knotenelemente, Knoten in einer Ebene, Kreisverkehr, Sichtverhältnisse	VSS 40 25X-27X
Fuss- und Veloverkehrsanlagen	Führungsformen, hindernisfreier Seitenraum	SN 640 06X-07X
Querungen Fuss- und Veloverkehr	Trottoirüberfahrten, Fussgängerstreifen	VSS 40 24X
Öffentlicher Verkehr	Haltestellen	VSS 40 880
Passive Sicherheit	Fahrzeug-Rückhaltesysteme	VSS 40 56X
Signale und Leiteinrichtungen	Verkehrsbeeinflussung, Ausführung und Anordnung, Lichtsignalanlagen	VSS 40 80X-84X VSS 40 87X
Markierung	Anordnung, Anforderungen	VSS 40 86X-87X
Sonstiges	Lärmschutz, Grünräume	SN 640 570, 660, 670

Dem Grossteil der Gestaltungsnormen liegen Humanfaktoren zugrunde. Laut Aussagen von Normierungsexperten werden die Humanfaktoren schon sehr lange in den Normen berücksichtigt. Dies wird aber nicht explizit so gekennzeichnet, sondern ist implizit berücksichtigt. Typische Beispiele dafür sind Anforderungen an Sichtweiten, Elementlängen und -grössen der Linienführung, Platzierung und Abstand von Signalen, Abmessungen von Markierungen, Farbspezifikationen, Schriftarten und Symbole für Signale oder Kriterien der Gestaltung. Die Experten weisen auch darauf hin, dass die Humanfaktoren «absolut anerkannt» sind. Auch wenn seit ca. 20 Jahren die Anforderungen an die Humanfaktoren stärker als zuvor berücksichtigt werden, existieren weiterhin Lücken in den Normen, welche durch eine konsequentere Berücksichtigung der aufgestellten Design-Regeln geschlossen werden könnten. Dies stellt aber eine besondere Herausforderung dar. Im Rahmen der durch das Miliz-System im 5-Jahres-Zeitraum auf Aktualität geprüften Normen werden meist nur Mängel behoben, während Lücken sich nur schwer schliessen lassen (auch wenn teilweise Kenntnisse dazu bei den Mitgliedern der Normierungskommissionen vorhanden sind). Grundsätzlich sind die Normen immer noch stark durch die Perspektive des MIV dominiert, Anforderungen des Langsamverkehrs also noch nicht überall auf dem aktuellen Stand. Ein weiteres Problem (zumindest für die Berücksichtigung der Humanfaktoren) wird in der sehr offenen Formulierung der Normen gesehen, welche den Planenden Ermessensspielräume lassen. Bei Abweichung von Standardsituationen bedarf es für den Umgang mit dem Ermessensspielraum im Sinne einer sicheren Gestaltung (inkl. der Berücksichtigung der Humanfaktoren) bei Abweichung von Standardsituationen ein entsprechendes Know-how bei den Planenden zu den grundsätzlichen Wirkungsweisen von SERFOR.

Die aufgezeigten Verbesserungspotenziale für die Normierung im Kontext von SERFOR sind nach:

- der Ausgestaltung der Normen und
- der Anwendung der Normen zu unterscheiden.

Es wird grundsätzlich festgestellt, dass der Fokus auf der zielgerichteten Förderung der Umsetzung bekannter (und wirksamer) Massnahmenansätze liegen sollte. Die Identifikation innovativer Massnahmen sollte zunächst nicht die oberste Priorität haben.

Die wird auch im Rahmen des Expertenworkshops zur Umsetzung der SERFOR-Ansätze im TP3 bestätigt.

Für die Anpassung von Normen werden zwei wesentliche Aspekte identifiziert.

- Einerseits sollten die Normierungskommissionen noch stärker interdisziplinär aufgestellt sein. Das betrifft sowohl verkehrspsychologisches Erfahrungswissen als auch die Perspektive der weiteren Verkehrsarten neben dem MIV. Dieser Einbezug kann sowohl punktuell bei gesonderten Fragestellungen als auch kontinuierlich erfolgen.
- Der zweite Aspekt betrifft eine gegebenenfalls stärkere Einschränkung des bisherigen Ermessensspielraums sowie die verständlichere und konkretere Formulierung der Normen. Dementsprechend sollen nicht nur die Strassen, sondern auch die Normen zur Gestaltung dieser stärker selbsterklärend sein. Dies stellt allerdings eine besondere Herausforderung dar, da die Anforderungen an den Strassenraum eher mehr und komplexer werden, was per se einer Konkretisierung sowie Einschränkung des Ermessensspielraums entgegensteht.

Aus diesem Grund spielt auch die zielgerichtete Anwendung der Normen eine zentrale Rolle. Ein besseres Verständnis für die Wirkungsweisen von SERFOR-Ansätzen hilft den Planenden bei der Ausgestaltung von Strassenräumen, wenn diese von Standardsituationen abweichen und die Normen keine direkten Ansatzpunkte liefern. Hier spielt dann eine entsprechende Aus- und Weiterbildung eine wichtige Rolle. Die Normierungsexperten sehen hier vor allem Verbesserungspotenziale bei der Weiterbildung des Fachpersonal. Hier könnte u.U. ein kompaktes Nachschlagewerk zu den Humanfaktoren, welches über die vorliegende Dokumentation des Forschungspakets hinausgeht, weiterhelfen.

Als Abschluss soll die Aussage eines Normierungsexperten aufgeführt werden, die auch für viele konkreten SERFOR-Massnahmen eine Herausforderung darstellt: «Überall dort, wo sicherheitsrelevante Faktoren bestehen, müsse man diese formell qualifizieren, quantifizieren und auch kontrollierbar machen.»

## 7.2.4 Relevanz in der Praxis innerorts

Während in TP2 ein punktueller Abgleich der SERFOR-Ansätze mit typischen Auffälligkeiten des innerörtlichen Strassenentwurfs erfolgte, fokussierte TP3 stärker auf den Abgleich mit den Normen. Hierbei wurden grundsätzlich nach Strecken, Knoten und Querungen des Fussverkehrs unterschieden. Die Auffälligkeiten sind in Tab. 19 dokumentiert.

**Tab. 19** Auffälligkeiten Gestaltung Innerortsstrassen im Abgleich mit SERFOR-Ansätzen (angepasste Darstellung basierend auf [196])

	Strecken	Knoten	Querungen Fussverkehr
<b>Selbst- erklärend</b>  Geschwin- digkeit	Fehlende Übereinstimmung von Temporegime und Strassenbild (Relevanz Leitlinie als eindeutiges Erkennungsmerkmal)	Unzureichende Abstimmung Form und Verkehrsregelung Knoten mit Netzhierarchie und Geschwindigkeitsniveaus	Risikohafte Korrelation von höheren Geschwindigkeiten und geringer Anhaltbereitschaft
Abstand	Unzureichende Verdeutlichung des notwendigen Abstandsverhaltens in Längs- und Querrichtung (Relevanz Längsmarkierung)	Eingeschränkte Breiten und/oder fehlende Flächen für Veloverkehr an Knoten	
Vortritt		Einschränkungen bezüglich Erkennbarkeit unterschiedlicher Knotentypen, Abfolge Verkehrsregelungen an aufeinander folgende Knoten Defizite vor allem bei bevorrechtigten Velostrassen in Quartieren sowie Verdeutlichung Rechtsvortritt	Unklarheiten bezüglich Vortrittsverhältnisse in Tempo-30- und Begegnungszonen (ausserhalb FGS) sowie bei Trottoirüberfahrten

<b>Fehler- verzeihend</b>	Unzureichende Breiten und Sicherheitsabstände u.a. zwischen fliessendem und ruhendem Verkehr, aber auch zwischen Veloverkehr und MIV	Eingeschränkte Platzverhältnisse (reduzierte Sicherheitsabstände)	Überhöhte Geschwindigkeiten an Querungsstellen
-------------------------------	--	---	--

## 7.2.5 Massnahmenansätze und Bewertung

Aufgrund der stark unterschiedlichen Ergebnisse in Bezug auf die Massnahmenfindung werden die Erkenntnisse für innerorts und ausserorts getrennt dargestellt.

### Ausserorts

Aus insgesamt 48 Massnahmenansätzen aus der Literatur wurden 20 priorisierte Ansätze abgeleitet, welche in Tab. 20 abgebildet sind. Diese wurden den Design-Regeln A.1-A.6 (siehe Tab. 17) zugeordnet, nach Netzelement<sup>19</sup> und dem übergeordneten Massnahmenansatz kategorisiert sowie hinsichtlich des prozentualen Anteils an den Unfällen auf Ausserortsstrassen (Potenzial), einer kategorialen Einteilung der Wirksamkeit (1 – gering, 5 – hoch) und der Einordnung der rechtlichen Zulässigkeit bewertet.

Die Priorisierung erfolgte im Rahmen eines Expertenworkshops, bei dem alle identifizierten Massnahmenansätze nach Innovationsgrad und Wirksamkeit bewertet wurden. Hier wurde auch deutlich, warum hoch wirksame und lange etablierte SERFOR-Ansätze nicht priorisiert wurden bzw. nicht in Tab. 17 gelandet sind. Grund ist der Innovationsgrad, denn Kreisel, Rückhaltesysteme, Unterfahrschutz, separate Veloanlagen sowie energieabsorbierende Einbauten sind hoch wirksam und seit langem etabliert. Dies gilt es unbedingt bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Hierzu passt auch eine Erkenntnis aus dem Expertenworkshop zur Priorisierung der Massnahmenansätze, wonach es eine negative Korrelation zwischen Innovationsgrad und Wirksamkeit gibt (je wirksamer, umso weniger innovativ). Dies kann auch dahingehend interpretiert werden, dass sich wirksame Massnahmen tendenziell schnell in der Praxis durchsetzen und vermeintlich innovative Massnahmen eben nicht (innovativ kann durchaus auch als «bisher in der Praxis unbekannt» gelesen werden), weil sie nicht wirksam sind oder aus anderen Gründen nicht umgesetzt werden.

Der Grossteil der Massnahmenansätze entfallen auf Strecken-Bereiche, nur zwei Ansätze betreffen Knoten bzw. die Querungen an Knoten. Hierzu passt auch, dass das grösste Potenzial für SERFOR-Ansätze bei der Reduzierung von Schleuder- und Selbstunfällen gesehen wird (nachvollziehbar, da dominierender Unfalltyp Ausserorts). 14 von 20 Ansätzen betreffen die Design-Regel «Orientierung geben» (A.1), für die Design-Regel «Konfliktgegner erkennen» wurden keine Ansätze priorisiert (würde vor allem Massnahmen an Knoten betreffen). Über die Hälfte die Ansätze nutzen Signalisationselemente (Markierung und Beschilderung) oder eine Anpassung der Fahrbahnoberfläche, um den selbsterklärenden Charakter der Strasse zu verdeutlichen. Die grössten Potenziale betreffen linienhafte Massnahmenansätze auf der Strecke, welche Sicherheitsräume schaffen (befestigte Bankette), die Querschnittsbreiten optisch einschränken (angepasste Mittel- und Randlinienmarkierungen) oder akustische Signale rückmelden (Rüttelstreifen). Gerade bei diesen Ansätzen ist aber die rechtliche Situation in Bezug auf die Umsetzung in der Schweiz noch unklar bzw. nach derzeitigem Stand nicht oder nur situativ möglich.

Interessanterweise finden sich auch Massnahmen in der Liste, welche einer verbesserten Kategorisierung von Strassen dienen (siehe Diskussion dazu in Kapitel 7.2.1) und sich nicht nur in die Gruppe der «korrigierenden» Massnahmen einordnen lassen. Hierzu gehören die Kernfahrbahn, transversale Längsmarkierungen, die Standardisierung der Baustelleneinrichtung sowie die farbigen Geschwindigkeitsrandlinien. Solche Massnahmen werden vom Forschungsteam im Teilprojekt 3 als optimal im Sinne von SERFOR eingeordnet.

Umstritten in der Diskussion der Expertengruppe sind Bepflanzungen im Seitenraum, die einerseits eine optische Führung geben sollen (selbsterklärend), andererseits aber auch

<sup>19</sup> Singularität sind punktuelle Übergänge oder Bereiche, die eine besondere Aufmerksamkeit benötigen.

gefährliche Hindernisse darstellen können (nicht fehlerverzeihend). Dies wird noch dadurch verschärft, dass ausgewählte Untersuchungen hier nur eine geringe Wirksamkeit attestieren.

**Tab. 20** *Priorisierte Massnahmen Ausserortsbereich (A.1-A.6 – Design-Regeln, angepasste Darstellung basierend auf [197])*

Massnahme	A.1	A.2	A.3	A.4	A.5	A.6	Netz- element	Ansatz	Poten- zial	Wirk- samkeit	rechtlich zulässig
Befestigte Bankette						x	Strecke	Querschnitt	42%	5	situativ
Transversale Markierungen der Mittellinie	x						Strecke, Singularität	Markierung	42%	4	nein
Überbreite Mittellinienmarkierung	x						Strecke	Markierung	42%	4	nein
Transversale Markierung der Fahrbahn-Randlinien	x	x					Strecke	Markierung	42%	3	nein
Rüttelstreifen mittig	x					x	Strecke	Fahrbahn- oberfläche	35%	5	situativ
Entfernung Bepflanzung Seitenraum	x				x	x	Kurve	Seitenraum	23%	5	ja
Bepflanzung Seitenraum	x						Kurve	Seitenraum	21%	5	ja
Leiteinrichtungen	x	x					Kurve	Beschilderung	21%	5	ja
Optische Kurvenelemente	x	x					Kurve	Seitenraum	21%	5	nein
Farbige Geschwindigkeits-Randlinien	x				x		Strecke	Markierung	21%	4	nein
Rüttelstreifen zu äusseren Fahrbahnabgrenzung	x					x	Strecke	Fahrbahn- oberfläche	20%	5	ja
Sinus-Schwellen («Kobi»-Schwelle)		x					Singularität	Fahrbahn- oberfläche	18%	4	ja
Reduktion Sichtweiten		x					Knoten	Einbauten	10%	3	ja
Mittel-, Trenn- und Leitinseln			x		x		Knoten, Querung	Einbauten	9%	4	ja
Kernfahrbahn ausserorts		x				x	Strecke	Markierung	8%	4	situativ
Rüttelstreifen quer vor engen Kurven (Motorrad)	x					x	Kurve	Fahrbahn- oberfläche	5%	3	nein
Staudetektor und Stauwarner			x				Singularität	dynamische Signale	3%	3	ja
Standardisierung Baustellenführung	x		x				Strecke/ Singularität	Beschilderung, Markierung	1%	4	ja
Reflektorfolien für Verkehrsschilder			x			x	Singularität	Beschilderung	1%	4	ja
Kurvenmarkierung für Motorradfahrende	x					x	Kurve	Markierung	1%	4	nein

A.1 Orientierung geben // A.2 Aufmerksamkeit lenken // A.3 Standardisierung fördern // A.4 Konfliktgegner erkennen // A.5 Prägnanz erhöhen // A.6 Passive Sicherheit erhöhen

Nicht priorisiert wurden folgende Massnahmenansätze:

- Leuchtende oder beleuchtete Beschilderungen und Markierungen (aber auch deren Reduktion)
- Weitere angepasste Beschilderungen und Markierungen (u. a. 3D, realitätsnahe Wegweisung, Bodenbeschriftung, Nebelpunkte)
- Adaptive und aktivierte Signale (u.a. aufleuchtende FGS, Wildwarnungen)

- Rückhaltesysteme und energieabsorbierende Einbauten (fehlerverzeihend; Unterfahrerschutz Motorräder, flexible Leitpfosten)
- Kreisel generell
- Separate Veloanlagen

Weitere Erkenntnisse aus dem Expertenworkshop zur Massnahmenpriorisierung waren:

- Massnahmenansätze lassen sich auch gut kombiniert einsetzen.
- Massnahmenansätze stellen Alternativen zueinander dar (wie zum Beispiel Einengung über Kernfahrbahn von aussen oder breite Mittellinie von innen).
- Es sind immer auch potenziell negative Auswirkungen der Ansätze mit zu berücksichtigen. Das Beispiel der optischen Führung mit Bepflanzung wurde bereits erwähnt, ein weiteres Beispiel sind Mittelinseln, welche auch Hindernisse z. B. für Motorradfahrende sein können.

Eine weitere Überprüfung der Umsetzungsmöglichkeiten erfolgte über eine Diskussion von SERFOR-Massnahmen mit Praxisvertretern an konkreten Unfallschwerpunkten (drei Knoten, zwei Kurven) im Kanton Zürich. Hierbei zeigte sich, dass die Massnahmenansätze grundsätzlich umsetzbar sind und auch von der Praxis nicht abgelehnt werden (auch wenn dafür teilweise Normen angepasst werden müssten). Interessant war, dass die Unfallschwerpunkte bereits entsprechend der geltenden Normen gestaltet waren und durch die SERFOR-Ansätze eine weitere Optimierung der Gestaltung darüber hinaus als möglich eingeschätzt wurde.

Zum Schluss soll an dieser Stelle auf eine ähnlichen und parallel abgeschlossene Forschungsarbeit zu Humanfaktoren auf Ausserortsstrassen hingewiesen werden (siehe [150]). Die dort beschriebenen Hinweise ergänzen die sehr spezifischen Ansätze weiter oben und konkretisieren die Humanfaktoren am praktischen Beispiel im Sinne eines besseren Verständnisses bei den Planenden.

### Innerorts

Für den Innerortsbereich wurden Gestaltungs- und Verkehrsreglungsansätze ohne Anspruch auf Vollständigkeit aber auch ohne weitere Bewertung bereitgestellt. Ausnahme bilden die Virtual-Reality-Experimente zur Ausgestaltung von Rechtsvortritten und Verdeutlichung von Tempo 30 über angepassten Leitlinien.

In Tab. 21 ist ein Entwurf dargestellt, die Designregel Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente für vier Strassenkategorien umzusetzen. Die Strassenkategorien werden über das Temporegime und die Funktion definiert (verkehrsorientiert, nicht verkehrsorientiert, Begegnungszone). Dies stellt eine Art Zielvorstellung für eine eindeutige Abgrenzung der Strassenkategorien zueinander dar. Das kann und wird auch nicht in Bezug auf alle Elemente erreicht, verdeutlicht aber die Idee der Design-Regel am praktischen Beispiel der Innerortsstrassen.

**Tab. 21** Strassenkategorien innerorts nach Verkehrs-/Temporegime mit prägnanten und eindeutigen Projektierungselementen (angepasste Darstellung basierend auf [196])

Verkehrsregime	Tempo 50 generell	Tempo 30 verkehrsorientiert	Tempo 30 nicht verkehrsorient.	Begegnungszone
<b>Vortritt</b>	Fahrverkehr	Fahrverkehr	Fahrverkehr	Fussverkehr
<b>Knotentyp</b>	Vortritt, LSA, Kreisel	Vortritt, LSA, Kreisel	Rechtsvortritt	Rechtsvortritt
<b>Querung Fg</b>	Fussgängerstreifen	mit oder ohne Fussgängerstreifen	kein Fussgängerstreifen	kein Fussgängerstreifen
<b>Funktion</b>	Durchgangsstrasse	Durchgangsstrasse	Erschliessungsstrasse	Aufenthalts-, Freizeit-, Spielraum
<b>Verkehr</b>	Hohe Präsenz MIV, ÖV und Schwerverkehr	Hohe Präsenz MIV, ÖV und Schwerverkehr	nur PW, wenig Schwerverkehr	nur wenig PW
<b>Umfeldnutzung</b>	Geringer Umfeldnutzung oder grösserer Abstand zur Bebauung	Dichte und gemischte Nutzung (Wohnen,	Wohnbebauung	Aufenthaltsnutzung



	bzw. breiterer Seitenraum	Geschäfte, Gastronomie), geringer Abstand zur Bebauung		
<b>Strecken-gestaltung</b>	Standard-Leitlinien	Angepasste Leitlinien oder Mehrzweckstreifen	keine Leitlinien	keine Leitlinien
	Durchgehende Radstreifen	Durchgehende Radstreifen, Velopiktogramme oder Mischverkehr	Keine Velomarkierung	Keine Velomarkierung
	Trottoir	Trottoir	Trottoir	Ggf. kein Trottoir
	ÖV (Busbuchten, Fahrbahnrand-HS)	ÖV (Fahrbahnrand-HS)	meist kein ÖV	kein ÖV
<b>Langsam-verkehr</b>	Konfliktbereiche verdeutlichen	ggf. Konfliktbereiche verdeutlichen	Betonung Rechtsvortritt (über Versatz)	Betonung Rechtsvortritt (über Versatz)
	FGS mit LSA und/oder Mittelinsel	FGS oder flächiges Queren (FLOZ), Trottoirüberfahrten	FLOZ	Vortritt Zufussgehende
	Querungshilfen Velos	Eventuell Querungshilfe Velos	Besondere Ausgestaltung Velostrassen	
<b>Verkehrs-beruhigung</b>	Einengung	Einengung, Farbbänder, horizontale Versätze	Vertikale und horizontale Versätze, versetzte Parkfelder, Einengungen	Möblierung Strassenraum, ...

Die Übergänge zwischen den Strassenkategorien sollen über möglichst eindeutige Torsituationen verdeutlicht werden.

In Tab. 22 finden sich verschiedene Planungsempfehlungen an die Praxis im Rahmen des SERFOR-Kontextes. Diesen wurden erneut die Design-Regeln I.1-I.6 (siehe Tab. 17) zugeordnet. Ausserdem wurden die Empfehlungen entsprechend des Massnahmenansatzes kategorisiert und ein Netzbereich sowie eine oder mehrere Verkehrsarten zugewiesen. Die Aufzählung stellt keine abschliessende Liste dar.

**Tab. 22** allgemeine Massnahmenempfehlungen für Innerortsstrassen

Ansatz	Massnahme	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	I.6	Strecke	Knoten	Querung	MIV	Velo	FG
Verkehrsregime	kein Rechtsvortritt auf Tempo-50-Strassen	x							x		x	x	
Verkehrsregime	Velostrassen mit Tempo 30 und Vortritt	x							x			x	
Verkehrsregime/-beruhigung	Geschwindigkeit reduzieren (u. a. vor FGS, im Mischverkehr)	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Querschnitt	FGS: Anordnung Mittelinsel		x	x			x	x	x	x			x
Querschnitt	Mehrzweckstreifen/ Mittelstreifen		x	x			x	x	x	x	x	x	x
Querschnitt	velogerechte Kurvenradien						x	x	x			x	
Querschnitt	Separation der Verkehrsarten		x					x			x	x	x
Querschnitt	FGS: ohne LSA über max. 1 Fahrstreifen je Fahrtrichtung		x					x					x
Querschnitt	eindeutige Fahrstreifenbreite (Überholen verdeutlichen)			x				x			x	x	
Querschnitt	Mittelinseln an Bushaltestellen zur Reduzierung Überholvorgänge			x				x			x		x

Querschnitt	FGS: Verengung der Fahrbahn	x				x			x
Querschnitt	FGS: verständliche Ausgestaltung (auch für Trottoirüberfahrten)		x			x	x		x
Querschnitt	Trottoirnasen am Fahrbahnrand		x			x	x		x
Querschnitt/ Knoten- gestaltung	Aufteilung komplexer Situation in Sequenzen	x			x	x	x	x	x
Querschnitt/ Verkehrs- beruhigung	Vertikalversatz	x	x	x	x	x	x		
Beschilde- rung	sicherheitsrelevante Signale am Fahrbahnrand	x		x	x	x	x		
Beschilde- rung	Reduzierung Signaldichte	x		x	x		x	x	
Beschilde- rung	informative Signale im peripheren Blickfeld positionieren	x		x	x		x		
Beschilde- rung	Zonensignale anstatt Einzelsignale	x		x	x		x		
Beschilde- rung	temporäre/adaptive Signalisation	x	x	x			x		
Beschilde- rung	Ergänzende Erläuterung zu Signalisationen		x	x			x		
Beschilde- rung	Vorsignalisation bei unübersichtlichen Knoten	x			x		x		
Beschilde- rung/ Markierung	Engstellen signalisieren	x		x	x		x	x	x
Markierung	Einfärbung Radfahrstreifen	x		x	x			x	
Markierung	durchgehende Velostreifen	x		x	x			x	
Markierung	Markierung Tramvortritt mit Bodenmarkierung		x	x	x				x
Markierung	keine grossflächigen FGSO ausserhalb Begegnungszonen	x	x	x		x	x	x	x
Markierung	besondere Markierung Anfang/Ende von Bus-/Velostreifen	x		x			x	x	
Markierung	Leitlinien	x		x			x		
Markierung	Velosymbole auf Fahrbahn in Mischverkehrssituationen	x		x				x	
Markierung	bfu "Füssli"		x			x			x
Markierung/ Querschnitt	Markierung Abstände Velanlage und parkierende Fahrzeuge (Sicherheitstrennstreifen)	x	x	x	x		x	x	
Knoten- gestaltung	Rechtzeitige Richtungsangaben für Spurwahl in Kreiseln	x	x		x		x	x	
Knoten- gestaltung	aufgeweitete Radstreifen	x	x		x			x	

Knoten-gestaltung	Sichthindernisse in Kreismitte	x			x		x	x	
Knoten-gestaltung	indirektes Linksabbiegen für Velos		x		x				x
LSA	Velo-Ampeln	x			x				x
LSA	vorgezogene Haltlinien Veloverkehr an LSA	x			x				x
LSA	LSA (verschiedenes: Countdown, Verzicht Konfliktschaltung, Hinweis lange Rotphasen, Verkehrsabhängigkeit, an Langsamverkehr ausrichten)		x		x		x	x	x
Ausstattung	Hindernisse vermeiden (vor allem an unerwarteten Orten), ausserhalb Fahrbahn platzieren, flexibel ausgestalten	x		x	x	x		x	x
Ausstattung	Abgeflachte Bordsteine bei Veloüberfahrten			x	x	x			x
Ausstattung	ausreichende Beleuchtung	x			x	x	x	x	x
Ausstattung	Werbung in Knotenbereichen/ Querungsstellen reduzieren	x			x	x	x		
Ausstattung	Trixi Spiegel	x			x			x	
Sonstige	regelmässige Reinigung in Bezug auf Laub und Schnee			x	x	x	x		x
Sonstige	erforderliche Sichtweiten gewährleisten / Sicht-hindernisse vermeiden	x	x		x	x	x	x	x
Sonstige	griffiger Belag			x	x	x	x	x	
Sonstige	Z-Querung	x					x		x
Sonstige	FGS: Abstimmung Geh-/Wunschlinien mit Platzierung von FGS		x				x		x

I.1 Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen // I.2 Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken // I.3 Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen // I.4 Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen // I.5 Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen // I.6 Fehlerverzeihende Strasse

Für zwei Markierungen wurden VR-Experimente durchgeführt. Insgesamt 72 Testpersonen (jeweils nahezu gleichverteilt nach Geschlecht, Altersgruppen 18-35/36-50/51-65 sowie Stadt/Agglomeration/Auf dem Land) wurde eine 3D-Strassenumgebung gezeigt und deren Wahrnehmung und Verhaltensintension über einen Fragebogen erhoben. Die Ergebnisse stellen somit nicht das tatsächliche, sondern das beabsichtigte und reflektierte Verhalten der Testpersonen dar.

Für den Bereich der Strecke wurden folgende Ausgestaltungen von Leitlinien für die Unterstützung von Tempo-30-Regelungen untersucht:

- Keine Markierung einer Leitlinie
- Standardausführung Leitlinie (Breite: 15 cm, Länge: 3m, Abstand 6m)
- Leitlinie mit kurzem Abstand (Breite: 30 cm, Länge: 20cm, Abstand 1,5m)
- Leitlinie mit langem Abstand (Breite: 30 cm, Länge: 20cm, Abstand 3m)
- Leitlinie mit langem Abstand und mit zur Achse versetzten Linien (Breite: 30 cm, Länge: 20cm, Abstand 3m)

Alle modifizierten Leitlinien sind breiter, weisen wesentlich kürzere Strichlängen sowie unterschiedliche, aber immer kurze Abstände zwischen den Strichen auf. Bei einer modifizierten Leitlinie wurden die Striche wechselnd nach links oder rechts zur Achse leicht versetzt angeordnet.

Im Ergebnis wirkten die Leitlinien beschleunigend (laut Selbstbeschreibung der Testpersonen) gegenüber Strassen ohne Leitlinien, was auch andere Forschungsergebnisse bestätigten. Einzig die versetzte Leitlinie «scheint» den Beschleunigungseffekt nicht aufzuweisen. Dabei bleibt aber unklar, ob dies eine Folge des «ungewohnten» Charakters dieser Leitliniengestaltung für die Verkehrsteilnehmenden ist. Damit bleibt es bei der bekannten Empfehlung, Tempo-30-Strassen ohne Leitlinien zu gestalten (im Abgleich mit der gestalterischen Situation, also eher schmalen Fahrbahnbreiten), um das Temporegime zu unterstützen. Gleichzeitig wird damit auch in der Regel die Prägnanz im Sinne einer Abgrenzung zu Tempo-50-Strassen mit Leitlinien erhöht.

In einer zweiten Versuchsreihe wurden Kreuzungen mit Rechtsvortritt mit folgenden Ausgestaltungen der Markierung untersucht:

- Keine Belagsmarkierung
- Tulpenmarkierung
- Tulpenmarkierung farblich (blau/türkis) eingefärbt (Bereich der Tulpe, nicht die Linien)
- Markierung Belagsrosette (inklusive Vertikalversatz)

Insgesamt wurden für die Belagsrosette die niedrigsten Geschwindigkeiten bei der Annäherung in der Befragung dokumentiert. Gleichzeitig wird eine höhere Aufmerksamkeit attestiert, die aber weniger stark nach vorne gerichtet ist. Allerdings wird die Belagsrosette weniger häufig als Kreuzung sowie die Vortrittsregelung weniger klar erkannt. Die Ergebnisse für alle untersuchten Kreuzungstypen mit Rechtsvortritt deuten darauf hin, dass die Standard-Kreuzungen ohne die Markierung und Belagsrosetten im Vergleich am stärksten selbsterklärend sind.

Während im vorliegenden Kapitel die Ergebnisse der beiden Teilprojekte 2 und 3 zusammengefasst wurden, erfolgt im nächsten Kapitel eine Einordnung der Ergebnisse sowie Hinweise zu deren Umsetzung in der Praxis.

## 8 Synthese Self Explaining and Forgiving Roads

### 8.1 Einordnung Ergebnisse

#### 8.1.1 Fazit Teilprojekte

Ausgangspunkt des Forschungspakets waren die beiden Definitionen der Vorabanalyse [10] zu SERFOR:

**Tab. 23** Ausgangspunkt Forschungspaket SERFOR: Definitionen der Vorabanalyse [10]

	Selbsterklärende Strassen	Fehlerverzeihende Strassen
Definition	Zeichnen sich dadurch aus, dass alle Verkehrsteilnehmenden anhand des Erscheinungsbilds (Strasse und Strassenraum) eindeutig erkennen können, welches Verhalten angemessen ist.	Zeichnen sich dadurch aus, dass sie den Prozess eines Unfallablaufs an der erstmöglichen Stufe der Schadensentstehung unterbrechen, wodurch schwere Folgen vermieden werden können.
Erklärung	Funktion <sup>20</sup> , Nutzungskonflikte und Höchstgeschwindigkeit jeder Verkehrsanlage können Verkehrsteilnehmende anhand von spezifischen Elementen intuitiv erkennen. Dies unabhängig von der Ortslage (innerorts, ausserorts), der Lage im Netz (freie Strecke, Knoten, Querungsstelle) und der Tageszeit (Tag, Nacht).	Dies ist unabhängig von der Art der Verkehrsteilnahme (Motorfahrzeuginsassen, Radfahrende, Zufussgehende), vom Fehlerverursachenden, von der Ortslage (innerorts, ausserorts) sowie von der Lage im Netz (freie Strecke, Knoten, Querungsstelle).
Bedingung	Signalisation und Markierung werden sparsam angewendet. Insbesondere entfallen Gefahrensignale und Signale für Höchstgeschwindigkeiten. Planung, Bau und Betrieb berücksichtigen umfassend die Prinzipien des Human Factors (u. a. Ergonomie).	Eine fehlerverzeihende Strasse berücksichtigt darüber hinaus die räumlichen Gegebenheiten. Sie umfasst wesentlich mehr als nur die Abminderung der Folgen beim Abkommen von der Fahrbahn auf einer Ausserortsstrasse. Sie soll auch die Folgen von Fehleinschätzungen und daraus resultierendem Fehlverhalten adressieren.

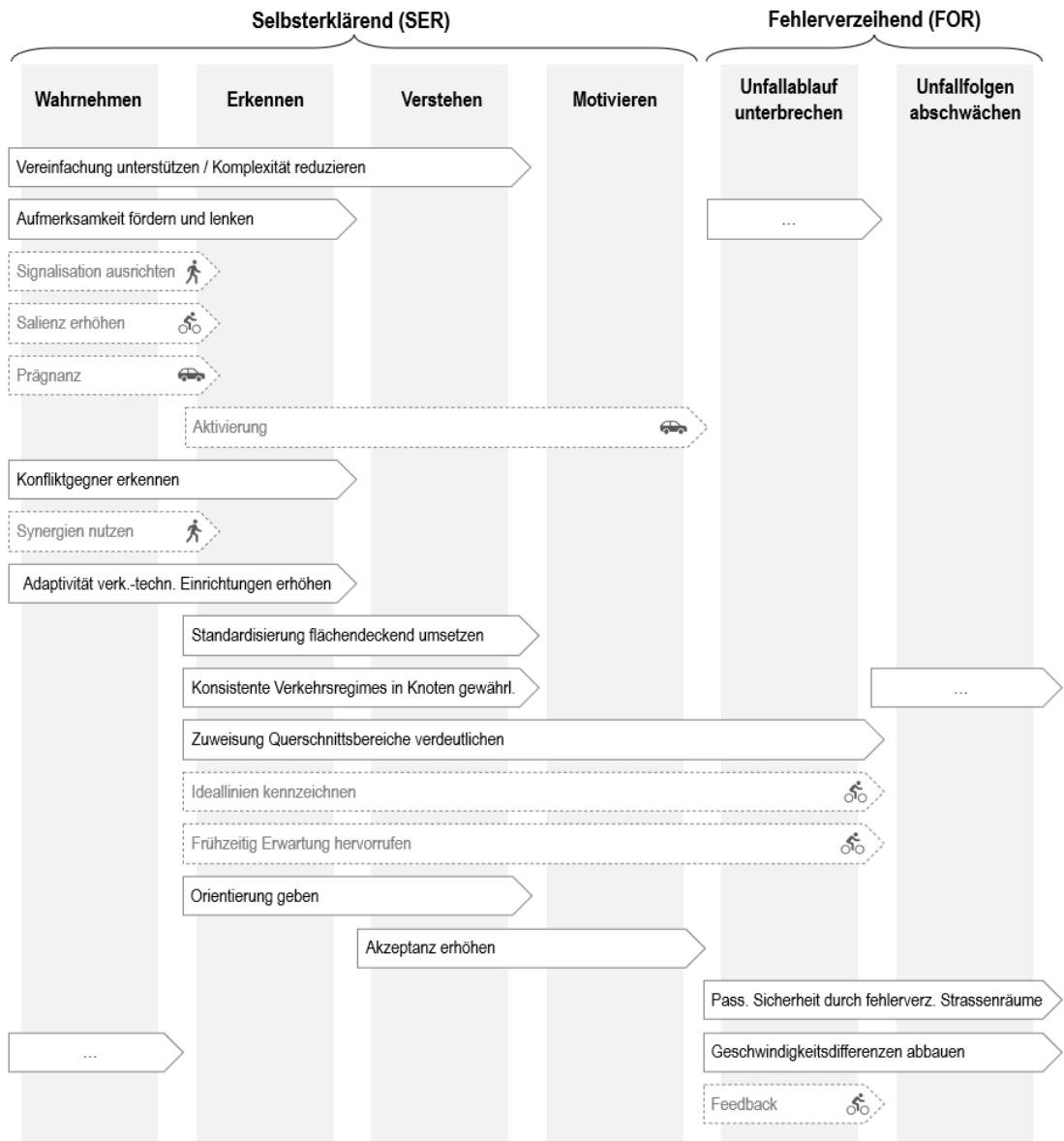
Diese Definitionen wurden im Rahmen der Forschung zu den Humanfaktoren anhand von Projektierungsprinzipien konkretisiert und erweitert. In Abb. 20. sind die Projektierungsprinzipien einer einfachen Unterscheidung der Humanfaktoren sowie zwei Untergruppen der fehlerverzeihenden Strasse zugeordnet. Die Richtung der dargestellten Pfeile repräsentiert das Verhalten und die Verkehrssituation vor, während und nach einem Konflikt bzw. dem daraus resultierenden Unfall. Die Projektierungsprinzipien bzw. die Design-Regeln greifen dabei an verschiedenen Stellen ein und unterstützen ein sicheres Verhalten, damit der Unfall nicht passiert, und/oder reduzieren die Folgen eines Unfalls. Es wird deutlich, dass die Prinzipien einer selbsterklärenden Strasse auch Einfluss auf den fehlerverzeihenden Charakter haben. Eine erhöhte Aufmerksamkeit hilft auch einen Kollisionskurs und damit den Unfallablauf frühzeitig zu unterbrechen. Gleichzeitig unterstützt ein harmonisches Geschwindigkeitsniveau zwischen allen Verkehrsteilnehmenden (Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen) nicht nur geringere Kollisionsgeschwindigkeiten (reduzierte Unfallschwere), sondern gibt den Verkehrsteilnehmenden auch mehr Zeit, um einander wahrnehmen und reagieren zu können.

Die Herleitung und Diskussion der Design-Regeln in den Teilprojekte 2 und 3 zeigte, dass:

- die Projektierungsprinzipien miteinander verknüpft sind und Massnahmenansätze immer wieder auch mehrere Projektierungsprinzipien bedienen.

<sup>20</sup> Hierzu gehört unter anderem auch die Vorrtrittsregelung.

- ein stärkerer Fokus auf Massnahmen für die freie Strecke lag und Knoten (und indirekt damit auch «Konfliktgegner erkennen») eher von untergeordneter Bedeutung waren<sup>21</sup>.
- der Langsamverkehr vor allem bei «Zuweisung Querschnittsbereiche verdeutlichen» und «Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen» eine Rolle spielt, ansonsten der Fokus doch sehr stark auf dem MIV lag.



**Abb. 20** Einordnung Projektierungsprinzipien in Untergruppen von SERFOR (verkehrsmittelspezifische Projektierungsprinzipien sind mit einem Symbol für das Verkehrsmittel versehen, Pfeile ohne Beschriftung gehören zum Pfeil mit Beschriftung in der gleichen Zeile)

Im Rahmen der Massnahmenfindung zeigte sich ein klarer Schwerpunkt auf der Signalisation mit Markierung und Beschilderung. Dies steht etwas im Widerspruch zur Bedingung der Vorabanalyse [10], wonach Signale und Markierung sparsam angewendet werden sollen. Ursache dafür ist aber auch, dass im Ausserortsbereich vor allem korrigierende Massnahmen für Bestandsstrecken gesucht wurden. Ausserdem gibt es einen Schwerpunkt der Projektierungsansätze und Design-Regeln zur Unterstützung des

<sup>21</sup> Dies ist vor allem daher schwierig, da sich ein relevanter Anteil des Unfallgeschehens, vor allem innerorts, an Knoten abspielt. Der Fokus auf den Rechtsvortritt ist hier nur bedingt zielführend, da hier kein wirklich auffälliges Unfallgeschehen in Grössenordnungen vorlag.

Wahrnehmens und Erkennens (Thema Sensorik), wofür sich die Signalisation in besonderem Masse eignet.

Klar wurde aber auch, dass die wirksamen Ansätze häufig bereits in der Praxis angewendet werden. Erneut zeigt sich hier die Erkenntnis (bspw. analog zum Synthesebericht des Forschungspakets VeSPA, [30]), dass weniger ein Innovations- sondern vielmehr ein Umsetzungsproblem an sicheren Strassengestaltungen besteht. Im Ergebnis erscheint somit eine bessere Kenntnis der Wirkmechanismen und Zusammenhänge mit bestehenden Massnahmen durch die Praxis wichtiger als die Bereitstellung möglichst neuer und innovativer Massnahmen. Dies auch vor dem Hintergrund, dass die Umsetzbarkeit mancher Massnahmen (vor allem im Ausserortsbereich) derzeit noch nicht – u. a. aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen – möglich ist. Dieser Punkt wird aber auch an dem VR-Experiment zu modifizierten Leitlinien für Tempo 30 Strassen deutlich. Hier wird dem bisherige Massnahmenansatz (Weglassen der Leitlinie in Tempo 30 Strassen) die höchste Wirksamkeit attestiert.

Somit liefern die identifizierten Massnahmenansätze vor allem ergänzende Hinweise, um entweder die Normen und/oder Anpassungen im Bestand aufgrund von Sicherheitsproblemen (im Rahmen des Audits, der Inspektion oder der Sanierung von Unfallschwerpunkten) weiter zu ergänzen und zu optimieren. Dies wurde im Rahmen des Praxisaustausch an fünf Unfallschwerpunkten im Kanton Zürich deutlich. Demnach waren diese Unfallschwerpunkte regelkonform entsprechend der Normen gestaltet, die präsentierten SERFOR-Ansätze ermöglichen aber ein weiteres Verbesserungspotenzial.

Der Kern selbsterklärender Strassen besteht darin, dass Verkehrsteilnehmende Funktion, Nutzungskonflikte und Höchstgeschwindigkeit jeder Verkehrsanlage (nicht nur der Fahrbahn für MIV!) anhand spezifischer Elemente intuitiv erkennen. Dementsprechend sollten Strassen (oder verschiedene Teile des Strassenraums) mit ähnlicher Funktion, Nutzungskonflikten und Höchstgeschwindigkeit möglichst ähnlich oder homogen (→ Standardisierung, Vereinheitlichung) gestaltet sein. Strassen unterschiedlicher Funktion sollten möglichst einfach unterscheidbar sein. Diese übergeordnete Kategorisierung wurde versucht für den Innerortsbereich (siehe Tab. 21) beispielhaft zu konkretisieren. Aber auch der Fokus auf möglichst linienhafte Massnahmenansätze im Ausserortsbereich unterstützt diese Kategorisierung. Hier fehlt aber bisher noch ein generelles Konzept, welche Strassenfunktionen (auch unter Einbezug des Veloverkehrs bspw. in Bezug auf Velostrassen) welche Elemente aufweisen und welche Regelungen und Risiken damit kommuniziert werden sollen. Dies ist auch relevant für die derzeitige Diskussion zur stärkeren Umsetzung von Tempo 30 in Städten. Folgende Elemente (Massnahmenansätze aus der vorliegenden Forschung) kommen für diese Kategorisierung von Verkehrsanlagen, Strassen und Knoten in Frage:

- Knotentyp und Verkehrsregelung am Knoten auf Strassenkategorie abstimmen (zum Beispiel kein Rechtsvortritt an verkehrorientierten Strassen)
- Unterschiedliche, aber typische Gestaltungen von Strecken in Bezug auf Form und Farbe von Längsmarkierung wie Leitlinien und Randlinien (zum Beispiel Kernfahrbahn, überbreite und eingefärbte Leitlinien, transversale Markierungen, farbige Geschwindigkeitsrandlinien)
- Unterschiedliche, aber typische Querschnittsgestaltung von Strecken u. a. in Bezug auf separate Führung des Langsamverkehrs, Anlage Mehrzweck- oder Mittelstreifen, eindeutige Fahrstreifenbreiten oder befestigte Bankette
- Anordnung von Signalen (zum Beispiel Zonen- statt Abschnittssignalisierung, Velopiktogramme)

Die anderen Massnahmenansätze sind dann eher lokal anzuwenden, wenn aufgrund von Randbedingungen eben keine standardisierte Gestaltung möglich und/oder auf unerwartete oder Übergangssituationen hingewiesen werden soll. Das sind aber immer nur Ansätze der 2. Priorität. Eine selbsterklärende Linienführung im Ausserortsbereich stimmt Kurvenradien aufeinander ab, so dass die Geschwindigkeitswahl intuitiv erfolgt. Erst wenn das nicht möglich ist oder eben im Bestandsnetz (früher) nicht berücksichtigt wurde, dann können lokale korrigierende Ansätze wie u. a. Sinusschwellen, adaptive Signale, Vorsignale, Rüttelstreifen oder optische Kurvenelemente zur Anwendung kommen. Bei diesen punktuellen und damit aufmerksamkeits erhöhenden Elementen wird aber zurecht immer wieder auf mögliche Gewöhnungseffekte hingewiesen, welche über die Zeit die

Wirksamkeit schmälern können. Bei den Elementen zur Kategorisierung von Strassenräumen ist genau diese Gewöhnung aber das Ziel, damit Verkehrsteilnehmende Verhaltensweisen mit den Elementen verbinden und immer auf diese Verhaltensweisen zurückfallen, wenn sie die Elemente im Strassenraum wahrnehmen.

Wichtig erscheint auch, dass die fehlerverzeihende Gestaltung wesentlich mehr ist als nur (die gleichwohl wichtige und wirksame Massnahme) Rückhaltesysteme sowie hindernisfreie Seitenräume. Die Separation von unterschiedlich schnellen und unterschiedlich vulnerablen Verkehrsarten oder die allgemeine Reduzierung der Geschwindigkeiten, um Geschwindigkeitsunterschiede abzubauen sind genauso wichtig wie ausreichende Sicherheitsabstände, wie zum Beispiel zwischen dem Veloverkehr und parkenden Fahrzeugen (entweder direkt über Sicherheitstrennstreifen oder indirekt über Velosymbole). Hierzu zählen aber auch akustische Feedbacks wie Rüttelstreifen, welche vor dem Abkommen von der Fahrbahn oder vor engen Kurven warnen, sowie all diejenigen Signale und Ausstattungen, welche vor Gefahren warnen und oder davor schützen (u. a. Z-Querungen an Tramgleisen, Einbauten in Gleisen bei Veloquerungen). Somit sind alle Ansätze, die Geschwindigkeiten sowie Geschwindigkeitsunterschiede reduzieren, Sicherheitsräume schaffen und vergrössern, Verkehrsarten separieren oder geschützte Führungen anbieten sowie Warnungen und Feedbacks geben als fehlerverzeihende Gestaltungselemente einzuordnen.

### 8.1.2 Strategien und parallele Forschung

Übergeordnete Strategie des Bundes zur Verkehrssicherheitsarbeit stellt das Handlungsprogramm Via sicura dar. Darin finden sich nur zwei Infrastrukturmassnahmen, welche einmal die Regelungen zur Ausgestaltung von Fussgängerstreifen sowie die Verkehrssicherheitsarbeit anhand der Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente (ISSI) betreffen. In der Evaluation von Via sicura ([36]) wird durch die Expertengruppe eine Verordnung zur Gestaltung von Fussgängerstreifen vorgeschlagen, da die revidierte Norm als kritisch in Bezug auf die Verkehrssicherheit beurteilt wurde. Ausserdem wurde eine Ausbreitung der Massnahmen auf alle Verkehrsteilnehmenden als wichtig erachtet. Insgesamt steht also auf Bundesebene vor allem die Vorgaben zur Gestaltung der Fussgängerstreifen sowie die Unterstützung bei der Umsetzung der ISSI im Fokus und in Beziehung zu den hier dokumentierten Forschungsergebnissen.

Im Rahmen der Teilstrategie Verkehrssicherheit des ASTRA ([33]) wird für den Bereich der Infrastruktur die «Konsolidierung und Erweiterung der Anwendung der ISSI» genannt. Demnach sind die ISSI bei den Strasseneigentümern etabliert, könnten aber noch intensiver umgesetzt und angewendet werden. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen zur Anwendung der Normen und den daraus bereits enthaltenen SERFOR-Aspekten. Das Forschungspaket SERFOR wird selbst in der Teilstrategie Verkehrssicherheit genannt.

Die Verkehrssicherheit spielt aber auch in der Teilstrategie Langsamverkehr des ASTRA ([35]) eine wesentliche Rolle. So wird eine Zielvorstellung für die Begrenzung der Toten und Schwerverletzten im Langsamverkehr definiert. Verkehrssicherheit wird als integraler Bestandteil verschiedener Konkretisierungs- und Umsetzungsmassnahmen aufgrund des Verbesserungsbedarfs bei der Sicherheit im Veloverkehr verstanden. Ganz konkrete Massnahmen mit Relevanz für SERFOR sind die Bereitstellung von «Grundlagen für eine sichere und attraktivere Veloinfrastruktur» über eine Grundlagendokumentation Planung sowie die Weiterentwicklung der ISSI in Bezug auf die Anforderungen des Langsamverkehrs. Der erste Punkt zeigt sich in Planungshilfen des ASTRA wie bspw. dem Handbuch Veloverkehr in Kreuzungen ([34]). Darin sind bereits zahlreiche standardisierte Lösungen (siehe Abb. 21) für die Führung des Radverkehrs in Knoten dokumentiert und unterstützen auf diese Weise u. a. die Projektierungsprinzipien «Vereinheitlichung/Standardisierung flächendeckend umsetzen» oder «Zuweisung Querschnittsbereiche verdeutlichen». Damit wird der Ermessenspielraum aufgrund ggf. unkonkreter Normen weiter reduziert, was auch von den im vorliegenden Forschungsprojekt befragten Experten gefordert wurde. Die Weiterentwicklung der ISSI mündete in dem bereits veröffentlichten Forschungsbericht «Velo-Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente VISSI» ([50]). Wesentliche Ergebnisse daraus sind:



- Die Analysen der für die Anwendung der ISSI notwendigen Normen und Grundlagen zeigt, dass Velo- und E-Bike-spezifischen Aspekte nicht überall genügend berücksichtigt sind. Vor allem die Grundlagennorm ist hier nicht auf dem aktuellen Stand, was als grosses Defizit eingeordnet wird. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus dem vorliegenden Forschungspaket.
- Der Veloverkehr weist eine grosse Dunkelziffer bei den Unfällen auf, die Relevanz des Problems wird somit unterschätzt. Dies schränkt die Anwendung des bspw. Black Spot Managements (BSM) ein. Es kann aber auch so interpretiert werden, dass Ansätze zur Verbesserung der Velosicherheit nicht allein reaktiv auf Basis von Unfällen, sondern auch proaktiv auf Basis der Infrastruktur allein behandelt werden muss.
- Es fehlt bei allen Beteiligten (Behörden, ISSI-Fachexperten, Ingenieurbüros) Know-how für die Gestaltung einer sicheren Velo- und E-Bike-Infrastruktur. Dies ist auch ein identifiziertes Problem im vorliegenden Forschungsprojekt, wonach für den Umgang mit den Ermessensspielräumen der Normen eine grundlegende Kenntnis der Humanfaktoren notwendig ist, aber häufig fehlt.
- Es soll keine eigenen ISSIs für den Veloverkehr geben, vielmehr sind die bestehenden ISSI-Normen zu ergänzen. Das betrifft u. a. Kennzahlen, Veloverkehrsstärken (heute und zukünftig) oder die Berücksichtigung von Konflikten ergänzend zu Unfällen.
- Durch die stärkere Berücksichtigung von Velo- und E-Bike-spezifischen Aspekten im Rahmen der Audits und Inspektionen erhalten einzelne Sicherheitsdefizite eine höhere Relevanz, teilweise tauchen neue Sicherheitsdefizite auf.

Insgesamt zeigt sich, dass der Langsam- und insbesondere der Veloverkehr einen hohen Bedarf bzw. hohe Verbesserungspotenziale in der Verkehrssicherheit aufweist, die Grundlage für das Ausschöpfen dieser Potenziale aber teilweise noch fehlen.

Thema	Massnahmen				
4.3 Führung auf der Fahrbahn	4.3.1 Rechtsvortritt	4.3.2 Radstreifen	4.3.3 Geschützter Mittelbereich	4.3.4 Indirektes Linksabbiegen	
	4.3.5 Vorsortierung	4.3.6 Abbiegen in Kurven	4.3.7 Einbahnstrassen in Gegenrichtung	4.3.8 Trottoirüberfahrten	
	4.4 Radwege	4.4.1 Rückführung Radwege auf die Fahrbahn	4.4.2 Abgesetzte Radwegquerungen	4.4.3 Radwege entlang der Fahrbahn	4.4.4 Radwege über Hauptstrassen (nicht vortrittsberechtigt)
		4.4.5 Radwege über Nebenstrassen (vortrittsberechtigt)	4.4.6 Seitliche Verengungen (vorgezogene Seitenräume)	4.4.7 Anschluss T-Knoten	4.4.8 Radweg / Radweg

**Abb. 21** Beispiel für die Darstellung ausgewählter standardisierter Führungen an Kreuzungen ohne LSA aus «Handbuch Veloverkehr in Kreuzungen» ([34])

Dem Forschungspaket SERFOR ist das Forschungspaket VeSPA vorausgegangen, in dem u.a. bereits zahlreiche Massnahmen zur Verbesserung der Infrastruktur identifiziert und bewertet wurden (Schüller et al. [11]). Zahlreiche der dort priorisierten Infrastrukturmassnahmen weisen direkt oder indirekt einen Bezug zu SERFOR vor (siehe Tab. 24). Durch diesen Bezug werden zusätzlich auch die Wirkungspotenziale der SERFOR-Ansätze zumindest ansatzweise verdeutlicht. Weiterhin wird in VeSPA auch die Umsetzungsproblematik und die Wichtigkeit der intensiveren Aus- und Weiterbildung der Verkehringenieure hervorgehoben. Aufgrund aktueller Erkenntnisse könnte dies noch durch die stärker interdisziplinäre Beteiligung der Verkehrspsychologie ergänzt werden.

**Tab. 24** SERFOR-Bezug der Infrastruktur-Massnahmen aus dem Forschungspaket VeSPA [30]

NR gemäss VESPA [30]	Massnahme gemäss VESPA [30]	Jährliches Reduktionspotenzial U(G+SV+LV) gemäss VESPA [30]	Zugeordnete (wichtigste) Projektierungsprinzipien aus SERFOR
I-1	Mindeststandard für sichere Gestaltung definieren (Planung und Bestand)	940	alle
I-2	Sonderprogramme Verbesserung Verkehrssicherheit im Bestandsnetz durchführen	905	alle
I-3	Standardisierung Strassen in Entwurfsklassen („selbsterklärende Strasse“)	385	Standardisierung flächendeckend umsetzen
I-4	Veloroutenplanung nach Sicherheitsaspekten optimieren	290	alle
I-8	Strassennetzhierarchie prüfen und nach Sicherheitskriterien anpassen	80	Standardisierung flächendeckend umsetzen
I-12	Erschliessungsgrad reduzieren / sicherer gestalten an Ausserortsstrassen	40	Standardisierung flächendeckend umsetzen
I-13	Intensivierung der Sicherung von Querungsanlagen für Fussgänger	35	Signalisation ausrichten, Aufmerksamkeit fördern, Konfliktgegner erkennen, Akzeptanz erhöhen
I-16	Entflechtung von Fahrstreifenwechsellvorgängen auf HLS	20	Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen, Zuweisung Querschnittsbereiche verdeutlichen
I-17	Ausbau Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf HLS	20	Adaptivität verkehrstechnischer Einrichtungen erhöhen
I-18	Verbesserung der Sicherung von Autobahnbaustellen	15	Orientierung geben, Standardisierung flächendeckend umsetzen
I-21	Verkehrstechnische Ausstattung von Tunneln intensivieren	10	Aufmerksamkeit fördern und lenken, Orientierung geben, Konfliktgegner erkennen
I-22	Erhöhung Anforderungen Gestaltung Fussgängerstreifen	10	Standardisierung flächendeckend umsetzen, Konfliktgegner erkennen
I-25	Überprüfung angeordneter zulässiger Höchstgeschwindigkeiten und Ableitung Empfehlungen für angepasste Geschwindigkeiten	k. A.	Standardisierung flächendeckend umsetzen, Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen
I-26	Intensivierung Aus- und Weiterbildung von Ingenieuren	k. A.	alle

Ein weiteres und gerade abgeschlossenes Forschungsprojekt zu verhaltensökonomischen Massnahmen («Nudging») weist Überschneidungen mit SERFOR auf ([86]). Beide Ansätze (SERFOR und Nudging) haben einen starken Bezug zu den Humanfaktoren, eine

mögliche Abgrenzung und Einordnung wird in [86] vorgenommen und ist in Tab. 25 dokumentiert.

Verhaltensökonomische Massnahmen oder das Nudging wird folgendermassen definiert:

- Lösen spezifisches erwünschtes Verhalten aus (aufgrund der Theorie vorhersagbar)
- Verhalten wird freiwillig gezeigt (Entscheidungsfreiheit bleibt erhalten und man kann den Nudge umgehen)
- Funktionieren nicht über finanzielle Anreize oder andere Belohnung/Bestrafung
- Geringe Eingangshürden, um an Nudge / Massnahme zu kommen
- Können unterschiedliche Sinnesmodalitäten ansprechen (visuell, haptisch, auditiv)
- Salienz (Auffälligkeit) allein macht noch keinen Nudge aus

Insgesamt werden Nudging-Massnahmen eher als Ansätze für lokale Sicherheitsdefizite und nicht als generelle Gestaltungsphilosophie wie SERFOR beschrieben. Die Effekte von Nudging sind eher gering, dafür aber auch weniger aufwändig und niederschwelliger gestaltet. Massnahmen, die sich in beiden Projekten finden sind u.a. Bepflanzungen in Aussenkurven, Velopiktogramme, modifizierte Gestaltung von Leitlinien in Kurven (Aufweitung für Motorradfahrende). Zentraler Unterschied besteht letztendlich in der Vereinheitlichung und Standardisierung bei SERFOR im Gegensatz zur lokalen, spezifischen und einfachen Umsetzung beim Nudging. In diesem Sinne ergänzen sich aber beide Ansätze, wobei SERFOR eher übergeordnet ist und Nudging vereinzelt zur Anwendung kommt, wenn die «standardmässige» Gestaltung an ihre Grenzen kommt.

**Tab. 25 Abgrenzung Nudging und SERFOR ([86])**

	SERFOR	Verhaltensökonomische Massnahmen (Nudging)
Gemeinsamkeiten	Komplexität reduzieren	
	Verkehrsumgebung vereinfachen	
	Einfache und unbewusste Identifizierung von nicht-offensichtlichen Problembereichen/Sicherheitsdefiziten	
	Fokus auf Problembereich, wo grössere Unterschiede zwischen tatsächlicher und wahrgenommener Sicherheit bestehen	
	Methoden, um die Orientierung der Verkehrsteilnehmenden zum Beispiel in Bezug auf eine sicheres Verkehrsverhalten zu geben	
Unterschiede	Allgemeiner Ansatz, generelle Gestaltungsphilosophie	Spezifischer Ansatz, Einsatz lokal beschränkt
	Adressiert verschiedene und breit gefächerte Verhaltensweisen	Genau ein, relativer eng definierter Einflussbereich, kleinerer Fokus
	Adressierung mehrerer Verkehrsteilnehmendenarten gleichzeitig	
	Unterstützt das korrekte Verständnis eines Netzbereichs und der damit verknüpften Regelungen	Bezieht sich auf distinkte Verhaltensweisen
		Überfrachtung von Wirkungsweisen möglichst vermeiden
	Ermöglicht Übertragbarkeit auf andere Orte	Keine räumliche Bindung
	Verweist indirekt auch auf konkrete Verkehrsregelungen wie Temporegimes, schränkt teilweise Verhaltensoptionen ein	Kein Bezug zu restriktiven Verkehrsregelungen, Erhalt völliger Entscheidungsfreiheit
	Aufwändigere Umsetzung	Einfache Ansätze
	Nicht nur auf Infrastruktur beschränkt	

### 8.1.3 Aktuelle Entwicklungen

Das Verkehrssystem Strasse unterliegt zunehmend schnelleren und grundsätzlicheren Veränderungen. Diese Veränderungen resultieren oder betreffen unter anderem die

zunehmende Zahl an unterschiedlichen Verkehrsmitteln (hier auch Anforderungen, welche aus der Mikromobilität resultieren), notwendige Anpassungen aufgrund der Verkehrswende hin zu einer klimafreundlichen Mobilität aber auch die Nutzung neuer Möglichkeiten der Digitalisierung. Im Folgenden sind – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – wesentliche Veränderungen und deren Relevanz in Bezug auf SERFOR dokumentiert.

- **Zunehmende Relevanz des Langsam- und vor allem Veloverkehrs:** Steigende Verkehrsstärken, Verunglücktenzahlen, neue rechtliche Verkehrsregelungen und Führungsformen, aber auch eine zunehmende Differenzierung der Velofahrzeuge (u. a. Lastenfahrräder, Elektrifizierung) stellen enorme Anforderungen an die Gewährleistung eines sicheren Veloverkehrs. Es wurde bereits deutlich, dass die Normen und Grundlagen hier noch Lücken aufweisen. Das betrifft aber auch noch ungeklärte Fragestellungen wie u. a. ausreichende Parkplätze im beschränkten innerstädtischen Raum. All dies addiert sich zu einer erhöhten Komplexität sowohl für die Strasseneigentümer in Planung und Betrieb als auch für die Verkehrsteilnehmenden (MIV, Velo und Zufussgehende). Genau hier muss aber aus Sicht der Humanfaktoren die Gestaltung durch Vereinfachung, eine bessere Verständlichkeit sowie eine höhere Standardisierung ansetzen. Auch wenn bereits u. a. durch das Handbuch Veloverkehr in Kreuzungen ([34]) erste Ansätze für eine Standardisierung erfolgten, fanden sich nur wenige (und vor allem empirisch belegte) Ansätze für eine selbsterklärende Veloinfrastruktur im Rahmen des Teilprojektes 2. Die Erkenntnisse nehmen aber derzeit rasant zu und es gilt dies durch eine kontinuierliche Evaluation weiter zu ergänzen. Dabei sollte auch die Führung des Veloverkehrs ausserorts nicht vergessen werden (Veloschnellverbindungen).
- **Beschränkter (vor allem innerstädtischer) Raum bei steigender Anzahl an Anforderungen aus u. a. Bereichen des Klimaschutzes oder zusätzlicher Verkehrsmittel:** Schon heute schränken der verfügbare Strassenraum innerorts sowie die vielfältigen Anforderungen und lokalspezifischen Charakteristika die Möglichkeiten bei der Gestaltung des Strassenraums erheblich ein. Dies wird u. a. mit den Forderungen aus dem Bereich des Klimaschutzes (u. a. Verschattung) oder verschiedener Verkehrsmittel (u. a. Parkplätze für Mikromobilität) weiter zunehmen. Auch hier steigt die Komplexität, welche es durch Berücksichtigung der Humanfaktoren bei der Gestaltung zu vereinfachen gilt. Es bedingt aber auch eine gute Kenntnis der Humanfaktoren bei den Verkehrsingenieuren, da immer seltener Standardsituationen im Sinne der Normen zu beplanen sind. Es bedarf aber auch der Kenntnis bzw. der Sensibilisierung zu den Humanfaktoren bei Politik und Entscheidungsträgern. Es werden noch stärker als bisher politische Abwägungen getroffen werden müssen, da nicht alle Anforderungen in gleicher Weise erfüllt werden können.
- **Nicht weniger Verkehr und zunehmende Automatisierung:** Auch wenn sich der Verkehr weiter verändert (u. a. mehr Veloverkehr) und entwickelt (u. a. zunehmende Automatisierung und Elektrifizierung), ist nicht davon auszugehen, dass weniger Mobilität und/oder weniger Verkehr in Zukunft erwartet werden kann. Eine komplette Automatisierung wird in absehbarer Zeit nicht zu erwarten sein, sondern vielmehr Mischverkehr mit besonderen Herausforderungen an die Verkehrssicherheit. Die stärkere Automatisierung wird durch eine gut lesbare und standardisierte Infrastruktur unterstützt, wie es auch SERFOR propagiert und bspw. in der EU-Richtlinie 2019/1936 zur Lesbarkeit von Signalen und Markierungen<sup>22</sup> dokumentiert ist. Es können sich aber genau so auch Konflikte ergeben, wie beispielsweise bei unterschiedlichen Längsmarkierungen (Leitlinie vs. Kernfahrbahn). Weiterhin müssen voraussichtlich innerorts und ausserorts unterschiedliche Anforderungen für die Automatisierung erfüllt werden und/oder es haben jeweils unterschiedliche Elemente der Strassengestaltung eine Relevanz für die Automatisierung. Offen bleibt dabei auch noch, in welchem Masse sich die Infrastruktur den Anforderungen des automatisierten Verkehrs anpassen muss oder ob dies doch eher in umgekehrter Richtung erfolgt.

<sup>22</sup> Auszug EU 2019/1936: «Damit die Mitgliedstaaten ihre Verfahren zur Sicherstellung eines operationellen Einsatzes von Fahrbahnmarkierungen und Verkehrszeichen verbessern können, sollten gemeinsame Spezifikationen festgelegt werden, sodass die korrekte Lesbarkeit und Erkennbarkeit von Fahrbahnmarkierungen und Verkehrszeichen für Fahrer und automatisierte Fahrerassistenzsysteme unterstützt werden.»

- **Stärkere Digitalisierung im Verkehrswesen:** Die Arbeit der Fachleute im Verkehrswesen wird zunehmend komplexer, gleichzeitig stehen aber auch neue Daten sowie Tools zur Unterstützung der Arbeitsprozesse zur Verfügung. Sei es u. a. durch die Ansätze von BIM, der automatisierten Videoauswertung zu Verhaltensweisen und Konflikten oder neuer Erhebungsansätze für zusätzliche und bessere Daten. Hierdurch ergeben sich u. a. neue Ansätze, um Humanfaktoren für die Akteure des Verkehrswesens zu verdeutlichen bzw. dafür zu sensibilisieren, die Anforderungen von SERFOR im Bestandsnetz zu überprüfen oder die Einhaltung bei der Planung zu gewährleisten.

Insgesamt stellt sich somit eher ein steigender Bedarf für eine bessere Berücksichtigung der Humanfaktoren bei Planung und Betrieb von (Strassen-)Verkehrsanlagen dar.

#### 8.1.4 Handlungsbedarf

Am zentralen Handlungsbedarf hat sich seit der Veröffentlichung der Ergebnisse aus dem Forschungspaket VeSPA wenig geändert. Die wesentlichen Verbesserungspotenziale liegen in der effektiveren Umsetzung bestehender Erkenntnisse.

Dies beginnt mit einer – auch an anderen Stellen gewünschten – Aktualisierung der Grundlagennormen in Bezug auf die aktuellen Anforderungen im Verkehr (u. a. Veloverkehr), der stärker interdisziplinären Berücksichtigung der Humanfaktoren im Sinne der Projektierungsprinzipien von SERFOR sowie einer eindeutigeren Formulierung bzw. Standardisierung der Normen, um einen besseren Umgang mit Ermessensspielräumen zu ermöglichen und diese soweit wie notwendig zu minimieren. Hinsichtlich der Ermessensspielräume geht es auch darum, die Folgen für die Verkehrssicherheit beim Ausreizen dieser Spielräume zu verdeutlichen oder sogar «Rechenschaft» einzufordern, wenn das Ausschöpfen der Ermessensspielräume die Verkehrssicherheit negativ beeinflusst. Auch die bisherigen Rahmenbedingungen (u.a. Milizsystem, Zeitraum für Überarbeitung) für die Aktualisierung der Normen wird als unzureichend durch Schweizer Experten beurteilt.

Aufgrund der vielfältigen, teilweise sehr schnellen Veränderungen (siehe Kapitel 8.1.3) wird die Gestaltung und Verkehrsregelung von Strassenräumen zunehmend schwieriger, da diese mit vielfältigen Anforderungen «überfrachtet» werden. Es wird somit weniger Standardsituationen geben. Hier müssen politische Diskussionen angestossen werden, welche dann (wo möglich) in angepassten rechtlichen Regelungen münden. Neben den rechtlichen Regelungen wird es aber auch – vor allem kurzfristig – politisch notwendige Entscheidungen bei abweichenden Strassengestaltungen aufgrund der vielfältigen Anforderungen geben müssen. Somit müssen parallel die Anpassung des Normenwerks und der rechtlichen Rahmenbedingungen aber auch eine bessere Sensibilisierung von Politik und Entscheidungsträger für die Humanfaktoren angestossen werden. Es ist ein besseres Know-how bei den Verkehrsingenieuren aber auch den Verantwortlichen in den Verkehrsbehörden sowie Akteuren ohne vertiefte Kenntnisse zur Strassengestaltung notwendig, wie Strassenräume, die von den Standardsituationen der Normen abweichen, sicher unter Berücksichtigung der SERFOR-Ansätze gestaltet werden können. Dafür bedarf es weniger konkreter Massnahmen, sondern eher eines besseren Verständnisses für die Wirkmechanismen, damit, lokalspezifisch und mit der Erfahrung des jeweiligen Bearbeitenden, passende Lösungen erarbeitet werden können.

Neben dem personenspezifischen Know-how bedarf es aber auch entsprechender Prozesse, damit die sicherheitsrelevanten Projektierungsprinzipien Eingang in Projekte bei Planung, Betrieb, Unterhalt und Erhaltung finden können. Das betrifft die Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente ISSI und noch stärker deren Integration in die bestehenden Prozesse im Lebenszyklus der Strasseninfrastruktur. Dies wiederum muss durch die regelmässige Überprüfung und – wo notwendig – Anpassung der Rahmenbedingungen u. a. in Bezug auf den Rechtsrahmen begleitet werden.

Neben der Umsetzung bestehender Erkenntnisse bleiben aber auch inhaltliche Lücken in Bezug auf SERFOR, welche noch gefüllt werden müssen. Hier bestehen drei zentrale Ansatzpunkte für inhaltliche Ergänzungen. Das sind:

- ein übergeordnetes Konzept der Strassennetzhierarchie, welches Strassentypen und Temporegimes sowie weitere distinkte Elemente miteinander zu einem stimmigen Gesamtkonzept selbsterklärender Strassen inner- und ausserorts miteinander verknüpft
- beispielhafte Ansätze für den Langsamverkehr (insbesondere Velos) sowie generell für Innerortsstrassen
- Ausgestaltung unterschiedlicher Knotentypen

Abschliessend gibt es einen Bedarf, um effektiver und effizienter als bisher, auch aufgrund der sich schnell ändernden Rahmenbedingungen u. a. der Verkehrswende, aktuelle Erkenntnisse aus der nationalen und internationalen Forschung in die Praxis zu überführen. Zentraler Teil davon ist eine konsequenter als bisher durchgeführte Evaluation und Dokumentation von Massnahmenansätzen.

## 8.2 Umsetzung im Sicherheitsmanagement der Strasseninfrastruktur

### 8.2.1 Grundlagen und Normenwerk

Grundlage für eine wirksame Umsetzung von Verkehrssicherheitsaspekten bei Planung, Betrieb, Unterhalt und Erhaltung von Strassen sind die **Normen des VSS** zur Gestaltung von Verkehrsanlagen. Zentrale Elemente der Humanfaktoren sind bereits in den Normen berücksichtigt, aber nicht explizit als solche gekennzeichnet. Es fehlen vor allem aktuelle Erkenntnisse zu den Humanfaktoren, aber auch zum Veloverkehr. Normen sind teilweise zu unkonkret und lassen einen eher grossen Ermessensspielraum. Es fehlen teilweise interdisziplinäre Sichtweisen, aber vor allem ausreichend Zeit und Ressourcen für die Integration dieser Aspekte bei der regelmässigen Aktualisierung der Normen.

Hier bedarf es zwei paralleler Ansatzpunkte zur Verbesserung der Situation:

Einerseits sind die aktuellen Verbesserungspotenziale vor allem zur Verkehrssicherheit aber auch zu den sich schnell ändernden Anforderungen des Langsamverkehrs in einem Ruck aufzuholen. Hier wird eine **einmalige Überprüfung**, im Detail ergänzt um einen objektiv erhobenen Bedarf aus Praxis und Wissenschaft (unter Einbezug der Verkehrspsychologie) empfohlen, welche in ganz konkreten Anpassungsempfehlungen mündet. Diese können dann über das Milizsystem in den regelmässigen Fortschreibungen eingebracht werden. So existieren Beispielsammlungen bei zahlreichen Kantonen, welche ausgewertet und für die Überarbeitung des Normenwerks berücksichtigt werden könnten.

Andererseits bedarf es einer auf die Zukunft ausgerichteten, regelmässigen Berücksichtigung sich zunehmend schneller ändernder Randbedingungen und Erkenntnisse bei der Normenfortschreibung. Hier besteht noch Potenzial, um ausserhalb beziehungsweise ergänzend zum Milizsystem organisatorische Ansätze zur Bewältigung des Bedarfs zu entwickeln. Laut befragter Fachexperten können derzeit zwar Mängel behoben, aber nur bedingt Lücken gefüllt werden. Hier wird ein **übergeordnetes und interdisziplinäres Begleitgremium** empfohlen, welche kontinuierlich Erkenntnisse prüft und in das Milizsystem einspeist. Oder diese Gruppe nimmt rotierend an Sitzungen der Normungsgremien teil. Dies könnte dadurch unterstützt werden, dass im Rahmen eines jeden Forschungsprojektes der Änderungsbedarf für die Normen noch konkreter und systematischer als bisher erhoben wird (u. a. über standardisierte Eingabemaske im Rahmen und als Bedingung der Abnahme von Forschungsberichten durch das ASTRA).

Grundlagen sollten aber nicht nur Forschungsprojekte, sondern vor allem die **Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Praxis** sein. Ein sehr guter Ansatzpunkt stellt hier das Projekt MEVASI zur Ermittlung von Massnahmenwirksamkeit in Bezug auf die Verkehrssicherheit dar. MEVASI könnte nochmals durch ein übergeordnetes Projekt unterstützt werden, welches Daten bei Kantonen und Kommunen einsammelt und analysiert. Genauso wichtig sind aber auch die Dokumentation von praktischen Erfahrungen über Best-Practice-Ansätzen, unterschiedliche Herangehensweisen und Prozessen bei der Umsetzung von Massnahmen. Hier könnten u. a. unterschiedlichen Arten von Plattformen helfen, um Praxiserkenntnisse weiterzutragen. Ergänzend können hier auch Pilotversuche

unterstützen, um vor allem rechtlich heute noch nicht zulässige Massnahmenansätze in der Praxis auszutesten. Aus den Gesprächen mit Praxisvertretenden wurde deutlich, dass dies ein geübtes Werkzeug ist. Parallel dazu bietet auch die neue FSGO-Norm weitaus flexiblere Möglichkeiten der Anwendung von Markierungen als bisher. Allerdings sollte dabei berücksichtigt werden, dass diese Flexibilität nicht entgegen den Projektierungsprinzipien der Standardisierung eingesetzt wird (jeder Kanton oder Gemeinde mit anderen Farben und Formen der Markierung).

Von den befragten Fachexperten wurde vereinzelt der teilweise nicht vorhandene **selbsterklärende Charakter der Normen** angesprochen. Letztendlich gibt es gute Argumente für sehr konkrete als auch eher flexible Vorgaben in den Normen. Hier könnte überlegt werden, ob nicht noch stärker eine Zweiteilung der Normen in (möglichst) optimale Gestaltungsvorgaben einerseits und möglichst erklärenden und flexiblen Hinweisen andererseits ein Weg wäre. Letztendlich wird sich aber die grosse Bandbreite an Know-how und möglichen Lösungen kaum über die Normen regeln lassen, auch weil diese naturgemäss nachgelagert, etabliertes Wissen aufgreifen.

In diesem Zusammenhang könnten noch stärker als bisher **Beispielsammlungen und Handbücher** als Ergänzungen zu den Normen publiziert werden. Das Handbuch Veloverkehr in Kreuzungen ist ein gutes Beispiel dafür. Hier können neben konkreten und standardisierten Beispielen auch noch stärker die Hintergründe der Humanfaktoren möglichst nah an der alltäglichen Realität der Planenden in der Praxis dargestellt und kommuniziert werden. Es wäre zielführend die Projektierungsprinzipien anhand bekannter und durch die Normen abgedeckter Gestaltungsbeispiele zu verdeutlichen. Dies hebt die Sicherheitsrelevanz ausgewählter Normenaspekte hervor und beschreibt Hintergründe, warum bestimmte Gestaltungsvorgaben oder Grenzwerte in den Normen dokumentiert sind. Dabei sind noch stärker als bisher neue Formate wie Online-Darstellungen oder Webinare zu berücksichtigen.

Entweder als übergeordnete bzw. übergreifende Norm oder als Handbuch könnte das Thema einer **selbsterklärenden Strassennetzhierarchie** aufgegriffen werden, welche für alle Strassenkategorien typische Gestaltungs- und Signalisationselemente im Zusammenhang mit einem abgestuften Temporegime beschreibt. Eine «möglichst sichere Geschwindigkeit» für die jeweilige Strassenkategorie und die dort zu erwartenden Konflikte sollte durch die Strassengestaltung erkennbar werden oder sich – wo notwendig, weil die Gestaltung nur bedingt selbsterklärend ist – im Temporegime widerspiegeln. Geringere Geschwindigkeiten sind beispielsweise bei gemeinsam durch Verkehrsteilnehmende mit unterschiedlicher Vulnerabilität genutzten Verkehrsflächen notwendig. Auch bestimmte Knotentypen weisen ermöglichen unterschiedlich «sichere Geschwindigkeiten».

Bei der Beurteilung der SERFOR-Massnahmenansätze aus TP3 hat sich gezeigt, dass für einige Ansätze die rechtlichen Rahmenbedingungen nicht gegeben sind. Auch wenn es manchmal wünschenswert erscheint, dass das Korsett der rechtlichen Regelungen flexibler wäre, so unterstützt dies auch eine einheitliche Gestaltung des Strassenraums im Sinne von SERFOR. Somit wird auch zukünftig eine Anpassung rechtlicher Regelungen erst mit Verzögerung erfolgen. Wichtig erscheint hier vielmehr, dass das **Instrument der Pilotversuche**, welches entsprechend durch eine Evaluation begleitet wird, für vielversprechende Lösungen verwendet wird. Grundsätzlich wäre aber im Rahmen der «einmaligen» Normenüberprüfung durch ein interdisziplinäres Team (siehe 8.2.1) auch eine Überprüfung der bisherigen rechtlichen Regelungen auf SERFOR-Konformität denkbar.

## 8.2.2 ISSI

Die Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente ISSI beschreiben standardisierte Verfahren, um die Verkehrssicherheit bei allen Ebenen des Lebenszyklus von Verkehrsanlagen zu prüfen und bei identifizierten Sicherheitsdefiziten abzustellen.

Alle diese Instrumente benötigen aktuelle Normen, damit Sicherheitsbeauftragte und andere Akteure der Verkehrssicherheit auf aktuellen Grundlagen aufbauen können. Auch die weiter oben empfohlenen Beispielsammlungen und Handbücher unterstützen bei der ISSI-Anwendung. Eine Anpassung der Verfahrensweisen der Instrumente ist aufgrund der Erkenntnisse aus SERFOR nur bedingt notwendig, mit zwei Ausnahmen.

Erstens sollten die ausserhalb der Normen RSA und RSI existierenden Checklisten auf die Konformität mit den Projektierungsprinzipien hin überprüft werden. Dabei geht es sowohl um bestehende Prüfkriterien und deren potenzielle Anpassung oder Erweiterung als auch um grundsätzlich neue Kriterien. Da die Projektierungsprinzipien aber genereller Art sind und in Kombination oder mehrfach in Bezug auf ein Element der Strassengestaltung auftreten können, wäre auch eine ergänzende Checkliste für die Humanfaktorenprüfung denkbar. Ein Ausgangspunkt dafür sind die Factsheets zu den Design-Regeln im TP3. Wenn diese in ähnlicher Weise noch für Innerortsstrassen erweitert und mit abstrakten Beispielen zur Unterstützung des Verständnisses ergänzt werden, stände ein Instrument zur Verfügung, mit dem das Bestandsnetz auf SERFOR-Konformität geprüft werden könnte. Wichtig dabei ist, dass nicht noch ein zusätzliches Instrument entsteht, sondern vielmehr das bestehende RSA/RSI weiterentwickelt wird. Ausserdem sollte eine Priorisierung der Projektierungsprinzipien dort enthalten sein, da die Praxis zeigt, dass gerade beim RSI, die schiere Masse an festgestellten (potenziellen) Defiziten die Strasseneigentümer vor teils massive Probleme bei der Sanierung dieser Defizite stellt. Hier könnte eine Priorisierung helfen, um auf die wesentlichen Sicherheitsdefizite zu fokussieren.

Zweitens werden derzeit überall in den Mitgliedsländern der Europäischen Union an der Umsetzung von Artikel 5 der EU-Richtlinie zum Management der Infrastruktursicherheit auf Länderebene gearbeitet (EU 2019/1936). Artikel 5 beschreibt Anforderungen zum Network Safety Management, einem weiteren ISSI. Mit Veröffentlichung der neuen EU-Richtlinie wurde das grundsätzliche Verfahren des NSM um eine proaktive Komponente erweitert. Hierfür wird parallel zur unfallbasierten Bewertung auch die Infrastruktur standardisiert bewertet. Das bedeutet, es erfolgt eine nach objektiven Kriterien reproduzierbare (häufig kategoriale) Bewertung von Defiziten beispielsweise in der Linienführung. Diese Bewertung könnte – falls dieser proaktive Teil des NSM in der Schweiz umgesetzt werden sollte – auch die Projektierungsprinzipien von SERFOR (zumindest in Teilen und sofern anhand einfacher Kriterien abbildbar) mitberücksichtigen.

Die Datenbank MEVASI bleibt weiterhin sehr wichtig für die Anwendung aller ISSI, vor allem in Bezug auf die Massnahmenfindung. Hier bedarf es aber noch mehr bewerteter Massnahmen, um die Bandbreite an Lösungsvorschlägen zu vergrössern. Dabei müssen nicht nur Massnahmenwirksamkeiten, sondern können auch Referenzmassnahmen (show cases) gesammelt und bereitgestellt werden. Es wird empfohlen, durch ein übergeordnetes Projekt gezielt Massnahmen und Gestaltungslayouts mit SERFOR-Bezug zu identifizieren und Daten für eine Evaluation zu erheben. Entsprechende Vorher-Nachher-Analysen, welche selbsterklärende und fehlerverzeihende Gestaltungen bewerteten, würden dem Thema voraussichtlich eine höhere Akzeptanz in der Praxis verschaffen. In diesem Zusammenhang ist auch zu überlegen, ob gezielt Pilotversuche auf kantonaler Ebene oder durch den Bund gefördert werden und diese Förderung mit der Pflicht zu Evaluation bzw. dem Einbezug in MEVASI einhergehen. Die Pilotversuche sowie die Auswahl der Massnahmen oder Projekte könnten durch eine interdisziplinäre und wissenschaftliche Kommission fachlich begleitet werden.

Eine Massnahme aus VeSPA würde auch die Umsetzung der Projektierungsprinzipien von SERFOR sowie die stärkere Ausweitung und Anwendung der ISSI unterstützen. Dies betrifft das Thema der Mindeststandards. Hier wird auf eine weitere Konkretisierung des Themas im Zusammenhang mit Sicherheitsaudits in Bayern in Deutschland verwiesen<sup>23</sup>. Dort wurden sogenannte Kerndefizite definiert. Das sind Defizite deren Relevanz für die Verkehrssicherheit eindeutig nachgewiesen ist und welche grundsätzlich im Bestandsnetz abzustellen sind. D.h. hier werden nicht mehr nur klassisch Defizite im Sinne des Audits aufgeführt, sondern es werden Defizite durch den Strasseneigentümer definiert, die im Bestandsnetz abzustellen sind. Hierdurch ergibt sich eine andere Dringlichkeit als bisher. Besonders wichtige Anforderungen aus SERFOR könnten dort integriert werden.

<sup>23</sup> [https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/vum/strasse/planung/49\\_einfuehrung\\_rsas\\_20190913.pdf](https://www.stmb.bayern.de/assets/stmi/vum/strasse/planung/49_einfuehrung_rsas_20190913.pdf)



### 8.2.3 Sensibilisierung

Die Sensibilisierung der Praxis für aktuelle Forschungsergebnisse stellt grundsätzlich eine Herausforderung dar. Lange Forschungsberichte sind kein «wirklich niederschwelliges» Produkt. Es werden kompakte Ergebnisdarstellungen benötigt, die adressatengerecht die Praxis mit den wesentlichen Informationen versorgen. Vorträge sowie Veröffentlichungen in der Strasse und Verkehr sind ein Weg. Die Fachdokumentationen und kurzen Argumentationen der bfu sind hierfür noch besser geeignet. Erwähnt werden soll hier auch die mehrstufigen Veröffentlichungen der Unfallforscher der Versicherer (UDV), welche ihre Forschungsergebnisse als Schlussbericht, Kurzbericht (um die 10 Seiten) sowie einen kompakten 2-Seiter veröffentlichen. Hier sollten auch für die ASTRA-Forschung neue Wege der Kommunikation von Forschungsergebnissen diskutiert werden.

Erster Ansatzpunkt für die Sensibilisierung hinsichtlich der Humanfaktoren besteht im Rahmen der Ausbildung. Die bisherige Aus- und Weiterbildung der Verkehrsingenieure könnte mehr durch verkehrspsychologische Aspekte und Ausbildungspersonal ergänzt werden. Ziel ist dabei, noch stärker die Hintergründe der Entwurfsgrundlagen in Bezug auf die Humanfaktoren zu beleuchten.

Dies betrifft weiterhin auch die Ausbildung der Auditoren und Inspektoren für die ISSI RSA und RSI. Hier könnte das bestehende Curriculum um Module zu den Projektierungsprinzipien ergänzt und durch entsprechendes Lehrpersonal mit verkehrspsychologischem Hintergrund geschult werden. Zielführend wären dabei die Analyse bestehender Verkehrsanlagen in Bezug auf die Humanfaktoren, um diese am praktischen Beispiel zu verdeutlichen (wie in TP3 anhand der Unfallschwerpunkte erfolgt).

Entscheidend ist aber die Sensibilisierung von Fachleuten und den entsprechenden Entscheidungsträgern bei Strasseneigentümern und der Politik. Aufgrund der Vielfalt an Themen, welche – vor allem – letztere Adressatengruppe berücksichtigen und abwägen muss, braucht es zwei parallele Vorgehensweisen. Einerseits sind leicht verständliche und einfach verfügbare Kommunikationsinstrumente zum Nutzen von SERFOR wichtig. Andererseits bedarf es aber auch entsprechender Regelungen, welche eine Art Verpflichtung zur Umsetzung der Projektierungsprinzipien darstellen. Ersteres erfolgt über Fachzeitschriften, Konferenzen und Online-Angebote. Dabei ist es wichtig, dass die Themen möglichst von Praxisvertretern zu Praxisvertretern kommuniziert werden. Auf diese Weise erfolgt eine Kommunikation mit ähnlicher Perspektive und erfährt dementsprechend auch eine höhere Akzeptanz im Vergleich zur Kommunikation direkt aus der Forschung. Verpflichtende Ansätze funktionieren meist nur über Geld, beispielsweise indem Fördermittel mit Sicherheitsanforderungen verknüpft werden. Auch die weiter oben erwähnten Kerndefizite sind Anknüpfungspunkte, um Entscheidungsträger zu sensibilisieren und zu verpflichten, die Projektierungsprinzipien stärker als bisher umzusetzen.

### 8.2.4 Forschungsbedarf

Bei folgenden Themen wird ergänzend zu den vorigen Empfehlungen für das operative Sicherheitsmanagement ein grundsätzlicher Forschungsbedarf gesehen:

- Wie können idealtypische Layouts für standardisierte Verkehrsanlagen definiert werden, welche eine optimale Ausgestaltung im Sinne von SERFOR darstellen (vor allem für Knoten, innerörtliche Strassenräume und Anlagen für den Veloverkehr)? Hier liessen sich alle im Projekt aufgestellten Projektierungsprinzipien und Design-Regeln anhand konkreter Verkehrsanlagen durchdeklinieren.
- Übertragung der Projektierungsprinzipien auf die Verkehrsanlagen des Velo- und Fussverkehrs und Ableitung von bspw. Beispiellösungen als Orientierung für die Planung. Da auch die vorliegende Forschung noch stark durch die MIV-Perspektive geprägt war, bedarf es weiterer Forschungen, um Beispiele für die Umsetzungen von Humanfaktoren aus Perspektive des Fuss- und Veloverkehrs zu entwickeln.
- Es sollten aktuelle Anforderungen an das hochautomatisierte Fahren, hier vor allem an den Mischverkehr mit heutigen Fahrzeugen und dem Langsamverkehr, mit den Erkenntnissen und Projektierungsprinzipien einer SERFOR-konformen Gestaltung abgeglichen werden.
- In der Realisierung von Entwurfslayouts in virtuellen Umgebungen (bspw. im BIM-Kontext) liegt Potenzial, um einerseits Bestandsstrassenräume mit unterschiedlichen Planungslayouts beurteilen zu können, aber auch generell Fachleute für das Thema in der Planung zu sensibilisieren. Solche Layouts könnten als 3D-Modelle erstellt werden und dabei für heutige virtuelle Strassenräume verschiedene Lösungsansätze unter Berücksichtigung der Projektierungsprinzipien verdeutlichen.
- Die grössten Herausforderungen zur Umsetzung von SERFOR liegen im Bestandsnetz, welches kurz- und mittelfristig nicht von Aus- oder Umbaumaassnahmen betroffen sein wird. Um das Bestandsnetz effizient auf SERFOR-Konformität zu prüfen, sind die derzeit rasant fortschreitenden Weiterentwicklungen von Ansätzen zur Datenerhebung und Datenaufbereitung zu bewerten. Hierzu gehören auch Ansätze, um das Verkehrsverhalten stärker automatisiert zu erheben und darüber Schlussfolgerungen auf die Berücksichtigung der Humanfaktoren zu erhalten.

## Literaturverzeichnis

- 
- [1] Seeck, A. (2018). „**Faktor Technik. Gefahr erkannt, Gefahr gebannt?**“, Vortrag zum 26. VSVI-Verkehrssymposium, Hambacher Schloss, 23.11.2018
- 
- [2] Bönninger, Jürgen (2018). „**Das autonome Fahrzeug...wird es nicht geben**“, Vortrag Zukunftslabor digital der Bundeszentrale für politische Bildung, <http://www.bpb.de/lernen/digitale-bildung/medienpaedagogik/268084/das-autonome-fahrzeug-wird-es-nicht-geben>
- 
- [3] Kompass, K. (2016). „**Automatisiertes Fahren. Status quo und Perspektiven**“ Vortrag zum 22. DVR-Forum „Sicherheit und Mobilität“: Automatisiertes Fahren und Ethik, 21.06.2016
- 
- [4] Eckstein, L.; Form, T.; Mairer, M.; Schöneburg, R.; Spiegelberg, G.; Stiller, C. (2018). „**Automatisiertes Fahren**“ VDI Statusreport, Juli 2018
- 
- [5] Willi, C.; Deublein, M.; Hafsteinsson, H. (2018). „**Automatisiertes Fahren / Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit**“ Fonds für Verkehrssicherheit, Schlussbericht vom 31.05.2018
- 
- [6] European Commission (2018), „**Proposal for a amending DIRECTIVE 2008/96/EC on road infrastructure safety management**“, [https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?reference=2018/0129\(COD\)&l=en#tab-0](https://oeil.secure.europarl.europa.eu/oeil/popups/ficheprocedure.do?reference=2018/0129(COD)&l=en#tab-0)
- 
- [7] Trimpop, R.; Wieker, H.; Ruttke, T.; Brachwitz, J.; Fünfroeken, M.; Gruber, M. (2014). „**FRAMES – Frühwarnsystem zur Adaptiven Mensch-Fahrzeug-Erkennung und Sicherheitsförderung**“ Abschlussbericht Projektphase I
- 
- [8] Gesamtverband der deutschen Versicherer GDV (2015). „**Automatisiertes Fahren, Auswirkungen auf den Schadenaufwand bis 2035**“, <https://www.gdv.de/resource/blob/8282/c3877649604eaf9ac4483464abf5305d/download-der-studie-data.pdf>
- 
- [9] Kühn, W. (2018). „**Hochautomatisiertes Fahren und Strassenverkehrsinfrastruktur**“ In: Strassenverkehrstechnik 09.2018 (62) S. 623-630
- 
- [10] Scaramuzza, G., Degener, S. & Allenbach, R. (2016). SERFOR: Voranalyse „**Self Explaining Roads**“ (Forschungsprojekt VSS 2012/311 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS). Bern: Bundesamt für Strassen.
- 
- [11] Schüller, H.; Rühle, A.; Fehren-Schmitz, K.; Deublein, M. et al. (2016). „**Forschungspaket VeSPA, Teilprojekt TP2-M, Massnahmen und Potenziale im Bereich Infrastruktur**“. Stuttgart/Zürich: Forschungsprojekt des SVI
- 
- [12] ANDERSEN, T.; BREDAL, F.; WEINREICH, M.; JENSEN, N.; RIISGAARD-DAM, M.; KOFOD NIELSEN, M. (2012) **Collection of Cycle Concepts 2012**. Kopenhagen: Cycling Embassy of Denmark
- 
- [13] Ajzen, I. (1985). **From intentions to actions: a theory of planned behavior**. In J. Kuhl & J. Beckmann (Eds.), Action-control : from cognition to behavior, pp. 11-39. Heidelberg: Springer.
- 
- [14] Alhakami, A. S., & Slovic, P. (1994). **A psychological study of the inverse relationship between perceived risk and perceived benefits**. Risk Analysis, 14, 1085-1096.
- 
- [15] Amstad, C., Diener, S., Hackenfort, M. & Tsimitselis, L. (2015): Einfluss von Routine auf das Blickverhalten im Strassenverkehr. Strassenverkehr / Circulation Routière, 3, 14-19.
- 
- [16] Ansorge, U. (2018). Salienz. In M. A. Wirtz (Hrsg.), Dorsch – Lexikon der Psychologie. Abgerufen unter <https://m.portal.hogrefe.com/dorsch/salienz/>
- 
- [17] Artho, J., Schneider, S., & Boss, C. (2012). Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?. Bern: Bundesamt für Strassen.
- 
- [18] Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Towards a unifying theory of behavioral change. Psychological Review, 84, 191-215.
- 
- [19] Bauer, I. M., & Baumeister, R. F. (2011). Self-Regulatory Strength. In K.D. Vohs & R.F.
- 
- [20] Baumeister (Eds.), Handbook of self-regulation: Research, theory and application (2nd, pp. 22-40). New York: Guilford Press.
- 
- [21] Baumeister, R.F., Vohs, K.D., & Tice, D. M. (2007). The Strength Model of Self-Control. Current Directions in Psychological Science, 16(6), 351-355.
-

- 
- [22] Baumeister, R. F., & Heatherton, T. F. (1996). Selfregulatory Failure: An Overview. *Psychology Inquiry*, 7 (1), 1-15.
- 
- [23] Becher, T., Baier, M.M., Steinauer, B., Scheuchenpflug, R. & Krüger, H.-P. (2006). Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstrassen. Grundlagenstudie (Verkehrstechnik Heft V 148). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen. Abgerufen unter: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/199/file/V148.pdf>
- 
- [24] Bekiaris, E., Amditis, A. & Panou, M. (2003). Drivability: a new concept for modelling driving performance. *Cognition, Technology & Work*, 5, 152-161. doi: 10.1007/s10111-003-0119-x
- 
- [25] bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung (2017). **bfu-Sicherheitsbarometer. Sicherheitsniveau im Strassenverkehr Schweiz 2017**. Bern: bfu.
- 
- [26] bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung (2018). SINUS-Report 2018: **Sicherheitsniveau und Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2017**. Bern: bfu.
- 
- [27] Böhm, H., Schneider, W. et al. (1965). **Verkehrsteilnehmergruppen und Verkehrserziehungsmittel. Forschungsgemeinschaft „Der Mensch im Verkehr“ e.V.** (Hrsg.). Köln.
- 
- [28] Bubb, H. (2015). Einführung. In H. Bubb, K. Bengler, R.E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 1-26). Wiesbaden: Springer.
- 
- [29] Bubb, H., Vollrath, M., Reinprecht, K., Mayer, E. & Körber, M. (2015). Der Mensch als Fahrer. In H. Bubb, K. Bengler, R.E. Grünen & M. Vollrath (Hrsg.), *Automobilergonomie* (S. 67-162). Wiesbaden: Springer.
- 
- [30] Buck, M.; Grau, N.; Spacek, P. (2016). Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht. Bern: Bundesamt für Strassen ASTRA (Forschungsprojekt SVI 2012/001 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI))
- 
- [31] Bundesamt für Statistik (BFS) (Hrsg.) (2017). *Verkehrsunfälle in der Schweiz 2016*. Neuchâtel: BFS.
- 
- [32] Bundesamt für Strassen (ASTRA) (Hrsg.) (2015). **Analyse der Velounfälle 2005 bis 2014. Personen- und infrastrukturbezogene Auswertungen**. Bern: ASTRA.
- 
- [33] Bundesamt für Strassen (ASTRA) (Hrsg.) (2020). **Teilstrategie Verkehrssicherheit**. Bern: ASTRA.
- 
- [34] Bundesamt für Strassen (ASTRA) (Hrsg.) (2021). **Veloverkehr in Kreuzungen, Handbuch Infrastruktur**. Bern: ASTRA.
- 
- [35] Bundesamt für Strassen (ASTRA) (Hrsg.) (2022). **Teilstrategie Langsamverkehr**. Bern: ASTRA.
- 
- [36] Bundesrat (2017). **Evaluation von Via sicura, Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 16.3267 der Kommission für Verkehr und Fernmeldewesen des Ständerats vom 14. April 2016**
- 
- [37] Broadbent, D. E. (1958). **Perception and communication**. London: Academic Press.
- 
- [38] Cacciabue, P.C. (Ed.). (2007). **Modelling driver behaviour in automotive environments. Critical issues in driver interactions with intelligent transport systems**. London: Springer.
- 
- [39] Cavallo, V.E. & Cohen, A.S. (2010). **Perception**. In P.-E. Barjonet (Ed.), *Traffic psychology today* (pp. 63-89). Norwell, MA: Kluwer Academic.
- 
- [40] Chaloupka-Risser, C. (2011a). Theorien der Fahraufgabe. In C. Chaloupka-Risser, R. Risser & W.-D. Zuzan (Hrsg.), *Verkehrspsychologie. Grundlagen und Anwendungen* (S. 104-116). Wien: Facultas.
- 
- [41] Chaloupka-Risser, C. (2011b). Wahrnehmung. In C. Chaloupka-Risser, R. Risser & W.-D. Zuzan (Hrsg.), *Verkehrspsychologie. Grundlagen und Anwendungen* (S. 58-81). Wien: Facultas.
- 
- [42] Cohen, A.S. (1986). Möglichkeiten und Grenzen visueller Wahrnehmung im Strassenverkehr (Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr Heft 57). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen.
- 
- [43] Cohen, A.S. (1998). Visuelle Orientierung im Strassenverkehr. Eine empirische Untersuchung zur Theorie des visuellen Abtastens (bfu-Report, 34) Bern: Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung. Abgerufen unter: [https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu\\_2.310.08\\_bfu-report%20no.%2034%20E2%80%93%20Visual%20orientation%20in%20road%20traffic.pdf](https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu_2.310.08_bfu-report%20no.%2034%20E2%80%93%20Visual%20orientation%20in%20road%20traffic.pdf)
- 
- [44] Cohen, A.S. (2008). **Wahrnehmung als Grundlage der Verkehrsorientierung bei nachlassender Sensorik während der Alterung**. In B. Schlag (Ed.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter (S. 65 – 84)*, Köln: TÜV Media.
- 
- [45] Crundall, D.E. & Underwood, G. (1998). Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 41(4), 448-458. doi:10.1080/001401398186937
-

- 
- [46] Davidse, R., van Driel, C. & Goldenbeld, C. (2004). The effect of altered road markings on speed and lateral position. A meta-analysis (R-2003-31). Leidschendam NL: SWOV Institute for Road Safety Research. Retrieved from SWOV website: <https://www.swov.nl/en/publication/effect-altered-road-markings-speed-and-lateral-position>
- 
- [47] De Waard, D., Schepers, P., Ormel, W. & Brookhuis, K. (2010). Mobile phone use while cycling: Incidence and effects on behaviour and safety. *Ergonomics*, 53(1), 30-42. doi: 10.1080/00140130903381180
- 
- [48] Denton, G.G. (1976). **The influence of adaptation on subjective velocity for an observer in simulated rectilinear motion.** *Ergonomics*, 19(4), 409-430. doi: 10.1080/00140137608931554
- 
- [49] Dingus, T. A., Guo, F., Lee, S., Antin, J. F., Perez, M., Buchanan-King, M., & Hankey, J. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(10), 2636-2641.
- 
- [50] Eberling, P.; Deublein, M.; Machu A. et al. (2022). Velo-Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente VISSI. Bern: ASTRA (Forschungsprojekt VPT\_20\_05B\_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Verkehrsplanung und -technik (VPT))
- 
- [51] Egeth, H.E. & Yantis, S. (1997). Visual attention: control, representation, and time course. *Annual Review of Psychology*, 48, 269-297.
- 
- [52] Egger, M. (2001). Arbeitswissenschaft im Kontext sich wandelnder Rahmenbedingungen. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen*, Heidelberg: Springer Verlag.
- 
- [53] Endsley, M. R. (1995). Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), 65-84.
- 
- [54] Endsley, M.R. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness: a critical review. In M.R. Endsley & D.J. Garland (Eds.), *Situation awareness analysis and measurement* (pp. 3-32). Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum.
- 
- [55] Engström, J., Markkula, G., & Victor, T. (2009). Attention selection and task interference in driving: an action-oriented view. *Proceedings of the 1st International Conference on Driver Distraction and Inattention*, Gothenburg, 1-16.
- 
- [56] Elvik, R., 2010. Why some road safety problems are more difficult to solve than others. *Accident Analysis and Prevention*, 42(4), 1089–1096.
- 
- [57] Ewert, U., Scaramuzza, G., Niemann, S., & Walter, E. (2010). Der Faktor Geschwindigkeit im motorisierten Strassenverkehr, bfu-Sicherheitsdossier, Nr. 06. Bern: Beratungsstelle für Unfallverhütung.
- 
- [58] Falk, M. & Gerlach, J. (2008). Gestaltung nach dem Shared Space-Prinzip in Deutschland. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 54(4), 188-195.
- 
- [59] Falkenstein, M. & Sommer, S.M. (2008). Altersbegleitende Veränderungen kognitiver und neuronaler Prozesse mit Bedeutung für das Autofahren. In B. Schlag (Ed.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter* (S. 113 – 141), Köln: TÜV Media.
- 
- [60] Farmer, E., & Chambers, E. G. (1926). *A Psychological Study of Individual Differences in Accident Rates. A Psychological Study of Individual Differences in Accident Rates.*, (38).
- 
- [61] Finucane, M. L., Alhakami, A., Slovic, P., & Johnson, S. M. (2000). The affect heuristic in judgments of risks and benefits. *Journal of Behavioral Decision Making*, 13, 1-17.
- 
- [62] Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S., & Combs, B. (1978). How Safe is Safe Enough? A Psychometric Study of Attitudes Towards Technological Risks and Benefits. *Policy Science*, 9, 127-152.
- 
- [63] Fitts, P.M. & Posner, M.I. (1967). *Human performance. Basic concepts in psychology series.* Belmont: Wadsworth Publishing.
- 
- [64] Fuller, R. (1984). On learning to make risky decisions. *Ergonomics*, 31, 519-526.
- 
- [65] Fuller, R. (2000). The task-capability interface model of the driving process. *Recherche Transports Sécurité*, 66, 47-57.
- 
- [66] Fuller, R. (2005). Towards a general theory of driver behaviour. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 461-472. doi: 10.1016/j.aap.2004.11.003
- 
- [67] Fuller, R., Hannigan, B., Bates, H., Gormley, M., Stradlung, S., Boughton, P., Kinnear, N. & D'Dolan, C. (2007). Understanding inappropriate high speed: qualitative results from HUSSAR project. *Behavior Research in Road Safety, Seventeenth Seminar.*
- 
- [68] Fuller, R. & Santos, J.A. (2002). Psychology and the highway engineer. In R. Fuller & J.A. Santos (Eds.), *Human factors for highway engineers* (pp. 1-10). Amsterdam: Pergamon.
- 
- [69] Fyhri, A., Sundfør, H. B., Bjørnskau, T., & Laureshyn, A. (2017). Safety in numbers for cyclists-conclusions from a multidisciplinary study of seasonal change in interplay and conflicts. *Accid Anal Prev*, 105, 124-133.
-

- 
- [70] Gerlach, J., Boenke, D., Leven, J. & Methorst, R. (2008). Sinn und Unsinn von Shared Space – Zur Versachlichung einer populären Gestaltungsphilosophie. *Strassenverkehrstechnik*, 2 & 3.2008(S. 61-65; 140-149).
- 
- [71] Gerlach, J. (2022). Anwendung und Anpassung von FGSV-Veröffentlichungen im Bereich Verkehr zum Erreichen von Klimaschutzziele. Dortmund: Vortrag zum Strassenverkehrskongress
- 
- [72] Gerstenberger, M. (2015). Unfallgeschehen an Knotenpunkten. (Dissertation, Technische Universität München.
- 
- [73] Ghielmetti, M., Steiner, R., Leitner, J., Hackenfort, M., Diener, S., & Topp, H. (2017). Flächiges Queren in Ortszentren - langfristige Wirkung und Zweckmässigkeit (Forschungsprojekt SVI 2011/023 auf Antrag der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)). Bern: Bundesamt für Strassen.
- 
- [74] Ghielmetti, M., von Hebenstreit, B., & Jöri, H. (2006). Fussgängerstreifenlose Ortszentren (Forschungsauftrag SVI 2002/001 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)). Bern: Bundesamt für Strassen.
- 
- [75] Grattenthaler, H. & Krüger, H-P. (2009). Bedeutung der Fahrerfahrung für den Kompetenzerwerb beim Fahrenlernen. *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Mensch und Sicherheit*, Heft M 201. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- 
- [76] Gross, J. J., & Thompson, R. A. (2007). Emotion regulation: Conceptual foundations. In J.J. Gross (Ed), *Handbook of emotion regulation*. New York: Guilford Press.
- 
- [77] Gründl, M. (2005). Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen. (Dissertation, Universität Regensburg.
- 
- [78] Gstalter, H. (1988). Verkehrspsychologie. In R. Asanger & G. Wenninger (Hrsg.), *Handwörterbuch der Psychologie* (4. völlig neubearbeitete und erw. Aufl., S. 822-828). München: Psychologie Verlags Union.
- 
- [79] Gstalter, H. & Fastenmeier, W. (2005). Anforderungen der Fahraufgabe und tatsächliches Fahrverhalten. Ergebnisse eines Soll-/Ist-Vergleichs mit der neuen Analyseverfahren SAFE. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 51(2), 76-82.
- 
- [80] Gstalter, H. & Fastenmeier, W. (2013). Ältere Fahrer und Verkehrssicherheit – Bestandsaufnahme und mögliche Massnahmen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 59(1), 5-13.
- 
- [81] Groeger, J.A. (2000). *Understanding Driving. Applying cognitive psychology to a complex everyday task*. East Sussex: Psychology Press.
- 
- [82] Hackenfort, M. (2012a). Jenseits des Vorsatzes – Eine Untersuchung zu kognitiven Ursachen von regelwidrigem Verhalten im Radverkehr. In C. Schwarzenegger & R. Nägeli (Eds.), 5. Zürcher Präventionsforum – Raser, Risikofahrer und andere kriminelle Verkehrsteilnehmer (pp. 171-238). Zürich: Schulthess.
- 
- [83] Hackenfort, M. (2012b). Psychologische Sicherheitsforschung: Ursachen und Folgen von subjektiven Fehleinschätzungen und ihre Bedeutung für den Strassenverkehr. *SIK Journal: Zeitschrift für Polizeiwissenschaft und polizeiliche Praxis*, 3, 16-26.
- 
- [84] Hackenfort, M. (2012). Unaufmerksamkeit & Ablenkung: Literaturreview im Auftrag des Schweizerischen Versicherungsverbandes. Winterthur: ZHAW Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.21256/zhaw-58>
- 
- [85] Hacker, W. (1998). *Allgemeine Arbeitspsychologie*. Bern: Huber.
- 
- [86] Hackenfort, M.; Hagmann, D.; Schüller, H.; Sütterlin, Chr.; Deublein, M.; Uhr, A. (2022). Verhaltensökonomische Ansätze zugunsten der Verkehrssicherheit (Nudging). Bern: ASTRA (Forschungsprojekt MFZ\_20\_00A\_01 auf Antrag der Arbeitsgruppe Mensch und Fahrzeug (MFZ))
- 
- [87] Hadadi Sani, R. R., Tabibi, Z., Fadardi, J. S., & Stavrinou, D. (2017). Aggression, emotional self-regulation attentional bias, and cognitive inhibition predict risky driving behavior. *Accident Analysis & Prevention*, 109, 78-88.
- 
- [88] Hamilton-Baillie, B. (2004). Urban design: Why don't we do it in the road? Modifying traffic behavior through legible urban design. *Journal of Urban Technology*, 11, 43-62.
- 
- [89] Hatakka, M., Keskinen, E., Gregersen, N.P., Glad, A. & Hernetkoski, K. (2002). From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education. *Transportation Research Part F*, 5, 201-215.
- 
- [90] Hatfield, J., Fernandes, R., & Job, R. S. (2014) Thrill and adventure seeking as a modifier of the relationship of perceived risk with risky driving among young drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 223–229.
- 
- [91] Hertwig, R., Barron, G., Weber, E.U. & Erev, I. (2004). Decisions from Experience and the Effect of Rare Events in Risky Choice. *Psychological Science*, 15, 534-239.
-

- 
- [92] Hinrichs, S. (2005). Fehlbeurteilungen von Qualität -- Die Qualitätskenntnis von Mitarbeitern. In H.-P. Musahl, C. Schwennen, & S. Hinrichs (Eds.), *Arbeitssicherheit – Führung – Qualität* (pp. 57-76). Hamburg: Dr. Kovač.
- 
- [93] Hollnagel, E. & Woods, D.D. (2005). *Joint cognitive systems. Foundations of cognitive systems engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- 
- [94] Hommen, M. (2018). Robotautos ungewiss. Abgerufen unter <https://www.zeit.de/mobilitaet/2018-08/autonomes-fahren-robotik-kuenstliche-intelligenz-auto-mobilitaet>.
- 
- [95] Horswill, M.S., Garth, M., Hill, A., & Watson, M. O. (2017). The effect of performance feedback on drivers' hazard perception ability and self-ratings. *Accident Analysis & Prevention*, 101, 135-142.
- 
- [96] Huguenin, R.D. & Rumar, K. (2010). Models in traffic psychology. In P.-E. Barjonet (Ed.), *Traffic psychology today* (pp. 31-59). Norwell, MA: Kluwer Academic.
- 
- [97] Jacobsen, P.L. (2003). Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. *Injury Prevention*, 9, 205-209.
- 
- [98] Kahneman, D., Slovic, P. & Twersky, A. (1982). *Judgement under uncertainty: Heuristics and bias*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- 
- [99] Kallgren, C. A., Reno, R. R., & Cialdini, R. B. (2000). A Focus Theory of Normative Conduct: When Norms Do and Do not Affect Behavior. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 26(8), 1002-1012. doi:10.1177/01461672002610009
- 
- [100] Kaparias, I., Bell, M. G. H., Biagioli, T., Bellezza, L., & Mount, B. (2015). Behavioural analysis of interactions between pedestrians and vehicles in street designs with elements of shared space. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 30, 115-127.
- 
- [101] Kaparias, I., Bell, M. G. H., Dong, W., Sastrawinata, A., Singh, A., Wang, X. et al. (2013). Analysis of Pedestrian-Vehicle Traffic Conflicts in Street Designs with Elements of Shared Space. *Transportation Research Record*, 2393(1), 21-30.
- 
- [102] Keskinen, M. J., & Ganguli, G. (1996). Simulations of dynamics and structure in the black aurora. *J. Geophys. Res.*, 101 (26), 995-26, 999.
- 
- [103] Klebelsberg, D. (1982). *Verkehrspsychologie*. Berlin: Springer.
- 
- [104] Köhler, A.-L., Ladwig, S., & Schwalm, M. (2018). H2020-Projekt MeBeSafe: Unfallprävention durch „Nudging“ – sicheres Verhalten im Strassenverkehr. Vortrag auf dem Seminar „Verkehrspolizeiliche Aspekte der Digitalisierung und Vernetzung im Strassenverkehr“, Münster, 24.05.2018, Deutsche Hochschule der Polizei.
- 
- [105] Lehtonen, E., Lappi, O. & Summala, H. (2012). Anticipatory eye movements when approaching a curve on a rural road depend on working memory load. *Transportation Research Part F*, 15, 369-377. doi: 10.1016/j.trf.2011.08.007
- 
- [106] Leutner, D., Brünken, R. & Willmes-Lenz, G. (2009). Fahren lernen und Fahrausbildung. In H.-P. Krüger (Hrsg.), *Anwendungsfelder der Verkehrspsychologie* (S. 1-79). Göttingen: Hogrefe.
- 
- [107] Lewis-Evans, B. & Charlton, S.G. (2006). Explicit and implicit processes in behavioural adaptation to road width. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 610-617. doi:10.1016/j.aap.2005.12.005
- 
- [108] Liebherr, M., & Haas, C. T. (2017). Exekutive Funktionen im Kontext des modernen Autofahrens. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 63 (3), 75-78
- 
- [109] Lippold, C., Schulz, R., Krüger, H.-P., Scheuchenpflug, R. & Lorenz, C. (2009). Einfluss der Strassenseitenraumbepflanzung auf Fahrverhalten und Verkehrssicherheit (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 1018), Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- 
- [110] Liu, P., Yang, R., & Xu, Z. (2018). How Safe is Safe Enough for Self-driving Vehicles? *Risk Analysis*. doi.org/10.1111/risa.13116
- 
- [111] Lücken, L. (2018). On the variation of the crash risk with the total number of bicyclists. *European Transport Research Review*, 10(2), 33.
- 
- [112] Mack, A. & Rock, I. (1998). *Inattentional Blindness*. Cambridge MA: The MIT Press.
- 
- [113] Manser, M.P. & Hancock, P.A. (2007). The influence of perceptual speed regulation on speed perception, choice, and control: Tunnel wall characteristics and influences. *Accident Analysis and Prevention*, 39, 69-78. doi:10.1016/j.aap.2006.06.005
- 
- [114] Marbe, K. (1923). Über Unfallversicherung und Psychotechnik. *Praktische Psychologie*, 4 (9), 257- 264.
- 
- [115] Marshall, A. (2017). After Peak Hype, Self-Driving Cars Enter the Trough of Disillusionment. Abgerufen unter <https://www.wired.com/story/self-driving-cars-challenges/>.
-

- 
- [116] Metzger, W. (1975). *Gesetze des Sehens*. Frankfurt am Main: Waldemar Kramer.
- 
- [117] Michon, J.A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans & R.C. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-520). New York: Plenum Press.
- 
- [118] Muhrer, E. & Vollrath, M. (2010). Expectations while car following – the consequences for driving behaviour in a simulated driving task. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 2158-2164. doi:10.1016/j.aap.2010.07.009
- 
- [119] Musahl, H.-P. (1997). *Gefahrenkognition: Theoretische Annäherungen, empirische Befunde und Anwendungsbezüge zur subjektiven Gefahrenkenntnis*. Heidelberg: Asanger.
- 
- [120] Näätänen, R. & Summala, H. (1974). A Model for the Role of Motivational Factors in Drivers Decision-Making. *Accident Analysis & Prevention*, 6, 243-261.
- 
- [121] Näätänen, R. & Summala, H. (1976). *Road-user behavior and traffic accidents*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- 
- [122] New York Times (2017). Tesla Self-Driving System Faulted by Safety Agency in Crash. Abgerufen unter <https://www.nytimes.com/2017/09/12/business/self-driving-cars.html>.
- 
- [123] Norman, D.A. & Shallice, T. (1986). Attention to action. Willed and automatic control of behavior. In R.J. Davidson, G.E. Schwartz & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation. Advances in research and theory*, Volume 4 (pp. 1-18). New York, NY: Plenum Press.
- 
- [124] Oehme, A., Kolrep, H., Person, F., & Byl, C. (2014). Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung. *Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen (bast)*. Heft 95. Berlin.
- 
- [125] Olson, P. L., Dewar, R. & Alexander, J. L. (2007). Perception and Information Processing. In R. Dewar & P. Olson (Hrsg.), *Human Factors in Traffic Safety* (2. Aufl., S. 11-32). Tuscon: Lawyers & Judges.
- 
- [126] Otte, D., Kühnel, A. et al. (1982). Erhebungen am Unfallort. Bundesanstalt für Strassenwesen (Hrsg.). *Unfall- und Verkehrssicherheitsforschung Strassenverkehr*. Heft 37. Köln.
- 
- [127] Oxley, J., Fildes, B., Ihsen, E., Day, R. & Charlton, J. (1995). An investigation of road crossing behaviour of older pedestrians (Report No. 81). Clayton: Monash University Accident Research Centre. Retrieved from Monash University website: [https://www.monash.edu/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/216434/muarc081.pdf](https://www.monash.edu/__data/assets/pdf_file/0020/216434/muarc081.pdf)
- 
- [128] Panou, M., Bekiaris, E. & Papakostopoulos, V. (2007). Modelling driver behaviour in european union and international projects. In P.C. Cacciabue (Ed.), *Modelling driver behaviour in automotive environments. Critical issues in driver interactions with intelligent transport systems* (pp. 3-25). London: Springer.
- 
- [129] Petermann, I., Weller, G., & Schlag, B. (2008). Beitrag des visuellen Eindrucks zur Erklärung des Unfallgeschehens in Landstrassenkurven. In J. Schade & A. Engeln (Eds.), *Fortschritte der Verkehrspsychologie. Beiträge vom 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie* (pp. 123-142). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- 
- [130] Peters, E., & Slovic, P. (2000). The Springs of Action: Affective and Analytical Information Processing in Choice. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 26 (12), 1465–1475.
- 
- [131] Rasmussen, J. (1982). Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of occupational accidents*, 4(2-4), 311-333.
- 
- [132] Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction. An approach to cognitive engineering*. New York, NY: Elsevier.
- 
- [133] Rensink, R.A., O'Regan, J.K. & Clark, J.J. (1997). To see or not to see: the need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological Science*, 8(5), 368-373.
- 
- [134] Rinkenauer, G. (2008). Motorische Leistungsfähigkeit im Alter. In B. Schlag (Ed.), *Leistungsfähigkeit und Mobilität im Alter* (S. 143 – 180), Köln: TÜV Media.
- 
- [135] Reason, J. (1994). *Menschliches Versagen*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- 
- [136] Räsänen, M., & Summala, H. (1998). Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: an in-depth study. *Accident Analysis & Prevention*, 30(5), 657-666.
- 
- [137] Robertshaw, K.D. & Wilkie, R.M. (2008). Does gaze influence steering around a bend? *Journal of Vision*, 8(4), 1-13. doi: 10.1167/8.4.18
- 
- [138] Rockwell, T. (1972). Skills, judgment and information acquisition in driving. In T.W. Forbes (Ed.), *Human factors in highway traffic safety research* (pp. 133-164). New York: Wiley-Interscience.
- 
- [139] Runeson, S. (1974). Constant velocity – not perceived as such. *Psychological Research*, 37, 3-23.
- 
- [140] SAE (2016): *Surface Vehicle Recommended Practice, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*, J3016.
-



- [141] Salesky, B. (2017). A Decade after DARPA: Our View on the State of the Art in Self-Driving Cars. Abgerufen unter <https://medium.com/self-driven/a-decade-after-darpa-our-view-on-the-state-of-the-art-in-self-driving-cars-3e8698e6afe8>.
- [142] Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993). Human factors in engineering and design (Vol. 1). New York: McGraw-Hill.
- [143] Schade, J., & Engeln, A. (2008). Fortschritte der Verkehrspsychologie, Beiträge vom 45. In Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie.
- [144] Schandersson, R. (1994). Road pavement condition and traffic safety: Some Results and conclusions from the nordic project TOVE. trid.trb.org.
- [145] Schaub, H. (2008). Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und „Situation Awareness“ (SA). In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), Human Factors (S. 59-76). Heidelberg: Springer.
- [146] Schepers, P., Twisk, D., Fishman, E., Fyhri, A. & Jensen, A. (2017). The Dutch road to a high level of cycling safety. Safety Science, 92, 264-273.
- [147] Schlag, B. (2010). Regelbefolgung. In Risiko Raus. Fachliche Beiträge zu Themen der Kampagne (pp. 23-38). Bonn: Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V.
- [148] Schlag, B., Petermann, I., Weller, G. & Schulze, C. (2009). Mehr Licht - mehr Sicht - mehr Sicherheit? Zur Wirkung verbesserter Licht- und Sichtbedingungen auf das Fahrerverhalten. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- [149] Schlag, B., Voigt, J., Lippold, C. & Enzfelder, K. (2015). Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstrassen (Verkehrstechnik Heft V 249), Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen. Abgerufen unter: [https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1103/file/V249b\\_ELBA.pdf](https://bast.opus.hbz-nrw.de/opus45-bast/frontdoor/deliver/index/docId/1103/file/V249b_ELBA.pdf)
- [150] Schlag, B.; Anke, J.; Lippold, C; Wittig, J; Walther, A. (2019). Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstrassen. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen (Berichte der BAST, Heft V317)
- [151] Shiffrin, R.M. & Atkinson, R.C. (1969). Storage and retrieval processes in long-term memory. Psychological Review, 76(2), 179-193.
- [152] Siegrist, M., & Cvetkovich, G. (2000). Perception of Hazards: The Role of Social Trust and Knowledge. Risk Analysis, 20(5), 713-719.
- [153] Siegrist, M., Glutscher, H. & Earle, T.C. (2005). Perception of risk: The influence of general trust, and general confidence. Journal of Risk Research, 8, 145-156.
- [154] Slovic, P., Fischhoff, B., & Lichtenstein, S. (1985). Characterizing perceived risk. In R. Kates, C. Hohenemser & J. Kasperson (Eds.), Perilous progress: Managing the hazards of technology. (pp. 91-125) Boulder: Westview Press.
- [155] Slovic, P., Finucane, M., Peters, E. & MacGregor, D.G. (2004). Risk as Analysis and Risk as Feelings: Some Thoughts About Affect, Reason, Risk, and Rationality. Risk Analysis, 24, 1-12.
- [156] Slovic, P. (1987). Perception of Risk. Science, 236 (4799), 280-285.
- [157] Slovic, P., Fischhoff, B., & Lichtenstein, S. (1985). Characterizing Perceived Risk. In Kates, R., Hohenemser, C., & Kasperson, J. (Eds.), Perilous Progress: Managing the Hazards of Technology. Boulder, CO: Westview Press.
- [158] St. Galler Tagblatt. (2011). Sicherheit durch Wespen-Look. Abgerufen unter <https://www.tagblatt.ch/ostschweiz/arbon-kreuzlingen-weinfeld/sicherheit-durch-wespen-look-ld.869002>
- [159] Stanton, N.A., & Salmon, P. M. (2009). Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems. Safety Science, 47, 227–237.
- [160] Summala, H., Nieminen, T. & Punto, M. (1996). Maintaining lane position with peripheral vision during in-vehicle tasks. Human Factors, 38(3), 442-451.
- [161] Tice, D. M., Bratslavsky, E., & Baumeister, R. F. (2001). Emotional Distress Regulation Takes Precedence Over Impuls Control: If You Feel Bad, Do It! Journal of Personality and Social Psychology, 80(1), 53-67.
- [162] Trimpop, R.M., Rabe, S. & Kalveram, A.B. (2009). Beruflicher Verkehr und Verkehr als Beruf. In H.-P. Krüger (Hrsg.), Anwendungsfelder der Verkehrspsychologie (S. 161-195). Göttingen: Hogrefe.
- [163] Uhr, A., Allenbach, R., Ewert, U., Niemann, S., Hertach, P., Achermann Stürmer, M., Cavegn, M. (2017). Sicherheit von Kindern im Strassenverkehr. bfu-Sicherheitsdossier, Nr. 16. Bern: bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung.
- [164] Uhr, A., Ewert, U., Niemann, S., Achermann Stürmer, Y. & Cavegn, M. (2018). Sicherheit von Jugendlichen im Strassenverkehr, bfu-Sicherheitsdossier, Nr. 17, Bern: bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. doi: 10.13100/bfu.2.336.01

- 
- [165] Undeutsch, U. (1962). Ergebnisse psychologischer Untersuchungen am Unfallort. Brandt, L. (Hrsg.). Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- 
- [166] Van Houten, R. (2011). Pedestrians. In B.E. Porter (Ed.), *Handbook of traffic psychology* (pp. 353-365). Amsterdam: Academic Press.
- 
- [167] Van der Molen, H. & Bötticher, A. (1988). A hierarchical model for traffic participants. *Ergonomics*, 31(4), 537-555.
- 
- [168] Verroen, S., Gutterling, J.M., & de Vries, P.W. (2013). Enhancing self-protective behavior: Efficacy beliefs and peer feedback in risk communication. *Risk Analysis*, 33(7), 1252-1264.
- 
- [169] Vogelpohl, T., Vollrath, M., Kühn, M., Hummel, T., & Gehlert, T. (2016). Übergabe von hochautomatisiertem Fahren zu manueller Steuerung. Berlin: Unfallforschung der Versicherer.
- 
- [170] Vollrath, M., Briest, S., Schiessl, C., Drewes, K., & Becker, U. (2006). Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit. *BER BAST F*, (60).
- 
- [171] Vollrath, M. (2015). *Ingenieurpsychologie. Psychologische Grundlagen und Anwendungsgebiete*. Stuttgart: Kohlhammer.
- 
- [172] Vroom, V. H. (1964). *Work and motivation*. New York: Wiley.
- 
- [173] Wafa (2018). The role of fines and rewards in the self-regulation of young drivers. *European Transport Research Review*, 10(6). doi.org/10.1007/s12544-017-0282-4
- 
- [174] Wagner, H. J. (Hrsg.). (1984). *Verkehrsmedizin: Unter Einbeziehung aller Verkehrswissenschaften*. Berlin/Heidelberg: Springer.
- 
- [175] Wallis, G., Chatziastros, A. & Bühlhoff, H. (2002). An unexpected role for visual feedback in vehicle steering control. *Current Biology*, 12, 295-299.
- 
- [176] Walker, I. (2011). Bicyclists. In B. E. Porter (Ed.), *Handbook of Traffic Psychology*. London: Academic Press.
- 
- [177] Walker, G.H., Stanton, N. A., & Salmon, P. (2016). Trust in Vehicle Technology. *International Journal of Vehicle Design*, 70 (2), 157-182.
- 
- [178] Walter, E., Achermann Stürmer, Y., Scaramuzza, G., Niemann, S., & Cavegn, M. (2012). Fahrradverkehr, bfu-Sicherheitsdossier, Nr. 08. Bern: Beratungsstelle für Unfallverhütung. Abgerufen unter: [https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu\\_2.092.01\\_bfu-Sicherheitsdossier%20Nr.%2008%20%E2%80%93%20Fahrradverkehr.pdf](https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu_2.092.01_bfu-Sicherheitsdossier%20Nr.%2008%20%E2%80%93%20Fahrradverkehr.pdf)
- 
- [179] Walter, E., Achermann Stürmer, Y., Scaramuzza, G., Niemann, S., & Cavegn, M. (2013). Fussverkehr, bfu-Sicherheitsdossier, Nr. 11. Bern: Beratungsstelle für Unfallverhütung. Abgerufen unter: [https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu\\_2.109.01\\_bfu-Sicherheitsdossier%20Nr.%2011%20%E2%80%93%20Fussverkehr.pdf](https://www.bfu.ch/sites/assets/Shop/bfu_2.109.01_bfu-Sicherheitsdossier%20Nr.%2011%20%E2%80%93%20Fussverkehr.pdf)
- 
- [180] Walter, E., Achermann Stürmer, Y., Ewert, U., Scaramuzza, G., Niemann, S., & Cavegn, M. (2015). Personenwagen-Lenkende und -Mitfahrende. bfu-Sicherheitsdossier, Nr. 13. Bern: bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung.
- 
- [181] Weller, G. (2010). *The psychology of driving on rural roads. Development and testing of a model*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- 
- [182] Welford, A. T. (1967). Single-channel operation in the brain. In A. F. Sanders (Hrsg.), *Attention and performance I* (S. 5-22). Amsterdam: North-Holland.
- 
- [183] Weller, G., Schlag, B., Rössger, L., Butterwegge, P. & Gehlert, T. (2015). Fahrkompetenz älterer Pkw-Fahrer. Forschungsbericht Nr. 22. Berlin: Unfallforschung der Versicherer/Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. Abgerufen unter: <https://udv.de/de/publikationen/forschungsberichte/fahrkompetenz-aelterer-pkw-fahrer>
- 
- [184] Weber, E.U., Blais, A-R. & Betz, N. E. (2002). A Domain-specific Risk-attitude Scale: Measuring Risk Perceptions and Risk Behaviors. *Journal of Behavioral Decision Making*, 15, 263-290.
- 
- [185] Weinstein, N.D. (1980). Unrealistic optimism about future life events. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39, 806-820.
- 
- [186] Wickens, C. D., Goh, J., Helleberg, J., Horrey, W. & Talleur, D. A. (2003). Attentional models of multi-task pilot performance using advanced display technology. *Human Factors*, 45, 360-380.
- 
- [187] Wickens, C. D., Gordon, S. E., Liu, Y., & Lee, J. (1998). *An introduction to human factors engineering*.
- 
- [188] Wickens, C.D., Helleberg, J., Goh, J., Xu, X. & Horrey, W.J. (2001). Pilot task management: testing an attentional expected value model of visual scanning (ARL-01-14/NASA-01-7), Savoy, IL: Aviation Research Lab. Retrieved from: <http://apps.usd.edu/coglab/schieber/psyc792/workload/Wickens-et-al-2001.pdf>
-

- 
- [189] Wickens, C.D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159-177. doi: 10.1080/14639220210123806
- 
- [190] Wierda, M. & Brookhuis, K.A. (1991). Analysis of cycling skill: a cognitive approach. *Applied cognitive psychology*, 5, 113-122.
- 
- [191] Wilde, G.J.S. (1982). The theory of risk homeostasis: implication for safety and health. *Risk Analysis*, 2, 209-225.
- 
- [192] Wilde, G.J.S. (1988). Risk homeostasis theory and traffic accidents: propositions, deductions and discussion of dissension in recent reactions. *Ergonomics*, 31(4), 441-468.
- 
- [193] Willi, C., Deublein, M., & Hafsteinsson, H. (2018). *Automatisiertes Fahren. Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit*. Bern: FVS Fonds für Verkehrssicherheit.
- 
- [194] Wikman, A.-S., Nieminen, T. & Summala, H. (1998). Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different width. *Ergonomics*, 41(3), 358-372. doi: 10.1080/001401398187080
- 
- [195] Vollrath, M.;Krems, J. (2011) *Verkehrspsychologie – Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker*. Kohlhammer.
- 
- [196] Renard, A., Gloor, U., Weber, R., Vionnet, G., Schaffner, D., Bürgin, S., Johnson, L., Muser, M., Schmitt, K.U., Kneubühler, T. (2022) **Forschungspaket SERFOR, TP2: Handlungsbedarf Innerortsstrassen** (Forschungsprojekt VSS 2018/514 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS). Bern: Bundesamt für Strassen
- 
- [197] Willi, C., Hafsteinsson, H., Zahnd, B., Deublein, M., Scaramuzza, G., Fischer, K. (2022) **Forschungspaket SERFOR, TP3: Handlungsbedarf Ausserortsstrassen** (Forschungsprojekt VSS 2018/515 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS). Bern: Bundesamt für Strassen
- 
- [198] Hackenfort, M. (2013). Unaufmerksamkeit & Ablenkung: Literaturreview. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. <http://pd.zhaw.ch/hop/2077062620.pdf>
- 
- [199] Schlag, B., & Heger, R. (2004). Ansätze einer psychologisch fundierten Strassengestaltung. In B. Schlag (Ed.), *Verkehrspsychologie. Mobilität -- Sicherheit -- Fahrassistenz* (pp. 11-28). Papst Science Publishers
- 
- [200] Schlag, B., & Weller, G. (2015). Verhaltenswissenschaftliche Aspekte von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, & C. Singer (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort* (3., überarbeitete und ergänzte ed.). Springer Vieweg
- 
- [201] Schlag, B. (2010). Regelbefolgung. In Risiko Raus. *Fachliche Beiträge zu Themen der Kampagne* (pp. 23-38). Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V.
- 
- [202] Vollrath, M., & Krems, J. (2011). *Verkehrspsychologie – Ein Lehrbuch für Psychologen, Ingenieure und Informatiker*. Kohlhammer
-



# Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 26.06.2023

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2016/006

Projekttitel: Forschungspaket SERFOR, Teilprojekt 1: Forschung Humanfaktoren und Synthese SERFOR

Enddatum: 30.06.2023

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Das Forschungspaket SERFOR behandelt das Thema der selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strasse. Ziel war die Bereitstellung konkreter und praxistauglicher Massnahmenansätze. Ausgehend von den inhaltlichen Grundlagen der Humanfaktoren aus Sicht der Psychologie wurden in zwei Teilprojekten für Innerorts und Ausserortsstrassen die Humanfaktoren aus Sicht der Projektierung sowie deren Verbreitung im Bestandsnetz untersucht. Abschluss bilden Empfehlungen zum notwendigen Anpassungsbedarf für die derzeitige Praxis der Strassenprojektierung.

Auf Basis der Beschreibung verschiedener psychologischer Modelle u. a. zur Wahrnehmung oder Informationsverarbeitung, der Beschreibung von Fehlverhaltensweisen der Verkehrsteilnehmenden und im Abgleich mit weiteren Aspekten wie subjektiver Sicherheit, Safety-in-Numbers oder Shared-Space-Ansätzen wurden Projektierungsprinzipien beschrieben.

- Vereinfachung unterstützen beziehungsweise Komplexität reduzieren
- Vereinheitlichung und Standardisierung flächendeckend umsetzen
- Konfliktgegner erkennen
- Akzeptanz erhöhen
- Aufmerksamkeit fördern
- Passive Sicherheit durch fehlerverzeihende Strassenräume erhöhen
- Orientierung geben
- Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen
- Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen
- Konsistente Verkehrsregimes an Knoten gewährleisten
- Adaptivität verkehrstechnischer Einrichtungen erhöhen
- Spezifisch für Zufussgehende: Signalisation ausrichten / Synergien nutzen
- Spezifisch für Velofahrende: Feedback / Salienz erhöhen / Ideallinien kennzeichnen / frühzeitig Erwartungen hervorrufen
- Spezifisch für Motorfahrzeuglenkende: Prägnanz / Aktivierung

Das Teilprojekt zu den Ausserortsstrassen leitet rund 20 Massnahmannsätze ab, welche vor allem der Optimierung des bestehenden Strassenraums entsprechend der Projektierungsprinzipien dienen. Hierzu gehören vor allem Signalisationselemente. Für die Innerortsstrassen wurden vor allem generelle Gestaltungs- und Signalisationsempfehlungen bereitgestellt sowie angepasste Markierung für Leitlinien und den Rechtsvortritt in VR-Experimenten untersucht.

Zentral Handlungsempfehlungen der Synthese betreffen die Grundlagen und das Normenwerk, die Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente, die Sensibilisierung der Akteure für SERFOR und den Forschungsbedarf.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

#### Zielerreichung:

Die Ziele des Teilprojektes 1 wurde weitestgehend in Abhängigkeit der Ergebnisse der anderen beiden Teilprojekte erreicht. Verkehrspsychologische Grundlagen zu den Humanfaktoren wurden umfassend dokumentiert und die Organisation sowie Zusammenfassung der Forschungspakets wurde vollständig erreicht. Wahrnehmungs- und Verhaltensmodelle wurde beschrieben und Anforderungen an die Strasseninfrastruktur abgeleitet. Der Handlungsbedarf für die Schweiz wurde in Bezug auf die Normen und die Infrastruktursicherheitsinstrumente beschrieben. Dabei zeigte sich, dass bereits eine Vielzahl SERFOR-Aspekten in Normen berücksichtigt sind, aber deren Umsetzung in die Praxis nicht immer im gewünschten Masse erfolgt.

#### Folgerungen und Empfehlungen:

Aus dem Projekt werden folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet:

1. Einmalige und vollständige Überprüfung Normenwerk um aktuell Verbesserungspotenziale, vor allem auch hinsichtlich des Fuss- und Veloverkehrs, aufzuholen. Als fortlaufende Massnahmen wird die Einrichtung eines übergeordneten und interdisziplinären Begleitgremiums empfohlen. Der Umgang mit Ermessensspielräume der Normen sollte thematisiert werden. Unabhängig vom Normenwerk sollten aktuell Erkenntnisse aus der Praxis gesammelt und in der breite kommuniziert werden. Neue Ansätze können in Pilotversuchen getestet werden.
2. Hinsichtlich der ISSI besteht eher weniger Anpassungsbedarf. Vor allem die Checklisten von RSA und RSI sollten mit den Projektierungsprinzipien abgeglichen, die proaktiven ISSI gestärkt und die Wirksamkeitsanalysen durch MEVASI intensiviert werden.
3. Für die Sensibilisierung der Akteure sind die Ergebnisse in der Aus- und Weiterbildung zu berücksichtigen. Wichtiger aber sind leicht verständliche und einfach verfügbare Kommunikationsinstrumente zu den Kernaspekten der Forschung. Parallel dazu können verpflichtende Ansätze wie Mindeststandards sowie die Verknüpfung von Fördermitteln mit Sicherheitsanforderungen helfen.

#### Publikationen:

Schlussbericht TP1 (Humanfaktoren und Synthese)  
Schlussbericht TP2 (Handlungsbedarf Innerortsstrassen)  
Schlussbericht TP3 (Handlungsbedarf Ausserortsstrassen und Zusatzdokument Excel)

#### Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Schüller

Vorname: Hagen

Amt, Firma, Institut: PTV Transport consult GmbH

#### Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

[Redacted signature area]

*ppa. H. Hagen*

Digital unterschrieben  
von Hagen.Schueller  
Datum: 2023.07.04  
08:48:07 +02'00'



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
Bundesamt für Strassen ASTRA

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

#### Beurteilung der Begleitkommission:

##### Beurteilung:

Das SERFOR Teilprojekt 1 (TP 1) war zweiteilig, indem in sieben Jahren (2016 - 2023) im ersten Teil die Grundlagen des menschlichen Verkehrsverhaltens und im zweiten bzw. letzten Teil die Synthese derer Anwendung erstellt worden sind. Diese weite Klammer um die beiden anwendungsbezogenen und ebenfalls umfangreichen Teilprojekte SERFOR innerorts (TP 2) und SERFOR ausserorts (TP 3) war für die Projektleitung und -durchführung eine grosse Herausforderung, sowohl inhaltlich als auch administrativ. Nach einstimmiger Meinung der Begleitgruppe und deren Präsident zeigt der Schlussbericht, dass sich dieser Aufwand gelohnt hat. Erstmals in der Schweiz liegen ausgezeichnete Grundlagen und Empfehlungen vor, die menschlichen Faktoren der Verkehrssicherheit systematisch in die Projektierungs- und Umsetzungsprozesse einzubeziehen, um dem angestrebten Ziel von selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strassen näher zu kommen. Die vorliegenden Erkenntnisse sollten unbedingt in die Weiterentwicklung von Normen als auch in die Aus- und Weiterbildung im schweizerischen Verkehrswesen einfließen.

##### Umsetzung:

Zur Beantwortung der forschungsleitenden Fragen führte das Projektteam eine umfassende Literaturanalyse aus und ergänzte diese um vielfältige und interdisziplinär aufgesetzte Workshops und Befragungen. Die darauf aufbauende Ableitung der Projektierungsprinzipien hilft der Praxis die verkehrspsychologischen Ausarbeitungen auch tatsächlich praxisnah umsetzen zu können. In der Synthese werden anschaulich und übersichtlich die Erkenntnisse zusammengeführt und geben wertvolle Hinweise für die verschiedenen Akteure der Planung und des Infrastruktormanagements.

##### weitergehender Forschungsbedarf:

- idealtypische Layouts für standardisierte Verkehrsanlagen im Sinne von SERFOR
- Übertragung der Projektierungsprinzipien auf die Verkehrsanlagen des Velo- und Fussverkehrs und Ableitung von Beispiellösungen
- Abgleich aktueller Anforderungen an das hochautomatisierte Fahren mit den Projektierungsprinzipien
- Überprüfung des Potenzials bei der Realisierung von Entwurfslayouts in virtuellen Umgebungen (bspw. im BIM-Kontext)
- Identifizierung und Entwicklung von Ansätzen, um das Bestandsnetz effizient auf SERFOR-Konformität zu prüfen.

##### Einfluss auf Normenwerk:

Die Forschungsergebnisse legen die Grundlage für eine umfassende Überprüfung und, bei Bedarf, Anpassung des Normenwerks. Referenz für diese Überprüfung sind die Projektierungsprinzipien sowie aktuelle Erkenntnisse zum Fuss- und Veloverkehr.

#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Brucks

Vorname: Wernher

Amt, Firma, Institut: Dienstabteilung Verkehr, Stadt Zürich

#### Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Brucks  
Wernher M.  
TNIÖCK

Digital unterschrieben  
von Brucks Wernher  
M. TNIÖCK  
Datum: 2023.07.04  
07:57:32 +02'00'

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 3 / 3