



Forschungspaket SERFOR, TP2: Handlungsbedarf Innerorts- strassen

**Paquet de recherche SERFOR, TP2: Enjeux sur les routes
en localité**

**Research package SERFOR, TP2: Need for action on urban
roads**

Transitec Beratende Ingenieure AG
Aline Renard
Urs Gloor
Roman Weber
Grégoire Vionnet

Fachhochschule Nordwestschweiz
Dr. Dorothea Schaffner
Steven Bürgin
Lucy Johnson

AGU Zürich
Dr. Markus Muser
Dr. Kai-Uwe Schmitt

exträ Landschaftsarchitekten AG
Tina Kneubühler

**Forschungsprojekt VSS 2018/514 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

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, TP2: Handlungsbedarf Inner- ortsstrassen

**Paquet de recherche SERFOR, TP2: Enjeux sur les routes
en localité**

**Research package SERFOR, TP2: Need for action on urban
roads**

Transitec Beratende Ingenieure AG
Aline Renard
Urs Gloor
Roman Weber
Grégoire Vionnet

Fachhochschule Nordwestschweiz
Dr. Dorothea Schaffner
Steven Bürgin
Lucy Johnson

AGU Zürich
Dr. Markus Muser
Dr. Kai-Uwe Schmitt

exträ Landschaftsarchitekten AG
Tina Kneubühler

**Forschungsprojekt VSS 2018/514 auf Antrag des Schweizerischen
Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Dezember 2022

1738

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Urs Gloor

Mitglieder

Aline Renard

Roman Weber

Grégoire Vionnet

Dr. Dorothea Schaffner

Steven Bürgin

Lucy Johnson

Dr. Markus Muser

Dr. Kai-Uwe Schmitt

Tina Kneubühler

Begleitkommission

Präsident

Wernher Brucks

Mitglieder

Lukas Bähler

Daniel Baumann

Mario Cavegn

Bernard Gogniat

Marion Doerfel

Sarah Droz

Eric Duc

Benedikt Eberle

Patrick Eberling

Stephan Felber

Raphaël Golay

Oliver Jacobi

Christian Kamenik

Stevan Skeledzic

Sabine Würmli

Paketleitung

Hagen Schüller (PTV Group)

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	13
	Summary	19
1	Einleitung	25
1.1	Ausgangslage	25
1.2	Ziel.....	26
1.3	Struktur des Forschungspakets	26
1.4	Vorgehen und Berichtsstruktur.....	26
2	Grundlagen	29
2.1	Literaturanalyse.....	29
2.1.1	Psychologische Prozesse und Verhalten im Strassenverkehr	29
2.1.2	TP1 – Forschung Humanfaktoren	30
2.1.3	VeSPA.....	32
2.1.4	Weitere Literatur.....	34
2.2	Unfallgeschehen innerorts	34
2.2.1	SINUS-Report 2019	34
2.2.2	SERFOR-relevante Unfallthemen.....	36
3	Situation und Besonderheiten innerorts	39
3.1	Lokales Umfeld	39
3.2	Verkehrsteilnehmende	41
3.3	Technologie.....	44
4	Designregeln	45
5	Spiegelung der heutigen Praxis mit den SERFOR-Designregeln	49
5.1	Stellenwert der VSS-Normen in der heutigen Praxis	49
5.2	Auffälligkeiten	51
5.2.1	Strecken	51
5.2.2	Knoten	52
5.2.3	Querungen	54
5.3	Neue Gestaltungselemente.....	55
5.3.1	Bedarf an neuen Gestaltungselementen	55
5.3.2	Lösungsansätze	55
5.4	Fazit.....	58
6	Wirkungsmessung von ausgewählten Gestaltungselementen mittels VR-Experimenten	59
6.1	Auswahl Gestaltungselemente.....	59
6.1.1	Leitlinie bei Tempo 30	59
6.1.2	Rechtsvortritt	59
6.2	Grundlagen und Forschungsfragen	61
6.3	Methodik.....	63
6.3.1	Forschungsdesign.....	63
6.3.2	Stichprobe	66
6.3.3	Fragebogen	66
6.4	Ergebnisse	67
6.4.1	Ergebnisse Strecke	67
6.4.2	Ergebnisse Knoten	72

6.5	Fazit	80
6.5.1	Strecken	80
6.5.2	Knoten.....	81
6.5.3	Diskussion der Methodik der VR-Experimente	82
6.5.4	Weiterführende Forschung	82
7	Empfehlungen für die Planungspraxis	85
7.1	Exemplarische SERFOR-Ansätze innerorts	85
7.1.1	Strecken	88
7.1.2	Knoten.....	91
7.1.3	Querungen (Fussgängerquerungen)	94
7.1.4	Fallbeispiele	96
7.2	Weiterer Handlungsbedarf	98
	Anhänge.....	101
	Glossar.....	149
	Literaturverzeichnis.....	150
	Projektabschluss	157

Zusammenfassung

Kontext und Ziel des Projekts

Die international bereits bekannten und teilweise auch schon umgesetzten Konzepte der selbsterklärenden (SER – „self-explaining roads“) und fehlerverzeihenden Strassen (FOR – „forgiving roads“) sollen zu einer Verbesserung der Verkehrssicherheit führen.

Das Konzept der **selbsterklärenden Strassen («self-explaining roads»)** soll Fahrfehler vermeiden. Es basiert auf den grundlegenden Ausführungen von Theeuwes und Godthelp in den 1990er Jahren und zeichnet sich dadurch aus, dass alle Verkehrsteilnehmenden anhand des Erscheinungsbilds (Strasse und Strassenraum) eindeutig erkennen können, welches Verhalten angemessen ist. Damit wird verstanden, dass die Verkehrsteilnehmenden die Funktion, Nutzungskonflikte und Höchstgeschwindigkeit jeder Verkehrsanlage intuitiv erkennen, inner- und ausserorts, Tag und Nacht, an Knoten und freien Strecken.

Das Konzept der **fehlerverzeihenden Strassen („forgiving roads“)** soll die Folgen von Fahrfehlern minimieren. Fehlerverzeihende Strassen zeichnen sich dadurch aus, dass sie den Prozess eines Unfallablaufs an der erstmöglichen Stufe der Schadensentstehung unterbrechen, wodurch schwere Folgen vermieden werden können.

Das Forschungspaket SERFOR untersucht die Situation in der Schweiz und identifiziert den Handlungsbedarf. Das Forschungspaket besteht aus einem Teilprojekt zu den Humanfaktoren (TP1) und zwei darauffolgenden Teilprojekten zum Handlungsbedarf innerorts (TP2, die vorliegende Arbeit) und ausserorts (TP3).

Ziel des vorliegenden Teilprojekts (TP2 – «Handlungsbedarf Innerortsstrassen») ist eine Aktualisierung und weitere Optimierung der Grundlagen für Planung, Projektierung, Bau und Betrieb von Strassenräumen innerorts hinsichtlich ihrer Konformität mit der SERFOR-Philosophie. Es geht vor allem darum, für Innerortsstrassen die bestehenden Ansätze zu selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strassen (z.B. in den Normen) hervorzuheben, durch neue Ansätze zu ergänzen und deren Umsetzung bei der Planung von Neubau- und Umgestaltungsprojekten zu unterstützen.

Grundlagen

Im TP1 «Forschung Humanfaktoren» wurde der Handlungsbedarf zu den Humanfaktoren für die Projektierung von Strassen in der Schweiz abgeleitet. Auf Basis von Wahrnehmungs- und Verhaltensmodellen für Verkehrsteilnehmende wurden die Anforderungen an die Strasseninfrastruktur (unter Berücksichtigung schweizerischer Besonderheiten und aktueller Trends) sowie die Entwicklung eines pragmatischen Umsetzungskonzepts für die Praxis aufgearbeitet.

Obwohl die Thematik SERFOR sehr wichtig ist, wurde in der internationalen Literaturanalyse keine mit dem TP2 vergleichbare Studie für Innerortsstrassen gefunden. Dennoch befinden sich in der ausgewerteten Literatur verschiedenste Gestaltungselemente, welche einen Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden haben. Sie stellen eine wichtige Sammlung von möglichen SERFOR-Ansätzen dar.

Aus dem Unfallgeschehen innerorts¹ ergibt sich, dass von den durch SERFOR beeinflussbaren Hauptursachen Vortrittsmissachtung am dominantesten (32 %), vor Unaufmerksam-

¹ eigene Auswertung aller registrierten Unfälle mit Personenschaden innerorts schweizweit 2014 – 2018

keit und Ablenkung (13 %) und Geschwindigkeit² (6 %) ist. Die restliche Hälfte der Unfälle haben Alkohol, Fehler in der Fahrzeugbedienung oder nicht namentlich genannte Gründe als Ursache und können durch selbsterklärende Strassen kaum beeinflusst werden. Durch fehlerverzeihende Strassen können allenfalls die Folgen aller Fehlverhalten reduziert werden.

Besonderheiten innerorts

Selbsterklärende Strassen erfordern eine gewisse Vereinheitlichung der Strassenraumgestaltung. Dazu unterscheiden sich die Gegebenheiten und Voraussetzungen innerorts von Situationen ausserorts. Innerorts wird i.d.R. langsamer gefahren als ausserorts. Die innerörtlichen Strassen befinden sich in mehr oder weniger dicht bebauten Orten, was eine gewisse Komplexität mit sich bringt. Insbesondere können Städte und Dörfer nur begrenzt umgebaut werden. Innerorts besteht ein Spannungsfeld zwischen den SERFOR-Grundsätzen und den lokalen Gegebenheiten. Man muss einen Weg finden, um einerseits self-explaining zu gestalten und andererseits die anderen Zielsetzungen (städtebauliche Integration, Identitätsbezug, Sachzwänge) mitzuberücksichtigen.

Innerorts ist die Anzahl und vor allem die Vielfalt an Verkehrsteilnehmende sehr hoch. Daher müssen insbesondere folgenden Aspekte in den SERFOR-Ansätzen berücksichtigt werden:

- Ein falsches Sicherheitsempfinden, das heisst wenn die subjektive nicht der objektiven Sicherheit entspricht, kann zu Fehleinschätzungen führen, die inadäquates Verkehrsverhalten oder Fahrfehler begünstigen.
- Es stellt sich die Frage, wie lange die Wirkung von Verkehrsmassnahmen anhält. Es schwierig, die Langzeitwirkung zu erforschen.
- Nicht alle Verkehrsteilnehmenden besitzen die gleichen Kompetenzen. Dies hängt hauptsächlich mit dem Alter und der Erfahrung zusammen.
- Nicht alle Verkehrsteilnehmenden besitzen den gleichen Kenntnisstand (z.B. nicht alle besitzen den Führerschein).
- Der Mensch besitzt eine begrenzte Aufnahmefähigkeit, was insbesondere in komplexen Innerorts-Situationen relevant ist, wo es auch viele andere Verkehrsteilnehmende, Signale, Reklame usw. hat.

Designregeln

Mit den Designregeln für SERFOR geht es darum, das Vortrittsverhalten, das Geschwindigkeitsverhalten und das Abstandsverhalten günstig zu beeinflussen und im Falle eines Fehlers die Auswirkungen des Fehlverhaltens zu minimieren.

Die Humanfaktoren bei der Projektierung von Strassen wurden im TP1 ausführlich untersucht und der abgeleitete Handlungsbedarf in 19 Projektierungsprinzipien zusammengefasst. Aufgrund der Besonderheiten im Innerortsbereich wurden die Projektierungsprinzipien des TP1 nach ihrer Relevanz und Wichtigkeit innerorts priorisiert und Designregeln abgeleitet, welche das grösste Potential haben, die relevanten Probleme zu lösen.

Die identifizierten 6 SERFOR-Designregeln innerorts und deren Schwerpunkte sind in *Tab. 1* aufgelistet.

² Geschwindigkeit kann bei Unfällen mit einer anderen Hauptursache trotzdem eine Rolle spielen (z.B.: die Anhaltebereitschaft des motorisierten Verkehrs an einem Fussgängerstreifen sinkt mit höherer Geschwindigkeit, was zur Vortrittsmissachtung führen kann).

Tab. 1 SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkte innerorts

Designregeln	Schwerpunkte
Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen	<ul style="list-style-type: none"> • Eindeutigkeit des erwarteten Geschwindigkeits- und Vortrittsverhalten sicherstellen
Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken	<ul style="list-style-type: none"> • Reizdichte im Normalfall senken / «Aufmerksamkeitsreserve schaffen» • Gefahren / Konflikte verdeutlichen • Andere Verkehrsteilnehmende erkennbar machen
Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgesehene Nutzung der Verkehrs- und Seitenflächen eindeutig erkennbar zu machen
Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsströme nach Geschwindigkeit trennen • Geschwindigkeit im Mischverkehr senken
Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen	<ul style="list-style-type: none"> • Intuitive Nachvollziehbarkeit für die Regelung erhöhen • Alle Verkehrsteilnehmenden ansprechen • Abstimmung zwischen Verkehrsregelung und Gestaltung des Strassenraums
Fehlerverzeihende Strassen	<ul style="list-style-type: none"> • Geschützte Bereiche und Ausweichmöglichkeit im Querschnitt schaffen • Kritische Hindernisse vermeiden • Reaktions- und Bremswege verkürzen

Spiegelung der heutigen Praxis mit den SERFOR-Designregeln

Das Thema Verkehrssicherheit ist in den Normen und Leitfäden breit und gut abgehandelt. Insbesondere sind viele SERFOR-Elemente im heutigen Stand der Normen enthalten und ein gewisser Spielraum zur Verdeutlichung der Verkehrsregime und der geltenden Vortrittsverhältnisse besteht, wie z.B.:

- Lokale, dem Quartiercharakter entsprechende, «spielerische» Markierungen zur Verdeutlichung der Begegnungszonen;
- Roteinfärbung der Veloführung in Konfliktbereichen;
- Inseln oder Mehrzweckstreifen in der Mitte der Strasse zum Schutz des Fussverkehrs;
- usw.

Es besteht jedoch Verbesserungsbedarf:

- **Weiterentwicklung der Gestaltungselemente:** Um gewisse SERFOR-Grundsätze konkret umzusetzen reichen die bestehenden normierte Gestaltungselemente nicht aus. Es ist aktuell nicht möglich, das Verkehrsregime bzw. die Höchstgeschwindigkeit bei mehrstreifigen Strassen z.B. durch die Leitlinie eindeutig zu machen. Ferner besteht Handlungsbedarf bezüglich Verdeutlichung von Rechtsvortrittknoten. Zur Evaluation der Wirkung von neuen innovativen Gestaltungselementen wurde in den Virtual-Reality-Experimenten vertieft.
- **Übersichtliches und systematisches Vorgehen:** Die heutige Praxis enthält Elemente der SERFOR-Philosophie, geht sie aber nicht systematisch an. Die SERFOR-Grundsätze (Designregeln und deren Schwerpunkte) müssen in allen Strasseninfrastrukturprojekten systematisch berücksichtigt werden.

Evaluation von zwei Gestaltungselementen mittels VR-Experimenten

Um die Wirkung von Gestaltungselementen empirisch zu untersuchen, wurden Virtual-Reality-Experimente (VR-Experimente) durchgeführt. Sie lieferten fundierte Erkenntnisse zum Einfluss dieser Gestaltungselemente auf die Wahrnehmung und die Verhaltensintention der Verkehrsteilnehmenden, und damit auf die Verkehrssicherheit. Im Rahmen der Experimente wurde ein VR-Fahrsimulator eingesetzt. Der Einsatz von Fahrsimulatoren ist etabliert und bietet eine hohe Validität und Zuverlässigkeit als Messinstrument zur Untersuchung von Fahrverhalten. VR-Fahrsimulatoren ermöglichen die experimentelle

Manipulation relevanter Einflussfaktoren sowie Kontrolle von Umweltfaktoren und damit eine systematische Untersuchung der damit einhergehenden Auswirkungen auf das Fahrverhalten.

Gemäss dem identifizierten Verbesserungsbedarf an neuen innovativen Gestaltungselementen wurden zwei Untersuchungsthemen ausgewählt:

- **Gestaltung einer neuen Leitlinie bei Tempo-30:** In der heutigen Praxis werden bei Tempo 30 in der Regel keine Leitlinien markiert. Bei Bedarf (wenn z.B. mehrere Fahrstreifen gezeigt werden müssen) werden die gleichen Leitlinien wie bei Tempo 50 eingesetzt, was dem Aspekt der selbsterklärenden Strasse nicht dient. Deshalb soll eine Variation in der Ausgestaltung der Leitlinie geprüft werden, so dass Verkehrsteilnehmende bei Vorhandensein einer Leitlinie das Verkehrsregime intuitiv erkennen.

Als Grundelement für eine neue Tempo-30-Leitlinie wurden kurze und breite Striche gewählt, um einen möglichst gut wahrnehmbaren Unterschied zur Standard-Leitlinie mit langen und dünnen Strichen zu erwirken. Drei Kombinationen dieser Striche wurden für die Vertiefung als Experimentalkonditionen selektioniert: mit kurzem Abstand, mit langem Abstand, mit langem Abstand und versetzt. Die bereits existierende Leitlinie und eine Strassensituation ohne Leitlinie wurden im VR-Experiment als Kontrollkonditionen berücksichtigt.

- **Gestaltung bei Rechtsvortritt:** In der Praxis werden verschiedene Gestaltungen von Rechtsvortritt angewandt. Es soll untersucht werden, was für eine Wirkung sie auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden haben.

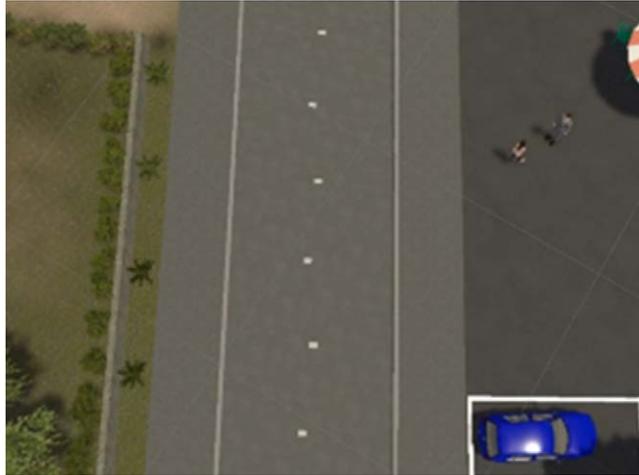
Zusätzlich zu den bereits aktuell verwendeten Tulpen und Belagsrosetten (bzw. runder vertikaler Versatz in der Knotenmitte) wurde noch eine neue «verdeutlichte Tulpe», eine mit einer farbigen Fläche gefüllte Tulpe, für die Vertiefung als Experimentalkonditionen selektioniert. Eine Kreuzung ohne Markierung wurde im VR-Experiment als Kontrollkondition berücksichtigt.

Die fünf Streckensituationen (Gestaltung einer neuen Leitlinie bei Tempo-30) und vier Knotensituationen (Gestaltung bei Rechtsvortritt) wurden für drei Perspektive (Auto, Velo und zu Fuss) digital programmiert (inklusive z.B. Animation von Gegenverkehr und Passanten) und konnten für ein möglichst immersives Erlebnis in einer VR-Brille dargestellt werden. Die Stichprobe für das VR-Experiment umfasste insgesamt 71 Personen (34 für die Perspektive Auto, 20 für die Perspektive Velo und 17 für die Perspektive zu Fuss), mit ausgeglichener Verteilung bezüglich Alter, Geschlecht und Wohnortsdichte (z.B. Stadt oder Land).

Die Schlussfolgerungen aus den VR-Experimenten zu den zwei Untersuchungsthemen sind die Folgenden:

Gestaltung einer neuen Leitlinie bei Tempo-30:

- Lineare Markierungen zur Trennung der Fahrrichtungen haben in der Regel einen beschleunigenden Effekt. Sie geben insbesondere den Autofahrenden Sicherheit, da sie ihnen eine klare Fahrbahn zuweisen. Aus diesem Grund ist beim Einsatz von solchen Markierungen bei Tempo 30 Vorsicht geboten.
- Mit versetzten Markierungen zur Trennung der Fahrrichtungen, welche die Linearität teilweise aufheben, kann der Effekt der Beschleunigung verhindert werden. Insbesondere in Strassen, in denen eine Markierung von Fahrspuren notwendig ist, ist der Einsatz solcher Markierungen ein Ansatz. Offen bleibt die Frage, ob die versetzte Markierung nur wirkt, weil sie ungewohnt ist. In diesem Falle wäre die Massnahme nicht direkt selbsterklärend.



Gestaltung bei Rechtsvortritt:

- Tulpenmarkierungen am Knoten zeigen keinen messbaren Effekt auf die Verhaltensintention, langsamer und vorsichtiger zu fahren. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese Massnahmen nicht selbsterklärend sind.
- Obwohl die bauliche Massnahme der Belagsrosette in Bezug auf die Verhaltensintentionen eine erwünschte Wirkung zeigt, ist sie nicht selbsterklärend. Aufgrund der damit verbundenen geringeren Wahrnehmung des Knotens sowie der tieferen Erkennbarkeit des Rechtsvortritts ist beim Einsatz der Belagsrosette Vorsicht geboten. Die Belagsrosette wird vermutlich von einzelnen Verkehrsteilnehmenden mit einem Kreiseln verwechselt.

Da das VR-Experiment als eine Laborstudie durchgeführt wurde, bleibt unklar, inwiefern sich die Ergebnisse auf die Realität übertragen lassen. Des Weiteren ist unklar, ob gewisse Wirkungen der Gestaltungselemente nur bestehen, weil das Gestaltungselement neuartig ist und die Testpersonen es noch nie gesehen haben. Aufgrund der unklaren Übertragbarkeit und möglicherweise nur kurzfristig auftretender Wirkungen der Gestaltungselemente sollten in einem nächsten Schritt die erfolgsversprechendsten Gestaltungselemente auf einer oder mehreren Pilotstrecken über längere Zeit im Feld eingesetzt und evaluiert werden.

Exemplarische SERFOR-Ansätze innerorts

Bewährte Handlungsempfehlungen für die Planungspraxis werden für Strecken, Knoten und Querungen jeweils für jede der SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkte innerorts formuliert. Zur Illustration einzelner SERFOR-Ansätze werden diese in ein paar Fallbeispiele kurz analysiert.

Die SERFOR-Ansätze berücksichtigen die SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkte innerorts und die Auffälligkeiten in der heutigen Praxis aus Sicht SERFOR; sie basieren auf der Literaturanalyse, der heutigen Praxis³ und den Erkenntnissen der VR-Experimenten.

Jedes Projekt ist unterschiedlich und hat andere Rahmenbedingungen. Die Abwägung und Priorisierung von z.T. unvereinbaren Ansätzen (nicht nur auf SERFOR bezogen), sind insbesondere innerorts Teil des Planungsprozesses und benötigen einen gewissen Spielraum für die Planenden.

Deshalb werden die SERFOR-Ansätze **beispielhaft** aufgelistet (vgl. Kapitel 7.1), ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Es geht vor allem darum, die konzeptionellen SERFOR-

³ Es werden absichtlich nicht nur neue Ansätze ausgeführt, sondern auch Ansätze der heutigen Praxis, um ein Gesamtbild zu geben.

Designregeln und -Schwerpunkte innerorts etwas konkreter, nachvollziehbarer und greifbarer für die Praxis zu machen, so dass sie in den Projekten situationsabhängig einfließen können.

Weiterer Handlungsbedarf

Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie geben wichtige Anhaltspunkte für selbsterklärende und verzeihende Strassen. Es muss sichergestellt werden, dass die SERFOR-Designregeln in die Projekte systematisch einfließen, bzw. dass ihnen die angemessene Aufmerksamkeit geschenkt wird. Es bestehen jedoch noch offene Fragen, ein endgültiges und allgemein anerkanntes Zielbild (auch bzgl. Automatisierung) gibt es nicht.

Alle involvierten Akteure in der Gestaltung der Strasseninfrastruktur müssen zur SERFOR-Thematik und deren Designregeln und Ansätzen sensibilisiert und geschult werden. Innerorts sind besonders viele verschiedene Akteure involviert und die Herausforderung ist gross, die SERFOR-Thematik allen relevanten Personen in einem angemessenen Detaillierungsgrad beizubringen.

Bei der Überarbeitung einzelner Normen gilt es zu prüfen, wie konkrete SERFOR-Ansätze aufgrund der vorliegenden Forschung einfließen können.

Résumé

Contexte et objectif du projet

Les concepts de routes intuitives (SER - "self-explaining roads") et pardonnant les erreurs (FOR - "forgiving roads"), déjà connus et partiellement mis en œuvre au niveau international, doivent conduire à des routes plus sûres.

Le concept de **routes intuitives ("self-explaining roads")** vise à éviter les erreurs de conduite. Il se base sur les travaux fondateurs de Theeuwes et Godthelp dans les années 1990 et se caractérise par le fait que tous les usagers de la route peuvent reconnaître clairement le comportement approprié à l'aide de l'aspect de la route (route et espace routier). On entend par là que les usagers de la route reconnaissent intuitivement la fonction, les conflits d'utilisation et la vitesse maximale de chaque infrastructure routière, en et hors localité, de jour comme de nuit, aux carrefours et sur les tronçons libres.

Le concept de **routes pardonnant („forgiving roads“)** les erreurs vise à minimiser les conséquences des erreurs de conduite. Les «Forgiving Roads» se caractérisent par le fait qu'elles interrompent le déroulement de l'accident au premier niveau possible de l'apparition de dommages, ce qui permet d'éviter des conséquences graves.

Le programme de recherche SERFOR examine la situation en Suisse et identifie les mesures à prendre. Le paquet de recherche se compose d'un projet partiel sur les facteurs humains (TP1) et de deux projets partiels subséquents sur les mesures à prendre à l'intérieur des localités (TP2, le présent travail) et à l'extérieur des localités (TP3).

L'objectif du présent projet partiel (TP2 - "Enjeux sur les routes en localité") est d'actualiser et d'optimiser les bases de la planification, de la conception, de la construction et de l'exploitation des espaces routiers en localité en ce qui concerne leur conformité avec la philosophie SERFOR. Il s'agit avant tout, pour les routes en localité, de mettre en avant les approches existantes en matière de routes intuitives et pardonnant les erreurs (par ex. dans les normes), de les compléter par de nouvelles approches et de soutenir leur mise en œuvre lors de la planification de projets de construction et de réaménagement.

Principes fondamentaux

Le TP1 "La recherche sur les facteurs humains" a permis de déterminer les mesures à prendre en matière de facteurs humains pour la conception des routes en Suisse. Sur la base de modèles de perception et de comportement des usagers de la route, les exigences posées à l'infrastructure routière (en tenant compte des particularités suisses et des tendances actuelles) ainsi que le développement d'un concept de mise en œuvre pragmatique pour la pratique ont été élaborés.

Bien que la thématique SERFOR soit très importante, aucune étude comparable au TP2 n'a été trouvée dans l'analyse de la littérature internationale pour les routes en localité. Néanmoins, la littérature analysée contient des éléments d'aménagement variés qui ont une influence sur le comportement des usagers de la route. Ils constituent une collection importante d'approches SERFOR possibles.

Il ressort de la statistique des accidents en localité (analyse de tous les accidents enregistrés avec dommages corporels en localité dans toute la Suisse 2014 – 2018) que, parmi les causes principales influençables par SERFOR, le non-respect de la priorité est le plus dominant (32 %), devant l'inattention et la distraction (13 %) et la vitesse ⁴ (6 %). La moitié

⁴ La vitesse peut néanmoins jouer un rôle dans les accidents ayant une autre cause principale (par exemple : la propension du trafic motorisé à s'arrêter sur un passage pour piétons diminue avec une vitesse plus élevée, ce qui peut conduire à un non-respect de la priorité).

restante des accidents a pour cause l'alcool, des erreurs de manipulation du véhicule ou des raisons non mentionnées et ne peut guère être influencée par des routes intuitives. Les routes pardonnant les erreurs peuvent tout au plus réduire les conséquences de tous les comportements fautifs.

Spécificités en localité

Les routes intuitives nécessitent une certaine uniformisation de l'aménagement de l'espace routier. A cet égard, les circonstances et les conditions diffèrent entre les situations à l'intérieur et à l'extérieur des localités. En règle générale, on roule plus lentement à l'intérieur des localités qu'à l'extérieur. Les routes à l'intérieur des localités se trouvent dans des endroits plus ou moins densément construits, ce qui implique une certaine complexité. En particulier, les villes et les villages ne peuvent être réaménagés que de manière limitée. Dans les localités, il existe une opposition entre les principes SERFOR et les conditions locales. Il faut trouver un moyen de concevoir de façon « selfexplaining » tout en prenant en compte les autres objectifs (intégration urbaine, lien identitaire, contraintes).

Dans les localités, le nombre et surtout la diversité des autres usagers de la route sont très élevés. C'est pourquoi les aspects suivants doivent notamment être pris en compte dans les approches SERFOR :

- Une perception erronée de la sécurité, c'est-à-dire lorsque la sécurité subjective ne correspond pas à la sécurité objective, peut conduire à des erreurs d'appréciation qui favorisent un comportement routier inadéquat ou des erreurs de conduite.
- La question se pose de savoir combien de temps dure l'effet des mesures de trafic. Il est difficile de faire des recherches sur les effets à long terme.
- Tous les usagers de la route n'ont pas les mêmes compétences. Cela est principalement lié à l'âge et à l'expérience.
- Tous les usagers de la route n'ont pas le même niveau de connaissances (par exemple, ils ne possèdent pas tous le permis de conduire).
- L'être humain a une capacité d'assimilation limitée, ce qui est particulièrement important dans les situations complexes en milieu urbain, où il y a également beaucoup d'autres usagers de la route, de signaux, de publicités, etc.

Règles de conception

Avec les règles de conception de SERFOR, il s'agit d'influencer favorablement le comportement en matière de priorité, de vitesse et de distance et, en cas d'erreur, de minimiser les conséquences du comportement erroné.

Les facteurs humains lors de la conception des routes ont été étudiés en détail dans le cadre du TP1 et les besoins d'action qui en découlent ont été résumés en 19 principes de conception. En raison des spécificités en localité, les principes de conception du TP1 ont été classés par ordre de priorité en fonction de leur pertinence et de leur importance dans les localités, et les règles de conception qui ont le plus grand potentiel pour résoudre les problèmes pertinents ont été déduites.

Les 6 règles de conception SERFOR en localité et leurs éléments centraux sont listés dans le *Tab. 2*.

Tab. 2 Règles de conception SERFOR en localité et leurs éléments centraux

Règles de conception	Éléments centraux
Augmenter la pertinence et la clarté de tous les éléments du projet	<ul style="list-style-type: none"> • Garantir la clarté du comportement attendu en matière de vitesse et de priorité
Attirer l'attention et le regard sur les points de conflit et les usagers de la route en conflit	<ul style="list-style-type: none"> • Réduire la densité des stimuli en temps normal / «générer une réserve d'attention» • Mettre en évidence les dangers / conflits • Rendre les autres usagers de la route perceptibles
Clarifier l'affectation du profil en travers de la route	<ul style="list-style-type: none"> • Identifier clairement l'utilisation prévue des surfaces de circulation et des surfaces latérales.
Réduire les différences de vitesse	<ul style="list-style-type: none"> • Séparer les flux de trafic en fonction de la vitesse • Réduire la vitesse dans le trafic mixte
Augmenter l'acceptation de la réglementation du trafic	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter la compréhensibilité intuitive de la réglementation • Cibler tous les usagers de la route • Coordination entre la réglementation du trafic et l'aménagement de l'espace routier
Routes pardonnant les erreurs	<ul style="list-style-type: none"> • Créer des zones protégées et des possibilités d'évitement dans le profil en travers de la route • Éviter les obstacles critiques • Réduire les distances de réaction et de freinage

Reflet des règles de conception SERFOR dans la pratique actuelle

Le thème de la sécurité routière est largement et bien traité dans les normes et guides. En particulier, de nombreux éléments de SERFOR sont contenus dans l'état actuel des normes et une certaine marge de manœuvre existe pour clarifier les régimes de circulation et les conditions de priorité en vigueur, comme par exemple :

- Marquage local "ludique" correspondant au caractère du quartier pour clarifier les zones de rencontre;
- Coloration rouge du tracé des vélos dans les zones de conflit;
- îlots ou bandes polyvalentes au milieu de la route pour protéger les piétons;
- etc.

Toutefois, des améliorations sont possibles :

- **Développement des éléments d'aménagement:** Les éléments d'aménagement normalisés existants ne suffisent pas pour mettre en œuvre concrètement certains principes SERFOR. Il n'est actuellement pas possible d'indiquer clairement le régime de circulation ou la vitesse maximale sur les routes à plusieurs voies, par exemple par le biais de la ligne de direction. En outre, il est nécessaire de clarifier les nœuds avec priorité de droite. L'évaluation de l'effet de nouveaux éléments d'aménagement innovants a été approfondie dans les expériences de réalité virtuelle.
- **Une approche claire et systématique:** La pratique actuelle contient des éléments de la philosophie SERFOR, mais ne les aborde pas de manière systématique. Les principes de SERFOR (règles de conception et leurs éléments centraux) doivent être systématiquement pris en compte dans tous les projets d'infrastructure routière.

Évaluation de deux éléments d'aménagement au moyen d'expériences RV

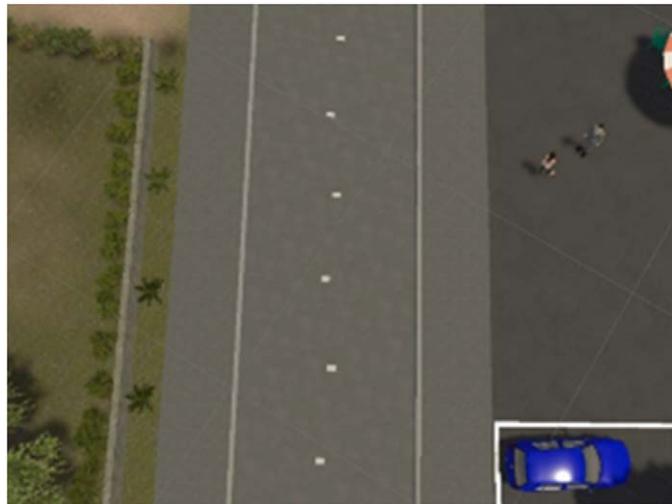
Des expériences de réalité virtuelle (RV) ont été menées pour étudier empiriquement l'effet des éléments d'aménagement. Elles ont fourni des connaissances approfondies sur l'influence de ces éléments d'aménagement sur la perception et l'intention de comportement des usagers de la route, et donc sur la sécurité routière. Un simulateur de conduite en RV a été utilisé dans le cadre des expériences. L'utilisation de simulateurs de conduite

est bien établie et offre une validité et une fiabilité élevées en tant qu'instrument de mesure pour l'étude du comportement au volant. Les simulateurs de conduite en RV permettent de manipuler expérimentalement les facteurs d'influence pertinents et de contrôler les facteurs environnementaux, et donc d'étudier de manière systématique les effets qui en découlent sur le comportement de conduite.

Deux thèmes d'étude ont été choisis selon les besoins d'amélioration identifiés pour les nouveaux éléments d'aménagement innovants:

- **Conception d'une nouvelle ligne de direction en cas de limitation à 30 km/h:** Dans la pratique actuelle, les lignes de direction ne sont généralement pas marquées lorsque la vitesse est limitée à 30 km/h. En cas de besoin (par exemple lorsque plusieurs voies de circulation doivent être indiquées), les mêmes lignes de direction que pour une vitesse maximale de 50 km/h sont utilisées, ce qui ne correspond pas au concept de route intuitive. C'est pourquoi il convient d'examiner une variation dans la conception de la ligne de direction, de sorte que les usagers de la route reconnaissent intuitivement le régime de circulation en présence d'une ligne de direction.

Des traits courts et larges ont été choisis comme élément de base pour une nouvelle ligne de direction en cas de limitation de vitesse à 30 km/h, afin de créer une différence aussi perceptible que possible par rapport à la ligne de direction standard avec des traits longs et fins. Trois combinaisons de ces traits ont été sélectionnées comme conditions expérimentales pour l'approfondissement : avec un court espacement, avec un long espacement, avec un long espacement et un décalage. La ligne de direction déjà existante et une situation routière sans ligne de direction ont été prises en compte comme conditions de contrôle dans l'expérience RV.



- **Aménagement en cas de priorité à droite:** Dans la pratique, différentes conceptions de la priorité de droite sont appliquées. Il s'agit d'étudier leur effet sur le comportement des usagers de la route. En plus des tulipes et des rosaces de revêtement (ou décalage vertical rond au milieu du nœud) déjà utilisées actuellement, une nouvelle « tulipe explicitée », une tulipe remplie d'une surface colorée, a été sélectionnée pour l'approfondissement comme condition expérimentale. Une intersection sans marquage a été prise en compte comme condition de contrôle dans l'expérience RV.

Les cinq situations de parcours (aménagement d'une nouvelle ligne de direction en cas de limitation de vitesse à 30 km/h) et les quatre situations de carrefour (aménagement en cas de priorité à droite) ont été programmées numériquement (y compris, par exemple, l'animation du trafic en sens inverse et des passants) pour trois perspectives (voiture, vélo et à pied) et ont pu être représentées dans des lunettes de RV pour une expérience aussi immersive que possible. L'échantillon pour l'expérience RV comprenait 71 personnes au

total (34 pour la perspective voiture, 20 pour la perspective vélo et 17 pour la perspective piéton), avec une répartition équilibrée en termes d'âge, de sexe et de densité du lieu de résidence (p. ex. ville ou campagne).

Les conclusions des expériences de RV sur les deux thématiques étudiées sont les suivantes:

Conception d'une nouvelle ligne de direction en cas de limitation à 30 km/h:

- Les marquages linéaires destinés à séparer les sens de circulation ont généralement un effet accélérateur. Ils donnent notamment de la sécurité aux automobilistes, car ils leur indiquent une voie de circulation claire. C'est la raison pour laquelle la prudence est de mise lors de l'utilisation de tels marquages à une vitesse limitée à 30 km/h.
- L'effet de l'accélération peut être évité en utilisant des marquages décalés pour séparer les sens de circulation, ce qui annule partiellement la linéarité. L'utilisation de tels marquages est une approche particulièrement intéressante dans les rues où il est nécessaire de marquer des voies de circulation. La question reste ouverte de savoir si le marquage décalé est efficace uniquement parce qu'il est inhabituel. Dans ce cas, la mesure ne serait pas en soi intuitive.

Aménagement en cas de priorité à droite:

- Les marquages de tulipes sur les nœuds n'ont pas d'effet mesurable sur l'intention comportementale de ralentir et d'être plus prudent. Ces résultats indiquent que ces mesures ne sont pas intuitives.
- Bien que la mesure de construction de la rosette de revêtement ait un effet souhaité en ce qui concerne les intentions de comportement, elle n'est pas intuitive. En raison de la moindre perception du nœud et de la faible reconnaissabilité de la priorité de droite qui en découle, la prudence est de mise lors de l'utilisation de la rosace de revêtement. Il est probable que certains usagers de la route confondent la rosette de revêtement avec un giratoire.

Comme l'expérience de RV a été réalisée en tant qu'étude de laboratoire, il n'est pas clair dans quelle mesure les résultats peuvent être transposés à la réalité. De plus, il n'est pas clair si certains effets des éléments d'aménagement existent uniquement parce que l'élément d'aménagement est nouveau et que les personnes testées ne l'ont encore jamais vu. En raison de la transposabilité incertaine et des effets éventuellement à court terme des éléments d'aménagement, les éléments d'aménagement les plus prometteurs devraient, dans une prochaine étape, être utilisés et évalués sur le terrain pendant une période prolongée sur un ou plusieurs tronçons pilotes.

Exemples d'approches SERFOR en localité

Des recommandations d'action éprouvées pour la pratique de la planification sont formulées pour les tronçons, les nœuds et les traversées, respectivement pour chacune des règles de conception SERFOR en localité et de leurs éléments centraux. Pour illustrer les différentes approches SERFOR, celles-ci sont brièvement analysées dans quelques exemples de cas.

Les approches SERFOR tiennent compte des règles de conception SERFOR en localité et de leurs éléments centraux, ainsi que des points critiques de la pratique actuelle du point de vue de SERFOR ; elles se fondent sur l'analyse de la littérature, la pratique actuelle et les enseignements tirés des expériences de RV.

Chaque projet est différent et présente des conditions cadres différentes. L'évaluation et la hiérarchisation d'approches parfois incompatibles (pas seulement en ce qui concerne SERFOR) font partie du processus de planification, en particulier en localité, et nécessitent une certaine marge de manœuvre de la part des planificateurs.

C'est pourquoi les approches SERFOR sont énumérées **à titre d'exemple** (cf. chapitre 7.1), sans prétendre à l'exhaustivité. Il s'agit avant tout de rendre les règles de conception

SERFOR et leurs éléments centraux plus concrets, plus compréhensibles et plus tangibles pour la pratique, afin qu'ils puissent être intégrés dans les projets en fonction de la situation.

Autres mesures nécessaires

Les enseignements tirés de la présente étude fournissent des points de repère importants pour des routes intuitives et pardonnant les erreurs. Il faut s'assurer que les règles de conception SERFOR sont systématiquement intégrées dans les projets et qu'une attention appropriée leur est accordée. Il subsiste toutefois des questions ouvertes et il n'existe pas de vision exhaustive et généralement acceptée (notamment en ce qui concerne l'automatisation).

Tous les acteurs impliqués dans la conception de l'infrastructure routière doivent être sensibilisés et formés à la thématique SERFOR et à ses règles de conception et approches. En localité, le nombre d'acteurs impliqués est particulièrement élevé et le défi est de taille. Il s'agit de sensibiliser toutes les personnes concernées à la thématique SERFOR à un niveau de détail approprié.

Lors de la révision des différentes normes, il convient d'examiner comment des approches SERFOR concrètes peuvent être intégrées sur la base de la présente recherche.

Summary

Context and goal of the project

The internationally known and partly already implemented concepts for self-explaining roads ("SER") and forgiving roads ("FOR") should lead to an improvement of road safety.

The concept of **self-explaining roads** aims to avoid driving errors. It is based on the fundamental ideas developed by Theeuwes and Godthelp in the 1990s and is characterised by the fact that all road users can clearly recognise which behaviour is appropriate in the present context (considering the appearance of the road and its environment). This means that road users intuitively recognise the function, possible conflicts of use and speed limits of each traffic infrastructure, in and out of town, day and night, at junctions and on free sections.

The concept of **forgiving roads** aims to minimise the consequences of driving errors. "Forgiving roads" are distinguished by the fact that they interrupt the course of an accident sequence at the earliest possible stage of imminent damage, meaning that serious consequences can be avoided.

The SERFOR research package examines the situation in Switzerland and identifies the need for action. The research package consists of a sub-project on human factors (TP1) and two subsequent sub-projects on the need for action on urban roads (TP2, the present work) and on extra-urban roads (TP3).

The goal of the present sub-project (TP2 - "Need for action on urban roads") is to update and further optimise the basic principles for planning, design, construction, and operation of urban road spaces regarding their conformity with the SERFOR philosophy. The primary objective is to highlight existing approaches to self-explaining and forgiving urban roads (e.g. in the standards), to supplement them with new approaches and support their implementation in the planning of construction and remodelling projects.

Fundamentals

The need for action in relation to the human factors in road planning in Switzerland was derived in the subproject TP1 "Research on Human Factors". The general requirements for the infrastructure as well as a pragmatic implementation concept were elaborated. The research was based on perception and behaviour models for road users and is considering Swiss characteristics and current trends.

Although the SERFOR topic is very important, no comparable studies to the subproject TP2 for urban roads were found in the international literature review. Nevertheless, the literature evaluated contain a wide variety of design elements that have an influence on the behaviour of road users. These elements represent an important collection of possible SERFOR approaches.

The accident statistics for urban areas (evaluation of all registered accidents with personal injury in built-up areas throughout Switzerland 2014 – 2018) show that of the main causes that can be influenced by SERFOR, disregard for the right of way is the most dominant (32 %), followed by inattention and distraction (13 %) and speed ⁵ (6 %). The remaining other half of the accidents are mainly caused by the influence of alcohol, incorrect operation of the vehicle or unstated reasons and can hardly be influenced by self-explaining roads. At best, the consequences of all these misbehaviours can be reduced by forgiving roads.

⁵ Speed can also play a role in accidents with other primary causes (e.g. the willingness of motorised traffic to stop at a pedestrian crossing decreases with higher speed, which can lead to failure to give way).

Particularities of urban areas

Self-explaining roads require a certain standardisation of road space design. In this regard, the conditions and requirements in urban areas differ from those in extra urban areas. In urban areas, traffic is generally slower. Urban roads are located in more or less densely built-up areas, which introduces a certain complexity. Towns and villages can only be rebuilt to a limited extent. In urban areas, the SERFOR principles may conflict with local realities. It is necessary to find a way to design according to the SERFOR principles and still take into account other objectives (urban integration, identity, constraints).

In urban areas, the number and especially the diversity of road users are very high. Therefore, the following aspects must be considered in the SERFOR approaches:

- A false sense of security, i.e. when the subjective assessment of safety does not correspond to the objective risk. This can lead to misjudgements which promote inadequate traffic behaviour or driving errors.
- The effect of traffic measures over time, the long-term impacts of traffic measures have not been established and are difficult to study.
- Not all road users have the same skills. This is mainly related to age and experience.
- Not all road users have the same level of knowledge (e.g. not everyone has a driving licence and thus a tested knowledge of traffic rules).
- Humans can only process a limited amount of information. This is particularly relevant in complex urban situations with high information density (e.g. many other road users, signals, advertisements, etc.).

Design rules

The SERFOR design rules are intended to favourably influence the right-of-way, the speed and the distance behaviour and, in the event of an error, to minimise the negative effects of the misbehaviour.

Human factors were investigated in detail in the TP1 subproject and translated into 19 design principles. These principles were prioritized for the particularities of urban areas according to their relevance and importance. Six design rules with the greatest potential to solve the relevant problems were derived in the TP2 subproject.

The six identified SERFOR design rules for urban roads and their main features are listed in *Tab. 3*.

Tab. 3 SERFOR design rules for urban roads and their main features

Design rules	Main features
Increase conciseness and clarity of all project planning elements	<ul style="list-style-type: none"> • Ensure clarity of expected speed and right of way behaviour
Draw attention and focus to conflict points and conflict opponents	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce stimulus density / "create an attention reserve" • Highlight dangers / conflicts • Make other road users noticeable
Highlight the allocation of areas in a cross-section	<ul style="list-style-type: none"> • Make the intended use of the road space and side areas clearly recognisable
Reduce speed differences	<ul style="list-style-type: none"> • Separate traffic flows according to speed • Reduce speed in shared spaces
Increase acceptance for traffic rules	<ul style="list-style-type: none"> • Increase intuitive comprehension • Target all road users • Coordination between traffic rules and road design
Forgiving roads	<ul style="list-style-type: none"> • Create protected areas and possibilities to evade in the cross-section • Avoid obstacles • Shorten reaction and stopping distances

Mirroring current practice with the SERFOR design rules

The topic of road safety is generally well covered in the standards and guidelines. Many SERFOR elements are already included in the current versions of the standards, and there is already a margin to clarify the traffic regimes and the applicable right of way, e.g. through:

- Coloured bands at the edge of the road to visually narrow the road;
- Local, "playful" markings in accordance with the character of the neighbourhood to highlight the shared spaces;
- Red colouring of the bicycle lanes in conflict areas;
- Islands or multipurpose lanes in the middle of the road to protect pedestrian traffic;
- etc.

However, there is room for improvement:

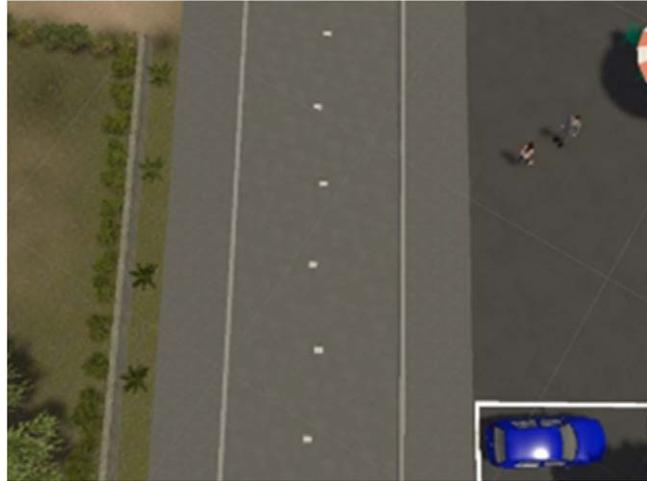
- **Development of the design elements:** The existing standardised design elements are not sufficient to implement certain SERFOR principles in practice. It is currently not possible to clarify the traffic regime or the maximum speed on multi-lane roads, e.g. by means of the centre line. Furthermore, there is a need for action regarding the clarification of junctions giving the right-of-way to vehicles approaching from the right.
- **A clear and systematic approach:** Current practice contains elements of the SERFOR philosophy but does not address them systematically. The SERFOR principles (design rules and their main features) must be systematically taken into account in all road infrastructure projects.

Evaluation of two design elements by means of VR experiments

Through virtual reality experiments (VR experiments with a driving simulator) the effect of design elements was empirically investigated. The experiments provided well-founded findings on the influence of the elements on the perception and driver behaviour of road users, and thus on road safety. The use of driving simulators is well established and offer high validity and reliability as a measuring instrument for the investigation of driving behaviour. VR driving simulators enable the experimental manipulation of relevant influencing factors as well as the control of environmental factors and thus a systematic investigation of the associated effects on driving behaviour.

According to the identified need for new innovative design elements, two topics of investigation were chosen:

- **Design of a new centre line for 30 km/h:** In today's practice, usually no centre line is marked at speed limit 30 km/h. If necessary (e.g. if several lanes have to be shown), the standard centre line is used. This does not serve the purpose of a self-explaining road where road users should intuitively recognise the traffic regime. Therefore, a variation in the design of the centre line was examined. Short and wide strokes were chosen as the basic element for a new centre line. These are intended to create a difference from the standard version (long and thin strokes) that is as noticeable as possible. Three combinations of these strokes were selected for the in-depth study: with short spacing, with long spacing, with long spacing and offset. The already existing centre line and a road situation without centre line were considered as control design in the VR experiment.



- **Design of junctions giving the right-of-way to the right:** In practice, different designs are used. The effect of these designs including new designs on driver behaviour was investigated in the VR experiments.
 In addition to the currently used tulips and pavement rosettes (or round vertical offset in the centre of the junction) and a new "clarified tulip", a tulip filled with a coloured area, were selected for the in-depth study. A unmarked junction was considered as a control design in the VR experiment.

The five different designs for a new centre line (road sections) and four junction designs (with a right-of-way to the right) were digitally programmed (including e.g. animation of on-coming traffic and pedestrians) for three different perspectives (car, bicycle and on foot) and could be displayed in VR glasses for the most immersive experience possible. The sample for the VR experiment comprised a total of 71 people (34 "car drivers", 20 "cyclists" and 17 "pedestrians"), with a balanced distribution in terms of age, gender and their type of residence (e.g. population density - city or rural).

The main conclusions from the VR experiments on the two topics of investigation are as follows:

Design of a new centre line for 30 km/h:

- Linear markings to separate driving directions usually have an accelerating effect. They provide safety to motorists by assigning them a clear lane. For this reason, caution should be exercised when using such markings at 30 km/h.
- The negative acceleration effect can be prevented with offset, which partially cancel out the linearity. Especially in streets where lane marking are necessary, the use of such markings is a possible option. However, it remains unclear whether the offset markings are only effective because they are unfamiliar. In this case, the measure is not directly self-explaining.

Design of junctions giving the right-of-way to the right:

- Tulip markings at the junction show no measurable effect on the behaviour to drive slower and more carefully. These results indicate that these measures are not self-explaining.
- Although the constructional measure of the pavement rosette has a desirable effect on driver behaviour, it is not self-explaining. Due to the associated lower perception of the junction and the lower recognisability of the right-of-way, caution is required when using the pavement rosette. Some road users are likely to confuse the pavement rosette with a roundabout.

Since this was a laboratory study, it remains unclear to what extent the results can be transferred to reality. Furthermore, it remains to be clarified whether certain effects of the design elements can only be observed because the design elements are new and unknown to the users. As it remains unclear whether the results are transferable into reality and

whether the effect has a long-lasting impact, in a next step the most promising design elements should be used and evaluated over a longer period of time on one or more pilot routes.

Exemplary SERFOR approaches on urban roads

Established recommendations for planning practice are formulated for routes, junctions, and crossings for each of the SERFOR design rules on urban roads and their main features. To illustrate individual SERFOR approaches, these are briefly analysed in a few case studies.

The SERFOR approaches consider the SERFOR design rules and their main features and shortcomings in today's practice from SERFOR's point of view; they are based on the literature review, today's practice, and the findings of the VR experiments.

Every project is different and has different framework conditions. Weighing up and prioritising partly incompatible approaches (not only related to SERFOR) are part of the planning process, especially in urban areas, and require a certain amount of leeway for the planners.

Therefore, the SERFOR approaches are listed **as examples** (cf. chapter 7.1), without claiming to be complete. The main objective is to make the conceptual SERFOR design rules and their main features more concrete, comprehensible, and tangible in practice, so that they can be incorporated into the projects appropriately depending on the situation.

Further need for action

The findings from the present study provide important clues for self-explanatory and forgiving streets. It must be ensured that the SERFOR design rules are systematically incorporated into the projects and that appropriate attention is paid to them. However, there are still open questions; there is no final and generally accepted vision (also regarding automation).

All involved actors in the design of road infrastructure need to be sensitised and trained on the SERFOR topic and its design rules and approaches. In urban areas, many different actors are involved, and it is a great challenge to teach the SERFOR topic to all relevant stakeholders in an appropriate level of detail.

When revising individual standards, it is important to examine how concrete SERFOR approaches can be incorporated based on the present research.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Self-explaining and forgiving roads

Die international bereits bekannten und teilweise auch schon umgesetzten Konzepte der selbsterklärenden (SER – „self-explaining roads“) und fehlerverzeihenden Strassen (FOR – „forgiving roads“) sollen zu einer Verbesserung der Verkehrssicherheit führen.

Die Gestaltung des Strassenraumes beeinflusst das Verhalten aller Verkehrsteilnehmenden (MIV, Velofahrende, E-Bikes, FäG, Zufussgehende), im fließenden und ruhenden Verkehr sowie beim Aufenthalt. Die Strasseninfrastruktur kann falsche Signale aussenden (wenn z.B. das Bild des Strassenraums ein widersprüchliches Verhalten bewirkt), die später zu einem Unfall führen können.

Das Konzept der selbsterklärenden Strassen soll Fahrfehler vermeiden. Es basiert auf den grundlegenden Ausführungen von Theeuwes und Godthelp in den 1990er Jahren (Theeuwes et al., 1993) und zeichnet sich dadurch aus, dass alle Verkehrsteilnehmenden anhand des Erscheinungsbilds (Strasse und Strassenraum) eindeutig erkennen können, welches Verhalten angemessen ist (Scaramuzza et al., 2016). Damit wird verstanden, dass die Verkehrsteilnehmenden die Funktion, die Nutzungskonflikte und die Höchstgeschwindigkeit jeder Verkehrsanlage intuitiv erkennen, inner- und ausserorts, tags und nachts, an Knoten und auf Strecken.

Das Konzept der fehlerverzeihenden Strassen soll die Folgen von Fahrfehlern minimieren. Fehlerverzeihende Strassen zeichnen sich dadurch aus, dass sie den Prozess eines Unfallablaufs an der erstmöglichen Stufe der Schadensentstehung unterbrechen, wodurch schwere Folgen vermieden werden können (Scaramuzza et al., 2016).

SERFOR in der Schweiz

Obwohl das SERFOR-Konzept in den Schweizer Normen und Gesetzwerken schon teilweise enthalten ist, ist es aus exemplarischen Zustandsanalysen, Expertengesprächen und theoretischen Überlegungen klar, dass die Praxis diese Philosophie noch nicht zufriedenstellend widerspiegelt (Scaramuzza et al., 2016).

In der Optimierung der Strassenraumgestaltung und einer dazu passenden Signalisierung liegen weiterhin Potenziale zur Verbesserung der Strassenverkehrssicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden: mit einer konsequenten Umsetzung der SERFOR-Konzepte, könnten mindestens 5% der schweren Verkehrsunfälle (inner- und ausserorts) vermieden werden (Scaramuzza et al., 2016).

Das Forschungspaket SERFOR soll die Situation in der Schweiz untersuchen und den Handlungsbedarf identifizieren. Das Forschungspaket besteht aus einem Teilprojekt zu den Humanfaktoren (TP1) und zwei darauffolgenden Teilprojekten zum Handlungsbedarf innerorts (TP2, die vorliegende Arbeit) und ausserorts (TP3).

Handlungsbedarf innerorts

Innerortsstrassen sind durch eine hohe Komplexität des Strassenraums mit einer Vielzahl von Verkehrsarten geprägt, wobei sich Nutzungsansprüche und Anforderungen dieser Verkehrsarten überlagern und in Konkurrenz zueinander stehen. Hinzu kommen weitere Anforderungen aus dem Städtebau resp. den Nutzungen im (öffentlichen) Strassenraum und aus einer grösseren Bandbreite an Altersgruppen (z.B. Kinder auf dem Schulweg bis hin zu Älteren auf dem Velo). Grosser Handlungsbedarf besteht in der Verknüpfung dieser Randbedingungen mit den SERFOR-Konzepten.

Aufgrund der innerorts geringeren gefahrenen Geschwindigkeiten hat hier vor allem der Aspekt der self-explaining roads eine grosse Bedeutung, währenddem der Aspekt der forgiving roads sich vor allem auf den Zweiradverkehr konzentriert. Trotz geringeren Geschwindigkeiten als ausserorts ereignen sich mehr als die Hälfte der Strassenverkehrsunfälle mit Schwerverletzten auf Innerortsstrassen (BFU, 2019).

Speziell im Innerortsbereich spielt nicht nur die Ausgestaltung der Strasse eine wichtige Rolle, um ein «richtiges» Verkehrsverhalten zu erzeugen, sondern auch die Menge und das Verhalten der anderen Verkehrsarten (Koexistenz). In der Zukunft werden innerorts immer mehr Verkehrsteilnehmende unterwegs sein, die die Verkehrsregeln kaum kennen (da ohne Fahrprüfung unterwegs) oder die immer mehr verschiedene Verkehrsmittel benutzen, aber bei jedem Verkehrsmittel immer weniger Erfahrung haben. Der Bedarf nach self-explaining und forgiving roads wird deshalb in Zukunft weiter zunehmen.

1.2 Ziel

Ziel des vorliegenden Teilprojekts (TP2) ist eine Aktualisierung und weitere Optimierung der Grundlagen für Planung, Projektierung, Bau und Betrieb von Strassenräumen innerorts hinsichtlich ihrer Konformität mit der SERFOR-Philosophie. Es geht vor allem darum, für Innerortsstrassen die bestehenden Ansätze zu selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strassen (z.B. in den Normen) hervorzuheben, durch neue Ansätze zu ergänzen und deren Umsetzung bei der Planung von Neubau- und Umgestaltungsprojekten zu unterstützen.

1.3 Struktur des Forschungspakets

Schnittstelle mit TP1

Verkehrsteilnehmende «erlernen» aufgrund von Erfahrung die Bedeutung der vorgefundenen Gestaltung von Strassen durch kognitions- und lernpsychologische Prozesse. Diese Bedeutungen werden in Schemata gespeichert und umfassen Informationen zu Funktion und Nutzung der Strasse aber auch Erwartungen zum Fahrverhalten und Geschwindigkeitsverhalten. Das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden hängt zu einem Grossteil von diesen Schemata und den damit verbundenen Erwartungen ab (Charlton et al., 2017).

Die Untersuchung dieser Humanfaktoren war der Fokus des TP1 (Forschung Humanfaktoren), dessen Erkenntnisse als Grundlage in das vorliegende TP2 (Handlungsbedarf Innerortsstrassen) einfließen.

Schnittstelle mit TP3

Das vorliegende TP2 (Handlungsbedarf Innerortsstrassen) beschränkt sich auf die SERFOR-Aspekte innerorts. Zu den ausserörtlichen Aspekten wird der Leser auf das komplementäre TP3 (Handlungsbedarf Ausserortsstrassen) verwiesen. Die beiden Teilprojekte wurden grundsätzlich unabhängig voneinander durch unterschiedliche Bearbeitungsteams und mit einem unterschiedlichen Vorgehensansatz behandelt. Die Kohärenz wurde jedoch durch einen regelmässigen Austausch sichergestellt.

1.4 Vorgehen und Berichtsstruktur

Zunächst wurden die Grundlagen zu SERFOR innerorts zusammengetragen (Kapitel 2):

- aktueller Stand der Forschung in der Schweiz und international
- Analyse des relevanten Unfallgeschehens.

Im Kapitel 3 wird auf die Besonderheiten eingegangen, die sich innerorts stellen:

- Was ist innerorts besonders?
 - lokales Erscheinungsbild
 - Grenzen der Standardisierung

- Vielfalt an Verkehrsteilnehmenden
- Aspekt Lärmschutz
- Relevante Aspekte der Verkehrspsychologie
- Automatisierung des Verkehrs

Die Erkenntnisse daraus wurden im Kapitel 4 in SERFOR-Designregeln zusammengestellt.

Im Kapitel 5 wurden die Designregeln mit der heutigen Praxis gespiegelt.

Die Wirkung von ausgewählten bestehenden und neuen Gestaltungselementen wurde mit Virtual-Reality-Experimenten (nachfolgend VR-Experimente) empirisch untersucht, um fundierte Erkenntnisse zum Einfluss dieser Gestaltungselemente auf die Wahrnehmung und die Verhaltensintention der Verkehrsteilnehmenden, und damit auf die Verkehrssicherheit, zu sammeln. Das Kapitel 6 beschreibt diese Forschungsergebnisse.

Zum Schluss werden im Kapitel 7 Empfehlungen zur Umsetzung der konzeptionellen SERFOR-Grundsätze in die Planungspraxis zusammengestellt:

- Sammlung von SERFOR-Ansätzen zur systematischen Konkretisierung der Designregeln und Schwerpunkte innerorts, die als Beispiele für die Verkehrsplanung dienen sollen;
- Weitere Aspekte, damit der SERFOR-Thematik die angemessene Aufmerksamkeit geschenkt wird (z.B. Anpassung der Normen).

2 Grundlagen

2.1 Literaturanalyse

Der Stand der Forschung und der Forschungsbedarf wurde bereits in der Voranalyse zum Forschungspaket SERFOR umfassend dargestellt (Scaramuzza et al., 2016). Hier wird daher der Fokus auf neuere Erkenntnisse und Erkenntnisse bezüglich Innerorts-Situationen gelegt. Ein Überblick von Ansätzen aus der Literatur ist im Anhang I zu finden.

2.1.1 Psychologische Prozesse und Verhalten im Strassenverkehr

Auf Basis einfacher psychologischer Verhaltensmodelle kann der Wirkungszusammenhang zwischen der Strassengestaltung und dem Verhalten der Verkehrsteilnehmenden auf Basis von psychologischen Prozessen erklärt werden (siehe *Abb. 1*).

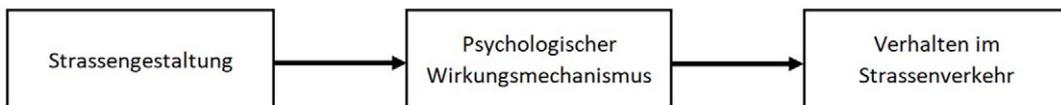


Abb. 1 Einfaches Modell der Wirkungszusammenhänge (eigene Darstellung)

In der Literatur werden verschiedene psychologische Modelle zur Erklärung der Wirkung der Strassengestaltung auf das Verhalten aufgeführt (vgl. z.B. Elliott et al., 2003). Dabei wird zumeist auf das Konzept der selbsterklärenden Strassen zurückgegriffen (Theeuwes & Godthelp, 1995). Dabei wird postuliert, dass die Gestaltung des Strassenraums Einfluss nimmt auf psychologische Prozesse der Aufmerksamkeit, Informationsverarbeitung und Motivation. Diese Prozesse wiederum beeinflussen das Verhalten im Strassenverkehr.

Die Gestaltung der Strasseninfrastruktur kann in Bezug auf Gestaltungselemente differenziert werden. Dabei kann zwischen Gestaltungselementen der Strasse, des Trottoirraums und des Gebäuderaums unterschieden werden.

Die psychologischen Prozesse lassen sich grob drei Kategorien zuordnen:

- Erstens lassen sich Faktoren der Aufmerksamkeit auf einer sensorischen Ebene unterscheiden. Das heisst, es geht um die Frage, ob die notwendigen Informationen zum korrekten und adäquaten Verhalten sensorisch wahrgenommen werden. Dies korrespondiert mit der Aufgabe der Verkehrsteilnehmenden, Informationen aufzunehmen (Bubb et al., 2015).
- Zweitens können Faktoren der Informationsverarbeitung auf einer kognitiven Ebene unterschieden werden. Hierbei geht es um die Frage der adäquaten Verarbeitung der Information (Kognition). Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass sowohl zu viele Informationen, Umweltreize, Variationen in der Umwelt wie auch zu wenig Reize wie Monotonie zu einer suboptimalen Informationsverarbeitung führen.
- Drittens können Risiko-/Nutzenabwägungen (Elliott et al., 2003) aufgeführt werden. Hierzu zählen Aspekte der Wahrnehmung von Gefahren und Risiken, welche die Motivation «zu handeln» (z.B. Geschwindigkeit zu reduzieren) beeinflussen (Bubb et al., 2015).

Das unten dargestellte Rahmenmodell (vgl. *Abb.2*) veranschaulicht die Zusammenhänge der zentralen Themen der Gestaltungselemente, der psychologischen Prozesse sowie des Verhaltens im Strassenverkehr. Das abgebildete Verhalten im Strassenverkehr ist für die SERFOR-Prinzipien innerorts besonders relevant und wichtig.

Zum Einfluss psychologischer Prozesse gibt es ebenfalls noch wenig empirische Forschung, welche über die Aufstellung von Hypothesen hinausgeht.

In der betrachteten Literatur befinden sich verschiedenste Gestaltungselemente, welche einen Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden haben. Aktuell findet sich in der Literatur keine einheitliche Klassifizierung dieser Gestaltungselemente.

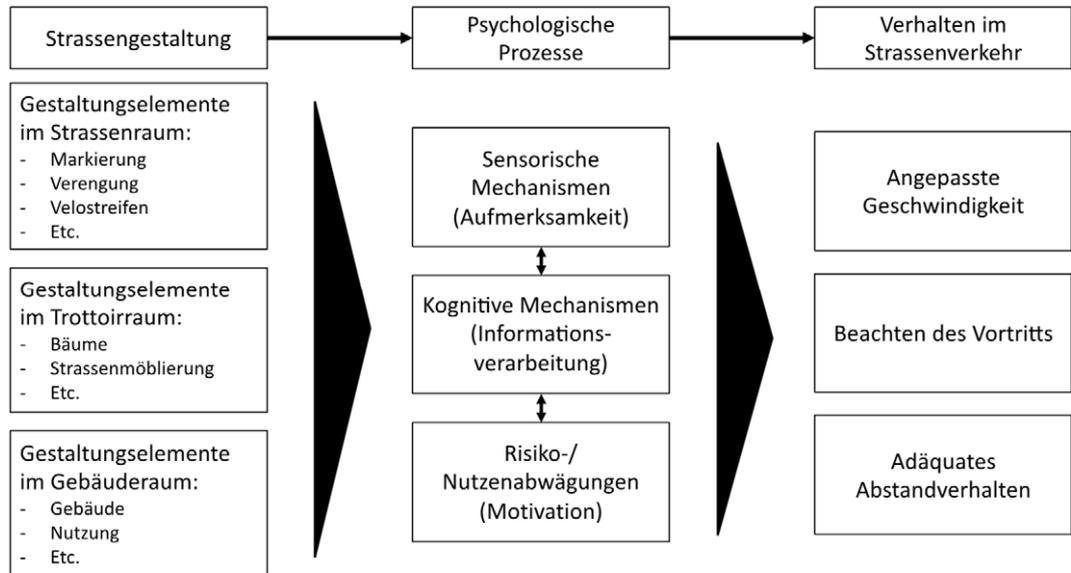


Abb.2 Rahmenmodell zum Einfluss der Strassengestaltung auf das Verhalten im Strassenverkehr (eigene Darstellung)

2.1.2 TP1 – Forschung Humanfaktoren

Projektierungsprinzipien

Im TP1 wurde der Handlungsbedarf zu den Humanfaktoren für die Projektierung von Strassen in der Schweiz abgeleitet. Da psychologische Aspekte vor allem beim Thema „self-explaining roads“ im Vordergrund stehen, fokussiert sich die Studie auf die selbsterklärenden Strassen und geht die Thematik der fehlerverzeihenden Strassen nur am Rande an.

Auf Basis von Wahrnehmungs- und Verhaltensmodellen für Verkehrsteilnehmende wurden die Anforderungen an die Strasseninfrastruktur (unter Berücksichtigung schweizerischer Besonderheiten und aktueller Trends) sowie die Entwicklung eines pragmatischen Umsetzungskonzepts für die Praxis aufgearbeitet.

Es wurden 19 Projektierungsprinzipien beschrieben, die als Stossrichtungen für neue Designregeln für die Strassenraumgestaltung dienen können. Sie sind in *Tab. 4* aufgelistet und stammen aus dem Wissen über menschliches (Fehl-)Verhalten im Strassenverkehr und dem Zusammenhang zwischen der menschlichen Leistungsfähigkeit und der Planung, dem Erscheinungsbild und dem Betrieb von Strassen. Sie stellen eine wichtige Grundlage für die Ableitung der Designregeln dar (vgl. Kap. 4).

Tab. 4 Projektierungsprinzipien aus Teilprojekt 1

Zielgruppe	Projektierungsprinzipien
Gruppenübergreifend	<ul style="list-style-type: none"> • Vereinfachung unterstützen bzw. Komplexität reduzieren • Vereinheitlichung/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 in Knoten gewährleisten • Adaptivität verkehrstechnischer Einrichtungen erhöhen

Motorfahrzeuglenkende	<ul style="list-style-type: none"> • Prägnanz (exakt, eindeutig, verarbeitbar) • Aktivierung (z.B. über eine gezielte aktive Blicklenkung auf sicherheitsrelevante Aspekte)
Velofahrende	<ul style="list-style-type: none"> • Feedback (z.B. Rüttelstreifen zur Vorwarnung, Signalisation von gefährlichen Situationen) • Salienz erhöhen (Hervorhebung/Bevorzugung von Signalen, die objektive Gefahren kennzeichnen) • Ideallinien kennzeichnen (z.B. im Kreisel) • Frühzeitig Erwartungen hervorrufen (z.B. mit Fahrradpiktogrammen)
Zufussgehende	<ul style="list-style-type: none"> • Signalisation ausrichten (bodennah und in Richtung des Weges) • Synergien nutzen mit Massnahmen zugunsten mobilitäts-eingeschränkter Personen

SEEV-Modell

Das im TP1 beschriebene SEEV-Modell⁶ beschreibt den Prozess der Aufmerksamkeitszuwendung und vertieft den im Rahmenmodell (vgl. *Abb.3*) genannten psychologischen Prozesse der Aufmerksamkeit. Im SEEV-Modell wird zwischen wissensgesteuerten Faktoren (top-down) und von der Umwelt gesteuerten oder ausgelösten Faktoren (bottom-up) unterschieden. Diese verschiedenen Faktoren beeinflussen die Informationsverarbeitung eines Verkehrsteilnehmenden.

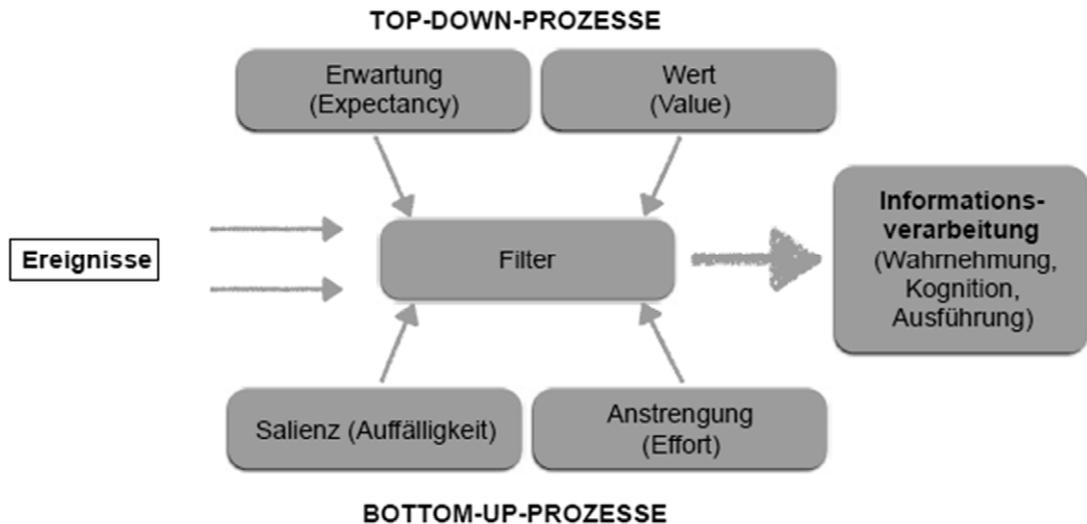


Abb.3 Aus TP1: Schematische & modifizierte Darstellung des SEEV-Modells nach Wickens et al. (2003; zit. und modifiziert n. Vollrath & Krems, 2011)

⁶ Die Abkürzung SEEV steht für Saliency (Auffälligkeit), Effort (Anstrengung), Expectancy (Erwartung) und Value (Wert).

2.1.3 VeSPA

2017 wurde das Forschungspaket „Verkehrssicherheitsgewinne durch Datapooling und strukturierte Datenanalysen“ (VeSPA) abgeschlossen (Schüller, 2016). Es liefert u.a. eine Übersicht über die sicherheitsrelevanten Auffälligkeiten der Strasseninfrastruktur (siehe Tab. 5) und dient als Grundlage für die Unfallanalyse im Kap. 2.2.2.

Tab. 5 Aus dem VeSPA-Synthesebericht: Ausgewählte Hinweise zu sicherheitsrelevanten Auffälligkeiten der Strasseninfrastruktur (Schüller, 2016)

Netzbereich	Auffälligkeiten Strasseninfrastruktur
Innerortsstrecken	<ul style="list-style-type: none"> • Strecken mit erhöhten Geschwindigkeiten aufgrund des Querschnitts (u. a. breite Fahrbahnen) und der Streckencharakteristik (u. a. Ausserortscharakter) <ul style="list-style-type: none"> • auch unfallbegünstigend in Kombination mit einem hohen Erschliessungsgrad (d. h. Vielzahl an Knoten und Grundstückszufahrten) • untergeordnete Knoten und Grundstückszufahrten mit <ul style="list-style-type: none"> • ungenügender Ausstattung, • erhöhten Abbiegegeschwindigkeiten aufgrund der Trassierung der Kurven, oder • eingeschränkten Sichtweiten • Veloverkehr: <ul style="list-style-type: none"> • Tramgleise in der Fahrbahn, • Zweirichtungsradwege (bzw. generell Bereiche mit linksfahrenden Velos), • Sichtbehinderungen an Knoten durch Hindernisse im Seitenraum sowie durch den MIV im fliessenden und ruhenden Verkehr, • Kreisel, • Gefälldstrecken (hohe Geschwindigkeiten der Velos; vor allem in Knotenzufahrten) • Fussverkehr: <ul style="list-style-type: none"> • bei Fahrbahnbreiten >7.75m • Tramhaltestellen • Fussgängerstreifen am Ortsrand • bei zügiger Streckenführung und / oder ungenügender Ausstattung • bei Sichtbehinderungen in unübersichtlichen Ortskernen sowie • zügig trassierte Knoten (z. B. weite Eckausrundung) <p>Ergänzend sind die Hinweise und Ausführungen zu den Knoten und den Fussgängerstreifen zu berücksichtigen.</p>
Einmündungen und Kreuzungen ohne LSA	<ul style="list-style-type: none"> • in Kurven und Gefällestrecke (Gefälle v.a. bei unfallbegünstigend hohen Velogeschwindigkeiten) • Kreuzungen und komplexe Knoten, teilweise mit Tram • Rechtsvortritt im verkehrsorientierten Netz • hohe Verkehrsbelastung • unfallbegünstigende Knotenelemente sind weite Eckausrundungen (schnelles Abbiegen), abknickende Vortrittsstrassen, überbreite und mehrstreifige vortrittsbelastete Zufahrten, spitzwinklige Knotenarme, Ausfahrkeile, fehlende Linksabbiegefahrstreifen, „zügig“ trassierte Knotenzufahrten (u. a. an AB-Ausfahrten), Sichtbehinderungen in vortrittsbelasteten Zufahrten • Fussgängerstreifen zwischen zwei versetzten Einmündungen • Zweirichtungsradwege (links fahrenden Velos)
Einmündungen und Kreuzungen mit LSA	<ul style="list-style-type: none"> • freie Rechtsabbiegefahrstreifen (vor allem auch bei mehrstreifigen Führungen) sowie „zügig“ trassierte Abbiegebeziehungen generell (vor allem beim Rechtsabbiegen) • in Kurven und auf Fahrbahnen mit hohem Geschwindigkeitsniveau • Sicht Einschränkungen auf Signalgeber, fehlende Überkopfsignalgeber und mit der Wegweisung kombinierte Signalgeber • Sonderformen (u. a. grosse mehrstreifige Kreisel mit Signalisierung) • Tram-Haltestellen in Mittellage am Knoten sowie Tramführung im Mischverkehr für Zweiräder • abgesetzte Furten (Fussgängerfurten)
Kreisel	<ul style="list-style-type: none"> • ungenügende Ablenkung durch Kreismittellinsel (Resultat: ungenügende Geschwindigkeitsdämpfung) auch begünstigt durch breite Kreisfahrbahnen oder das Fehlen eines angehobenen Innkreisrings • zweistreifige Elemente • Sonderformen (u. a. mit ÖV-Haltestellen in Kreiselmitte) • Grundstückszufahrten im Kreisel, eng beieinanderliegende Knotenarme, eingeschränkte Erkennbarkeit des Kreisels

	<ul style="list-style-type: none"> • vereinzelt ölig oder verschmutzte Kreisfahrbahn (relevant für Zweiräder) und Kollisionen mit Einbauten • Sichtbehinderungen an Fussgängerstreifen in den Ausfahrten • Gefälle in der Zufahrt (vorrangig bei Velounfällen) <p>Generell sind besonders (nichtmotorisierte und motorisierte) Zweiräder im Unfallgeschehen betroffen. Dabei dominiert die Unfallsituation bei der das Zweirad mit Vortritt auf der Kreisfahrbahn im Konflikt mit dem motorisierten Fahrzeug aus der vortrittsbelasteten Zufahrt steht.</p>
Fussgängerstreifen (FGS)	<ul style="list-style-type: none"> • FGS an Strassen mit erhöhten Geschwindigkeiten (u.a. Tempo 60, lokal bei schwachen Verkehrsbelastungen, Gefälle- / Steigungsstrecken), breiten und mehrstreifigen Querschnitten und an ÖV-Haltestellen • FGS auf der freien Strecke mit erhöhter Häufigkeit und Unfallschwere • ungenügende Sichtbeziehungen zum Fussverkehr in den Seitenraum hinein sowie in Kombination mit FGS in der direkten Wegeverbindungen des Fussverkehrs • ungenügende Erkennbarkeit von FGS z.B. in Kurven, bei (vermutet) unzureichender Beleuchtung, geringem Ausstattungsgrad (u.a. nicht vorhandene Überkopfbeschilderung) • FGS an Knoten mit typischen Knotendefiziten (siehe oben) <p>Nicht nur Fussgängerunfälle spielen eine Rolle an FGS. Auch Auffahrunfälle (teilweise auch Schleuder- / Selbstunfälle) ereignen sich in nicht unerheblicher Anzahl an FGS, ohne dass eine zu Fuss gehende Person als direkte Unfallbeteiligte in den Unfalldaten aufgeführt wird (eine indirekte Beteiligung aber sehr wahrscheinlich ist).</p>
Siedlungsgebiete	<ul style="list-style-type: none"> • Siedlungsgebiete mit geringer Netzdichte (d.h. langgestreckte Strassen mit geringer Knotendichte), mit Tempo 50 oder mit hohem Anteil an gewerblichen Flächen • Routen zu und Anschlüsse an hochfrequentierten Zielen (u.a. Parkplätze und Parkhäuser, sonstige Gewerbegrundstücke mit hohem Publikumsverkehr) • Sichteinschränkungen an Knoten durch parkende Fahrzeuge (aber auch weitere – bereits genannte – Ausstattungsdefizite sind an Knoten relevant) • neuralgische Punkte an denen es zu lokal erhöhten Aufkommen des Veloverkehrs kommt (z.B. an Brückenköpfen oder entlang bevorzugter Routen des Veloverkehrs) • hinsichtlich des Fussverkehrs sind ergänzend Mischverkehrsbereiche (u.a. Bahnhofsvorplätze), Parkflächen, aber auch Fussgängerstreifen in Gefällestrecken (Konfliktgegner Velo) auffällig

Zusammenfassend geht es v.a. um folgende Unfallthemen:

- **Hohe Geschwindigkeit:** z.B. aufgrund des Querschnitts und der Streckencharakteristik, hohe Velogeswindigkeiten, erhöhte Abbiegegeschwindigkeiten aufgrund der Trassierung, Gefälle
- **Fehlende Übersichtlichkeit / Erkennbarkeit:** z.B. ungenügende Ausstattung, schlechte Sichtverhältnisse (Sichtbehinderungen, eingeschränkte Sichtweiten), unzureichende Beleuchtung, Rechtsvortritt im verkehrsorientierten Netz
- **Hohe Komplexität:** z.B. Vielzahl an Knoten und Grundstückszufahrten, Knotenkomplexität, mehrstreifige Führung, hohe Verkehrsbelastung, Mischverkehr
- **Sonderformen:** z.B. Bereiche mit linksfahrenden Velos (z.B. Zweirichtungsradwege), Tramgleise in der Fahrbahn

VeSPA macht auch Massnahmenvorschläge, geordnet nach Prioritäten. Als Massnahme mit Priorität A wird die „Standardisierung der Strassen in Entwurfsklassen (selbsterklärende Strasse)“ vorgeschlagen, mit einem Unfallreduktionspotenzial von ca. 250 Unfällen pro Jahr innerorts.

Insbesondere die Abstimmung der Entwurfselemente für Strecken und Knoten mit dem Betrieb (Verkehrsregelungen und ein angemessenes Geschwindigkeitsregime) sollen ein auf den Strassenraum abgestimmtes Fahrverhalten fördern. Innerorts werden vor allem schmale Fahrbahnen und dafür klar abgegrenzte und ausreichend breite Bereiche für den ÖV und Langsamverkehr bevorzugt.

Durch vereinfachte Ansätze (vor allem Markierungen, geschwindigkeitsreduzierende Massnahmen oder Querschnittsanpassungen) sollen SERFOR-Konzepte auch bei

bestehenden Infrastrukturen umgesetzt werden können, und somit möglichst schnell zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen.

2.1.4 Weitere Literatur

Grundsätzlich findet sich relativ wenig fundierte wissenschaftliche Literatur mit SERFOR-Bezug, die einen Bezug zwischen innerstädtischer Infrastrukturgestaltung und dem Unfall- bzw. Verletzungsrisiko beschreibt. Unfälle sind seltene Ereignisse; Studien, die auf einen Vorher-Nachher-Vergleich einer Infrastrukturmassnahme abzielen, sind daher sehr (zeit-)aufwändig und entsprechend selten. Zudem ist der Einfluss auf die Verkehrssicherheit multifaktoriell, so dass der Bezug zur umgesetzten Massnahme oftmals nur eingeschränkt zu erstellen ist.

Zu selbsterklärenden Strassen, sind folgende neuere Studien interessant:

- Die Reduktion des Unfallrisikos beim Rechtsabbiegen von Motorrädern stand im Mittelpunkt einer in Taiwan durchgeführten Studie (Hsu und Wen, 2019). Durch eine Anpassung der Bodenmarkierungen (insbesondere von Richtungspfeilen) konnten die Konfliktsituationen zwischen rechts abbiegenden Motorrädern und dem geradeaus fahrenden Verkehr reduziert werden. Eine Analyse ein Jahr nach der Umsetzung zeigte eine Reduktion der Anzahl an Kollisionen.
- Eine Studie (Silvano und Bang, 2016) kam zum Ergebnis, dass die Gestaltung des urbanen Strassenraums einen grösseren Einfluss auf die Durchschnittsgeschwindigkeit hat als eine reine Änderungen der Höchstgeschwindigkeit. Zum Thema der Wirkung der Strassenraumgestaltung auf die gefahrene Geschwindigkeit wird aktuell in der Schweiz geforscht (SVI 2018/001, in Arbeit).
- Das Potential der selbsterklärenden Strasse konnte durch Vorher-Nachher-Untersuchungen nachgewiesen werden (Mackie, H. et al., 2018). Diese Untersuchungen wurde im Rahmen von partizipativen Prozessen gemacht, welche zum Ziel hatten, Nachbarschaften (also Innerortsstrassen) für den Velo- und Fussverkehr sicherer zu gestalten.

Zu fehlerverzeihenden Strassen, sind folgende neuere Erkenntnisse interessant:

- Der Einfluss verschiedener Möglichkeiten der Trennung von Verkehrsflächen für Fussverkehr und Veloverkehr wurde untersucht (Janssen et al., 2018). Eine Bordsteinkante ist für den Veloverkehr (bei entsprechendem Fahrfehler) mit einem Sturzrisiko verbunden. Daher wurde – im Sinne einer vergebenden Infrastruktur – analysiert, ob eine andere Form zur Trennung der Verkehrsflächen eingesetzt werden kann, ohne zu einem erhöhten Risiko für den Fussverkehr zu führen. Es wurde ein abgeflachter Bordstein zur Trennung empfohlen.

Ferner geht das Projekt SAFE-STRIP („Safe and green sensor technologies for self-explaining and forgiving road interactive applications“), Teil des Forschungsprogramms Horizon 2020, explizit die ganze SERFOR-Problematik an. Es wurden intelligente und kostengünstige Strassenmarkierungen entwickelt, die Verkehrsteilnehmenden in Echtzeit Umgebungs- und Verkehrsinformation vermitteln können (Gkemou et al., 2020).

Obwohl die Thematik SERFOR sehr wichtig ist, wurde in der internationalen Literaturliteratur keine mit dem TP2 vergleichbare Studie für Innerortsstrassen gefunden.

2.2 Unfallgeschehen innerorts

2.2.1 SINUS-Report 2019

Der SINUS-Report (z.B. BFU, 2019) wird jährlich veröffentlicht und gibt einen Überblick über das Unfallgeschehen im Strassenverkehr in der Schweiz.

Besonders relevant sind die Auswertungen nach Ortslage. Ein paar Grafiken aus dem SINUS-Bericht 2019 sind in *Abb.4* ersichtlich. Trotz geringer Geschwindigkeit ereignen sich Strassenverkehrsunfälle mit Schwerverletzten in der Schweiz am häufigsten auf Innerortsstrassen (62 %).

Die Art der Verkehrsteilnahme der Unfallbeteiligten variiert je nach Ortslage beträchtlich. Fasst man die Gruppen der Velo- und E-Bike-Fahrenden zusammen, repräsentieren sie mit 34 % den mit Abstand grössten Anteil der Schwerverletzten und Getöteten auf Innerortsstrassen – ergänzt mit den Motorradfahrenden, liegt der Anteil der Zweiradfahrenden gar bei 58 %.

Verteilung der schweren Personenschäden nach ... (Ø 2014-2018)

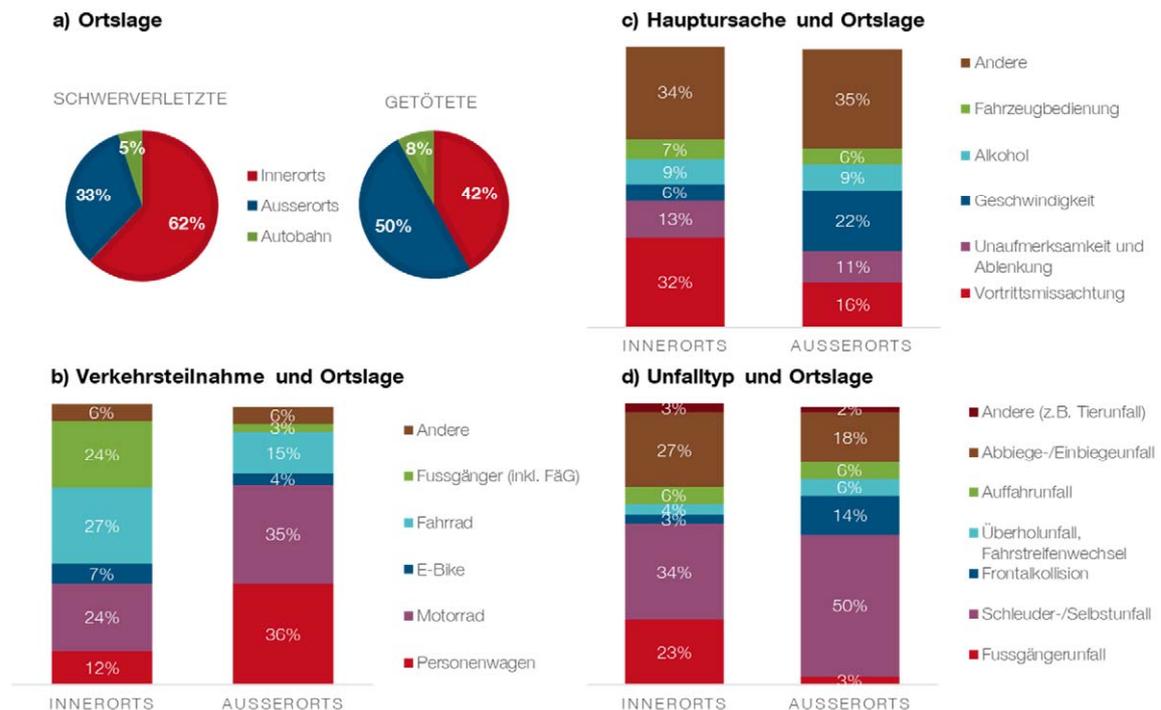


Abb.4 Aus dem SINUS-Report 2019: Verteilung der schweren Personenschäden nach Ortslage, Verkehrsteilnehmer, Hauptursache und Unfalltyp (BFU, 2019).

Von den durch SERFOR beeinflussbaren **Hauptursachen** ist Vortrittsmissachtung am dominantesten (32 %), vor Unaufmerksamkeit und Ablenkung (13 %) und Geschwindigkeit ⁷ (6 %). Die restliche Hälfte der Unfälle haben Alkohol, Fahrzeugbedienung oder nicht namentlich genannte Gründe als Ursache und können durch selbsterklärende Strassen kaum beeinflusst werden. Durch fehlerverzeihende Strassen können allenfalls die Folgen von solchen Unfällen reduziert werden.

Schleuder- und Selbstunfälle sind ortsunabhängig die häufigsten **Unfalltypen**. Innerorts sind Fussgänger- und Abbiege-/Einbiegeunfälle mit einem Anteil von jeweils rund 25% ebenfalls von hoher Bedeutung.

⁷ Geschwindigkeit kann bei Unfällen mit einer anderen Hauptursache trotzdem eine Rolle spielen. So sinkt z.B. die Anhaltebereitschaft des motorisierten Verkehrs an einem Fussgängerstreifen mit höherer Geschwindigkeit, was zur Vortrittsmissachtung führen kann.

2.2.2 SERFOR-relevante Unfallthemen

Aufgrund dieser Übersicht aus SINUS 2019 wurden die Unfalldaten (alle registrierten Unfälle mit Personenschaden innerorts schweizweit von 2014 bis 2018 (5 Jahre)) genauer analysiert, um im Fazit die Hauptthemen innerorts zu bestimmen und eine Priorisierung nach Verkehrsteilnehmenden (Motorfahrzeugverkehr, Veloverkehr, Fussverkehr) zu machen.

Die Hauptursache eines Unfalls bezeichnet die Ursache, die hauptsächlich zum Unfall geführt hat⁸ und kann nach der SER- und FOR-Relevanz kategorisiert werden. Zum Beispiel wurden die Einwirkung von Alkohol und Selbsttötungsabsichten oder wetterbedingte Ursachen ausgeschlossen.

Die Hauptursachen für den motorisierten Verkehr (Hauptverursachende) und für den Velo- und Fussverkehr (Hauptverursachende oder Leidtragende) wurden identifiziert und nach deren Relevanz zu SERFOR klassifiziert (vgl. Anhang II.1). Die Erkenntnisse sind in der Tab. 6 zusammengestellt.

Tab. 6 Wichtigste durch SERFOR beeinflussbare Hauptunfallursachen und deren Unfallreduktionspotenzial

Verkehrsteilnehmende	Hauptunfallursache	Anzahl Unfälle pro Jahr)
Motorisierter Verkehr	Als Hauptverursachende:	
	• Momentane Unaufmerksamkeit	3'700
	• Missachten des Vortrittssignals «kein Vortritt»	2'400
	• Zu nahes Aufschliessen	1'800
	• Vortritt beim Linksabbiegen vor dem Gegenverkehr	800
	• Mangelnde Rücksichtnahme bei Fahrstreifenwechsel	700
	• Nichtgewähren des Vortritts bei Fussgängerstreifen	700
	• Missachten des Vortrittssignals «Stop»	500
Veloverkehr	Als Hauptverursachende:	
	• Momentane Unaufmerksamkeit	200
	• Missachten von Rechtsvortritt / kein Vortritt / Rotlicht	200
	• Unerlaubtes Befahren des Trottoirs (längs)	100
	• Nichtanpassen an die Linienführung	100
	• Mangelnde Rücksichtnahme bei Fahrstreifenwechsel	100
	Als Leidtragende:	
	• Missachten des Vortrittssignals «Kein Vortritt»	600
	• Vortritt beim Linksabbiegen vor Gegenverkehr	200
	• Zu nahes Überholen (seitlich)	200
	• Nichtgewähren des Vortritts über Trottoir (Trottoirüberfahrt)	100
• Unvorsichtiges Öffnen der Wagentüre	100	
Fussverkehr	Als Hauptverursachende:	
	• Unvorsichtiges Überqueren der Fahrbahn	200
	• Nichtbenützen der für Fussgänger/FäG bestimmten Verkehrsflächen	<100
	• Missachten des Rotlichts / eines Signals	<100
	• Missachten des Vortritts der Strassenbahn	<100
	Als Leidtragende:	
	• Nichtgewähren des Vortritts bei Fussgängerstreifen	700
• Unvorsichtiges Rückwärtsfahren	200	
• Momentane Unaufmerksamkeit	200	
• Nichtgewähren des Vortritts über Trottoir (Trottoirüberfahrt)	<100	

Aufgrund dieser Tabelle erscheint das Thema Rechtsvortritt als eher unproblematisch. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass bei Rechtsvortritten auch viele Unfälle durch die Polizeibeamten mit «momentaner Unaufmerksamkeit», «zu nahem Aufschliessen» und anderem Fehlverhalten im Zusammenhang mit Vortritt oder Fahrbewegungen registriert

⁸ Es handelt sich um eine Beobachtung und Einschätzung des rapportierenden Polizeibeamten, die für rechtliche Fragen genutzt wird.

werden. Daher wurden Unfälle bei Rechtsvortritt-Knoten genauer untersucht, insbesondere der Zusammenhang zwischen verschiedenen Formen von Rechtsvortritt (ohne Markierung, mit Markierung oder mit vertikalem Versatz – rund oder ganzflächig) und Unfallgeschehen. Exemplarisch wurden 313 Unfälle aus der Stadt Zürich (Kreis 4, 5 und 6) aus den Jahren 2016 – 2020 analysiert (vgl. Anhang II.2). Die Erkenntnisse sind die Folgenden:

- Die Anzahl Unfälle auf einem bestimmten Knotentyp korreliert mit der Anzahl Knoten dieses Typs, also sticht kein Knotentyp als besonders „gefährlich“ oder „sicher“ heraus.
- Velos sind verhältnismässig häufiger auf Belagsrosetten (d.h. auf Knoten mit markiertem, rundem vertikalem Versatz) Hauptverursacher als auf anderen Knotentypen.

Ergänzend zur Ursachenanalyse sind die sicherheitsrelevanten Auffälligkeiten der Strasseninfrastruktur aus dem Forschungsprojekt VeSPA von Bedeutung (vgl. Kap. 2.1.3 und v.a. *Tab. 5*).

3 Situation und Besonderheiten innerorts

Aufgrund von Erfahrungen und Beobachtungen werden im folgenden einige Besonderheiten beispielhaft herausgeschält. Sie zeigen auf, wo innerorts Schwierigkeiten bestehen, SERFOR-Grundsätze systematisch umzusetzen.

3.1 Lokales Umfeld

SER erfordert eine gewisse Vereinheitlichung der Strassenraumgestaltung. Dazu unterscheiden sich die Gegebenheiten und Voraussetzungen innerorts von Situationen ausserorts. Innerorts wird i.d.R. langsamer gefahren als ausserorts. Die innerörtlichen Strassen befinden sich in mehr oder weniger dicht bebauten Orten, was eine gewisse Komplexität mit sich bringt. Insbesondere können Städte und Dörfer nur begrenzt umgebaut werden. Folgende Besonderheiten spiegeln sich in den SERFOR-Ansätzen wider:

Lokales Erscheinungsbild

Strassenräume sind wesentliche Bestandteile des Ortsbildes und des Städtebaus. Geschichtlich betrachtet haben Strassenräume eine hohe Bedeutung innerhalb eines städtebaulichen Gefüges. Grosszügige Boulevards leisten einen grossen Beitrag zur Auflockerung von innerstädtischen Gebieten; Promenaden funktionieren einerseits als Verkehrsachsen aber auch als Park; Gassen in Altstadtkörpern öffnen sich punktuell räumlich zu Plätzen; und Magistralen führen ins Stadtzentrum.

Alle diese erwähnten, beispielhaften Strassenräume haben ihre eigene Identität und Charakteristik in Bezug auf den Strassenquerschnitt, die räumliche Begleitung beidseits des Strassenraums, die Fahrbahnmaterialisierung, die Ausgestaltung der Fahrbahnränder und die Ausstattung mit Mobiliar. Die Charakteristik ist abgeleitet aus dem Ort, der Zeit, der Bedeutung und der Funktion der Strasse.

Durch die Individualität und die ortsbezogene Ausgestaltung erhalten diese Strassenräume eine bedeutende orientierende Funktion. Strassenräume sind wichtige Bestandteile des öffentlichen Freiraumnetzes.

Eine ortstypische, kontextuelle Gestaltung von Strassenräumen wirkt orientierend im näheren Umfeld wie auch übergeordnet regional. Die Materialisierung, sowie die räumlichen Begebenheiten sind beispielsweise im Tessin anders als im Mittelland. Ein Strassenabschnitt, der über einen Platz führt, ist anders zu lesen und auszuformulieren als eine verbindende Quartierstrasse entlang von Vorgärten. Ein paar Beispiele von Ortschaften mit charakteristischem Erscheinungsbild sind in der folgenden Tabelle zu finden.

Aufgrund dieser Erkenntnisse ist es richtig, eine übergeordnete Vereinheitlichung der Signaletik und Markierung anzustreben, nicht aber eine gleichmachende Ausgestaltung von Strassenräumen in Bezug auf die Materialisierung und der Wahl von Ausstattungselementen. Ortsspezifische Lösungen fördern die Aufmerksamkeit auf die Umgebung, ermöglichen eine orientierende Hierarchisierung und können einer wachsenden Struktur Rechnung tragen.

Diese Aspekte spiegeln sich auch in den bestehenden Gestaltungsrichtlinien von Strasseneigentümern wider. In der VSS-Norm 40 214 „Entwurf des Strassenraums; Farbliche Gestaltung von Strassenoberflächen“ ist z.B. eine Liste von normierten RAL-Farben als zulässig aufgelistet, z.B. 11 verschiedene gelbe Farbtöne. In der Arbeitshilfe „FGSO - Farbliche Gestaltung von Strassenoberflächen“ des Kantons Bern sind nur drei dieser zulässigen Farbtöne (zwei gelb, ein grau) empfohlen. Andere Kantone können andere Farben wählen, was zu lokalen Unterschieden führt.

Tab. 7 Beispiele von Ortschaften mit charakteristischem Erscheinungsbild



1 Gepflasterte Strasse in Brig



2 Gepflasterte Strasse in Genf



3 Strasse, geteilt mit dem Tram, in Genf



4 Strasse geteilt mit dem Tram in Bern



5 Bundesplatz in Bern



6 Rote Strassenumgebung in Lausanne

Eine vollständige Standardisierung ist innerorts nur teilweise möglich und sinnvoll

Die VSS-Normen stellen grundsätzlich sicher, dass Infrastrukturprojekte standardisiert umgesetzt werden. Innerorts ist jedoch die Standardisierung gering im Vergleich zu ausserörtlichen Strassen. Es gibt lokal unterschiedliche Rahmenbedingungen und Sachzwänge. Normen, die mit den lokalen Umständen nicht vereinbar sind, werden in der Praxis nicht eingehalten. So sind z.B. baulichen Anpassungen aus finanziellen Gründen oft Grenzen gesetzt.

Selbst wenn alle VSS-Normen verbindlich erklärt und so umgeschrieben würden, dass die Bauherren keinen Freiraum mehr hätten, würde es sehr lange dauern (> 20 Jahre), bis eine schweizweite Einheitlichkeit erreicht würde. Zuerst müssten alle VSS-Normen angepasst werden. Zweitens, müssen die neuen Normen in der Erneuerung der ganzen schweizweiten Strasseninfrastruktur innerorts einfließen. Erst dann gäbe es eine flächendeckende Einheitlichkeit, die aber bei späteren Normänderungen bereits wieder gefährdet wäre.

Vielfalt an Verkehrsteilnehmenden erhöht die Anforderungen an den Strassenraum

Innerorts kann beobachtet werden, wie verschiedenste Verkehrsteilnehmende aufeinandertreffen, was mit Konfliktpotenzial verbunden ist und auch eine hohe Aufmerksamkeit von allen verlangt. Die Verkehrsteilnehmenden können unabhängig voneinander viele unterschiedliche Bewegungen vornehmen (geradeaus fahren, links/rechts abbiegen, parkieren, beschleunigen / abbremesen usw.), die nicht zwingend vorhergesehen werden können und somit zu Unsicherheit führen kann. Der Strassenraum muss innerorts besonders hohen Anforderungen genügen. Insbesondere:

- Aus Platzgründen gilt vielerorts Mischverkehr (z.B. MIV und Veloverkehr, MIV und ÖV, usw.), was für schwächere, empfindlichere, verletzlichere Verkehrsteilnehmende als nicht sehr sicher empfunden wird.
- Auch wenn die Verkehrsteilnehmenden getrennt sind (z.B. Velostreifen oder Busspur), gibt es zahlreiche Konfliktbereiche (z.B. beim Rechtsabbiegen von Autos).
- Der schnelle und schwere Motorfahrzeugverkehr und der langsame und verletzlichere Fussverkehr teilen sich mindestens teilweise den Raum (z.B. Fussgängerquerung, Begegnungszone, Haltestelle).

Aufgrund dieser Komplexität ist eine sichere und normgerechte Verkehrsanlage wichtig. In Situationen, wo die Normen nicht eingehalten werden können (z.B. Sichtweite oder Abmessungen Strassenquerschnitt), besteht ein Ansatz darin, die signalisierte Höchstgeschwindigkeit zu reduzieren.

Lärmschutz schränkt innerorts den Einsatzbereich von akustischen Massnahmen ein

Zur Förderung der Aufmerksamkeit sind Massnahmen mit einem auditiven Signal als Ergänzung zur visuellen Information sehr attraktiv. Auf der Autobahn werden z.B. geräuschverursachende Markierungen eingesetzt, um das Abkommen von der Fahrbahn zu verhindern. Innerorts sind solche Massnahmen aber in direktem Zielkonflikt mit dem Lärmschutz und dürfen deshalb nur begrenzt umgesetzt werden (z.B. Signalton bei Lichtsignalanlagen für sehbehinderte Personen).

Der Vollständigkeit halber wird hier auch auf den bekannten Zusammenhang hingewiesen, dass tiefere Geschwindigkeiten in der Regel zu einer Reduktion des Strassenlärms führen.

Fazit

Innerorts besteht ein Spannungsfeld zwischen den SERFOR-Grundsätzen und den lokalen Gegebenheiten. Man muss einen Weg finden, um einerseits selfexplaining zu gestalten und andererseits die anderen Zielsetzungen (städtebauliche Integration, Identitätsbezug, Sachzwänge) mitzubedenken.

3.2 Verkehrsteilnehmende

Objektive und subjektive Sicherheit

Ein falsches Sicherheitsempfinden, das heisst wenn die subjektive nicht der objektiven Sicherheit entspricht, kann zu Fehleinschätzungen führen, die inadäquates Verkehrsverhalten oder Fahrfehler begünstigen. Dabei ist es eher problematisch, wenn das subjektive

Sicherheitsgefühl grösser ist als die objektive Sicherheit; dann wird das Risiko unterschätzt, was die objektive Sicherheit noch mehr verringert (Charlton et al., 2014). Dies ist eher innerorts der Fall als ausserorts (Cox et al., 2017).

Bei Velofahrenden kann eine niedrige subjektive Sicherheit zu der Entscheidung führen, das Velo gar nicht erst zu verwenden. Dieser Effekt tritt ebenfalls eher innerorts als ausserorts auf (de Sousa et al., 2014; Fowler et al., 2017).

In *Tab. 8* sind verschiedene Erwartungen und Einschätzungen aufgelistet, die durch ein über- oder unterschätztes Sicherheitsempfinden zu einer sicherheitskritischen Situation führen können.

Tab. 8 Erwartungen und Einschätzungen mit einem falschen Sicherheitsempfinden

Fall	Beispiele
Subjektive Sicherheit > objektive Sicherheit	<p>Als Autofahrende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Velos sind langsam • Das Auto schützt mich, daher gibt es wenig Risiko <p>Als Velofahrende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wenn ich das Auto sehe, sieht mich der/die Lenkende auch • Ich bin schnell und kann bei knapp rotem Licht an der Lichtsignalanlage noch fahren <p>Als Zufussgehende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fussgängerstreifen sind sicher • Wenn ich das Auto sehe, sieht mich der/die Lenkende auch • Wenn ich nichts höre, kommt auch nichts • Velos sind langsam • Der kürzeste Weg ist der beste Weg
Subjektive Sicherheit < objektive Sicherheit	<p>Als Autofahrende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ich kenne den Ort nicht und fahre daher extra langsam (was die nachfolgenden Verkehrsteilnehmenden zu einem gefährlichen Überholmanöver verleiten kann) • Zu plötzliches und starkes Bremsen und/oder Seitenbewegung <p>Als Velofahrende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zu plötzliches und starkes Bremsen und/oder Seitenbewegung • Die Autos sind schnell, ich kann daher nicht links abbiegen und bleibe stehen • Ich wähle eine andere Route, die sicherer ist <p>Als Zufussgehende:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ohne Gehweg bleibe ich möglichst am Rand und mache mich fast unsichtbar für andere Verkehrsteilnehmende • Ich wage es wegen der Autos nicht, die Strasse zu überqueren; daher missverstehen die Autofahrenden meine Absicht <p>Generell:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wahl eines subjektiv sichereren Verkehrsmittels oder eines subjektiv sichereren Weges

Die Strassenraumgestaltung und die Signalisation müssen daher als Ziel haben, ein möglichst der Situation und dem Ort angepasstes Sicherheitsempfinden hervorzurufen. Zum Beispiel führt eine breite Strasse mit guter Sichtbarkeit zu einem hohen Sicherheitsgefühl bei Autofahrenden und daher zu hohen gefahrenen Geschwindigkeiten. Dies wäre für eine Quartierstrasse nicht angemessen.

Kurz- und Langzeitwirkung

Es stellt sich die Frage, wie Strassenraumgestaltung, Verkehrsregeln und Warnsignale auf ortskundige Verkehrsteilnehmende wirken. Strassenraumgestaltung, Verkehrsregeln und Warnsignale können durch verschiedene Prozesse das Verhalten beeinflussen. Insbesondere spielt die Zeit eine wichtige Rolle:

- **Kurzzeitwirkung:** Verschiedene neue Verkehrsanordnungen wirken durch ihre Auffälligkeit, welche die Aufmerksamkeit auf sich zieht (z.B. neue Roteinfärbung der Veloführung in Konfliktbereichen).

- **Langzeitwirkung:** Neue Verkehrsanordnungen verlieren mit der Zeit ihre Wirkung:
 - Ortskundige Verkehrsteilnehmende verlassen sich auf ihre subjektive Erfahrung, sie «kennen den Ort gut».
 - Verkehrsteilnehmende beobachten mit der Zeit vermehrt das Verhalten der übrigen Verkehrsteilnehmenden und weniger die Verkehrssignale und Markierungen. Wenn z.B. beim «kein Vortritt» anstelle der Haifischzähne eine neuartige Markierung gewählt würde, wäre in der Anfangsphase die Beachtung sicher höher als bei den heutigen Haifischzähnen, aber nach einer gewissen Zeit wäre die Beachtung wieder gleich tief wie heute.

Die Untersuchung der Langzeitwirkung ist mit Herausforderungen verbunden: Erstens ist eine Langfristuntersuchung mit grossem zeitlichen und finanziellem Aufwand verbunden. Zweitens ist es schwierig, über eine lange Zeit eine standardisierte Untersuchungssituation zu generieren. Daher fokussieren sich Studien meistens auf die Kurzzeitwirkung. Wie lange die Kurzzeitwirkung effektiv erhalten bleibt, und wie viel schwächer die Langzeitwirkung ist, sind wichtige aber meist noch offene Fragen.

Es gibt grundsätzlich zwei Ansätze, um gegen die längerfristige Abnahme der Wirkung von Massnahmen zu kämpfen:

- **Selbsterklärende Strassenraumgestaltung:** Gemäss SERFOR-Konzept sollte es bezüglich Strassenraumgestaltung keine relevante Abnahme der Wirkung geben (vgl. Theeuwes, 2012), wobei dies, wie oben erläutert, wissenschaftlich schwierig zu belegen ist.
- **Wiederholte temporäre Massnahmen, z.B.:**
 - Periodische Zusatztafeln: z.B. 2 Wochen pro Jahr ein Aufmerksamkeitssignal neben dem Stopp-Signal
 - Plakat temporär an Konfliktstellen: z.B. Plakate, welche an Verkehrsregeln oder nahe Gefahrenstellen erinnern (z.B. zur Vortrittregelung Tram-Fussverkehr)
 - Menschengrosse Puppen oder Figuren, die den Strassenraum beleben und somit auf die mögliche Präsenz von Fussverkehr aufmerksam machen, über mehrere Monate, alle paar Wochen an einen anderen Orten verschoben

Kompetenzen

Nicht alle Verkehrsteilnehmenden besitzen die gleichen Kompetenzen. Dies hängt hauptsächlich mit dem Alter und der Erfahrung zusammen. Kinder können bis zu einem gewissen Alter Geschwindigkeiten und Distanzen nicht einschätzen. Ältere Personen können in der Wahrnehmung, der Verarbeitung von Informationen und der Reaktionsschnelligkeit eingeschränkt sein, usw. Selbsterklärende Gestaltungen müssen diesen Umstand mitberücksichtigen.

Verkehrsanordnungen und Kenntnisstand

Ein weiterer Aspekt des SEEV-Modells ist die Relevanz der Information (Wert-Prozess). Nicht alle Verkehrsteilnehmenden besitzen den gleichen Kenntnisstand. Insbesondere besitzen nicht alle den Führerschein, der eine bestandene Prüfung zum Verkehrswissen voraussetzt. Informationen über neue Verkehrsregelungen (z.B. bez. E-Bikes, Velostrassen) kommen nicht bei allen Verkehrsteilnehmern an (gehen z.B. in der Informationsflut unter). In der Zukunft wird es tendenziell noch mehr Verkehrsteilnehmende mit eingeschränkter Kenntnis der Verkehrsregeln geben, z.B.:

- wenn aufgrund der besseren alternativen Verkehrsangebote vermehrt auf die Fahrschule und den Erwerb des Führerscheins verzichtet wird,
- wenn der Anteil der Touristen und Einwandernden zunimmt

Umso wichtiger wird deshalb, dass die Strassen möglichst selbsterklärend gestaltet werden.

«Less is more»

Der Mensch besitzt eine begrenzte Aufnahmefähigkeit, was insbesondere in komplexen Innerorts-Situationen relevant ist, wo es auch viele andere Verkehrsteilnehmende, Signale,

Reklame usw. hat. Hier stehen die verschiedenen Elemente im Strassenraum in einer Art Konkurrenzsituation zueinander. Wird ein Element auffälliger gestaltet (z.B. Blinklicht beim Zebrastreifen-Schild), wirken andere Elemente relativ dazu weniger auffällig und werden daher schlechter wahrgenommen. Die Betonung von einzelnen Elementen kann fallweise Sinn machen (z.B. schlecht sichtbarer Zebrastreifen), sollte aber eher sparsam angewandt werden.

Die Aufmerksamkeit der Verkehrsteilnehmenden sollte grundsätzlich zuerst auf die anderen Verkehrsteilnehmenden gerichtet werden, dann zum Strassenverlauf und letztlich zu den Signalen und Markierungen.

Falls in einer Situation mehrere Signale angeordnet werden müssen, ist eine Reihenfolge von oben nach unten gemäss SSV-Nummerierung zu wählen.

Wie viel Information die Verkehrsteilnehmenden verarbeiten können, ist u.a. von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängig. Eine hohe Geschwindigkeit bedeutet

- weniger Zeit, um die Verkehrssituation zu erfassen (→ schränkt Wirkung von SER ein),
- überproportional lange Reaktions- und Bremswege (→ kritisch bezüglich FOR).

Wenn die Menge an Information nicht reduzierbar ist, sollte eine entsprechende Reduktion der Maximalgeschwindigkeit in Betracht gezogen werden.

3.3 Technologie

Zukünftige Automatisierung des Verkehrs ersetzt bis auf Weiteres die konventionellen SERFOR-Ansätze nicht

Die Wichtigkeit von SERFOR im Hinblick auf eine wie auch immer geartete Automatisierung der Mobilität wird innerorts kurz- und mittelfristig mutmasslich kaum abnehmen:

- Auch autonome (private und öffentliche) Motorfahrzeuge haben einen hohen Anspruch an klaren, selbsterklärenden und widerspruchsfreien Strassen.
- Zudem wird das Verkehrssystem innerorts weit weg von einer Vollautomatisierung bleiben, weil der Fuss- und Veloverkehr nicht automatisiert werden kann. Daher wird jede Automatisierung des MIV zumindest innerorts immer einen hohen Anteil von nicht-automatisiertem Verkehr berücksichtigen müssen. Innerorts werden SERFOR-Ansätze mindestens in Bezug auf den Fuss- und Veloverkehr noch lange eine hohe Relevanz haben.

Aus heutiger Sicht ist eine Vollautomatisierung innerorts noch nicht absehbar; somit ist weiterhin auf «konventionelle» SERFOR-Ansätze zu setzen.

4 Designregeln

Mit den Designregeln für SERFOR geht es darum, das Vortrittsverhalten, das Geschwindigkeitsverhalten und das Abstandsverhalten günstig zu beeinflussen und im Falle eines Fehlers die Auswirkungen des Fehlverhaltens zu minimieren.

Viele Projektierungsprinzipien existieren bereits und sind in Normen beschrieben. Häufig handelt es sich aber um Grundnormen, die keine konkreten Designregeln enthalten. Die Anwendung abstrakter Prinzipien erweist sich in der Praxis komplex und führt oft zu Zielkonflikten. In der Aus- und Weiterbildung wird den Projektierungsprinzipien wenig Beachtung geschenkt. Schliesslich können neue (innovative) Designregeln nicht aus bestehenden Normen abgeleitet werden, die per Definition den erprobten aktuellen Stand des Wissens «state of the art» dokumentieren.

Die Humanfaktoren bei der Projektierung von Strassen wurden im TP1 ausführlich untersucht und der abgeleitete Handlungsbedarf in 19 Projektierungsprinzipien zusammengefasst (siehe Kap. 2.1.2). Aufgrund der Besonderheiten im Innerortsbereich wurden die Projektierungsprinzipien des TP1 nach ihrer Relevanz und Wichtigkeit innerorts mit zwei Ansätzen priorisiert (siehe Anhang III):

- Priorisierung durch die Paketleitung
- Priorisierung nach Häufigkeit der SERFOR-relevanten Unfallursachen.

Aus dieser Priorisierung wurden die Projektierungsprinzipien aus dem TP1 in 5 Designregeln zu selbsterklärenden Strassen innerorts fokussiert, welche das grösste Potential haben, die relevanten Probleme zu lösen. Das Thema der fehlerverzeihenden Strassen wurde durch eine zusätzliche Designregel abgedeckt. Die identifizierten 6 SERFOR-Designregeln innerorts sind:

- **Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen**
- **Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken**
- **Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen** (bzw. Nutzung der Verkehrsflächen klarer zuweisen)
- **Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen**
- **Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen**
- **Fehlerverzeihende Strassen**

Im weiteren Verlauf des Kapitels werden die Designregeln einzeln kurz beschrieben, und die Schwerpunkte ermittelt.

Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen

Es geht hier darum, die **Eindeutigkeit des erwarteten Geschwindigkeits- und Vortrittsverhaltens sicherzustellen**. Dabei soll die Strassenraumgestaltung stärker nach Entwurfsklassen standardisiert werden. Das angemessene Verhalten soll einerseits für die Verkehrsteilnehmenden klar erkennbar sein, andererseits sollen sich die Verkehrsteilnehmenden möglichst unbewusst richtig verhalten. Entsprechend müssen folgende Aspekte optimal und kohärent aufeinander abgestimmt werden, so dass ein angemessenes Sicherheitsempfinden erreicht wird und Widersprüche vermieden werden:

- **Verkehrsregelung:** v.a. Signalisation und Markierung (z.B. signalisierte Höchstgeschwindigkeit, Vortrittsregelung)
- **Verkehrsfunktion:**
 - Strassennetzhierarchie (Durchgangs- oder Erschliessungsstrasse)

- Verkehrsmenge (Es wird tendenziell schneller gefahren, wenn die Strasse eine hohe Verkehrsbedeutung besitzt (Schüller, 2010); (Cohen, 1986); (Elliott et al., 2003); (Lewis-Evans & Charlton, 2006); (Fildes et al., 1987); Kolsrud (1985); (Fitzpatrick et al., 2001); (Godley et al., 2004))
- Präsenz von Fuss- und Veloverkehr
- **Strassenraumgestaltung:**
 - Strassenbreite (Es wird tendenziell schneller gefahren, wenn die Strasse vergleichsweise breit ist, d.h. mehr als einen Fahrstreifen pro Fahrtrichtung besitzt, überbreite Fahrstreifen oder eine bauliche Mitteltrennung aufweist (Schüller, 2010).)
 - Trennung der Verkehrsmittel und/oder -Ströme: z.B.
 - Velostreifen (Die erhöhte Wahrnehmung eines Risikos (z.B. Velostreifen, parkierte Autos) kann ebenfalls zu einer Geschwindigkeitsminderung führen (Gemeente Hof van Twente, 2016); (Gargoum et al., 2016); (Chinn & Elliott, 2002; Molino, 2009).)
 - Leitlinie (Strassen mit weniger Fahrspuren und/oder ohne Mittelstreifen werden mit niedriger Geschwindigkeitsbegrenzung assoziiert (Cairney, 1986). Strassen mit weniger Fahrspuren und/oder ohne Mittelstreifen werden mit niedriger Geschwindigkeitsbegrenzung assoziiert (Cairney, 1986).)
 - Mehrzweckstreifen (Verkehrinseln oder Mehrzweckstreifen, welche die Fahrbahnbreite nicht reduzieren, führen zu geringeren Geschwindigkeiten (Forbes & Gill, 2000); (Galante et al., 2010).),
 - Fahrbahnoberfläche (Es wird tendenziell schneller gefahren, wenn die Strasse eine Fahrbahnoberfläche in guter Qualität aufweist (Schüller, 2010).)
 - Einengung (Build-Outs, Verkehrsnasen und Verschwenkungen führen zu geringerer Fahrbahnbreite, und dadurch beeinflussen die Geschwindigkeit (Ariën, 2016); (Elliott et al., 2003); (Schwarz et al., 2010).)
 - Verkehrsberuhigungsmassnahmen, z.B. vertikaler Versatz (Vertikale Versätze haben eine positive Wirkung zur Verlangsamung des Verkehrs (Schwarz et al., 2010).)
 - Querungsmöglichkeiten (z.B. Fussgängerstreifen)
 - Bepflanzung (Eine Kammerung der Strassenabschnitte mittels Bäumen reduziert die überschaubare Distanz und führt zu einer Geschwindigkeitsminderung (Fildes et al., 1987). Abwechslungsreich gestaltete Umgebungen führen zu reduzierter Geschwindigkeit; monotone (z. B. auch links und rechts mit Bäumen bepflanzt) Umgebungen hingegen zu erhöhter Geschwindigkeit (Weller, 2010); (Weller et al., 2008).)
 - Komplexität der Gestaltung (Durch erhöhte Komplexität der Verkehrssituation, steigt der cognitive load, was zur Kompensation mittels reduzierter Geschwindigkeit führt De Waard et al. (1995) (Fusinato, 1977); (Harms, 1986, 1991).)
- **Umfeldnutzung:**
 - Art der Umfeldnutzung (z.B. Schule, Wohngebäude, Industrie, Dienstleistung) und Abstand der Bauten von der Strasse (Eine geringe Umfeldnutzung (überwiegend Wohn-, industrielle oder fehlende Randnutzung sowie einen großen Baufluchtastand und einen geringen Anteil der anliegenden Bebauung an der Straßenlänge) führt tendenziell zu schnelleren Geschwindigkeiten (Schüller, 2010), (Gargoum et al., 2016).)
 - Aufenthaltsnutzung (z.B. Aussenbestuhlung von Gastronomie), spielende Kinder, usw.

Die Umfeldnutzung lässt sich innerorts nur schwer beeinflussen. Umso wichtiger ist es, dass Verkehrsregelung, Verkehrsfunktion und Strassenraumgestaltung optimal darauf abgestimmt sind.

Auf einer Durchgangsstrasse wird innerorts zum Beispiel oft Vortritt (Hauptstrasse) und «Tempo 50 generell» erwartet. Dazu gehören Gestaltungselemente wie beispielsweise Trottoirüberfahrten bei Einmündungen, Mittelinseln bei Querungen, Fussgängerstreifen, markierte Mittellinie, teilweise Busbuchten, vertikale Randsteine usw. Bei einer

abweichenden Vortritts- und/oder Geschwindigkeitsregelung braucht es entsprechende andere Gestaltungselemente und eine gut erkennbare Signalisation und Markierung.

Im Siedlungsgebiet innerorts ist es häufig schwierig, kurzfristig Umfeldnutzung, Strassenraumgestaltung und Verkehrsfunktion optimal aufeinander abzustimmen, u.a. auch aus finanziellen Gründen. Deshalb kommt der Markierung und Signalisation innerorts in einem ersten Schritt eine wichtige Rolle zu, bevor eine Umgestaltung realisiert werden kann.

Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken

Wichtig ist, dass die Aufmerksamkeit jeder Person auf die relevanten Konfliktbereiche und die anderen Verkehrsteilnehmenden gelenkt werden. Wenn ein Element den Blick zu stark anzieht, besteht jedoch die Gefahr, dass andere Elemente weniger beachtet werden. Deshalb sind innerorts folgende Aspekte wesentlich:

- **Reizdichte im Normalfall senken, bzw. «Aufmerksamkeitsreserve schaffen»:** Reize gibt es innerorts viele: andere Verkehrsteilnehmende, Signale, Markierungen, Elemente der Strassenraumgestaltung, Reklame, Beschilderung von Restaurants, usw. Innerorts besteht eine grosse Konkurrenz zwischen diesen Elementen um Erhaschen von Aufmerksamkeit. Es ist daher wichtig, freie Kapazitäten für die Verarbeitung sicherheitsrelevanter Reize zu schaffen, das heisst:
 - Weniger Ablenkung (z.B. Entfernung von konkurrierenden Elementen (z.B. weniger Plakate), vereinfachte Signalisation mit Zonensignalen statt Einzelsignale, gute Sichtverhältnisse), und/oder
 - Verarbeitungsvermögen der Information erhöhen (v.a. durch tiefere Geschwindigkeit), insbesondere in belebten Situationen. Die Belegung des Strassenraums ist für die empfundene Sicherheit, aber auch für die Attraktivität von städtischen Räumen und die Lebensqualität wichtig.
- **Gefahr, bzw. den Konflikt verdeutlichen:** Frühzeitiges Hervorrufen und Aktivieren der Erwartungen vor möglichen kritischen Bereichen (z.B. Querungen, Einmündungen, usw.), z.B. durch geeignete Massnahmen den Blick in die richtige Richtung lenken oder durch die Betonung der Signalisation (z.B. durch Farben, Licht, Kontrast, Bewegung und den Einsatz geeigneter Zeichen oder allenfalls auditiver, dynamischer Reize) oder durch den konsequenten eindeutigen Einsatz von unterschiedlichen Randsteinen, Belägen. Es muss jedoch beachtet werden, dass:
 - dabei nicht andere sicherheitsrelevante Elemente (Verkehrsteilnehmende, Verkehrsanordnungen) in der Beachtung untergehen, und
 - die Erhöhung der Salienz einer Signalisation eventuell nur kurzfristig wirkt, und dass wiederkehrende temporäre Massnahmen langfristig wirksamer sein können.
- **Andere Verkehrsteilnehmende erkennbar machen:** Der Umgang mit anderen Verkehrsteilnehmenden ist innerorts besonders komplex und soll im Vordergrund stehen. Dabei geht es vor allem darum, den Blick zu den anderen Verkehrsteilnehmenden zu lenken (z.B. rot eingefärbte Radstreifen im Knotenbereich, oder für den Fussverkehr an Übergängen den Blick mit Signalisation und Geländer so ausrichten, dass die Zufussgehenden sich den nähernden Verkehrsteilnehmenden zuwenden).

Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen

Hier geht es darum, die **vorgesehene Nutzung der Verkehrsflächen eindeutig erkennbar zu machen**. Es soll für alle Verkehrsteilnehmenden klar sein, wo sie sich bewegen sollen und mit welchen anderen Verkehrsteilnehmenden und Verkehrsmitteln sie rechnen müssen (z.B.: Velofahren auf dem Radstreifen am Strassenrand oder auf der Fahrbahn? Ist der Querschnitt breit genug fürs Kreuzen mit dem Gegenverkehr? Ist ein Überholmanöver sicher?).

Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen

Sind die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Verkehrsteilnehmenden gering, so wird der Verkehr verstetigt und Konfliktsituationen wie Überholmanöver und

Bremsvorgänge kommen weniger häufig vor. Auch die Einschätzung der Abstände wird mit homogeneren Geschwindigkeiten zuverlässiger. Zur Angleichung der Geschwindigkeiten unter den Verkehrsteilnehmenden gibt es zwei mögliche Ansätze:

- **Verkehrsströme nach Geschwindigkeit trennen:** Verkehrsteilnehmende mit unterschiedlichem Geschwindigkeitsverhalten werden separaten Fahrstreifen zugewiesen (z.B. Radstreifen und -wege, Trottoirs).
- **Geschwindigkeit im Mischverkehr senken:** Wenn Mischverkehr nicht vermieden werden kann, soll die Geschwindigkeit an den Langsamverkehr angepasst werden.

Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen

Bei der Akzeptanz der Verkehrsregelung geht es primär um drei Aspekte:

- **Intuitive Nachvollziehbarkeit für die Regelung erhöhen:** Die Akzeptanz wird erhöht, wenn der Grund für eine Verkehrsregelung nachvollziehbar ist. Daher soll er möglichst intuitiv erkennbar sein. In einzelnen Fällen kann er auch explizit angegeben werden (z.B. durch einen Hinweis «Schule» oder «Lärmschutz» auf dem Signal).
- **Alle Verkehrsteilnehmenden ansprechen,** auch Kinder, Velofahrende, Verkehrsteilnehmende mit eingeschränkter Kenntnis der Verkehrsregeln, ortskundige und nicht-ortskundige Verkehrsteilnehmende, usw. Dabei geht es um verständliche Markierungen (z.B. einfaches Symbol statt Text) sowie um Markierungen und Signale auf der richtigen Höhe (z.B. auf dem Boden für Kinder, auf Augenhöhe für Velofahrende). Ferner ist es nötig, die Verkehrsteilnehmenden immer wieder zu informieren und zu schulen.
- **Abstimmung zwischen Verkehrsregime und Gestaltung des Strassenraums:** Eine Regelung wird kaum akzeptiert, wenn sie im Widerspruch zum wahrgenommenen Strassenbild steht, z.B. ein Tempo-30-Regime auf einer sehr breiten Innerortsstrasse ohne publikumsorientierte Erdgeschossnutzungen. Dieser wichtige Aspekt spielt auch in der Designregel «Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen» mit.

Fehlerverzeihende Strassen

Bei verzeihenden Strassen geht es darum:

- **eine Kollision zu vermeiden (Anprallwahrscheinlichkeit senken),** z.B. durch:
 - **Reaktions- und Bremswege verkürzen** durch tiefere Geschwindigkeiten und/oder effiziente Bremswirkung (z.B. griffiger Belag statt glatte Oberflächen und Markierungen, Laub und Schnee im Herbst und Winter regelmässig entfernen).
- **oder mindestens deren Schweregrad zu reduzieren (Anprallkonsequenzen senken),** z.B. durch:
 - **geschützte Bereiche und Ausweichmöglichkeiten im Querschnitt schaffen** (z.B. Mittelinseln für den querenden Fussverkehr, abgeflachte Bordsteine für Velofahrende, Sicherheitsabstand zwischen dem Veloverkehr und den parkierten Fahrzeugen);
 - **Kritische Hindernisse vermeiden** (z.B. Pfosten flexibel ausgestalten).

5 Spiegelung der heutigen Praxis mit den SERFOR-Designregeln

5.1 Stellenwert der VSS-Normen in der heutigen Praxis

In den VSS-Normen spiegelt sich der allgemein anerkannte Stand des Wissens und der Praxis wider. Die Normen konkretisieren die gesetzlichen Grundlagen, insbesondere das Strassenverkehrsgesetz, die Verkehrsregelnverordnung, die Signalisationsverordnung und die Weisungen des UVEK über besondere Markierungen auf der Fahrbahn, und geben konkrete Anleitungen für die Fachpersonen.

Aktuelle Projekte für neue Infrastrukturen berücksichtigen in der Regel die Normen und somit den bisher anerkannten Wissenstand. Bestehende Infrastrukturen sind nicht immer normgerecht, v.a. weil sie nach den damals gültigen Normen erstellt wurden und sich in der Zwischenzeit die Normen weiterentwickelt haben, oder weil sie nicht normgerecht gebaut worden sind.

Die aus Sicht des Forschungsteams SERFOR-relevanten Normen werden in *Tab. 9* aufgelistet.

Tab. 9 Auswahl an SERFOR-relevanten Normen

Thema	Normen
Strassenverkehrssicherheit	SN 640 010
Grundlagen der Projektierung, Strassentypen	VSS 40 040b, VSS 40 042, VSS 40 044, VSS 40 045
Fuss- und Veloverkehr	SN 640 060, SN 640 064, SN 640 075, VSS 40 240, VSS 40 241, VSS 40 242, VSS 40 246a, VSS 40 247a
Querschnitt, Lichtraumprofil	VSS 40 200a, VSS 40 201
Linienführung	VSS 40 080b, VSS 40 140
Entwurf und Gestaltung des Strassenraums	VSS 40 210, SN 640 211, VSS 40 212, VSS 40 213, VSS 40 214, VSS 40 215, VSS 40 220, VSS 40 303
Anlagen des öffentlichen Verkehrs	VSS 40 880
Knoten, Grundstückzufahrten, Kehren, Wendeanlagen	SN 640 250, VSS 40 251, VSS 40 252, VSS 40 261, VSS 40 262, VSS 40 263, VSS 40 271a, VSS 40 273a
Passive Sicherheit	SN 640 560, VSS 40 561, VSS 640 562, VSS 40 568, VSS 40 569
Lärmschutz	SN 640 570
Grünräume	SN 640 660, VSS 40 677
Strassensignale	VSS 40 822, VSS 40 846, VSS 40 847
Markierungen	SN 640 850, VSS 40 851, SN 640 853, SN 640 862, VSS 40 877

Bezüglich Verkehrssicherheit spielt das Geschwindigkeitsverhalten eine wichtige Rolle. Im Folgenden wird nach den drei typischen Verkehrsregimes innerorts unterschieden: Tempo-50-generell, Tempo-30 und Begegnungszone. Die wichtigsten Gestaltungselemente der heutigen Praxis sind in der *Tab. 10* ausgeführt.

Tab. 10 Heutige Praxis bezüglich Signalisation, Markierung und Gestaltungselementen gemäss aktuellen Normen

Elemente	Tempo 50 generell	Tempo 30	Begegnungszone
Signalisation	«Generell 50»-Signal viel zusätzliche Strassen-signalisation (Vortrittssig-nal, Geschwindigkeitssig-nale, Hinweise auf Fuss-gängerstreifen, Wegwei-ser, usw.)	Tempo 30-Signalisation (Strecke oder Zone) mit oder ohne Ein-gangsstele wenig zusätzliche Signalisation (eher Zonensignalisation)	Signal Begegnungszone, mit oder ohne Eingangsstele Fast keine Signalisation
Markierungen	Meistens Mittelstreifen / Leitlinien Häufig Fussgängerstreifen Teilweise Velostreifen Teilweise Roteinfärbung der Veloführung in Kon-fliktbereichen Teilweise Parkfelder (auf der Fahrbahn oder im Sei-tenbereich) Bushaltestellen Ggf. Busspur	Keine Mittelstreifen / Leitlinien (Ausnahmen möglich) Keine Fussgängerstreifen (Aus-nahmen möglich) Keine Velostreifen (Mischver-kehr) (Ausnahmen möglich) «Zone 30» und «30»-Markierun-gen auf der Fahrbahn (bei Tempo 30-Streckensignalisation nicht erlaubt) Teilweise Rechtsvortrittsmarkie-rung («Tulpenmarkierung») Weitere Spezialmarkierungen auf der Fahrbahn (z.B. Vorsicht Kinder, FGSO über die gesamte Fahrbahnfläche oder Farbbänder am Strassenrand, Füssli auf dem Trottoir zur Anzeige der geeigne-ten Querungsstelle) Parkfelder (meistens auf der Fahrbahn)	Oft «20» Markierungen auf der Fahrbahn (obwohl in den «UVEK-Weisungen über be-sondere Markierungen auf der Fahrbahn» nicht vorgesehen) Häufig Einsatz von FGSO (ins-besondere, wenn eine Umset-zung ohne bauliche Mass-nahme durchgeführt wird) Parkfelder (meistens auf der Fahrbahn, wenn überhaupt)
Strassenraum-gestaltung und Verkehrsberuhi-gungsmassnah-men	Verkehrsorientiertes Stras-senbild (Ausnahmen zu-nehmend, insb. zugunsten Lärmsanierung) ohne Hori-zontal- oder Vertikalver-sätze Wenig Grundstückszufahr-ten und nur vorwärts (In Dorfsituationen und Berg-regionen oft Ausnahmen) Abgrenzung Trottoir-Fahr-bahn durch hohen, vertika-len Randstein Haltestellen ÖV häufig ab-seits der Fahrbahn (Halte-bucht) oder auf der Fahr-bahn (Trend zunehmend für BehiG-Konformität und öV-Priorisierung) Trends: Verzicht auf Mittel-streifen, Geschwindigkeits-niveau senken und Reduk-tion Lärmquelle	Strassenraumgestaltung häufig gemäss Normen zur Verkehrsberuhigung, auf den lokalen Kontext abgestimmt Teilweise verkehrsberuhigende Elemente zur Kammerung oder Verengung der Fahrbahn (Hori-zontalversätze – auch als Que-rungshilfe, Vertikalversätze, Parkfelder auf der Fahrbahn, usw.) Abgrenzung Trottoir-Fahrbahn mit tieferen und/oder abge-schrägten Randsteinen Direkte Grundstückszufahrten, häufig (auch rückwärts) ÖV: meist Haltestellen auf der Fahrbahn	Strassenraumgestaltung häufig gemäss Normen zur Verkehrsberuhigung, auf den lokalen Kontext abgestimmt Häufig platzartige Gestaltung, flächige Gestaltung für Fuss- und Veloverkehr Teilweise andere Belagsarten als Asphalt und FGSO Verschiedene Formen von Möblierung auf der Fahrbahn (Sitzgelegenheiten, Pflanzenboxen, Bäume, andere Gestaltungselemente) Flache Randsteine oder anderes taktil erfassbare Element zur Abgrenzung der Fahrbahn und des dem Fussverkehr gewidmeten Bereich ÖV: Haltestellen auf der Fahrbahn Vielfach kein öffentliches Parkplatzangebot

Knotenformen	Städte: LSA, oder Knoten mit Stopp / Kein Vortritt, teilweise Kreisel. Dörfer und Bergregionen: Kreisel, LSA, Knoten mit Stopp / kein Vortritt auch noch teilweise Rechtsvortritt	Rechtsvortritt in Tempo 30-Zonen (Ausnahmen möglich)	Rechtsvortritt
--------------	--	--	----------------

5.2 Auffälligkeiten

5.2.1 Strecken

SER-Auffälligkeiten bezüglich des Geschwindigkeitsverhaltens

Für selbsterklärende Strassen bräuchte es ein eindeutiges Erkennungsmerkmal für die erlaubte Geschwindigkeit. Heute ist die Situation diesbezüglich nur teilweise zufriedenstellend.

In den Normen werden für die Strassenraumgestaltung je nach Verkehrsregime unterschiedliche Vorgaben gemacht, was zu einer gewissen Differenzierung und damit zu (teils) selbsterklärenden Strassen führt.

Ausnahmen zu diesen standardisierten Verkehrsregimes sind aber zahlreich und aktuelle Trends verstärken dies noch zusätzlich:

- Leitlinien grundsätzlich als eindeutiges Erkennungsmerkmal anwendbar (Leitlinie → Tempo 50 generell, keine Leitlinie → Tempo 30 oder Begegnungszone), aber:
 - Tempo «50 generell» ohne Leitlinie als vermehrter Trend um den verkehrsorientierten Charakter von Ortsdurchfahrten abzumildern (z.B. Kanton FR);
 - Ausnahme: Leitlinie bei mehreren Fahrstreifen im Tempo 30
- Tempo 30 hat zwei bis drei Haupteinsatzbereiche, die jeweils je nach Strassentyp eine unterschiedliche Gestaltung erfordern würden:
 - in Ortszentren
 - in Quartierstrassen
 - zunehmend auch auf Hauptverkehrsstrassen (z.T. mit mehreren Fahrspuren) oder sogar flächendeckend im Stadtgebiet.
- Manchmal ist die Geschwindigkeit abhängig von der Tageszeit (z.B. Tempo 30 nachts in Lausanne).
- Die Herabsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (Tempo 30 auf Hauptverkehrsstrassen, Einführung von Tempo 30-Zonen und/oder Begegnungszonen in Wohnquartieren) wird oft (in einem ersten Schritt) ohne bauliche Anpassung des Strassenbildes umgesetzt.

Ferner sind Bereiche mit erhöhtem Schutzbedürfnis (z.B. Kinderspielplatz) z.T. schlecht erkennbar.

Fazit: Temporegime und Strassenbild stimmen manchmal nur teilweise überein, so dass die Strassen nur bedingt selbsterklärend sind. Insbesondere die vermehrte Herabsetzung der allgemeinen Geschwindigkeit in der Stadt von 50 auf 30 km/h stellt grosse Herausforderungen: Die Unterscheidung von Tempo 50 und Tempo 30 soll klar konzipiert werden, ohne dass der Aufwand zur Umgestaltung des Strassenraum zu gross wird.

SER-Auffälligkeiten bezüglich des Abstandsverhaltens

Innerorts sind hauptsächlich Leitlinien und Markierungen auf der Strasse relevant, dass sich die Verkehrsteilnehmer nicht in die Quere kommen. Leitlinien können z.B. Situationen klären, wenn unklar ist, ob ein Überholmanöver (z.B. von einem Velo) auch mit Gegenverkehr sicher durchgeführt werden kann oder nicht (→ Abstandserhalten quer). Auch bei der Vorsortierung vor Knoten sind oft Leitlinien nötig, damit die Verkehrsführung verstanden wird (→ SER).

Damit kann aber ein Zielkonflikt mit dem Geschwindigkeitsverhalten in Tempo 30-Zonen entstehen:

- Eine Leitlinie kann helfen, dass sich die Verkehrsteilnehmenden richtig verhalten in Quer- und Längsrichtung, wobei Radstreifenlinien in Kernfahrbahnen allerdings auch dazu führen können, dass der Veloverkehr mit geringerem Abstand überholt wird.

Eine Leitlinie aber eher ein Hinweis für «Tempo 50 generell». Hier besteht Forschungsbedarf für eine neuartige Leitlinie bei Tempo 30, die dieser Problematik gerecht wird (vgl. Kap. 5.3).

Fazit: Leitlinien mit genügend breiten Fahrstreifen können das Abstandsverhalten quer verbessern. Es besteht Forschungsbedarf nach einer selbsterklärenden Leitlinie in Niedriggeschwindigkeitszonen.

FOR-Auffälligkeiten

Für die Strecken ist die mangelnde Breite die Hauptschwierigkeit:

- Radstreifen direkt neben parkierten Autos bergen Gefahr bei der unvorsichtigen Türöffnung.
- Eine klare Trennung der verschiedenen Verkehrsteilnehmenden, die unterschiedlich schnell unterwegs sind, ist erstrebenswert, aber aus Platzgründen leider oft nicht möglich. Dies kann zu gefährlichen Überholmanövern führen (weil zu nah und/oder zu schnell).
- Hohe Randsteine verhindern das Ausweichen im Konfliktfall (v.a. für Velos relevant) und sind oft mit scharfen Kanten ausgebildet und schlecht beleuchtet.
- Die Anprallgefahr mit Objekten am Strassenrand (parkierte Autos, Bepflanzungen, Gebäude direkt am Strassenrand, usw.) steigt mit der Nähe zur Fahrbahn (oft verbunden mit kritischen Sichtweiten, v.a. in Quartiersituation und in historischen Altstadtsituationen).

Diese Defizite sind insbesondere für den Veloverkehr problematisch.

Fazit:

- Ausreichende Breiten sind FOR-entscheidend. Bei ungenügenden Platzverhältnissen ist die Reduktion der Geschwindigkeit als Voraussetzung für Mischverkehr zu prüfen oder das Verkehrskonzept ist zu überdenken.
- Ausweichmöglichkeiten sind in den Strassenprojekten zu prüfen.
- Bei der Anordnung von Parkplätzen entlang der Fahrbahn ist die Situation für den Veloverkehr besonders zu beachten.

5.2.2 Knoten

SER-Auffälligkeiten bezüglich des Geschwindigkeitsverhaltens

Das Geschwindigkeitsverhalten im Knoten korreliert mit der Erkennbarkeit des Knotens. Wird ein Knoten zu spät oder gar nicht erkannt, so wird er häufig zu schnell befahren.

Im Prinzip sind Rechtsvortritt-Knoten auf eher siedlungsorientierten Strassen zu finden, v.a. in Tempo 30 und Begegnungszonen, und andere Knotenformen (LSA, Stopp, Kein Vortritt, Kreisel) eher im Temporegime «50 generell». Ausnahmen sind aber nicht selten.

Eine Schlussfolgerung aus dem VeSPA-Projekt (vgl. Kap. 2.1.3) war, dass Rechtsvortritt und verkehrsorientierte Strassen (also meist Tempo-50-Strassen) nicht miteinander verträglich sind. Daraus ergibt sich eine zentrale SER-Massnahme, den Rechtsvortritt nur in siedlungsorientierten Strassen mit Tempo-30-Zone oder Begegnungszone anzuordnen.

In verkehrsberuhigten Quartieren wurde vielerorts das Tempo30-Zonenregime eingeführt – mit flächendeckendem Rechtsvortritt, wie dies in der Verordnung vorgesehen ist. Allerdings werden nicht überall die erforderlichen Sichtweiten auf den Gegenstrom eingehalten; der Knoten kann nicht erkannt werden und es wird zu schnell gefahren.

Das neue Regime der Velostrassen stellt einen speziellen Fall dar: zur Priorisierung der Veloachse wird in Tempo 30-Zonen «Kein Vortritt» statt Rechtsvortritt markiert, was zu Verwirrung führen kann. Die bei Velostrassen ergänzenden übergrossen Velopiktogramme leisten allerdings einen Beitrag zur Klärung der Situation.

Bei LSA, Stopp und «Kein Vortritt» ist die heutige Praxis bezüglich Signalisation und Markierung gut erkennbar und verständlich. Trotzdem werden z.B. die Stopp-Signale und -Markierungen z.T. missachtet, bzw. es wird manchmal nur ein «Rollstopp» gemacht.

Kreisel sind in der Regel gut erkennbar und verständlich; bei ungenügender Ablenkung der Ströme sowie bei zu breiter Einfahrt und/oder Innenfahrbahn oder zu grossem Ausfahrtsradius wird allerdings auch bei dieser Knotenform zu schnell gefahren.

Fazit: Für das Geschwindigkeitsverhalten an Knoten sind einerseits die Erkennbarkeit der Knotenform (v.a. bei Rechtsvortritt ein Problem) und andererseits die geometrisch korrekte Ausgestaltung des Knotens entscheidend.

SER-Auffälligkeiten bezüglich des Vortrittsverhaltens

In der Praxis werden Rechtsvortritte oft nicht markiert. Als Markierung wird bei schlechten Sichtverhältnissen häufig eine sogenannte Tulpenmarkierung angewendet. Als bauliche Massnahme werden die Knoten manchmal mit einem Vertikalversatz angehoben oder in der Knotenmitte wird eine Belagsrosette eingebaut. Rechtsvortritts-Knoten und Missachten des Rechtsvortritts sind heute häufige Unfallstellen bzw. -ursachen (vgl. auch Anhang II.2). Es besteht demnach Handlungsbedarf darin, die Erkennbarkeit des Vortritts zu verbessern⁹.

Ferner stellt sich die Frage der Verständlichkeit bei der Abfolge von unterschiedlichen Knotenregimes (z.B. erst Vortritt, dann Rechtsvortritt).

Die VR-Experimente zeigen (vgl. auch Kapitel 6.4.2, Abb. 22), dass ein relevanter Teil der Verkehrsteilnehmenden die Vortrittsregeln an Knoten nicht kennen bzw. falsch einschätzen.

Fazit: Handlungsbedarf besteht v.a. in der Verbesserung

- des Wissensstandes der Verkehrsteilnehmenden und
- der Erkennbarkeit der Knotenform / des Vortrittsregimes.

SER-Auffälligkeiten bezüglich des Abstandsverhaltens

An Knoten hört häufig die Veloführung auf, meistens aus Platzgründen. Dies führt zu einer allgemeinen Verunsicherung und SER-spezifisch zu Überholen MIV-Velo mit zu wenig Abstand. Somit besteht vielerorts Nachholbedarf bezüglich der Führung des Veloverkehrs über Knoten. Das kürzlich erschienene Handbuch „Veloverkehr in Kreuzungen“ (ASTRA,

⁹ Ausserorts ist das Vortrittssignal „Verzweigung mit Rechtsvortritt“ häufig. Innerorts wird es selten angewendet, was nicht zur besseren Erkennbarkeit beiträgt, jedoch voll und ganz im Sinne der SERFOR-Designregel «Less is more» ist.

2021) zeigt Grundsätze, best practices und Empfehlungen auf. Die Grundlage für eine Verbesserung der Situation in den nächsten Jahren liegt somit vor.

FOR-Auffälligkeiten

Folgende Aspekte sind für verzeihende Strassen nicht zufriedenstellend:

- Insbesondere bei schlechten Sichtverhältnissen ist die Gefahr gross, dass die Verkehrsteilnehmenden ohne Vortritt zu spät reagieren, bzw. bremsen, auch wenn die Vortrittsverhältnisse bekannt sind;
- Bei LSA sind z.T. die Reserven in der Knotensteuerung knapp (z.B. für die langsamsten der langsamen Verkehrsteilnehmenden, wie Fussverkehr und Velos);
- Knappe Platzverhältnisse sind bezüglich Anprallgefahr problematisch und verhindern das Ausweichen im Konfliktfall.

Fazit:

Ausreichende Sichtverhältnisse, Abmessungen und Räumzeiten (bei Lichtsignalanlagen) sowie Ausweichmöglichkeiten sind FOR-entscheidend. Bei ungenügenden Platzverhältnissen ist die Reduktion der Geschwindigkeit zu prüfen oder das Verkehrskonzept ist zu überdenken.

5.2.3 Querungen

SER-Auffälligkeiten bezüglich des Geschwindigkeitsverhaltens

Normgerechte Fussgängerstreifen sind sehr gut wahrnehmbar, insbesondere wenn sie, wie empfohlen, durch das Signal 4.11 ergänzt werden. Auch flächiges Queren wird bei entsprechender Gestaltung des Strassenraumes (Mehrzweckstreifen in der Mitte der Fahrbahn) verstanden und gelebt.

Jedoch gibt es Potenzial für die Erhöhung der Anhaltebereitschaft des Fahrzeugverkehrs vor Fussgängerstreifen, vor allem an Orten mit eher wenig Fussgängerquerungen. Die Anhaltebereitschaft des rollenden Verkehrs ist umso kleiner, je schneller gefahren wird, da der Fahrzeugverkehr weniger mit Querungen rechnet und Fussgängerstreifen und deren Wartebereiche bei höheren Geschwindigkeiten weniger gut erkannt werden können.

Fazit: Nebst einer normgerechten Ausführung von Fussgängerstreifen spielt die signalisierte Höchstgeschwindigkeit eine wesentliche Rolle.

SER-Auffälligkeiten bezüglich des Vortrittsverhaltens

Die Vortrittsregelung zwischen rollendem Verkehr und Fussverkehr ist den Verkehrsteilnehmenden oft nicht klar, insbesondere in Tempo 30-Zonen¹⁰ und Begegnungszonen. Abgesehen vom Fussgängerstreifen gibt es keine Gestaltungselemente, die eindeutig auf das Vortrittsrecht des Fussverkehrs hinweisen könnten.

Die Trottoirüberfahrten werden v.a. bez. Sichtweiten oft nicht normgerecht gebaut, was sich in beobachtbaren Konflikten manifestiert, v.a. mit fäG (vgl. auch Pestalozzi, C. et al., 2013).

¹⁰ In einer Befragung 2014 zu FLOZ/Tempo 30 auf der Bahnhofstrasse in Widnau gaben z.B. 52 % aller befragten Personen unabhängig vom selbst genutzten Verkehrsmittel fälschlicherweise an, dass das Vortrittsrecht im FLOZ-Bereich den Fussgängern gehöre, gefolgt von 36 %, die der zutreffenden Meinung waren, dass die Auto- und Velofahrer den Vortritt hätten. Weitere 11 % sagten zudem, dass die Situation nicht geregelt sei (beide oder keiner haben/hat den Vortritt). Ähnliche Ergebnisse ergaben Befragungen zu den Fallbeispielen Bälliz in Thun und Schwarzenburgstrasse in Köniz. (Ghielmetti, M. et al., 2017)

Fazit: Nebst einer normgerechten Ausführung von Fussgängerstreifen und Trottoirüberfahrten ist eine möglichst klare Strassenraumgestaltung wichtig, die keine falschen Erwartungen bezüglich Vortrittsverhältnissen weckt.

FOR-Auffälligkeiten

Nüchtern betrachtet sind für den Fussverkehr die sicheren Situationen diejenigen, in denen er davon ausgeht, dass er keinen Vortritt hat und sich entsprechend vorsichtig verhält. Manchmal ist aber das Gegenteil der Fall: Ein Teil der schwächsten Verkehrsteilnehmenden ist z.B. bei FGSO der Ansicht, dass er Vortritt hat, obwohl dies rechtlich nicht der Fall ist (Ghielmetti, M., et al., 2017).

Mit tiefen Geschwindigkeiten (Tempo 30 und Begegnungszone) sind die Reaktions- und Bremswege allerdings kurz und es gibt entsprechend deutlich weniger signifikante Unfallsituationen als bei höheren Geschwindigkeiten, was den Handlungsbedarf reduziert.

Fazit: Tiefe Geschwindigkeiten können einen fehlerverzeihenden Beitrag leisten.

5.3 Neue Gestaltungselemente

5.3.1 Bedarf an neuen Gestaltungselementen

Wie im Kapitel 5.2 beschrieben, sind für viele Themen die bekannten Elemente ausreichend; sie sollen entweder passend eingesetzt werden und/oder korrekt ausgeführt werden und die SERFOR-Aspekte sollen bei planerischen Entscheidungen stärker gewichtet werden. Weiterer Handlungsbedarf besteht im Bereich der Weiterbildung. Diese Empfehlungen sind in Kapitel 7 beschrieben.

Vor allem bei folgenden Punkten gibt es Bedarf nach besseren Lösungen bzw. nach neuen Gestaltungselementen:

- Erkennbarkeit des Temporegimes anhand des Strassenbildes, dies umso mehr, als Tempo 30 vermehrt als allgemeines Regime gelten soll (vgl. Fazit im Kap. 5.2.1)
- Erkennbarkeit der Knoten und der herrschenden Vortrittsregimes (insbesondere bei Rechtsvortritt) (vgl. Fazit im Kap. 5.2.2)
- Verbesserung der Anhaltebereitschaft bei Fussgängerstreifen (vgl. Kap. 5.2.3)

5.3.2 Lösungsansätze

Ein grosses Potenzial, um den Strassenraum selbsterklärender zu machen, besteht bei der Markierung und Signalisation. Die Markierung und Signalisation können in der Regel ohne grosse bauliche Umgestaltungen angepasst werden und lösen keine hohen Kosten aus. Deshalb konzentrieren sich die folgenden Überlegungen auf diese Themen.

Bei der Suche nach neuen Lösungsansätzen (gemäss Kapitel 5.3.1) wurden folgende Lösungsansätze evaluiert:

Generell

Anwendung von neuen Farben (z.B. für Leitlinien oder für den Fussverkehr):

- Es gibt wenig Farben im Farbspektrum, die nicht bereits einem Zweck zugeordnet sind. Mögliche neue Zonenfarben wären z.B. beige, grau oder lila. Diese Farben sind weniger gut erkennbar als die bisher üblichen Farben (z.B. Grau auf Asphalt, insbesondere bei Regen oder nachts). Diese Farben stehen zudem z.T. in Widerspruch zum Ortsbild oder sind ortsfremd (z.B. lila); es müssten eher dezente Farben gewählt werden, die visuell weniger dominant sind (z.B. beige, grau).

- Die Wirkung einer neuen Farbe setzt entsprechendes Wissen der Verkehrsteilnehmenden voraus, d.h. die neuen Farben sind nicht per se selbsterklärend.
- ➔ Eine farbliche Betonung der Rechtsvortrittsmarkierung wird im Kap. 6 untersucht.

Verdeutlichung der Signalisation und Markierung:

- Z.B. Signalroter Haltebalken am Boden, hoher Anteil an reflektierendem Material, Blinkanlagen, leuchtend gelber Rahmen um Signal, usw.
- Mit solchen Massnahmen wird die Erkennbarkeit sicher erhöht, jedoch möglicherweise zu Lasten von anderen Verkehrsanordnungen und Gestaltungselementen. Es stellt sich deshalb die Frage, ob mit solchen Massnahmen die Beachtung anderer Signale abnehmen wird, und ob die Langzeitwirkung von solchen Lösungsansätzen anhalten wird oder wie bei der heutigen Praxis mit der Zeit abnehmen wird.¹¹
- ➔ Das Potenzial des Ansatzes scheint nur sehr punktuell zu sein. Temporär bei Neusignalisierung und Baustellen möglich, aber eine häufige Anwendung schmälert die Wirkung deutlich. Als erste Priorität soll die Signalisationsverordnung ausgeschöpft werden.

Strecken im Tempo 30

Veränderung von Linienlänge und -breite bei Leitlinien:

- Hier wird Potenzial zur Verdeutlichung des Geschwindigkeitsregimes erwartet, insbesondere für Strecken mit Tempo 30, wo heute die gleiche Leitlinie wie bei Tempo 50 eingesetzt wird.
- Voraussetzung ist ein visuell markanter Unterschied zur den bestehenden Linien (Es gibt bereits eine Vielzahl von Linienarten, die wir ziemlich unbewusst wahrnehmen).
- ➔ Neue mögliche Leitlinien werden im Kap. 6 untersucht.

Farbbänder am Strassenrand:

- Verschiedene Gemeinden wenden im Tempo 30 graue und andersfarbige Farbbänder am Strassenrand an (siehe *Abb. 5*), wenn es darum geht, eine Strasse mindestens optisch etwas zu verschmälern, da die Strasse aufgrund der Höhe des vorhandenen Verkehrsaufkommens (z.B. auch Buslinien) nicht mit baulichen Massnahmen verengt werden kann.
- ➔ Der Lösungsansatz wird in einzelnen Gemeinden bereits verwendet und bewährt sich. Zu einem kritischeren Ergebnis kommt der Forschungsauftrag 2018/001 (in Arbeit). Dieser Ansatz wird deshalb im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter vertieft.

¹¹ Einsatz gelb hinterlegter Signale hat innerorts bereits eine tiefe Kurzzeitwirkung wegen der hohen Informationsdichte und tiefen Geschwindigkeiten (Bühlmann, 2005). Blinklicht: Fallbeispiel Tessin (BFU, 2020): Wirksamkeit von Blinkanlagen bei Fussgängerstreifen. Keine signifikante Erhöhung der Anhaltebereitschaft erreicht.



Abb.5 Längsstreifen am Fahrbahnrand zur Verdeutlichung von Tempo 30 (optische Verschmälerung) (Brünnenstrasse, Bern)

Knoten

Vertikaler Versatz:

- Z.B. Belagsrosette (markierter, runder vertikaler Versatz) bei Rechtsvortrittknoten
- Die Wirkung der Belagsrosette wird im Kap. 6 untersucht.

Akustische Unterstützung:

- Rüttelstreifen vor einer Vortrittsituation (z.B. Stopp-Knoten), um auf den Prioritätsverlust aufmerksam zu machen (selbsterklärend) oder um den vortrittsberechtigten Strom auf ein allfälliges Missachten des Vortritts anderer Verkehrsteilnehmenden aufmerksam zu machen (forgiving).
- Rüttelstreifen vor Fussgängerstreifen als Anregung, langsamer zu fahren
- Wegen der Lärm-Problematik innerorts nur in seltenen Fällen umsetzbar.
- Der Lösungsansatz ist oft nicht möglich und wird deshalb nicht weiter vertieft

Querungen

Alternative oder Ergänzung zum üblichen Fussgängerstreifen:

- Haifischzähne und Querbalken unmittelbar vor dem Fussgängerstreifen sind tendenziell positiv (Anhaltequote steigt um 10-20 %) und wurde schon 1963 als best geeignete Massnahme diskutiert (Belopitov et al., 2011).
- Spezielle Verdeutlichungen von Fussgängerstreifen wie rote Umrandung, rot-weisser FGS, und Quermarkierung (vgl. auch *Abb.6*) als Zusatzausrüstung haben keinen eindeutigen Nutzen, und es wird vermutet, dass sie nicht besonders geeignet sind, um die Anhaltebereitschaft zu steigern (Belopitov et al., 2011).
- Optische Bremse (Querlinien in immer kürzeren Abständen) hat auch keinen eindeutigen Nutzen, eine Erhöhung der Sicherheit kann jedoch vermutet werden (Belopitov et al., 2011).
- Das flächige Queren ist bereits eine bewährte Alternative (vgl. auch Merkblatt SVI „Flächiges Queren in Ortszentren“) und wird schon heute regelmässig verwendet.
- Die normgerechten Fussgängerstreifen sind bereits gut erkennbar, und Alternativen zur heutigen Praxis scheinen eher wenig Wirkung zu haben.



Abb.6 Beispiele von Fussgängerstreifen mit spezieller Gestaltung

Diverses

Weitere Verdeutlichungen:

- Es gibt vielfältige, (mehr oder weniger) selbsterklärende, «spielerische» Markierungsmöglichkeiten zur Verdeutlichung der Begegnungszonen, die verschiedene Gemeinden anwenden und die Rücksicht nehmen auf die lokale Situation (z.B. farbige Punkte, Buchstaben, Schuhabdrücke usw.).
- Verdeutlichung von Spezialsituationen durch eine entsprechende Spezialmarkierung (Umfeld von Schulen, Querungsbedarf der Zufussgehenden, usw.)
- ➔ Solche Lösungsansätze bewähren sich, sind selbsterklärend und werden schon heute regelmässig verwendet (vgl. auch Weisungen des UVEK über besondere Markierungen auf der Fahrbahn).

5.4 Fazit

Das Thema Verkehrssicherheit ist in den Normen und Leitfäden breit und gut abgehandelt. Insbesondere sind viele SERFOR-Elemente im heutigen Stand der Normen enthalten und ein gewisser Spielraum zur Verdeutlichung der Verkehrsregime und der geltenden Vortrittsverhältnisse besteht, wie z.B.:

- Lokale, dem Quartiercharakter entsprechende, «spielerische» Markierungen zur Verdeutlichung der Begegnungszonen;
- Roteinfärbung der Veloführung in Konfliktbereichen;
- Inseln oder Mehrzweckstreifen in der Mitte der Strasse zum Schutz des Fussverkehrs;
- usw.

Es besteht jedoch Verbesserungsbedarf:

- **Weiterentwicklung der Gestaltungselemente:** Um gewisse SERFOR-Grundsätze konkret umzusetzen reichen die bestehenden normierte Gestaltungselemente nicht aus. Wenn die Leitlinie geschwindigkeitsabhängig gestaltet werden kann, könnte ein Beitrag zu SER erreicht werden. Ferner besteht Handlungsbedarf bezüglich Verdeutlichung von Rechtsvortrittknoten. Zur Evaluation der Wirkung von neuen innovativen Gestaltungselementen besteht Forschungsbedarf. Dieser Punkt wird im Kapitel 6 weiterverfolgt.
- **Übersichtliches und systematisches Vorgehen:** Die heutige Praxis enthält Elemente der SERFOR-Philosophie, geht sie aber nicht systematisch an. Die SERFOR-Grundsätze des Kapitels 4 müssen in allen Strasseninfrastrukturprojekten explizit berücksichtigt werden. Das ist das Thema des Kapitels 7.

6 Wirkungsmessung von zwei Gestaltungselementen mittels VR-Experimenten

6.1 Auswahl Gestaltungselemente

Gemäss Kapitel 5.4 wurden zwei Untersuchungsthemen ausgewählt:

- Gestaltung einer neuen Leitlinie bei Tempo-30;
- Gestaltung bei Rechtsvortritt.

Nachfolgend wird deren Auswahl erläutert und begründet.

6.1.1 Leitlinie bei Tempo 30

In der heutigen Praxis werden bei Tempo 30 in der Regel keine Leitlinien markiert. Bei Bedarf (wenn z.B. mehrere Fahrstreifen gezeigt werden müssen) werden die gleichen Leitlinien wie bei Tempo 50 eingesetzt. Deshalb soll eine Variation in der Ausgestaltung der Leitlinie geprüft werden, so dass Verkehrsteilnehmenden bei Vorhandensein einer Leitlinie das Verkehrsregime intuitiv erkennen.

Dies ist besonders wichtig und notwendig bei Strassen mit grossem Verkehrsaufkommen, wo trotz Tempo 30 Leitlinien und Radstreifenlinien markiert werden, wenn Verkehrsflächen bzw. Fahrstreifen zugewiesen werden müssen, und sonst keine Verkehrsberuhigungsmassnahmen möglich sind.

Als Grundelement für eine neue Tempo-30-Leitlinie wurden kurze und breite Striche gewählt, um einen möglichst gut wahrnehmbaren Unterschied zur Standard-Leitlinie mit langen und dünnen Strichen zu erwirken. Drei Kombinationen dieser Striche wurden für die Vertiefung selektioniert: mit kurzem Abstand, mit langem Abstand, mit langem Abstand und versetzt.¹²

Insgesamt wurden fünf Leitlinien für die Vertiefung mittels VR-Experimenten berücksichtigt. Darunter sind die bereits existierende Leitlinie, eine Strassensituation ohne Leitlinie und die drei oben beschriebenen neuen Leitlinien. Die *Tab. 11* zeigt die in den VR-Experimenten untersuchten Leitlinien.

6.1.2 Rechtsvortritt

In der Praxis werden verschiedene Gestaltungen von Rechtsvortritt eingesetzt. Es soll untersucht werden, was für eine Wirkung sie auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden haben. Zusätzlich zu den bereits aktuell verwendeten Tulpe und Belagsrosette wurde eine neue „verdeutlichte Tulpe“, eine Tulpe mit gefüllten FGSO, für die Vertiefung berücksichtigt, wie in *Tab. 12* dargestellt¹³.

¹² Die Auswahl der Art der Strichmarkierung erfolgte auf Basis Bildvergleichen in einem Pretest mit mehreren Testpersonen (n = 10).

¹³ Die Auswahl der Knotengestaltungsvarianten erfolgte ebenfalls auf Basis eines Pretests.

Tab. 11 Im VR-Experiment berücksichtigte Leitlinien-Varianten



Ohne Leitlinie



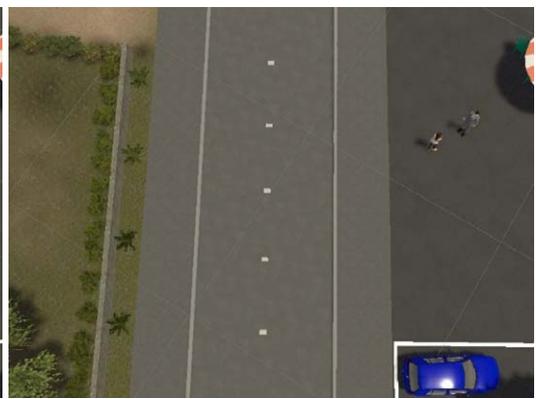
Standard Leitlinie

(Breite: 15 cm, Länge: 3 m, Abstand: 6 m)



Neue Leitlinie mit kurzem Abstand

(Breite: 30 cm, Länge: 20 cm, Abstand: 1,5 m)



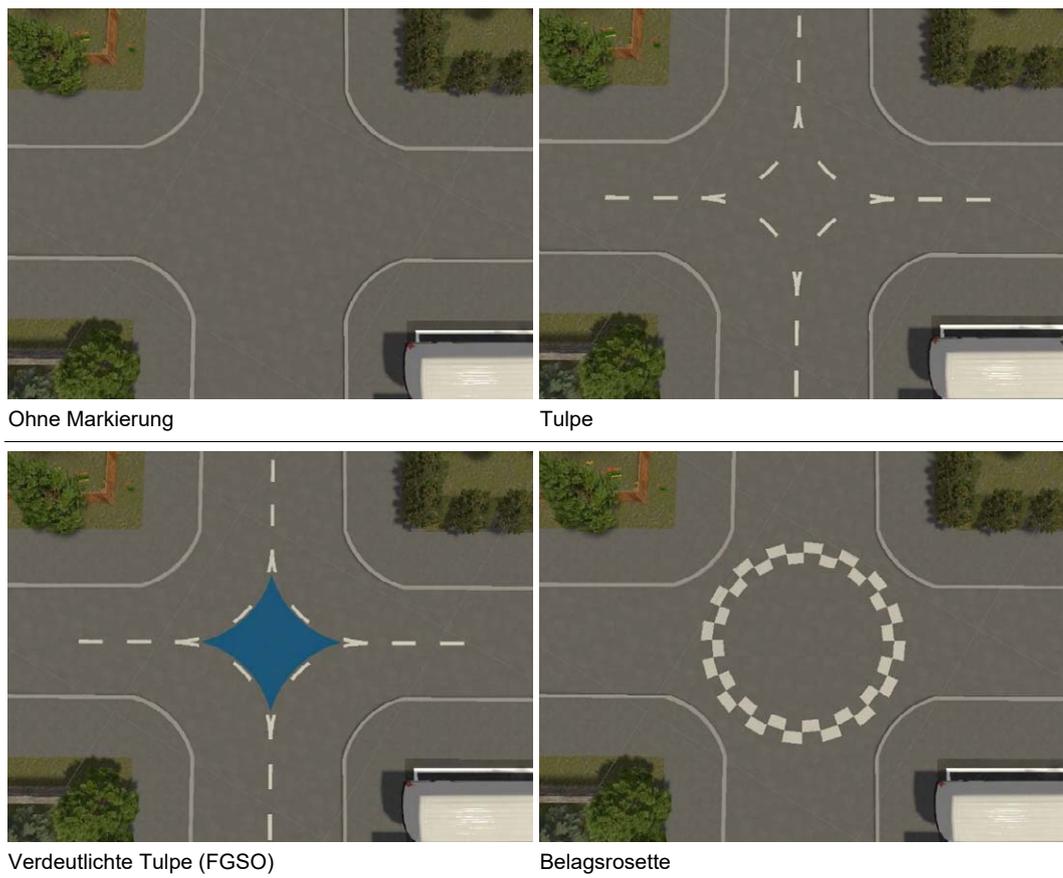
Neue Leitlinie mit langem Abstand

(Breite: 30 cm, Länge: 20 cm, Abstand: 3 m)



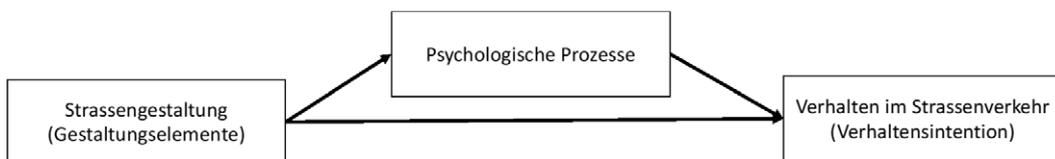
Neue Leitlinie mit langem Abstand und versetzt

(Breite: 30 cm, Länge: 20 cm, Abstand: 3 m)

Tab. 12 Im VR-Experiment berücksichtigte Varianten der Gestaltung des Rechtsvortritts

6.2 Grundlagen und Forschungsfragen

Grundlage für die Untersuchung bildet das Rahmenmodell (vgl. *Abb. 7*). Das Rahmenmodell greift die in Kapitel 2.1.1 diskutierten Grundlagen auf und postuliert einen Zusammenhang zwischen der Strassengestaltung, psychologischen Prozessen und dem Verhalten (Verhaltensintention).

**Abb. 7** Rahmenmodell der VR-Experimente

Die aus dem Modell abgeleiteten übergeordneten Fragestellungen lauten:

1. *Wie wirkt sich die Strassengestaltung auf das Verkehrsverhalten (Verhaltensintention) aus?*
2. *Wie wirkt sich die Strassengestaltung auf die psychologischen Prozesse aus?*
3. *Wie wirken sich die psychologischen Prozesse auf das Verkehrsverhalten (Verhaltensintention) aus?*

Für die Wirkungsmessung wurden für die Strassengestaltung nebst der Kontrollkonditionen unterschiedliche Elemente für die Strecke und für Knoten ausgewählt (vgl. Kap. 6.1). Dabei wurden für die Strecke nebst zwei Kontrollkonditionen (ohne und mit Standard-Leitlinie) drei neue Gestaltungselemente entwickelt (vgl. *Tab. 11*, Kap. 6.1.1):

- Breite und kurze Leitlinienmarkierung mit kurzen Abständen (nachfolgend: V7 1,5 m)
- Breite und kurze Leitlinienmarkierung mit langen Abständen (nachfolgend: V7 3 m)
- Versetzte breite und kurze Leitlinienmarkierung mit langen Abständen (nachfolgend: V10)

Für Knoten wurden folgende Gestaltungselemente für die Untersuchung ausgewählt, wobei die Tulpe gemäss Norm die Kontrollkondition darstellt und das Gestaltungselement Tulpe mit blauer flächiger Markierung (FGSO) neu entwickelt wurde (vgl. *Tab. 12*, Kap. 6.1.2):

- Knoten ohne Markierung
- Tulpe gemäss Norm
- Tulpe mit blauer flächiger Markierung (FGSO)
- Belagsrosette

Für die Untersuchung der **psychologischen Prozesse** wurde das Modell auf die folgenden kognitiven, sensorischen und Risiko-/Nutzenabwägungen Faktoren fokussiert:

- Kognitive Prozesse: Erwartete Geschwindigkeit / erwartete Vortrittsregelung
- Sensorische Prozesse: Aufmerksamkeit
- Risiko-/Nutzenabwägungen: Wahrgenommene Sicherheit

Für die Analyse des **Verhaltens im Strassenverkehr auf Basis der Verhaltensintention** wurde der Fokus auf folgende Faktoren gelegt:

- Gewählte Geschwindigkeit
- Vorsichtiges Verhalten
- Vortrittsverhalten

Die Zusammenhänge zwischen den Faktoren werden auf Basis des fokussierten Rahmenmodells dargestellt (vgl. *Abb. 8*).

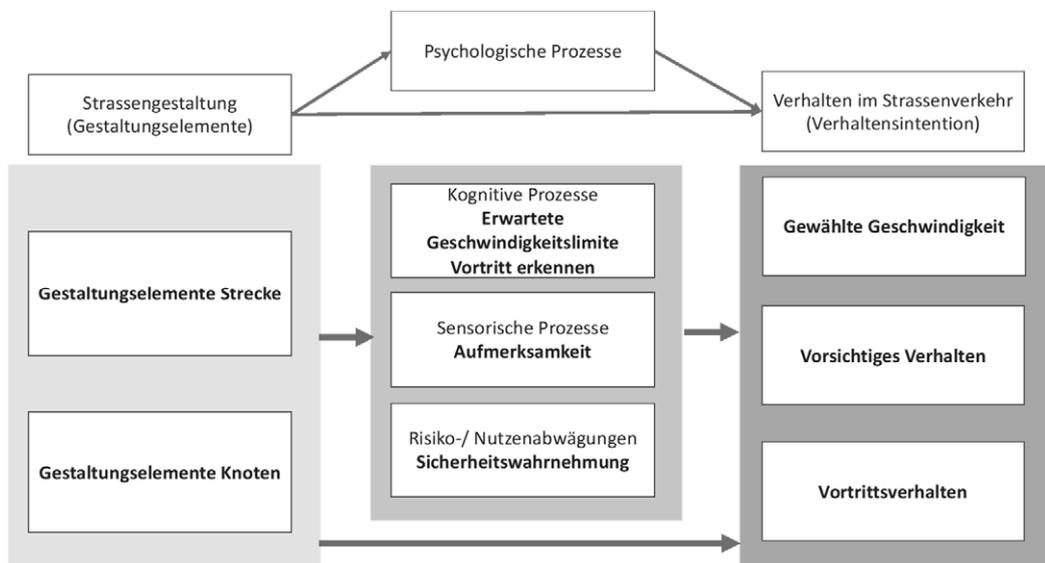


Abb. 8 Fokussiertes Rahmenmodell für das VR-Experiment

Die detaillierten Fragestellungen sind im Anhang beschrieben.

Nachfolgend wird beschrieben, wie bei den VR-Experimenten vorgegangen wurde (Methodik). Danach wird das Vorgehen der Datenauswertung und die Ergebnisse der VR-Experimente, unterteilt nach Gestaltungselementen der Strecke und Knoten, dargestellt. Zum Schluss werden die Ergebnisse zusammengefasst und die Forschungsfragen beantwortet.

6.3 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik erklärt. Dabei wird zuerst der Einsatz von VR-Fahrsimulatoren begründet, danach werden der generelle Ablauf der VR-Experimente, die Stichprobe, die eingesetzten Fragebogeninstrumente, die Programmierung der VR-Umgebung und die verwendeten Materialien erläutert.

Das Ziel der VR-Experimente war die empirische Untersuchung des Einflusses der idealtypischen Layouts (nachfolgend Strassengestaltung oder Gestaltungselemente genannt) auf die Wahrnehmung und die Verhaltensintention der Verkehrsteilnehmenden und damit auf die Verkehrssicherheit. Im Rahmen der Experimente wurde ein VR-Fahrsimulator eingesetzt.

Sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis hat sich der Einsatz von Fahrsimulatoren etabliert. Die Validität von Fahrsimulatoren als zuverlässiges Messinstrument zur Untersuchung von Fahrverhalten wird von zahlreichen Studien untermauert (Allen et al., 2017); (Kaptein et al., 1996).

Gegenüber Feldstudien erlauben VR-Experimente die kontrollierte experimentelle Manipulation relevanter Einflussfaktoren (z.B. die Strassenraumgestaltung) und die damit einhergehenden systematische Untersuchung derer kausalen Auswirkungen auf das Fahrverhalten. Weitere Vorteile ergeben sich aus der Kontrolle von weiteren Umweltfaktoren wie Wetter, Standort, und Verkehr. Als zentraler Grund für die Einsatz von Fahrsimulatoren lässt sich deren Sicherheit nennen (Lee et al., 2003).

6.3.1 Forschungsdesign

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein experimentelles Forschungsdesign entwickelt, welches eine Wirkungsmessung auf Basis von Vergleichen innerhalb einer Gruppe ermöglichte (*Within-subject Design*).

Während des Experiments betrachteten und beurteilten die Testpersonen neun Strassensituationen in VR. Nebst zwei Kontrollkonditionen für Strecken und einer für Knoten gab es je drei Experimentalkonditionen. Um das Prinzip der Koexistenz auch bei den VR-Experimenten zu berücksichtigen, wurden die Experimente mit den wichtigsten Verkehrsteilnehmendengruppen – Autofahrenden (MIV), Velofahrenden und Zufussgehenden – durchgeführt. Dies erlaubte Vergleiche zwischen Gruppen (*Between-subjects Design*).

Die Experimentalkonditionen wurden folgendermassen in 3D programmiert (vgl. *Tab. 13* für Strecken und *Tab. 14* für Knoten; mit jeweils beispielhafter Abbildung der Perspektive Autofahrende). Weitere Informationen zum Forschungsdesign finden sich im Anhang.

Tab. 13 3D Programmierung der Gestaltungselemente (neutrale Konditionen und Experimentalkonditionen), Strecke

Ohne LL (Leitlinie)



Standard LL (Leitlinie)



V7 Linienabstand 1,5 m



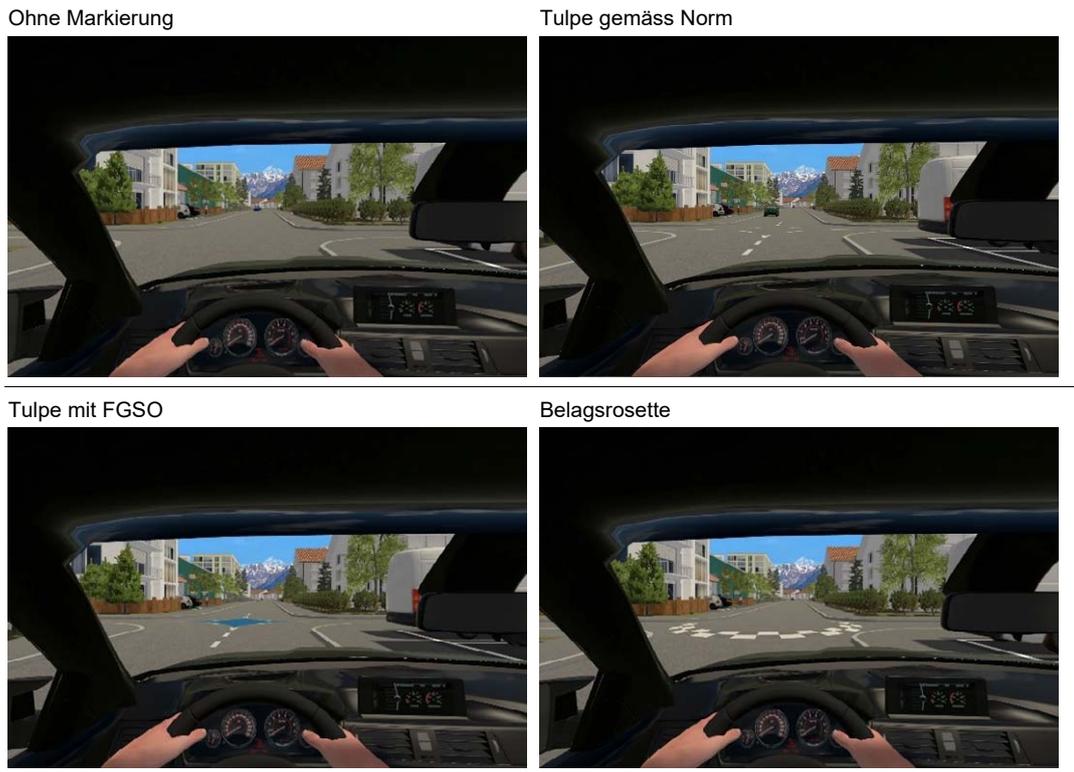
V7 Linienabstand 3 m



V10



Tab. 14 3D Programmierung der Gestaltungselemente (neutrale Konditionen und Experimentalkonditionen), Knoten



Der Ablauf der VR-Experimente gliederte sich in fünf Teile. Die Experimente fanden im Digital Innovation Lab der Hochschule für Angewandte Psychologie statt. Die Gesamtdauer des Experiments betrug ungefähr 45 Minuten.

Um eine qualitativ hochwertige und damit möglichst immersive virtuelle Umgebung zu erstellen, kamen verschiedene Hard- und Software-Komponenten zum Einsatz (vgl. Abb. 9). Bei der Hardware fiel der Entscheid auf eine PC-VR Lösung. Dabei wird das dargestellte Bild in der Brille auf einer High-End-Grafikkarte gerendert und ans Head-Mounted Display (HMD) übertragen. Dies hat den Vorteil gegenüber einer mobilen Lösung, dass wesentlich realistischere Umgebungen, die mehr Rechenleistung benötigen, dargestellt werden können.



Abb. 9 Virtual Reality Setup für das VR-Experiment

Für die Simulation wurde eine Strasse nach Vorbild einer typischen Schweizer Agglomeration nachgebaut. Diese besteht aus zwei Kreuzungen und einer geraden Strecke, die in einer Kurve ausläuft.

Die zwei unterschiedlichen Situationstypen (Strecke oder Knoten), können aus einer Perspektive (Auto, Velo, zu Fuss) erlebt werden.

6.3.2 Stichprobe

Die Stichprobe für das VR-Experiment umfasste insgesamt 72 Personen. Eine Person musste von der Datenanalyse ausgeschlossen werden, weil zu viele Angaben im Fragebogen ausgelassen wurden ($n = 1$). Die finale Stichprobe umfasste somit 71 Personen. *Tab. 15* zeigt die Verteilung der Stichprobe im Total betreffend Geschlecht, Alter und Wohnort gesamthaft und pro Perspektive. Rund die Hälfte der Teilnehmenden waren Frauen (46%), das Alter der Teilnehmenden variierte von 18 bis 65 Jahre. Rund 50% wurden der Perspektive Auto, und je 25% jeweils der Perspektive Velo oder zu Fuss zugeordnet.

Tab. 15 Stichprobenstruktur hinsichtlich Demografie und Perspektive

Merkmale	Ausprägung	Anzahl gesamt		Anzahl Personen Auto		Anzahl Personen Velo		Anzahl Personen Zu Fuss	
		n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Gesamt</i>		71	100%	34	48%	20	28%	17	24%
Geschlecht	Männlich	38	54%	21	62%	10	50%	7	41%
	Weiblich	33	46%	13	13%	10	50%	10	59%
Alter	18–35 Jahre	22	31%	11	32%	8	40%	3	18%
	36–50 Jahre	23	32%	10	30%	6	30%	7	41%
	51–65 Jahre	26	37%	13	38%	6	30%	7	41%
Wohnort	Stadt	21	30%	11	32%	6	30%	4	23%
	Agglomeration/ Städtische Ge- meinde	27	38%	15	44%	9	45%	3	18%
	Auf dem Land	22	31%	8	24%	4	20%	10	59%

Bedingungen für eine Teilnahme waren je nach Perspektive der Besitz des Auto-Führerscheins und eine Auto-Fahrpraxis von mindestens einmal pro Monat (Perspektive Auto), eine Velo-Fahrpraxis von mindestens einmal pro Monat (Perspektive Velo) oder keine Geh- oder Stehbehinderung (Perspektive zu Fuss). Ausserdem wurden Personen mit einer starken Neigung zu Reiseübelkeit aus der Befragung ausgeschlossen. Die Voraussetzungen wurden mittels Screening Fragebogen erhoben. Weitere Angaben zur Stichprobe finden sich im Anhang.

6.3.3 Fragebogen

Der Fragebogen setzte sich aus zwei Teilen zusammen: Erstens erfolgte eine Abfrage der Wahrnehmung und Verhaltensintention in Bezug auf die erlebten Strassensituationen. Zweitens wurden im Schlussfragebogen relevante Kontrollvariablen und die Demografie der Testpersonen erhoben.

Im ersten Teil beantworten die Studienteilnehmenden jeweils nach jeder der neun Strassensituationen Fragen zu dieser erlebten Strassensituation. Der Fragebogen wurden in dreifacher Variation erstellt, für jede Perspektive ein Fragebogen (Auto, Velo oder zu Fuss).

Die Fragen zu den zu erfassenden Variablen resp. Konstrukten variieren in Auswahl, Formulierung und Anzahl, je nach erlebter Perspektive oder Situationstyp. *Tab. 16* gibt eine Übersicht der Konstrukte, mit denen die Wahrnehmung der Strassengestaltung sowie die Verhaltensintention erhoben wurden. In der Tabelle ist weiter ersichtlich für welche Perspektiven (Auto, Velo oder zu Fuss) die Konstrukte erhoben wurden. Die Beurteilung erfolgt auf Basis eines Bildes der jeweils soeben erlebten Strassensituation mit dem jeweiligen

Gestaltungselement. Ein Geschwindigkeitsschild war nie sichtbar. Für die Formulierung der Items vgl. die Fragebögen im Anhang.

Die Schlussbefragung dient zur Erfassung der Kontrollvariablen «Erleben Virtual Reality Umgebung», «Allgemeines Verkehrsverhalten», «Fahrpraxis Auto», «Fahrpraxis Velo», «Erfahrung VR/Gaming» und «Demografische Angaben».

Tab. 16 Erhobene Konstrukte pro Gestaltungselement (Strassensituation)

Konstrukte	Auto	Velo	Zu Fuss	Quelle
Erwartete Geschwindigkeit	X	X	X	(Goldenbeld & van Schagen, 2007).
Gewählte Geschwindigkeit	X			Eigene Formulierung
Benötigte Aufmerksamkeit	X	X	X	Eigene Formulierung
Vorsichtiges Verhalten	X	X	X	Eigene Formulierung
Subjektive Sicherheit	X	X	X	(Wang et al., 2019)
Bereitschaft Velo zu fahren		X		Eigene Formulierung
Nur bei Knoten erhoben:				
Einschätzung Vortrittsregelung	X	X		Eigene Formulierung
Sicherheit bez. Vortrittsregelung	X	X		Eigene Formulierung
Erkennbarkeit Knoten	X	X		Eigene Formulierung
Verhalten bei Knoten	X	X		Eigene Formulierung

6.4 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der VR-Experimente und damit der Befragungen dargelegt. Bei den Auswertungen werden die experimentellen Konditionen jeweils mit den neutralen Konditionen verglichen. Die Auswertung erfolgte auf Basis von deskriptiven und vergleichenden Analysen. Bei den vergleichenden Analysen wurden parametrische Tests eingesetzt (Mittelwertsvergleich: T-Tests). Wenn die Voraussetzungen für T-Tests nicht erfüllt waren, wurden nicht-parametrische Verfahren (Vergleiche der zentralen Tendenz) eingesetzt. Das Kapitel ist unterteilt nach Gestaltungselementen der Strecke und des Knotens.

Die Ergebnisse sind gemäss den Fragestellungen in Kapitel 6.3.1 in folgende Themen unterteilt:

- Wirkung der Strasseninfrastruktur auf das Verhalten (analysiert auf Basis von Mittelwertsvergleichen, respektive Vergleiche der zentralen Tendenz):
 - Gewählte Geschwindigkeit
 - Vorsichtiges Verhalten
 - Nur bei Knoten: Verhalten beim Knoten
 - Bereitschaft, Velo zu fahren
- Wirkung der Strasseninfrastruktur auf die psychologischen Prozesse (analysiert auf Basis von Mittelwertsvergleichen):
 - Erwartete Geschwindigkeit
 - Aufmerksamkeit
 - Subjektive Sicherheit
 - Nur bei Knoten: Vortritt beim Knoten
 - Nur bei Knoten: Erkennbarkeit Knoten
- Wirkung der psychologischen Prozesse auf das Verhalten (analysiert auf Basis von Zusammenhangsanalysen: Korrelationen).

6.4.1 Ergebnisse Strecke

Bei der Strecke wurde die Wirkung auf psychologische Prozesse und Verhalten im Strassenverkehr von drei experimentellen Konditionen (Gestaltungselemente: «V7 mit

«Linienabstand 1,5 m», «V7 mit Linienabstand 3 m» und «V10») im Vergleich zu zwei neutralen Konditionen (Kontrollkonditionen: Gestaltungselemente: «ohne Leitlinie», «Standard-Leitlinie») untersucht.

Gewählte Geschwindigkeit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie schnell sie in den Strassensituationen tatsächlich fahren würden. Diese Frage wurde nur in der Perspektive Auto gestellt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in Tab. 17 aufgeführt.

Tab. 17 Strecke. Gewählte Geschwindigkeit. Vergleich der Gestaltungselemente. Perspektive Auto

	Kontrollkonditionen		Experimentelle Konditionen		
	ohne Leitlinie	Standard-Leitlinie	V7 Linienabstand 1,5 m	V7 Linienabstand 3 m	V10 Linienabstand 3 m
Mittelwert	41.5 km/h	44.8 km/h	42.6 km/h	43.5 km/h	38.7 km/h
Standardabweichung	10.6 km/h	9.3 km/h	9.6 km/h	9.2 km/h	9.2 km/h

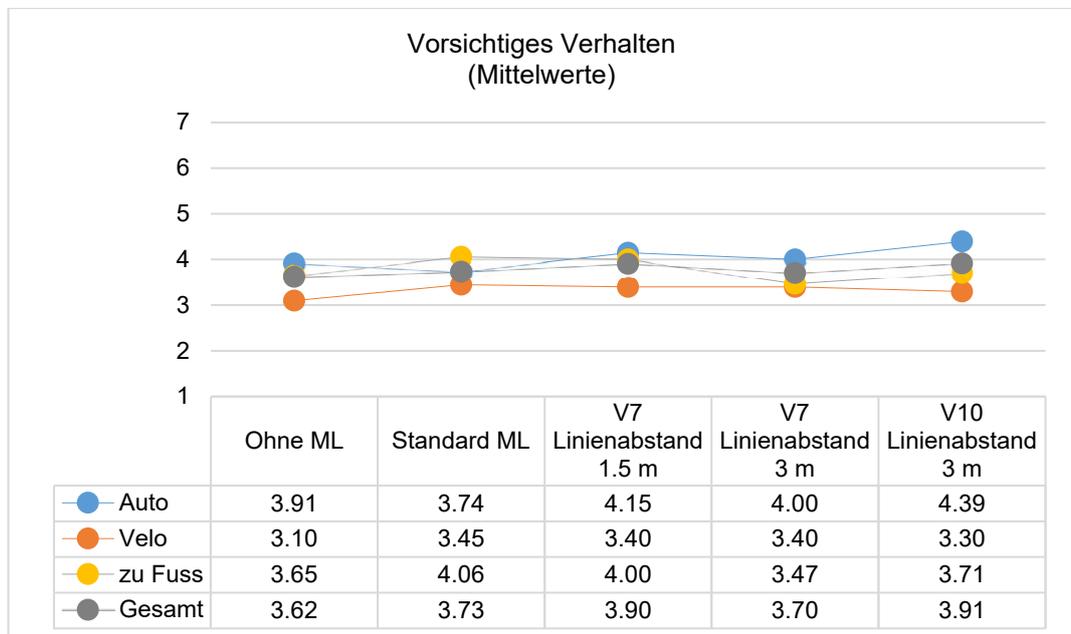
Frage: «Wie schnell würden Sie – unabhängig von der geltenden Geschwindigkeitslimite – hier fahren?»
 Offene Angabe
 n = 34

Bei «ohne Leitlinie» und «V10» fahren die Testpersonen aus Perspektive Auto am langsamsten und damit am ehesten 30 km/h schnell.

Vorsichtiges Verhalten

Nachfolgend werden die Ergebnisse zum vorsichtigen Verhalten dargestellt Abb. 10.

¹Anmerkung: Gesamt n = 71; Auto n = 34; Velo n = 20, zu Fuss n = 17



Anmerkung: Gesamt n = 71; Auto n = 34; Velo n = 20, zu Fuss n = 17

Abb. 10 Strecke. Vorsichtiges Verhalten. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwertskala

Bei der Auswertung der Antworten aller Testpersonen liessen sich keine Unterschiede der Gestaltungselemente im Vergleich zu «ohne Leitlinie» oder «Standard-Leitlinie» feststellen.

Es zeigen sich nur für Autofahrende signifikante Unterschiede. Sie würden sich in «V10» signifikant vorsichtiger verhalten als bei den neutralen Konditionen «ohne Leitlinie» und «Standard-Leitlinie».

Das neue Gestaltungselement «V10» führt also am ehesten dazu, dass sich die Testpersonen besonders aus Perspektive Auto vorsichtig verhalten würden.

Es ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Gestaltungselementen hinsichtlich der Bereitschaft der Testpersonen, mit dem Velo zu fahren. Die Bereitschaft ist bei allen Gestaltungselementen recht hoch.

Erwartete Geschwindigkeit

Bei der Auswertung der erwarteten Geschwindigkeit wurden zuerst die Verteilungen in den Antworten betrachtet. In Abb. 11 bis Abb. 15 wird ersichtlich, dass bei allen Gestaltungselementen die meisten Testpersonen eine Geschwindigkeitslimite von 30 km/h oder 50 km/h erwarten.

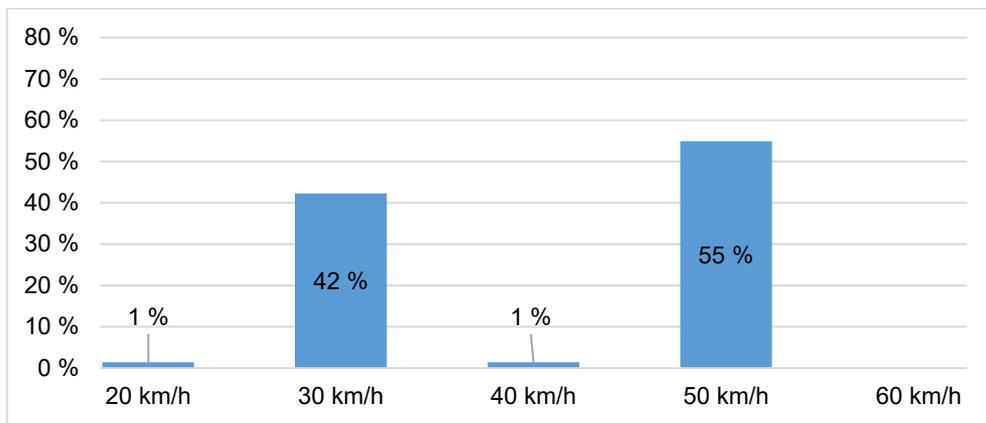


Abb. 11 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Ohne Leitlinie. Verteilung. n = 71

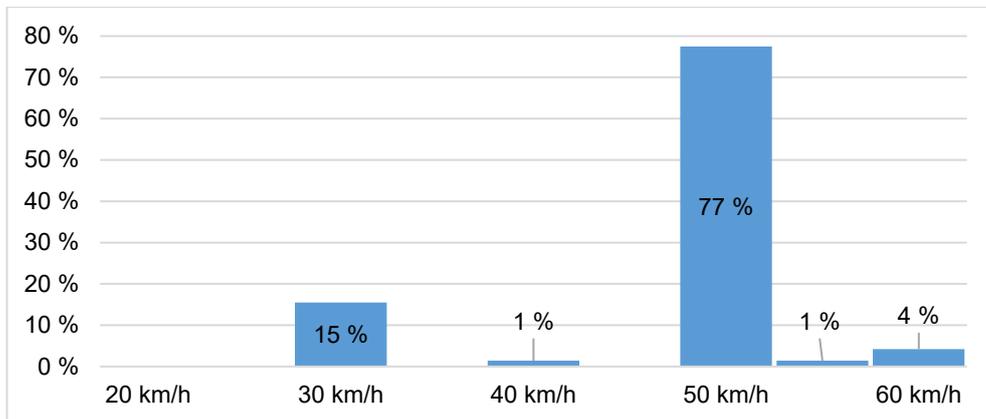


Abb. 12 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Standard-Leitlinie. Verteilung. n = 71

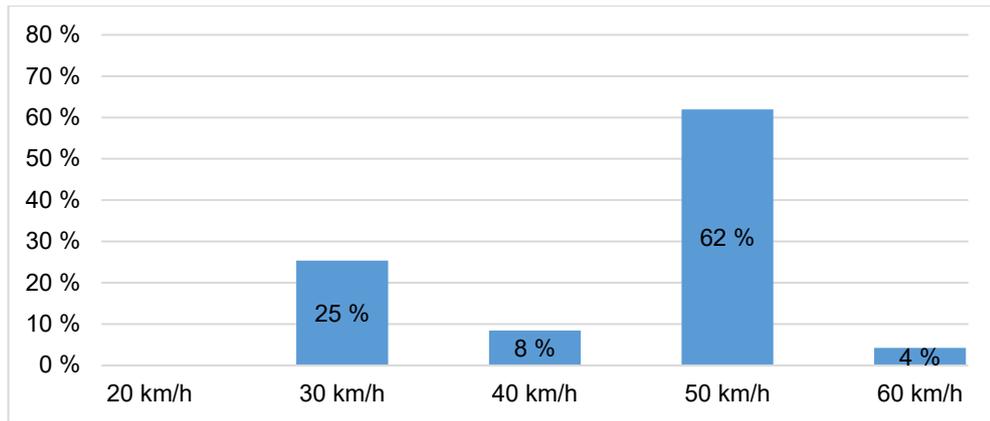


Abb. 13 Erwartete Geschwindigkeitslimite. V7 mit Linienabstand 1,5 m. Verteilung. n = 71

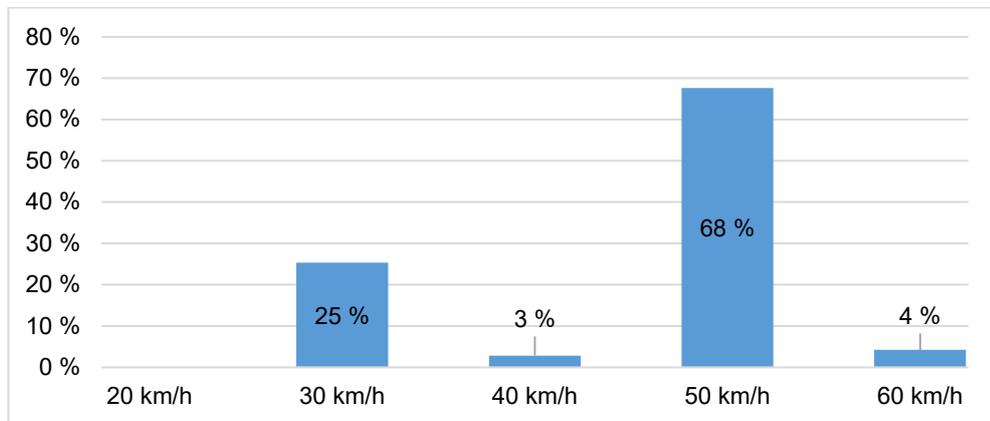


Abb. 14 Erwartete Geschwindigkeitslimite. V7 mit Linienabstand 3 m. Verteilung. n = 71

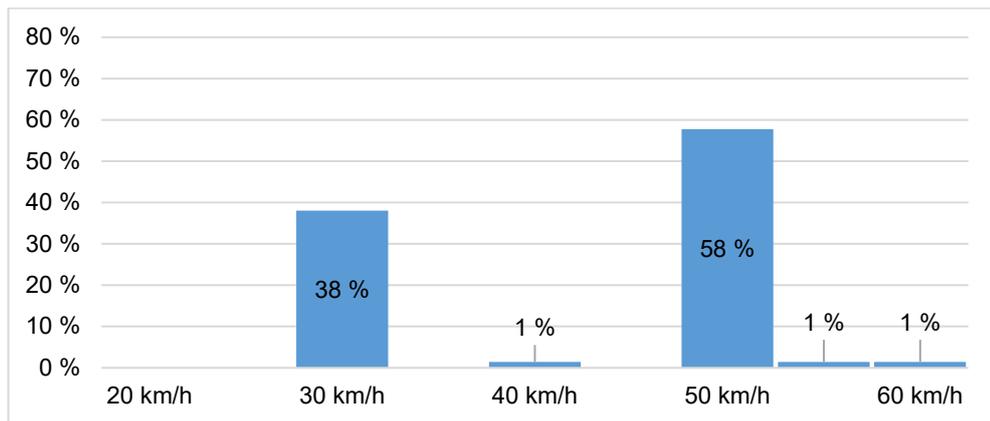


Abb. 15 Erwartete Geschwindigkeitslimite. V10. Verteilung. n = 71

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden nicht-parametrische Tests gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen die Geschwindigkeitslimite im Vergleich zu «ohne Leitlinie» bei «Standard-Leitlinie», bei «V7 mit Linienabstand 1,5 m» und bei «V7 mit Linienabstand 3 m» als signifikant höher einschätzen. «V10» und «ohne Leitlinie» unterscheiden sich nicht signifikant. Im weiteren Vergleich mit der «Standard-Leitlinie» schätzen die Testpersonen die Geschwindigkeitslimite bei «V7 mit Linienabstand 1,5 m», «V7 mit Linienabstand 3 m» und «V10» signifikant tiefer ein.

Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Perspektiven Auto, zu Fuss und Velo.

«Ohne Leitlinie» und «V10» bringen die Testpersonen also am ehesten dazu, eine vorgeschriebene Geschwindigkeitslimite von 30 km/h zu erwarten.

Die Testpersonen sind bei der «Standard-Leitlinie» am sichersten bei ihrer Einschätzung der geltenden Geschwindigkeitslimite. Bei «ohne Leitlinie» sind sie sich weniger sicher als bei anderen Gestaltungselementen.

Aufmerksamkeit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie stark sie sich auf die Strassensituation konzentrieren müssen, wie viel Aufmerksamkeit das Gestaltungselement also erforderte.

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen im Vergleich zu «ohne Leitlinie» bei «V10» signifikant mehr Aufmerksamkeit benötigen.

Vor allem «V10» benötigt am meisten Aufmerksamkeit. Bei der Betrachtung der Antworten der Autofahrenden zeigte sich, dass alle neuen Gestaltungselemente mehr Aufmerksamkeit benötigen.

Subjektive Sicherheit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie sicher sie sich in der jeweiligen Strassensituation fühlen, wobei sich «sicher» auf die Verkehrssicherheit bezog. Es zeigte sich, dass die Testpersonen im Vergleich zu «ohne Leitlinie» sich bei «V10» weniger sicher fühlen. Im Vergleich zu «Standard-Leitlinie» ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Einschätzung der Testpersonen.

Im Weiteren wurden die gleichen Tests für Testpersonen der jeweiligen drei Perspektiven separat voneinander gerechnet. Hier zeigten sich für Autofahrende keine signifikanten Unterschiede im Vergleich mit «ohne Leitlinie», dafür aber im Vergleich zu «Standard-Leitlinie»: Sie fühlen sich bei «V7 mit Linienabstand 1,5 m» und «V10» weniger sicher.

Das neue Gestaltungselement «V10» führt also zu niedrigerer subjektiver Sicherheit. Für die Autofahrenden führen ebenfalls die zwei anderen neuen Gestaltungselemente, «V7 mit Linienabstand 1,5 m» und «V10», zu niedrigerer subjektiver Sicherheit, allerdings nur im Vergleich zum «Standard-Leitlinie».

Wirkung der Wahrnehmung auf das Verhalten

Um die Wirkung der psychologischen Prozesse auf das Verhalten zu messen, wurden Zusammenhangsanalysen (Korrelationen) gerechnet. Die gerechneten Zusammenhänge beziehen sich auf das fokussierte Rahmenmodell (vgl. Kap. 6.2). Tab. 18 zeigt die Korrelationen im Überblick.

Die Analysen zeigten folgende Ergebnisse:

- Die Aufmerksamkeit korreliert mit der erwarteten Geschwindigkeit bei «ohne Leitlinie».
- Die Aufmerksamkeit korreliert mit dem vorsichtigen Verhalten bei allen Gestaltungselementen.
- Die subjektive Sicherheit korreliert negativ mit der erwarteten Geschwindigkeit bei «ohne Leitlinie», d.h. je tiefer die erwartete Geschwindigkeit, desto sicherer fühlen sich die Testpersonen oder umgekehrt.
- Die subjektive Sicherheit korreliert negativ mit vorsichtigem Verhalten über alle Gestaltungselemente hinweg, stärker jedoch bei «V7 mit Linienabstand 1,5 m», «V7 mit Linienabstand 3 m» und «V10».

- Bei «*Standard-Leitlinie*» korreliert vorsichtiges Verhalten mit der gewählten Geschwindigkeit signifikant negativ.

Tab. 18 Strecke. Wirkung der Wahrnehmung auf das Verhalten. Überblick Korrelationen

Zusammenhang zwischen	Ohne Leitlinie	Standard Leitlinie	V7 Linienabstand 1,5 m	V7 Linienabstand 3 m	V10
Korrelationskoeffizient nach Spearman: r*					
Aufmerksamkeit x erwartete Geschwindigkeit	.253	-	-	-	-
Aufmerksamkeit x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-	-	-	-	-
Aufmerksamkeit x vorsichtiges Verhalten	.579	.788	.847	.822	.820
Sicherheit x erwartete Geschwindigkeit	-.283	-	-	-	-
Sicherheit x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-	-	-	-	-
Sicherheit x vorsichtiges Verhalten	-.324	-.360	-.532	-.522	-.494
Vorsichtiges Verhalten x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-	-.507	-	-	-
*Spearman rho (ρ): ≤ -1 r ≤ 1 r = 0: kein Zusammenhang r = 1/-1: perfekter Zusammenhang r nur eingetragen, wenn auf Niveau 0.01 oder 0.05 beidseitig signifikant			*Einstufung nach Cohen r = .10 schwacher Effekt r = .30 mittlerer Effekt r = .50 starker Effekt		

Anmerkung: n = 54 - 71

6.4.2 Ergebnisse Knoten

Beim Knoten wurde die Wirkung auf Wahrnehmung und Verhalten im Strassenverkehr von drei experimentellen Konditionen (Gestaltungselemente: «*Tulpe gemäss Norm*», «*Tulpe mit FGSO*», «*Belagsrosette*») im Vergleich zu einer neutralen Kondition (Gestaltungselement: «*ohne Markierung*») untersucht.

Gewählte Geschwindigkeit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie schnell sie in den Strassensituationen tatsächlich fahren würden. Diese Frage wurde nur in der Perspektive Autofahrende gestellt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in *Tab. 19* aufgeführt.

Tab. 19 Knoten. Gewählte Geschwindigkeit. Vergleich der Gestaltungselemente. Perspektive Auto

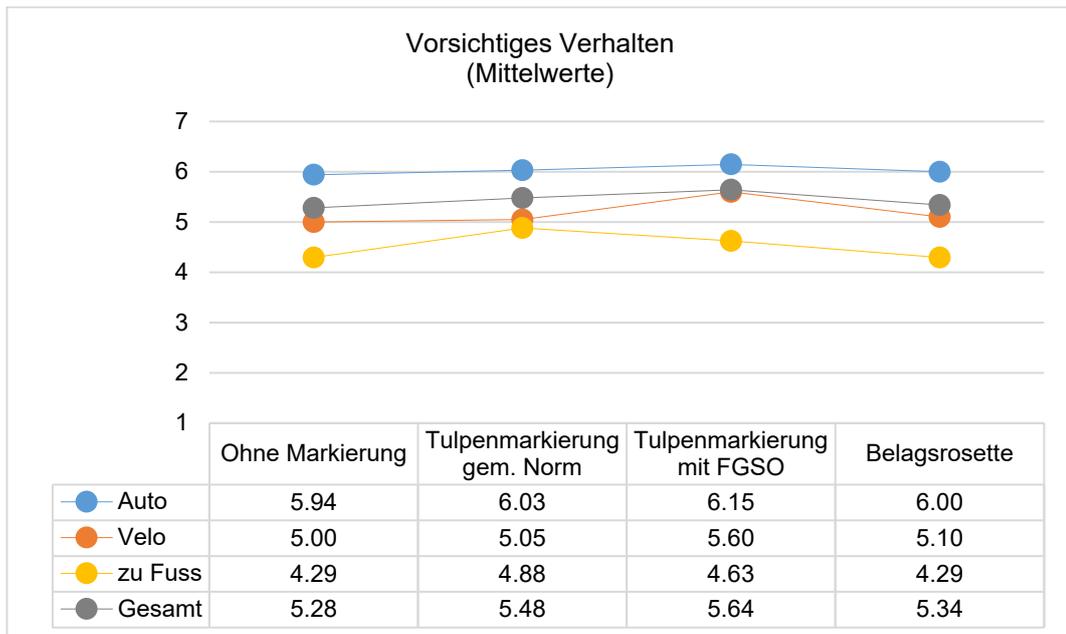
	Neutrale Kondition	Experimentelle Konditionen		
	ohne Markierung	Tulpe gemäss Norm	Tulpe mit FGSO	Belagsrosette
Mittelwert	26.1 km/h	26.4 km/h	24.1 km/h	22.6 km/h
Standardabweichung	7.8 km/h	10.6 km/h	7.0 km/h	7.2 km/h
Frage: «Wie schnell würden Sie – unabhängig von der geltenden Geschwindigkeitslimite – hier fahren?» Offene Angabe n = 34				

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden hier ebenfalls nicht-parametrische Tests gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen bei der «Belagsrosette» signifikant langsamer fahren würden als bei «ohne Markierung» und bei der «Tulpe gemäss Norm».

Bei der «Belagsrosette» und «Tulpe mit FGSO» würden die Testpersonen aus Perspektive Auto am langsamsten fahren und damit am ehesten 30 km/h wählen.

Vorsichtiges Verhalten

Nachfolgend werden die Ergebnisse zum vorsichtigen Verhalten erläutert. Abb. 16 zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.



Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$

Abb. 16 Knoten. Vorsichtiges Verhalten. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Bei allen Gestaltungselementen würden sich die Autofahrenden signifikant vorsichtiger verhalten als die Velofahrenden und die Zufussgehenden.

Verhalten beim Knoten

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie sie sich bei der Knotensituation verhalten würden.

Es zeigte sich, dass die Testpersonen im Vergleich zu «ohne Markierung» bei «Tulpe gemäss Norm» und bei «Belagsrosette» signifikant weniger häufig weit nach vorne schauen. Ausserdem würden die Testpersonen bei der «Tulpe gemäss Norm» signifikant weniger häufig weit nach vorne schauen als bei der «Belagsrosette». Bei der Bremsbereitschaft (bremsbereit sein) zeigte sich nur ein signifikanter Unterschied: Die Testpersonen sind bei der «Tulpe mit FGSO» eher bremsbereit als bei der «Belagsrosette». Bei der Frage, ob man nach rechts schauen würde, zeigte sich ein Unterschied im Vergleich zu «ohne Markierung»: Die Testpersonen würden bei der «Belagsrosette» weniger nach rechts schauen. Zudem würden die Testpersonen bei der «Tulpe gemäss Norm» signifikant häufiger nach rechts schauen als bei der «Belagsrosette». Bei der Frage, ob man nach links schauen

würde, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur neutralen Kondition oder zwischen den experimentellen Konditionen.

Erwartete Geschwindigkeit

Bei der Auswertung der erwarteten Geschwindigkeit wurden zuerst die Verteilungen in den Antworten betrachtet. In Abb. 17 bis Abb. 20 wird ersichtlich, dass bei allen Gestaltungselementen die meisten Testpersonen eine Geschwindigkeitslimite von 30 km/h oder 50 km/h erwarten.

Die Resultate von Verteilungen der erwarteten Geschwindigkeitslimite widerspiegeln sich in den Mittelwerten: «*Ohne Markierung*» und «*Belagsrosette*» mit den niedrigsten Mittelwerten weisen einen höheren Anteil der Antworten bei 30 km/h als die anderen Gestaltungselemente auf. Die «*Tulpe gemäss Norm*» und die «*Tulpe mit FGSO*» mit den höchsten Mittelwerten weisen einen höheren Anteil der Antworten bei 50 km/h als die anderen Gestaltungselemente auf.

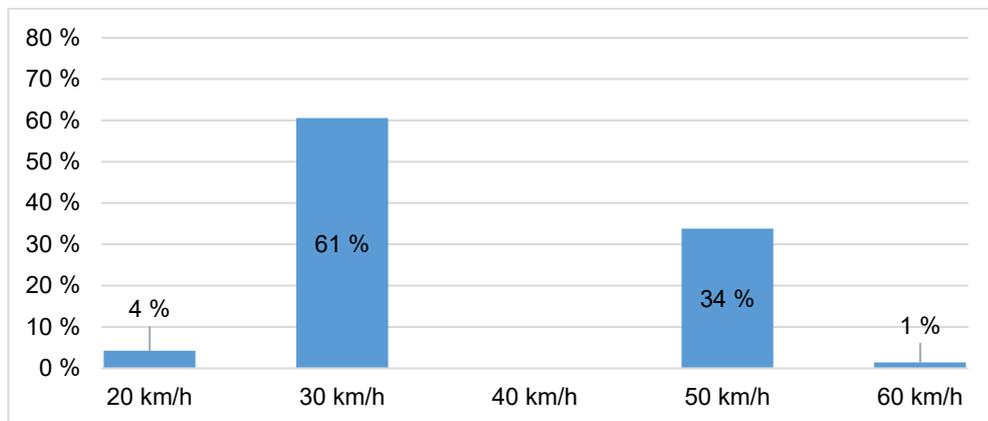


Abb. 17 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Ohne Markierung. Verteilung. $n = 71$

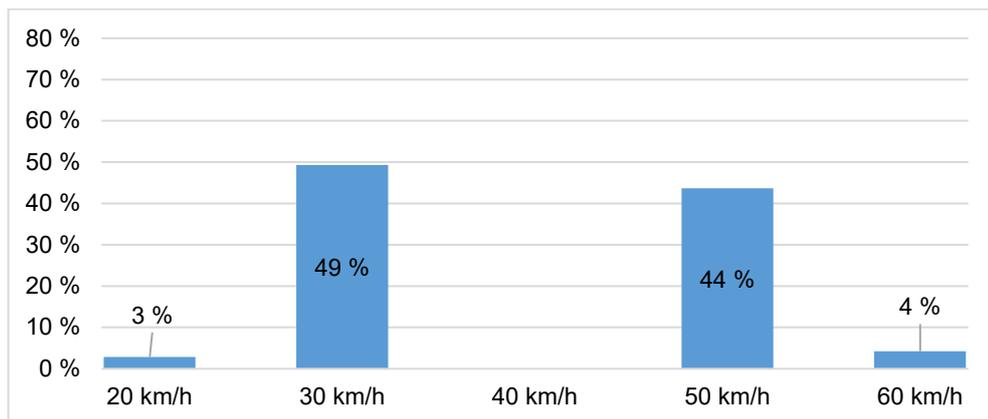


Abb. 18 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Tulpe gemäss Norm. Verteilung. $n = 71$

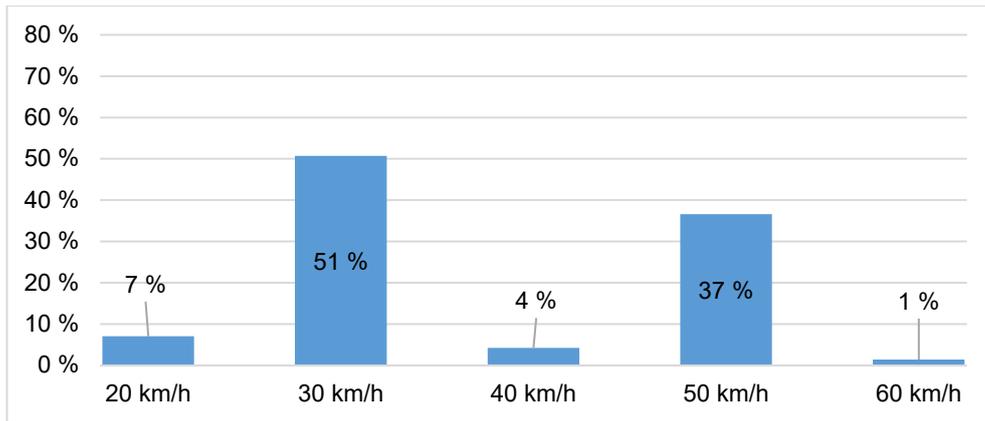


Abb. 19 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Tulpe mit FGSO. Verteilung. $n = 71$

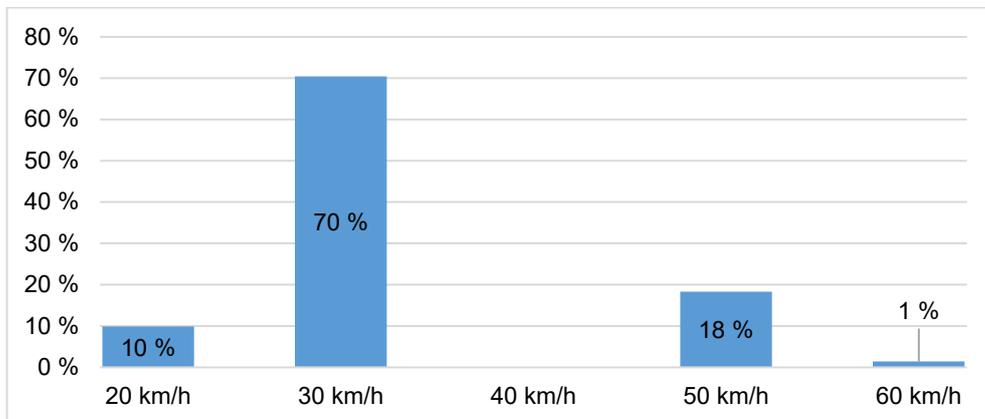


Abb. 20 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Belagsrosette. Verteilung. $n = 71$

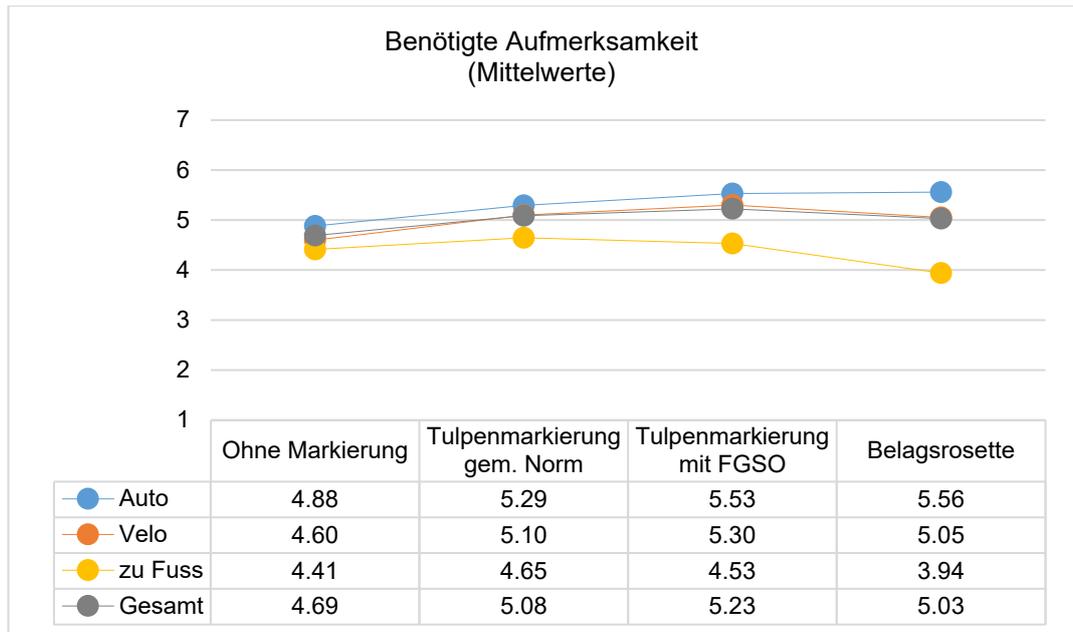
Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden nicht-parametrische Tests gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen die Geschwindigkeitslimite im Vergleich mit «ohne Markierung» bei der «Belagsrosette» als signifikant tiefer einschätzen, während sich die Tulpenmarkierungen, «Tulpe gemäss Norm» und «Tulpe mit FGSO» nicht unterscheiden. Bei einem zusätzlichen Vergleich der Tulpenmarkierungen mit der «Belagsrosette» zeigte sich ein signifikanter Unterschied: die Testpersonen schätzen die Geschwindigkeitslimite beider Tulpenmarkierungen als signifikant höher ein.

Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Perspektiven Auto, Velo und zu Fuss.

Die «Belagsrosette» bringt die Testpersonen also am ehesten dazu, eine vorgeschriebene Geschwindigkeitslimite von 30 km/h zu erwarten.

Aufmerksamkeit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie stark sie sich auf die Strassensituation konzentrieren müssen, also wie viel Aufmerksamkeit das Gestaltungselement erfordert. In Abb. 21 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Gesamtperspektiven und die einzelnen Perspektiven separat aufgeführt



Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$

Abb. 21 Knoten. Benötigte Aufmerksamkeit. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwertskala; «überhaupt nicht sicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen im Vergleich zu «ohne Markierung» bei «Tulpe gemäss Norm» und «Tulpe mit FGSO» signifikant mehr Aufmerksamkeit benötigen.

Im Weiteren wurden die gleichen Tests für Testpersonen der jeweiligen drei Perspektiven separat voneinander gerechnet. Die Autofahrenden benötigten im Vergleich zu «ohne Markierung» nur bei einer der Tulpenmarkierungen mehr Aufmerksamkeit, nämlich bei «Tulpe mit FGSO». Darüber hinaus benötigen sie auch bei der «Belagsrosette» mehr Aufmerksamkeit als bei «ohne Markierung». Die Velofahrenden benötigen nur bei der «Tulpe mit FGSO» mehr Aufmerksamkeit als bei «ohne Markierung». Bei den Zufussgehenden wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden.

Subjektive Sicherheit

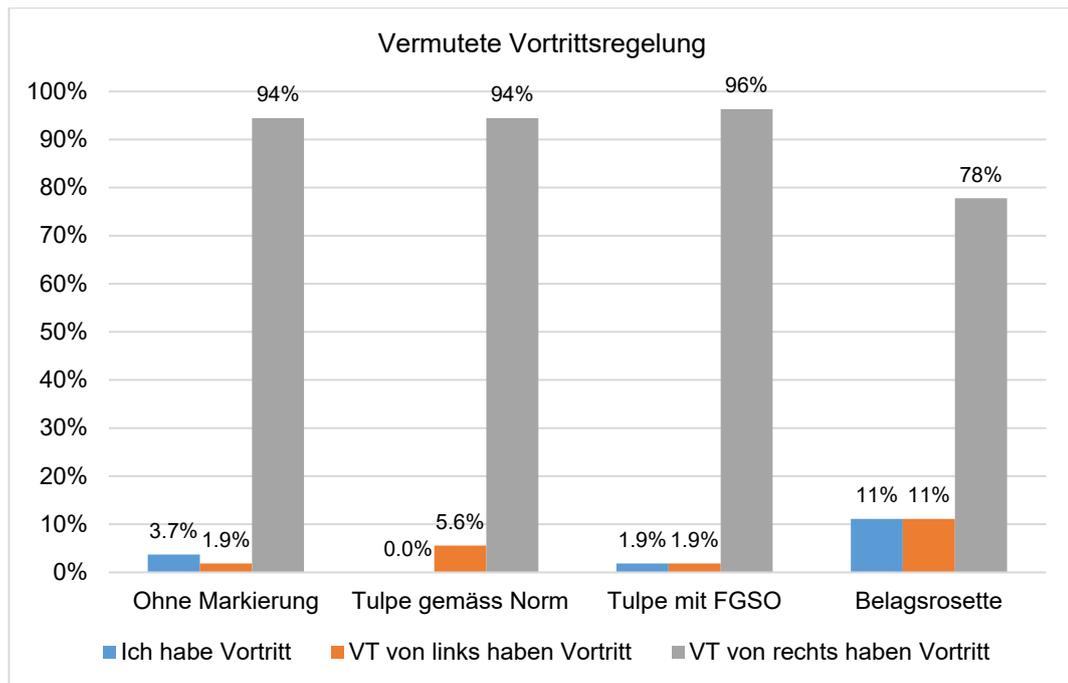
Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie sicher sie sich in der jeweiligen Strassensituation fühlen, wobei sich «sicher» auf die Verkehrssicherheit bezog.

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Einschätzung der Testpersonen dazu, wie sicher sie sich bei den Gestaltungselementen fühlen.

Insgesamt fühlen sich die Testpersonen bei allen Gestaltungselementen recht sicher bezüglich der Verkehrssicherheit.

Vortritt beim Knoten

Nachfolgend werden die Ergebnisse zur Einschätzung der Testpersonen der geltenden Vortrittsregelung erläutert. Dazu wurden nur die Autofahrenden und Velofahrenden befragt. Die Antworthäufigkeiten sind in Abb. 22 dargestellt.

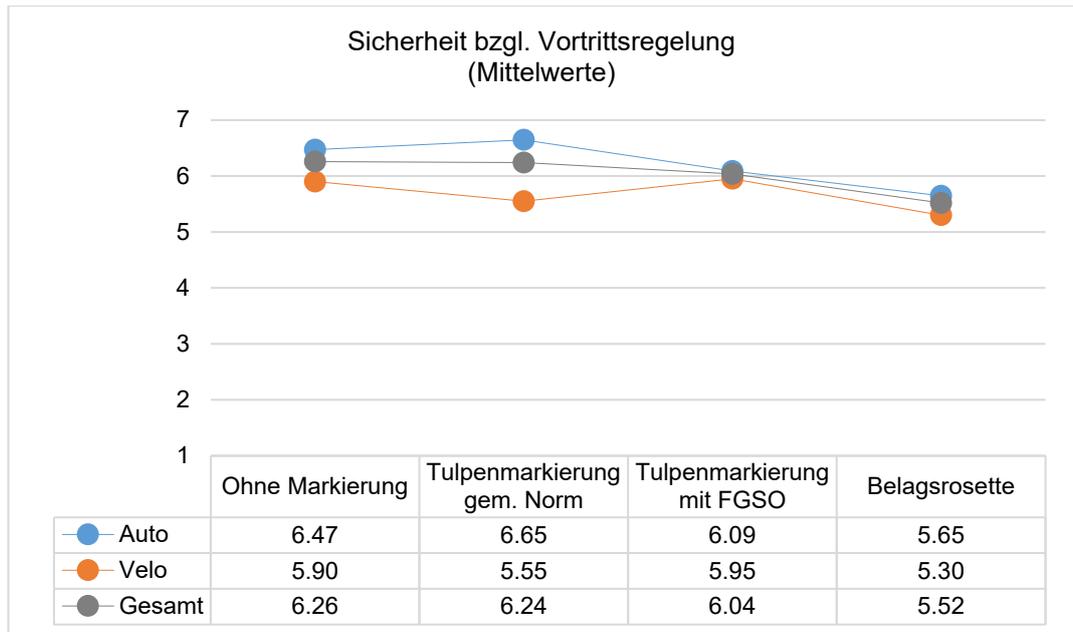


Anmerkung: VT = Verkehrsteilnehmende

Abb. 22 Knoten. *Vermutete Vortrittsregelung. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung Antworthäufigkeiten. Nominale Skala mit Einfachantwort. n = 54*

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden die Antworthäufigkeiten für die vermutete Vortrittsregelung der Gestaltungselemente mittels Chi-Quadrat-Test verglichen. Es zeigte sich, dass die Testpersonen bei der «Belagsrosette» signifikant häufiger angeben, dass Verkehrsteilnehmende von links oder sie selbst Vortritt hätten.

Darüber hinaus wurde abgefragt, wie sicher sich die Testpersonen bei der Angabe der Vortrittsregelung für die Gestaltungselemente sind. Dazu wurden ebenfalls nur die Autofahrenden und Velofahrenden befragt. Die Abb. 23 zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.



Anmerkung: Gesamt $n = 54$; Auto $n = 34$; Velo $n = 2$

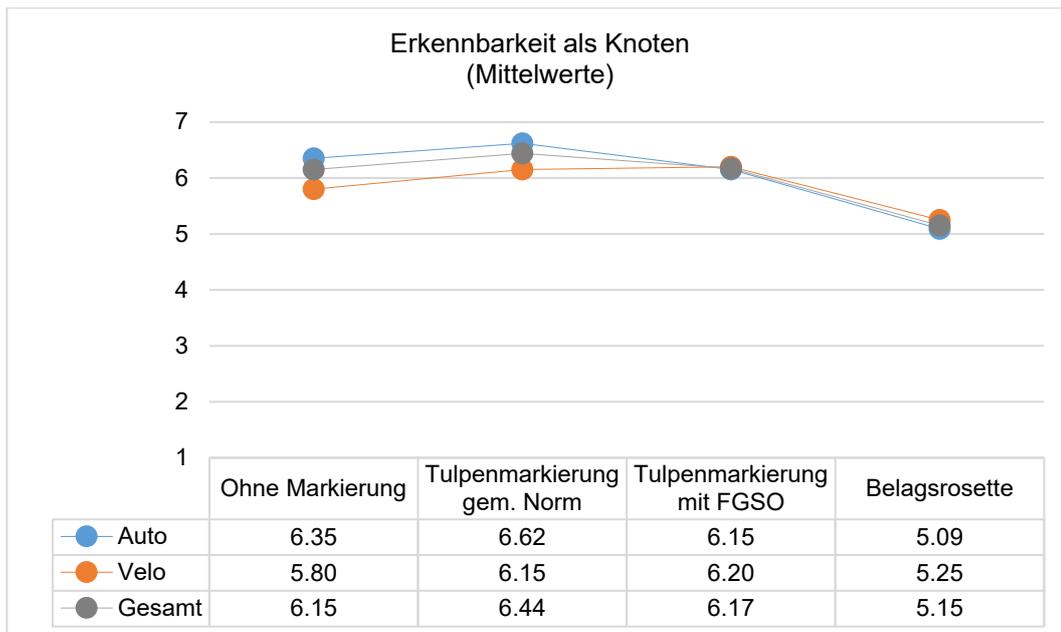
Abb. 23 Knoten. Sicherheit bzgl. Vortrittsregelung. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala; «überhaupt nicht sicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass sich die Testpersonen bei der «Belagsrosette» signifikant weniger sicher sind bezüglich der Vortrittsregelung als bei «ohne Markierung». Bei der separaten Berechnung der Unterschiede innerhalb der zwei Perspektiven liess sich dieser Unterschied nur bei den Autofahrenden feststellen, bei den Velofahrenden nicht.

Die Testpersonen sind sich bei den meisten Gestaltungselementen sehr sicher, was die geltende Vortrittsregelung ist. Nur bei der Belagsrosette besteht eine grössere Unsicherheit – bei der Belagsrosette gaben zudem einige Testpersonen an, dass Verkehrsteilnehmende von links oder sie selbst Vortritt hätten, also kein Rechtsvortritt bestehen würde.

Erkennbarkeit Knoten

Im Weiteren wurden die Autofahrenden und Velofahrenden dazu befragt, wie deutlich bei den Gestaltungselementen die Strassensituation als Knoten («Kreuzung») erkennbar ist. Die Abb. 24 zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.



Anmerkung: Gesamt $n = 54$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$

Abb. 24 Knoten. Erkennbarkeit als Knoten. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala; «überhaupt nicht sicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass für die Testpersonen die «Belagsrosette» signifikant schlechter als Kreuzung erkennbar ist als «ohne Markierung». Bei der separaten Berechnung der Unterschiede innerhalb der zwei Perspektiven Auto und Velo liess sich dieser Unterschied nur bei den Autofahrenden feststellen, bei den Velofahrenden nicht.

Bei der Formulierung der Frage im Fragebogen bezüglich der Wahrnehmung als Knoten wurde der Begriff «Kreuzung» anstatt «Knoten» verwendet. Damit sollte verdeutlicht werden, dass es sich um eine Strassensituation handelt, in der Verkehrsteilnehmende von der Seite her in die Strasse einbiegen könnten, auf der man selbst aktuell fährt. Möglicherweise haben die Testpersonen aber eine «Kreuzung» als Situation aufgefasst, wo es normal einmündende Seitenstrassen gibt und ein Kreisel nicht dazu gehört und deshalb die Strassensituation nicht als Knoten (bzw. «Kreuzung») wahrgenommen, obwohl sie durchaus realisierten, dass andere Verkehrsteilnehmende einbiegen könnten. Darüber hinaus die Belagsrosette eher nicht als Strassensituation interpretiert, wo Rechtsvortritt herrscht. Zusammengefasst deuten die Resultate und die Interpretation der Ergebnisse darauf hin, dass einzelnen Verkehrsteilnehmende die Belagsrosette mit einem Kreisel verwechseln.

Wirkung der psychologischen Prozesse auf das Verhalten

Um die Wirkung der psychologischen Prozesse auf das Verhalten zu messen, wurden Zusammenhangsanalysen (Korrelationen) gerechnet. Die gerechneten Zusammenhänge beziehen sich auf das fokussierte Rahmenmodell (vgl. Kap. 6.2). Die Tab. 20 zeigt die Korrelationen im Überblick.

Tab. 20 Knoten. Wirkung der psychologischen Prozesse auf das Verhalten. Überblick Korrelationen

Zusammenhang zwischen	ohne Markierung	Tulpe gem. Norm	Tulpe mit FGSO	Belagsrosette
Korrelationskoeffizient nach Spearman: r^*				
Aufmerksamkeit x erwartete Geschwindigkeit	-	-	-	-

Aufmerksamkeit x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-.512	-.489	-.370	-
Aufmerksamkeit x vorsichtiges Verhalten	-	-	-	-
Sicherheit x erwartete Geschwindigkeit	-	-	-	-
Sicherheit x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	.612	.665	.756	.747
Sicherheit x vorsichtiges Verhalten	-	-	-	-
Vorsichtiges Verhalten x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-	-	-	-

*Spearman rho (ρ): ≤ -1 $r \leq 1$ *Einstufung nach Cohen
 $r = 0$: kein Zusammenhang $r = .10$ | schwacher Effekt
 $r = 1/-1$: perfekter Zusammenhang $r = .30$ | mittlerer Effekt
 r nur eingetragen, wenn auf Niveau 0.01 oder 0.05 $r = .50$ | starker Effekt
beidseitig signifikant

Anmerkung: $n = 54 - 71$

Die Analysen zeigten folgende Ergebnisse:

- Die Aufmerksamkeit korreliert signifikant negativ mit der gewählten Geschwindigkeit bei «ohne Markierung», «Tulpe gemäss Norm» und «Tulpe mit FGSO».
- Die Aufmerksamkeit korreliert signifikant positiv bei allen Gestaltungselementen.
- Die subjektive Sicherheit korreliert mit der Erkennbarkeit des Knotens bei allen Gestaltungselementen.
- Bei der «Belagsrosette» korreliert die subjektive Sicherheit positiv mit der Sicherheit bezüglich der Vortrittsregelung.
- Die subjektive Sicherheit korreliert negativ mit dem vorsichtigen Verhalten.

6.5 Fazit

Im Folgenden werden jeweils – unterteilt nach Strecken und Knoten – die wichtigsten Ergebnisse in Stichworten zusammengefasst. Anschliessend werden Schlussfolgerungen gezogen.

6.5.1 Strecken

Die Wirkung der Strassengestaltung auf die Verhaltensintention ist wie folgt:

- Die Wirkung der getesteten Strassengestaltungen auf die Verhaltensintention ist klein.
- Strecken «ohne Leitlinie» und Strecken «V10» führen zu einer tieferen gewählten Geschwindigkeit.
- Insbesondere die Autofahrenden würden sich bei «V10» vorsichtiger verhalten.

Die Wirkung der Strassengestaltung auf die psychologischen Prozesse ist wie folgt:

- Strecken «ohne Leitlinie» und «V10» führen zu einer tieferen erwarteten und gewählten Geschwindigkeit.
- Bei «V10» ist die geforderte Aufmerksamkeit höher, die empfundene Sicherheit tiefer (vor allem bei Autofahrenden).

Die Zusammenhänge zwischen den psychologischen Prozessen und dem Verhalten sind die Folgenden:

- Es gibt signifikante Zusammenhänge zwischen Aufmerksamkeit, Sicherheit und vorsichtigem Verhalten.
- Es gibt keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Sicherheit oder Aufmerksamkeit und Geschwindigkeit.

Schlussfolgerung 1:

Lineare Markierungen zur Trennung der Fahrrichtungen haben in der Regel einen beschleunigenden Effekt. Sie geben insbesondere den Autofahrenden Sicherheit, da sie ihnen eine klare Fahrbahn zuweisen. Aus diesem Grund ist beim Einsatz von solchen Markierungen bei Tempo 30 Vorsicht geboten.

Schlussfolgerung 2:

Mit versetzten Markierungen («V10») zur Trennung der Fahrrichtungen, welche die Linearität teilweise aufheben, kann der Effekt der Beschleunigung verhindert werden. Insbesondere in Strassen, in denen eine Markierung von Fahrspuren notwendig ist, ist der Einsatz solcher Markierungen ein Ansatz.

Offen bleibt die Frage, ob die versetzte Markierung («V10») nur wirkt, weil sie ungewohnt ist. In diesem Falle ist die Massnahme nicht direkt selbsterklärend. Zur Klärung dieser Frage sind weitere Studien notwendig. Im Rahmen dieser Studien kann auch nach weiteren Optimierungen der Gestaltung der Leitlinie gemäss «V10» gesucht werden.

6.5.2 Knoten

Die Wirkung der Strassengestaltung auf die Verhaltensintention ist wie folgt:

- Die «Belagsrosette» führt zu einer tieferen gewählten Geschwindigkeit als bei den anderen Gestaltungen des Rechtsvortritt.
- Es gibt keine Unterschiede zwischen den getesteten Situationen in Bezug auf das vorsichtige Verhalten.

Die Wirkung der Strassengestaltung auf die psychologischen Prozesse ist wie folgt:

- Die «Belagsrosette» führt zu einer tieferen erwarteten Geschwindigkeit als bei den anderen Gestaltungen des Rechtsvortritt.
- Bei der «Belagsrosette» ist die geforderte Aufmerksamkeit höher (nur bei Autofahrenden) als bei den anderen Gestaltungen des Rechtsvortritt.
- Die «Belagsrosette» wird weniger häufig als Knoten erkannt. Ausserdem wird die vorgeschriebene Vortrittsregelung weniger klar erkannt und die Aufmerksamkeit ist weniger nach vorne orientiert.

Die Zusammenhänge zwischen den psychologischen Prozessen und dem Verhalten sind die Folgenden:

- Es gibt signifikante Zusammenhänge zwischen Aufmerksamkeit und gewählter Geschwindigkeit (ausser bei der Belagsrosette).
- Es gibt keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Sicherheit und Geschwindigkeit.

Schlussfolgerung 3:

Tulpenmarkierungen am Knoten zeigen keinen messbaren Effekt auf die Verhaltensintention, langsamer und vorsichtiger zu fahren. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese Massnahme weniger selbsterklärend ist.

Schlussfolgerung 4:

Obwohl die bauliche Massnahme der Belagsrosette in Bezug auf die Verhaltensintentionen eine erwünschte Wirkung zeigt, ist sie nicht selbsterklärend. Aufgrund der damit verbundenen geringeren Wahrnehmung als Knoten sowie der tieferen Erkennbarkeit des Rechtsvortritts ist beim Einsatz der Belagsrosette Vorsicht geboten. Die Belagsrosette wird vermutlich von einzelnen Verkehrsteilnehmenden mit einem Kreisel verwechselt.

Dies wird auch durch die Analysen der Unfälle bestätigt (vgl. Anhang II.2).

6.5.3 Diskussion der Methodik der VR-Experimente

Die Gründe für die Verwendung von VR in Experimenten im Allgemeinen sind in Abschnitt 6.3.1 dargelegt. Sie konnten auch für die vorliegende Studie bestätigt werden:

- Der Einsatz von VR erlaubte die Kontrolle über die beurteilten Strassengestaltungselemente und eine klare Zuschreibung der Kausalität.
- Der Einsatz von VR erlaubte die Kontrolle über die Kontextbedingungen (Wetter, Standort, Verkehrsaufkommen).
- VR bietet die Möglichkeit, neue, nicht-existierende Gestaltungselemente zu testen.
- Der Einfluss unterschiedlicher Merkmale von Testpersonen kann erhoben und kontrolliert werden.
- VR bietet eine sichere Umgebung für die Umsetzung und Wirkungsmessung von unterschiedlichen Strassengestaltungen.
- In Kombination mit einer Befragung erlaubt die Laborstudie einen Einblick in psychologische Prozesse und ermöglicht eine Erklärung der psychologischen Mechanismen, die zur Wirkung der Gestaltungselemente beitragen.

In der vorliegenden Studie zeigten sich aber auch verschiedene Herausforderungen in Zusammenhang mit dem Einsatz von VR:

- Aufgrund der Anzahl Gestaltungselemente und somit eher langen Dauer des gesamten Experiments konnten die Testpersonen die Strassensituation über das gesamte Experiment hinweg aus jeweils nur einer Perspektive sehen und erleben (Auto, Velo oder zu Fuss).
- Eine Einschränkung war die fehlende Interaktivität der Anwendung: Testpersonen haben die jeweilige Strassensituation in VR erlebt, hatten aber selbst keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit oder den Situationsverlauf. Dies könnte zu einer weniger ausgeprägten Immersion geführt haben.
- Auch wenn die 3D-Simulation möglichst nahe an der Realität gestaltet wurde, bleibt eine Diskrepanz zwischen der Realität und der Simulation bestehen. Es ist daher unklar, inwiefern die Ergebnisse auch beim Einsatz auf realen Strassen in dieser Form feststellbar wären.

6.5.4 Weiterführende Forschung

Die VR-Experimente zeigen auf empirischer Basis auf, dass die versetzte Linienmarkierung (V10) auf der Strecke sowie die Belagsrosette Potential für eine positive Wirkung auf das Verkehrsverhalten.

Es gilt aber folgende Einschränkungen zu beachten: Da das VR-Experiment als eine Laborstudie durchgeführt wurde, bleibt unklar, inwiefern sich die Ergebnisse auf die Realität übertragen lassen. Des Weiteren ist unklar, ob gewisse Wirkungen der Gestaltungselemente, wie z. B. bei der versetzten Markierung von «V10» nur bestehen, weil das Gestaltungselement neuartig ist und die Testpersonen es noch nie gesehen haben. Möglicherweise wären somit solche Wirkungen neuer Gestaltungselemente nur kurzfristig und die neuen Gestaltungselemente würden sich mit der Zeit in ihrer Wirkung an die bestehenden Gestaltungselemente angleichen oder sich gar negativ auswirken. Solche neue Gestaltungselemente wären damit nicht selbsterklärend.

Aufgrund der Fragen in Bezug auf die Übertragbarkeit und möglicherweise nur kurzfristig auftretender Wirkungen der Gestaltungselemente sollten in einem nächsten Schritt die erfolgsversprechendsten Gestaltungselemente, «V10» und die Belagsrosette, auf einer oder mehreren Pilotstrecken über längere Zeit im Feld eingesetzt und evaluiert werden. Es empfiehlt sich dabei, die Belagsrosette bereits dahingehend anzupassen, dass sie noch weniger mit einem Kreisel verwechselt werden kann.

7 Empfehlungen für die Planungspraxis

7.1 Exemplarische SERFOR-Ansätze innerorts

Herleitung

Dieses Kapitel fasst exemplarisch ausgewählte SERFOR-Ansätze innerorts als Empfehlung für die Planungspraxis zusammen. Die logische Herleitung der Empfehlungen basiert auf den Erkenntnissen der vorherigen Kapitel, insbesondere:

- Die SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkte innerorts (zusammengefasst im Kap. 4);
- Die Auffälligkeiten in der heutigen Praxis aus Sicht SERFOR (vgl. Kap. 5.2);
- Die zielführenden SERFOR-Ansätze aus
 - der Literaturanalyse (vgl. Kap. 2.1),
 - der heutigen Praxis¹⁴ (vgl. Kap. 5) und
 - den Erkenntnissen der VR-Experimenten (vgl. Kap. 6)

Jedes Projekt ist unterschiedlich und hat andere Rahmenbedingungen. Die Abwägung und Priorisierung von z.T. unvereinbaren Ansätzen (nicht nur auf SERFOR bezogen), sind insbesondere innerorts Teil vom Planungsprozess und benötigen einen gewissen Spielraum für die Planenden.

Deshalb werden die SERFOR-Ansätze in diesem Kapitel **beispielhaft** aufgelistet, ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Es geht vor allem darum, die konzeptionellen SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkte innerorts (vgl. Kap. 4) etwas konkreter, nachvollziehbarer und greifbarer für die Praxis zu machen, so dass sie in den Projekten situationsabhängig einfließen können. Im Einzelfall muss evaluiert werden, welche der Ansätze umgesetzt werden sollen.

¹⁴ Es werden absichtlich nicht nur neue Ansätze ausgeführt, sondern auch Ansätze der heutigen Praxis, um ein Gesamtbild zu geben.

Tab. 21 SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkte innerorts (vgl. Kap. 4)

Designregeln	Schwerpunkte
Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen	Abstimmung von, Verkehrsregelung, Verkehrsfunktion, Strassenraumgestaltung, Umfeldnutzung
Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken	<ul style="list-style-type: none"> • Reizdichte im Normalfall senken / «Aufmerksamkeitsreserve schaffen» • Gefahren / Konflikte verdeutlichen • Andere Verkehrsteilnehmende erkennbar machen
Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgesehene Nutzung der Verkehrs- und Seitenflächen eindeutig erkennbar zu machen
Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsströme nach Geschwindigkeit trennen • Geschwindigkeit im Mischverkehr senken
Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen	<ul style="list-style-type: none"> • Intuitive Nachvollziehbarkeit für die Regelung erhöhen • Alle Verkehrsteilnehmenden ansprechen • Abstimmung zwischen Verkehrsregelung und Gestaltung des Strassenraums
Fehlerverzeihende Strassen	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktions- und Bremswege verkürzen • Geschützte Bereiche und Ausweichmöglichkeit im Querschnitt schaffen • Kritische Hindernisse vermeiden

Bezüglich der Designregel «Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen» wird im Folgenden für die Abstimmung von Verkehrsregelung, Verkehrsfunktion, Strassenraumgestaltung und Umfeldnutzung beschrieben für die vier Verkehrsregimes

- Tempo 50 generell
- Tempo 30 – verkehrsorientiert
- Tempo 30 – siedlungsorientiert
- Begegnungszone

Tab. 22 Empfohlene Gestaltung der Strassen innerorts nach Verkehrsregime

Verkehrsregime	Tempo 50 generell	Tempo 30 – verkehrsorientiert	Tempo 30 – nicht verkehrsorientiert	Begegnungszone
Vortrittsregelung:	<ul style="list-style-type: none"> • Strecken mit Vortritt Fahrverkehr • Knoten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vortritt ○ LSA ○ Kreisell • Querungsstellen mit Vortritt Fussgänger (Fussgängerstreifen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Strecken mit Vortritt Fahrverkehr • Knoten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Vortritt ○ LSA ○ Kreisell • Querungsstellen mit Vortritt Fussgänger (Fussgängerstreifen) oder keine definierten Querungsstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Strecken mit Vortritt Fahrverkehr • Knoten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Rechtsvortritt ○ Einmündung auf verkehrsorientierte Strassen → Stop / Kein Vortritt • keine definierten Querungsstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Strecken mit Vortritt Fussverkehr • Knoten: <ul style="list-style-type: none"> ○ Rechtsvortritt ○ Einmündung auf verkehrsorientierte Strassen → Stop / Kein Vortritt • keine definierten Querungsstellen
Verkehrsfunktion	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgangsstrasse mit viel motorisiertem Verkehr • Präsenz von ÖV und Schwerverkehr 	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgangsstrasse mit viel motorisiertem Verkehr • Präsenz von ÖV und Schwerverkehr 	<ul style="list-style-type: none"> • Erschliessungsstrasse mit wenig motorisiertem Verkehr • i.d.R. nur PW (wenig LW) und Langsamverkehr 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufenthalts-, Freizeit- und Spielraum (auch für Kinder) mit sehr wenig motorisiertem Verkehr • nur PW (wenig LW) und Langsamverkehr

Strassenraumgestaltung und Verkehrsberuhigung	Strecken: <ul style="list-style-type: none"> • Leitlinien (insb. Standard-Leitlinie) zur Abgrenzung von Fahrstreifen • durchgehende Radstreifen • Trottoir mit abgeflachten Bordsteinen • i.d.R. Busbuchten 	Strecken: <ul style="list-style-type: none"> • bei Bedarf spezielle Tempo-30- Leitlinie¹⁵ oder Mehrzweckstreifen • durchgehende Radstreifen / Velosymbol auf der Fahrbahn • Trottoir mit abgeflachten Bordsteinen • Fahrbahnhofstelle 	Strecken: <ul style="list-style-type: none"> • keine Leitlinie oder Mehrzweckstreifen • i.d.R. keine Velo-Markierung • Bei Bedarf Trottoir mit Bordsteinen • Bei Bedarf Fahrbahnhofstelle 	Strecken: <ul style="list-style-type: none"> • keine Leitlinie oder Mehrzweckstreifen • keine Velo-Markierung • i.d.R. kein Trottoir • kein ÖV
	Querungen: <ul style="list-style-type: none"> • Fussgängerstreifen i.d.R. mit LSA oder Mittelinsel • evtl. Querungshilfe für den Veloverkehr 	Querungen: <ul style="list-style-type: none"> • Fussgängerstreifen (ev. mit Mittelinsel) oder flächiges Querren • evtl. Querungshilfe für den Veloverkehr 	Querungen: <ul style="list-style-type: none"> • flächiges Querren • Einmündung auf verkehrsorientierte Strassen → Trottoirüberfahrt 	Querungen: <ul style="list-style-type: none"> • Vortritt Fussgänger • Einmündung auf verkehrsorientierte Strassen → Trottoirüberfahrt
	Knoten: <ul style="list-style-type: none"> • Radstreifen in Konfliktbereichen einfärben • Velo- und Fussverkehr besonders berücksichtigen 	Knoten: <ul style="list-style-type: none"> • Radstreifen in Konfliktbereichen einfärben • Velo- und Fussverkehr besonders berücksichtigen 	Knoten: <ul style="list-style-type: none"> • Ev. Betonung des Rechtsvortritts mittels Vertikalversatz 	Knoten: <ul style="list-style-type: none"> • Ev. Betonung des Rechtsvortritts mittels Vertikalversatz
	Verkehrsberuhigung (Bei Bedarf) <ul style="list-style-type: none"> • Seitliche Einengungen • Vertikal- und Horizontalversätze 	Verkehrsberuhigung (Bei Bedarf) <ul style="list-style-type: none"> • Farbbänder am Fahrbahnrand • «30»-Markierung am Boden • Seitliche Einengungen • Ev. Vertikal- und Horizontalversätze 	Verkehrsberuhigung (Bei Bedarf) <ul style="list-style-type: none"> • Farbbänder am Fahrbahnrand • «30»-Markierung am Boden • Seitliche Einengungen • Vertikal- und Horizontalversätze • Versetzte Parkfelder 	Verkehrsberuhigung (Bei Bedarf) <ul style="list-style-type: none"> • Phantasie-Markierung (FGSO u.Ä.) • Möblierung im Strassenraum (z.B. Sitzgelegenheiten, Pflanzenboxen) • «20»-Markierung am Boden
	Umfeldnutzung	Eher geringe Umfeldnutzung und/oder grosser Abstand zu Bauten ¹⁶	Eher dichte und gemischte Umfeldnutzung (z.B. Geschäfte, Gastronomie, Dienstleistungen) und/oder wenig Abstand zu Bauten, evtl. Aufenthaltsnutzung	Eher Wohnquartiere, evtl. Aufenthaltsnutzung

Zwischen den verschiedenen Verkehrsregimes sollen eindeutige Torsituationen geschaffen werden:

¹⁵ Die Gestaltung einer Tempo-30-Leitlinie ist noch offen. Dazu geben die VR-Experimenten im Kap. 6 erste Erkenntnisse. Es besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf (z.B. Testphase).

¹⁶ Aktuell gibt es Tempo 50-Strassen mit erhöhter Randnutzung und wenig Abstand zu Bauten. Sie werden aber vermehrt auf Tempo 30 umgestaltet. Hier wird daher verzichtet, eine standardisierte Strassengestaltung für Tempo 50 mit erhöhter Randnutzung zu definieren.

- Einengungen, Mittelinseln, Bäume, usw. ¹⁷
- Zonensignal auf Fahrbahn platzieren
- Ampeln in Spezialfällen ¹⁸
- Anzeige der gefahrenen Geschwindigkeit ¹⁹

Strukturierung

Die Empfehlungen sind in Unterkapiteln nach

- Strecken,
- Knoten und
- Querungen (Fussgängerquerungen).

strukturiert. Die Ansätze, die bei mehreren Netzelementen relevant sind, sind mehrmals erwähnt. Am Ende werden ein paar konkrete Beispiele zur Illustration vorgestellt.

Für jede der SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkte innerorts (siehe Kap. 4) werden im Folgenden bewährte Handlungsempfehlungen formuliert. Die allgemein gültigen Ansätze werden jeweils vor den spezifischen (z.B. nur für ein einziges Verkehrsmittel relevant) Ansätzen aufgelistet.

7.1.1 Strecken

Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen

Vgl. *Tab. 22*.

Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken

Reizdichte senken / «Aufmerksamkeitsreserve schaffen»

- Möglichst wenige Signale (z.B. Zonensignale statt Einzelsignale; innerorts ist aber das Potenzial bereits stark ausgeschöpft)
- Rein informative Signale können auch in Blick-periphereren Bereichen positioniert werden
- Hindernisse wenn möglich vermeiden
- Konfliktpunkte entschärfen, indem:
 - Jedem Verkehrsmodus ein Fahrstreifen zugeordnet wird, oder
 - Die Geschwindigkeit gesenkt wird (z.B. signalisierte Höchstgeschwindigkeit, Verkehrsberuhigungsmassnahmen), um mehr Aufmerksamkeit auf übrigen Verkehr lenken zu können, die Sichtweiten zu verbessern, die Anhaltebereitschaft zu erhöhen und die erforderlichen Abstände beim Kreuzen und Überholen zu reduzieren.

Gefahr / Konflikt verdeutlichen

- Erforderliche Sichtweiten einhalten (bei unübersichtlichen Stellen ev. durch Temporeduktion), damit alle Gefahren und Konflikte erkannt werden können

¹⁷ Dazu gibt es viele Grundlagen und gute realisierte Beispiele.

¹⁸ Ampeln, bei denen man anzuhalten hat, dienen als Reset/Neutralisation der Gewöhnung (Cohen, 1986); (Runeson, 1974); (Weller, 2010)

¹⁹ Elektronische Geschwindigkeitsanzeigen wirken dadurch, dass das Wissen über die eigene Geschwindigkeit zur Anpassung (Reduktion) der eigenen Geschwindigkeit führt (Carsten, 2001).

- Sicherheitsrelevante Signale (Vorschrifts- und Gefahrensignale) sollen an den Fahrbahnrand gestellt werden statt aussen an den Trottoirrand
- Temporäre Verdeutlichung/Signalisation von Gefahrensituationen, um Gewöhnungseffekten entgegen zu wirken
- Keine ungeregelten Fussgängerstreifen über 2 Fahrstreifen für Motorfahrzeuge in der gleichen Fahrtrichtung
- Gefahrenstellen gut erkennbar ausgestalten, z.B.:
 - Reflektierende Hindernisse
 - Mittelstreifen (für Abbieger und Querende)
 - Radstreifen in Konfliktbereichen einfärben (v.a. bei Einmündungen und neben parkierten Fahrzeugen)
 - Abstand neben Längsparkfeldern markieren (um Konflikte mit sich öffnenden Autotüren zu vermeiden)
- Schwer einschätzbare Gefahrenstellen verdeutlichen:
 - Engstellen, bei denen nicht klar ist, ob Kreuzen möglich ist
 - Anfang und Ende von Bus- und Velostreifen deutlich markieren und signalisieren

Andere Verkehrsteilnehmende erkennbar machen

- Mittelstreifen (für Abbieger und Querende)
- Radstreifen
- Trottoir

Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen

Vorgesehene Nutzung des Querschnitts sicherstellen

- Leitlinien
- Fahrstreifenbreite muss eindeutig zeigen, ob das Überholen (auch von einem Velo) innerhalb der Fahrstreifen machbar ist oder nicht
- Durchgehende Radstreifen, ohne Unterbrechungen in kritischen Bereichen, aber nur dort, wo der Motorfahrzeugverkehr daneben genügend Platz hat und nicht immer auf den Radstreifen ausweichen muss
- Velosymbole auf der Fahrbahn (bei Bedarf), Radstreifen einfärben
- Fahrbahnhaltestellen mit Mittelinseln zur Vermeidung von riskanten Überholmanövern
- Tram- und Bahnschienen (Sturzgefahr für Zweiräder): Möglichkeiten für fast rechtwinklige Querung der Schienen schaffen

Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen

Verkehrsströme nach Geschwindigkeit trennen

- Zuweisung von Querschnittsbereichen nach Geschwindigkeit in Fussverkehrsflächen (Trottoirs), Veloverkehrsflächen (Radstreifen, Radwege) und übrige Verkehrsflächen (MIV und ÖV), sowie Mehrzweckstreifen (z.B. für Linksabbieger)
- Trennung der Flächen für den Veloverkehr und den Fussverkehr (auch für Sehbehinderte)

Geschwindigkeit im Mischverkehr senken

- Wenn eine Trennung der Verkehrsmodi nicht möglich (z.B. aus Platzgründen) oder nicht erwünscht ist (z.B. städtebaulich sensible Situation wo ein langsames Tempo erforderlich ist), soll die Geschwindigkeit an den langsameren Verkehrsteilnehmenden angepasst werden (Temporegime, Verkehrsberuhigung)

- Fahrbahnhaltstellen bringen den nachfolgenden Verkehr zum Halten und – insofern als Schutzinsel vorhanden sind – schützen das Überqueren der Fahrbahn für den Fussverkehr.

Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen

Intuitive Nachvollziehbarkeit für die Regelung erhöhen

- Zeitlich differenzierte Vorschriften mit einer dynamischen Signalisation (z.B. Tempo gilt nur in der Nacht, wenn Lärm ein Problem ist, oder nur in den Schulzeiten)
- Ev. Hinweis anbringen, warum Vorschriftssignal hier steht (z.B. Hinweise «Schule», «Lärmschutz»)
- Rechtlich geltender Tramvortritt mit Bodenmarkierung verdeutlichen
- Keine grossflächigen FGSO ausserhalb von Begegnungszonen, um zu vermeiden, dass fälschlicherweise Fussgängervortritt angenommen wird

Alle Verkehrsteilnehmenden ansprechen

- bei Bedarf temporäre, adressatenspezifische Informationskampagne

Abstimmung zwischen Verkehrsregelung und Gestaltung des Strassenraums

- Gleiche Ansätze wie unter «Eindeutigkeit des erwarteten Geschwindigkeits- und Vortrittsverhalten sicherstellen»

Fehlerverzeihende Strassen

Sicherheitsräume und Ausweichmöglichkeit im Querschnitt schaffen

- Mehrzweckstreifen in der Mitte der Fahrbahn
- Abgeflachte Bordsteine, um Sturzrisiko für den Veloverkehr zu reduzieren und Ausweichmöglichkeiten für den Veloverkehr am Strassenrand schaffen
- Sicherheitsabstand zwischen dem Veloverkehr und den parkierten Fahrzeugen zur Vermeidung einer Kollision bei sich öffnenden Türen
- Mittelinseln bei Fussgängerstreifen

Kritische Hindernisse vermeiden

- keine Hindernisse an unerwarteten Orten
- Hindernisse ausserhalb der Fahrbahn platzieren (Ausnahme: Hindernisse zur Verkehrsberuhigung)
- Hindernisse flexibel ausgestalten (z.B. Kipp-Pfosten)
- Längsparkfelder genügend lang dimensionieren, damit neben der Fahrbahn innerhalb des Parkstreifens manövriert werden kann
- velogerechte Kurvenradien der Fahrbahnränder und der Radstreifen (d.h. der Kurvenradius muss erkennbar sein und mit der angestrebten Geschwindigkeit für den Veloverkehr befahrbar sein – grösserer Platzbedarf in der Kurve)
- Auffüllung von Tramschienen mit Hartgummi (z.Z. leider noch nicht produktreif)

Reaktions- und Bremswege verkürzen

- Geschwindigkeit senken (Temporegime, Verkehrsberuhigungsmassnahmen)
- Möglichst effiziente Bremswirkung sicherstellen:
 - Griffiger Belag statt glatte Oberflächen und Markierungen
 - Laub und Schnee im Herbst und Winter regelmässig räumen

7.1.2 Knoten

Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen

Eindeutigkeit des erwarteten Geschwindigkeits- und Vortrittsverhalten sicherstellen

- Vertikaler Versatz zur Reduktion der Geschwindigkeit im Knotenbereich, bei Bedarf abgestimmt auf den ÖV (vgl. Kap. 6.5)
- Bezüglich Rechtsvortritt (siehe auch *Tab. 22*):
 - Kein Rechtsvortritt auf Tempo-50-Strassen²⁰
 - In der Regel Rechtsvortritt in Tempo 30-Zonen und Begegnungszonen
- Velostrassen mit Vortritt und Tempo 30 (d.h. Abweichung zum Rechtsvortritt-Regel) nur mit Verdeutlichung (z.B. Roteinfärbung der Velostrasse)
- Rechtzeitige Richtungsangaben, um Spurwahl bei Kreiseln zu erleichtern²¹
- Vorsignalisation der Vortrittssignalisation auf der Knotenzufahrt, wenn der Knoten schlecht erkennbar ist

Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken

Reizdichte senken / «Aufmerksamkeitsreserve schaffen»

- Ablenkungen im Bereich von Knoten reduzieren (z.B. Reduktion der Werbung)
- Möglichst wenige Signale (z.B. Zonensignale statt Einzelsignale; innerorts ist aber das Potenzial bereits stark ausgeschöpft)
- Rein informative Signale können auch in Blick-periphereren Bereichen positioniert werden
- Hindernisse wenn möglich vermeiden
- Aufteilung von komplexen Situationen in Sequenzen (Zwischenampeln, Mittelinseln)²²,
- Geschwindigkeit senken (z.B. signalisierte Höchstgeschwindigkeit, Verkehrsberuhigungsmassnahmen), um mehr Aufmerksamkeit auf übrigen Verkehr lenken zu können, die Sichtweiten zu verbessern, die Anhaltebereitschaft zu erhöhen und die erforderlichen Abstände beim Kreuzen und Überholen zu reduzieren

Gefahr / Konflikt verdeutlichen

- Erforderliche Sichtweiten einhalten (bei unübersichtlichen Stellen allenfalls durch Temporeduktion), damit alle Gefahren und Konflikte erkannt werden können
- Sichteinschränkungen vermeiden (z.B. wenn möglich nur einstreifige Knotenzufahrten bei Knoten ohne Lichtsignalanlagen)
- Sicherheitsrelevante Signale (Vorschrifts- und Gefahrensignale) sollen an den Fahrbahnrand gestellt werden statt aussen an den Trottoirrand, bei Bedarf mit einem Vorsignal
- Ausreichende Beleuchtung

²⁰ Eine Schlussfolgerung aus dem VeSPA-Projekt war, dass Rechtsvortritt und verkehrsorientierte Strassen (also meist Tempo-50-Strassen) nicht miteinander verträglich sind.

²¹ Eine erfolgreiche Gestaltung von Kreisverkehren setzt voraus, dass die geometrische Anordnung, die Beschilderung und die Fahrbahnmarkierungen zusammenwirken, um den Verkehrsteilnehmenden eine einfache, klare Botschaft zu vermitteln und so Verwirrung zu vermeiden und die Zahl der Verkehrsunfälle zu verringern. Zwei Fallstudien von schlecht funktionierenden mehrspurigen Kreisverkehren in den USA zeigen, dass die überarbeitete Beschilderung und Fahrbahnmarkierung zu einer Verringerung der Unfälle führte (bei den Unfällen mit Fahrerflucht um 37-80 %). (Johnson, 2019)

²² Die Überforderungswahrscheinlichkeit wird durch die Aufteilung von komplexen Situationen in Sequenzen reduziert (Becher et al., 2006), (Schlag et al., 2015)

- Gefahrenstellen gut erkennbar ausgestalten:
 - Reflektierende Hindernisse
 - Mittelstreifen (für Abbieger und Querende)
 - Richtungspfeile markieren²³
 - Radstreifen in Konfliktbereichen einfärben (v.a. bei Einmündungen)
- Temporäre Verdeutlichung/Signalisation von Gefahrensituationen, um Gewöhnungseffekten entgegen zu wirken

Schwer einschätzbare Gefahrenstellen verdeutlichen:

- Engstellen signalisieren, bei denen nicht klar ist, ob Kreuzen möglich ist, oder sie zu klar interpretierbaren Engstellen umgestalten (→ verengen)

Andere Verkehrsteilnehmende erkennbar machen

- Mittelstreifen (für Abbieger und Querende)
- Ausreichende Beleuchtung
- Trixi-Spiegel, um Veloverkehr im «toten» Winkel sichtbar zu machen
- Vorgezogene Haltelinien für den Veloverkehr, aufgeweitete Radstreifen («Velo-sack»), Velo-Ampeln, die auf das Vorhandensein von Veloverkehr hinweisen
- Trottoir mit klarer Abgrenzung (Randstein, evtl. farblich unterschiedlich), Mittelinseln
- Sichthindernis in Kreiselmittle, um Blicke der in den Kreisel einmündenden Verkehrsteilnehmenden auf den relevanten Verkehrsstrom zu lenken

Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen

Vorgesehene Nutzung des Querschnitts sicherstellen

- Trennung von Richtungsangaben und Spurwahl bei Kreiseln oder Turbokreiseln (Johnson, 2019)
- Durchgehende Velostreifen und -Wege ohne Unterbrechungen und rot eingefärbt in kritischen Kreuzungsbereichen
- aufgeweitete Radstreifen vor Knoten für Velos nach Fahrtrichtung unterteilen mit Bodenpfeilen²⁴
- Tram- und Bahnschienen (Sturzgefahr für Zweiräder): Möglichkeiten für möglichst rechtwinklige Querung der Schienen schaffen

Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen

Verkehrsströme nach Geschwindigkeit trennen

- Mehrzweckstreifen für Abbieger und Querende
- Indirektes Linksabbiegen für den Veloverkehr anbieten (reduziert Spurwechsel und somit Mischverkehr)

²³ Die Reduktion des Unfallrisikos beim Rechtsabbiegen von Motorrädern stand im Mittelpunkt einer in Taiwan durchgeführten Studie von Hsu und Wen (2019). Durch eine Anpassung der Bodenmarkierungen (insbesondere von Richtungspfeilen) konnten die Konfliktsituationen zwischen rechts abbiegenden Motorrädern und dem geradeaus fahrenden Verkehr reduziert werden. Eine Analyse ein Jahr nach der Umsetzung zeigte eine Reduktion der Anzahl an Kollisionen.

²⁴ Verhinderung von Seitenkollisionen durch die Unterteilung von Wartebuchten und durch Markierungen (Bodenpfeile) zur Trennung der Warteschlange innerhalb der Radstreifen (Hsu & Wen, 2019)

- Separate Velowege im Gegenuhrzeigersinn oder LSA-Phase für Velofahrende auf separaten Velo-Fahrbahnen²⁵

Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen

Intuitive Nachvollziehbarkeit für die Regelung erhöhen

- Bei Lichtsignalanlagen:
 - Zeit bis zur nächsten Grünphase anzeigen (oder Countdown display bei verkehrsgesteuerten Knoten)²⁶
 - Verzicht auf widersprüchliche Signale / «Konfliktschaltungen» (z.B. grüner Signalgeber und oranger Blinker)
 - Hinweis zur Erhöhung der Nachvollziehbarkeit von langen Rotphasen (z.B. «Dosierung», «Durchfahrt überlastet», «Stau im Zentrum»)
 - Grünphasen dynamisch z.B. mit Kamerasensoren bestimmen statt fixe Zeiten, da im Falle von «fehlendem» vortrittsberechtigtem Verkehr die Akzeptanz für die Wartezeit wenig vorhanden ist
- Rechtlich geltender Tramvortritt mit Bodenmarkierung verdeutlichen

Alle Verkehrsteilnehmenden ansprechen

- bei Bedarf temporäre, adressatenspezifische Informationskampagne
- Bei Lichtsignalanlagen:
 - Steuerung auch auf die Bedürfnisse des Velo- und Fussverkehrs ausrichten, um Konflikte wegen Rotlichtmissachtung zu vermeiden
 - Auch für langsamste Verkehrsteilnehmer genügend lange Grünphasen (v.a. Überwachung der Fussgängerstreifen mit Kamerasensoren)

Abstimmung zwischen Verkehrsregelung und Gestaltung des Strassenraums

- Gleiche Ansätze wie unter «Eindeutigkeit des erwarteten Geschwindigkeits- und Vortrittsverhalten sicherstellen»

Fehlerverzeihende Strassen

Sicherheitsräume und Ausweichmöglichkeit im Querschnitt schaffen

- Mehrzweckstreifen
- Abgeflachte Bordsteine, um Sturzrisiko für den Veloverkehr zu reduzieren und Ausweichmöglichkeiten für den Veloverkehr am Strassenrand schaffen, vor allem bei Kreiseln

Kritische Hindernisse vermeiden

- Keine Hindernisse an unerwarteten Orten
- Hindernisse wenn möglich ausserhalb der Fahrbahn platzieren (Ausnahme: Hindernisse zur Verkehrsberuhigung)
- Hindernisse flexibel ausgestalten (z.B. Kipp-Pfosten)
- Unerwartete Gefahrenstellen vermeiden: z.B. velogerechte Kurvenradien der Randsteine

²⁵ Separate Velowege oder LSA-Phasen für Velofahrende auf separaten Velo-Fahrbahnen reduzieren die Performance für Autos und Fussverkehr, führen aber zu niedrigerer Kollisionswahrscheinlichkeit (Cantisani et al., 2019)

²⁶ Mit einem Countdown display, der anzeigt, wie lange es bis zur nächsten Grünphase dauert, wird die Anzahl Überquerungen bei Rot reduziert (Lipovac et al., 2013) (Bärlocher et al. 2021).

Reaktions- und Bremswege verkürzen

- Geschwindigkeit senken (z.B. Belagsrosette, Stop-Signalisation)
- Reizdichte senken, Gefahr / Konflikt verdeutlichen (vgl. Ansätze oben)
- Möglichst effiziente Bremswirkung sicherstellen:
 - Griffiger Belag statt glatte Oberflächen und Markierungen
 - Laub und Schnee im Herbst und Winter regelmässig räumen

7.1.3 Querungen (Fussgängerquerungen)

Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen

Eindeutigkeit des erwarteten Geschwindigkeits- und Vortrittsverhalten sicherstellen

- Gestaltung Fussgängerquerung nach Verkehrsregime gemäss *Tab. 22*.
- Trottoirüberfahrten sowohl für den Fussverkehr als auch für den rollenden Verkehr verständlich ausgestalten (vgl. Normen)
- Keine grossflächigen FGSO ausserhalb von Begegnungszonen, um zu vermeiden, dass fälschlicherweise Fussgängervortritt angenommen wird ²⁷
- Bei Bedarf: Querungshilfen für den Veloverkehr

Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken

Reizdichte im Normalfall senken / «Aufmerksamkeitsreserve schaffen»

- Ablenkungen im Bereich von Fussgängerquerungen reduzieren (z.B. weniger Werbung)
- Aufteilung von komplexen Situationen in Sequenzen (z.B. durch Mittelinseln) ²⁸

Gefahr / Konflikt verdeutlichen

- Signal 4.11 («Standort eines Fussgängerstreifens») soll an den Fahrbahnrand gestellt werden statt aussen an den Trottoirrand, bei Bedarf mit einem Vorsignal
- Ausreichende Beleuchtung
- Erforderliche Sichtweiten einhalten (bei unübersichtlichen Stellen allenfalls durch Temporeduktion), insbesondere bezüglich der Konfliktbereiche und Annäherungsbereiche des Fussverkehrs. Die erforderlichen Sichtweiten müssen auch bei temporären Hindernissen eingehalten werden, wie z.B. beim Bus an der Haltestelle.
- Verengung der Fahrbahn im Querungsbereich
- Sichteinschränkungen vermeiden (z.B. nur einstreifige Zufahrten bei Querungen ohne Lichtsignalanlagen, oder Unterteilung der Querung mit mehreren Inseln)
- Temporäre Verdeutlichung/Signalisation von Gefahrensituationen, um Gewöhnungseffekten entgegen zu wirken (z.B. nur bei Schulanfangs- und Schulendzeiten)

²⁷ Aufgrund der grössten Verletzlichkeit ist der Fussverkehr dann am sichersten, wenn er davon ausgeht, dass er keinen Vortritt hat und sich entsprechend nicht exponiert. Gefährlich sind Situationen, bei denen der Fussverkehr fälschlicherweise den Eindruck hat, er habe Vortritt. Insbesondere bei FGSO besteht diese Gefahr, wie Befragungen der Verkehrsteilnehmenden im Rahmen der FGSO-Forschung gezeigt haben (Ghielmetti et al., 2017). Diese Missverständnisse müssen durch Information der Verkehrsteilnehmenden reduziert werden. Mit temporären Massnahmen vor Ort (Piktogramme, Hinweisschilder) kann die Wirkung erhöht werden. Bei der Anwendung von FGSO soll eine gewisse Zurückhaltung ausgeübt werden, insbesondere in eher unübersichtlichen Situationen.

²⁸ Die Überforderungswahrscheinlichkeit wird durch die Aufteilung von komplexen Situationen in Sequenzen reduziert (Becher et al., 2006), (Schlag et al., 2015)

Andere Verkehrsteilnehmende erkennbar machen

- Bei besonders gefährlichen Situationen kann die Gehrichtung des Fussverkehrs durch Geländer in Richtung der Gefahrenstelle umgelenkt werden, damit die Gefahr weniger übersehen wird.
- Bei Tram: Bodenmarkierung und evtl. Signalisation zur Verdeutlichung des Tramvortritts.

Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen

Vorgesehene Nutzung des Querschnitts sicherstellen

- Eindeutige Wartefläche und Mittelinseln für den querenden Fuss- und Veloverkehr schaffen (gute Sichtverhältnisse, reflektierendes Material, Mittelinsel, ...)
- Trennung der Querung zwischen Veloverkehr und Fussverkehr

Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen

Geschwindigkeit im Mischverkehr senken

- Geschwindigkeit im Bereich der Querung verlangsamen
 - Verkehrsberuhigung (z.B. vertikaler Versatz, Verengung)
 - Tiefe Höchstgeschwindigkeit mit Erinnerung (z.B. Geschwindigkeitsanzeiger, «30» auf dem Boden)
- Fahrbahnhaltestellen bringen den nachfolgenden Verkehr zum Halten und sichern damit das Überqueren der Fahrbahn für den Fussverkehr

Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen

Intuitive Nachvollziehbarkeit für die Regelung erhöhen

- Widerstand zum Anhalten durch tiefere Geschwindigkeit senken
- Lage der Querungen mit Wunschlinien des Fussverkehrs abstimmen (z.B. Umwege zu Fussgängerstreifen vermeiden)
- Trottoirüberfahrten sowohl für den Fussverkehr als auch für den rollenden Verkehr verständlich ausgestalten (vgl. Normen)
- Markierungen bezüglich Parkierung / Güterumschlag sollen verhindern, dass Trottoirs z.B. im Bereich von Fussgängerstreifen durch abgestellte Fahrzeuge blockiert werden (z.B. auf Bahnhofsvorplätzen)

Alle Verkehrsteilnehmenden ansprechen

- bei Bedarf temporäres, adressatenspezifisches Informationsplakat
- Bodenmarkierungen (aufgemalte «Füssli») zeigen den Kindern die geeignete Querungsstelle
- Fussgängerstreifen sollten möglichst wunschliniengerecht angeordnet werden

Abstimmung zwischen Verkehrsregelung und Gestaltung des Strassenraums

- Gleiche Ansätze wie unter «Eindeutigkeit des erwarteten Geschwindigkeits- und Vortrittsverhalten sicherstellen»

Fehlerverzeihende Strassen

Sicherheitsräume und Ausweichmöglichkeit im Querschnitt schaffen

- Mittelinseln und Mehrzweckstreifen als Querungshilfe (Rückzugsmöglichkeit, ev. mit Kipp-Pfosten gesichert)
- Trottoirnase am Fahrbahnrand (ev. mit Kipp-Pfosten gesichert)

Reaktions- und Bremswege verkürzen

- Geschwindigkeit senken (Temporegime, Verkehrsberuhigungsmassnahmen)
- Möglichst effiziente Bremswirkung sicherstellen:
 - Griffiger Belag statt glatte Oberflächen und Markierungen
 - Laub und Schnee im Herbst und Winter regelmässig räumen

7.1.4 Fallbeispiele

Zur Illustration einzelner SERFOR-Ansätze werden im Folgenden ein paar Fallbeispiele bezüglich SERFOR kurz analysiert:

Seftigenstrasse Köniz

Die Seftigenstrasse in Köniz (Wabern) ist ein Beispiel von einer Tempo 50 Durchgangsstrasse, auf einzelnen Abschnitten mit dichter und gemischter Umfeldnutzung.



Abb. 25 *Seftigenstrasse in Wabern (Köniz)*

Dieses Beispiel weist gute, auf die jeweilige Situation (Verkehrsmenge, Nutzungen, Städtebau, ...) abgestimmte SERFOR-Aspekte auf, insbesondere:

- Die Gestaltung der Strasse (Breite der Strasse, Radstreifen, Fussgängerstreifen, Trennung der Fahrrichtungen) und Verkehrsregelung (Tempo 50 generell, Knoten mit LSA, Einmündungen mit Trottoirüberfahrten, Kreisel) stimmt mit der Verkehrsfunktion (verkehrsorientiert) und mit der Umfeldnutzung (Bauten nicht sehr nah, aber eindeutig innerorts) überein. Dies führt zum intuitiven erwarteten Verhalten und zu einer guten Akzeptanz der Verkehrsregelung.
- Die Aufteilung des Querschnitts (Trottoir, Radstreifen, Trennung der MIV-Fahrrichtungen) ist klar. Der mit Pfosten geschützte Mehrzweckstreifen trennt die Ströme und verunmöglicht ein gefährliches Überholmanöver.
- Der Radstreifen auf der rechten Seite wird auch im Knotenbereich durchgezogen.
- Die LSA vermeidet Konflikte mit dem Tram und trägt zu einer sicheren Querungsmöglichkeit für den Fussverkehr bei.
- Die abgeflachten Bordsteine geben dem Veloverkehr Ausweichmöglichkeiten (fehlerverzeihend).

Dennoch gibt es auch Verbesserungspotenzial bezüglich SERFOR, insbesondere:

- Die Tram-Spur vor dem Knoten könnte verdeutlicht werden, da die Zusammenführung der Tram- und MIV-Spuren im Knotenbereich kaum erkennbar ist.
- Der Velostreifen im Knotenbereich könnte rot eingefärbt werden.
- Die Pfosten in der Strassenmitte könnten verdeutlicht werden (z.B. reflektierend).

Schwarzenburgstrasse Köniz

Die Schwarzenburgstrasse in Köniz ist ein Beispiel von einer Tempo 30 Durchgangsstrasse mit dichter und gemischter Umfeldnutzung.



Abb. 26 Schwarzenburgstrasse in Köniz

Dieses Beispiel weist gute, auf die jeweilige Situation (Verkehrsmenge, Nutzungen, Städtebau, ...) abgestimmte SERFOR-Aspekte auf, insbesondere:

- Die Gestaltung der Strasse (Breite der Fahrbahn, keine Radstreifen, keine Fussgängerstreifen, Trennung der Fahrrichtungen) und Verkehrsregelung (Tempo 30) stimmt mit der Verkehrsfunktion (verkehrsorientiert) und mit der z.T. intensiven Umfeldnutzung überein. An beiden Einfahrten in den Tempo 30-Abschnitt wird das Tempo durch einen Kreisel gedrosselt. Dies führt zum erwarteten Verhalten und zu einer guten Akzeptanz der Verkehrsregelung.
- Die Aufteilung des Querschnitts (Trottoir, Trennung der MIV-Fahrrichtungen) ist deutlich erkennbar.
- Die abgeflachten Bordsteine geben dem Veloverkehr Ausweichmöglichkeiten (fehlerverzeihend).

Dennoch gibt es auch Verbesserungspotenzial bezüglich SERFOR, z.B.:

- Die diversen Pfosten könnten verdeutlicht werden (z.B. reflektierend) und als Kipp-Pfosten (fehlerverzeihend) ausgestaltet werden.

Dorfplatz Glis

Der Dorfplatz in Glis ist ein Beispiel von einem eher siedlungsorientierten Abschnitt einer verkehrsorientierten Kantonsstrasse mit einem mittleren Anteil an Umfeldnutzung. Er wurde in 2021 umgestaltet, unter anderem mit einer Geschwindigkeitsreduktion auf Tempo 30. Ein Vorher/Nachher-Vergleich befindet sich in *Abb. 27*.



Abb. 27 Umgestaltung Dorfplatz Glis (2021): Vergleich vorher / nachher.

Dieses Beispiel weist gute, auf die jeweilige Situation (Verkehrsmenge, Nutzungen, Städtebau, ...) abgestimmte SERFOR-Aspekte auf, insbesondere:

- Die Gestaltung der Strasse (Breite der Fahrbahn, keine Radstreifen, keine Fussgängerstreifen, keine Trennung der Fahrrichtungen, Platzfunktion im differenzierten Strassenbelag erkennbar, Verzicht auf früher bestehende Lichtsignalanlage) und Verkehrsregelung (Tempo 30) stimmt mit der Verkehrsfunktion (verkehrsorientiert) und mit der Umfeldnutzung überein. Dies führt zum erwarteten Verhalten und zu einer guten Akzeptanz der Verkehrsregelung.
- Die Aufteilung des Querschnitts (Trottoir, Fahrbahn) ist deutlich erkennbar.

Dennoch gibt es auch Verbesserungspotenzial bezüglich SERFOR, z.B.:

- Das Beispiel zeigt, wie mit dem Ersatz von alten grossen, grosskronigen Bäumen mindestens vorübergehend die verkehrsberuhigende Wirkung der Bäume verloren gehen kann.

7.2 Weiterer Handlungsbedarf

Die SERFOR-Ansätze innerorts (vgl. voranstehendes Kapitel) sind wichtige Anhaltspunkte für selbsterklärende und verzeihende Strassen. **Es muss sichergestellt werden, dass die SERFOR-Designregeln in die Projekte systematisch einfließen**, bzw. dass ihnen die angemessene Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Die ausführliche Diskussion im TP3 (Ausserorts-Strassen) zur Thematik «Weiterer Handlungsbedarf» ist auch für Innerorts-Strassen relevant (Sensibilisierung, Standardisierung, Implementierung, Vertiefung). Im Folgenden werden die wichtigsten Aspekte kurz zusammengefasst, und die Besonderheiten innerorts betont:

SERFOR bekannt machen

Alle involvierten Akteure in der Gestaltung der Strasseninfrastruktur müssen zu der SERFOR-Thematik und deren Designregeln und Ansätzen sensibilisiert und geschult werden:

- **Fachpersonen im Projekt** (Beratungsstellen, Ingenieurbüros, Planende, Strassenbetreiber, Sicherheitsbeauftragte, Sicherheitsverantwortliche) müssen die SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkte in den Projekten mit konkreten Massnahmen umsetzen können.

- **Entscheidungsträger und politische Akteure** (Politiker und Politikerinnen, Netzbetreiber, Behörden, Verbände, Fachgremien) müssen den SERFOR-Designregeln und -Schwerpunkten und deren Wichtigkeit eine grosse Bedeutung schenken.

Mit mehr als 2'000 Gemeinden²⁹ in der Schweiz sind innerorts besonders viele verschiedene Akteure involviert. Die Herausforderung ist gross, die SERFOR-Thematik allen relevanten Personen in einem angemessenen Detaillierungsgrad beizubringen.

Überarbeitung des Normenwerks

Handlungsbedarf besteht z.B. in den Normen zu den Strassentypen. Aktuell wird die Strassenhierarchie ohne direkten Bezug auf das Verkehrsregime behandelt. Aus Sicht SERFOR würde eine Strassenhierarchie nach Verkehrsregime einen Beitrag zur Abstimmung zwischen Verkehrsregelung und Gestaltung des Strassenraums leisten, wobei auch mit den heutigen Strassentypen die Möglichkeit besteht, Strassen selbsterklärend und fehlerverzeihend zu gestalten.³⁰

Eine Überprüfung aller Normen überspringt den Rahmen der vorliegenden Forschung. Sie soll jedoch gesamthaft angegangen werden. Bei der Überarbeitung einzelner Normen gilt es zu prüfen, wie konkrete SERFOR-Ansätze aufgrund der vorliegenden Forschung einfließen können.

Dies betrifft **alle Planungsstufen**, vom kommunalen Verkehrskonzept (z.B. Festlegung des Strassentyps) bis zum Ausführungsprojekt (z.B. Festlegung der Spezifikation von Pfosten).

Planen – Umsetzen – Überprüfen – Handeln

Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie geben Ansätze, wie die SERFOR-Designregeln in der Praxis umgesetzt werden können. Es bestehen jedoch noch offene Fragen, ein endgültiges und allgemein anerkanntes Zielbild gibt es nicht. Die Praxis wird aufgrund neuer Erkenntnisse und Trends ständig weiterentwickelt (z.B. auch bzgl. Automatisierung).

Zur Verbesserung des Wissens und der Praxis bzgl. SERFOR soll der bekannte iterative PDCA-Zyklus³¹ zur kontinuierlichen Qualitätsverbesserung umgesetzt und der erreichte Fortschritt durch Standardisierung konsolidiert werden (vgl. *Abb.28*):

- **Plan / Planen:** Aktuelle Praxis analysieren, Verbesserungspotentiale erkennen, neue SERFOR-Ansätze entwickeln (v.a. Forschungsarbeit);
- **Do / Umsetzen:** Ansätze ausprobieren und testen;
- **Check / Überprüfen:** Neue und bestehende Ansätze überprüfen und evaluieren, und die Erkenntnisse klar dokumentieren (z.B. Liste von guten und schlechten Beispielen);
- **Act / Handeln:** Bei guten Ergebnissen, Praxis breit umsetzen und in den Normen einführen.

²⁹ 2'148 Schweizer Gemeinden am 1.1.2022

³⁰ Zur Zeit werden die Normen «Strassentypen» überarbeitet. Eine engere Verknüpfung von Strassenhierarchie und Verkehrsregime ist vorgesehen.

³¹ PDCA steht für das Englische Plan – Do – Check – Act, oder auf Deutsch Planen – Umsetzen – Überprüfen – Handeln.

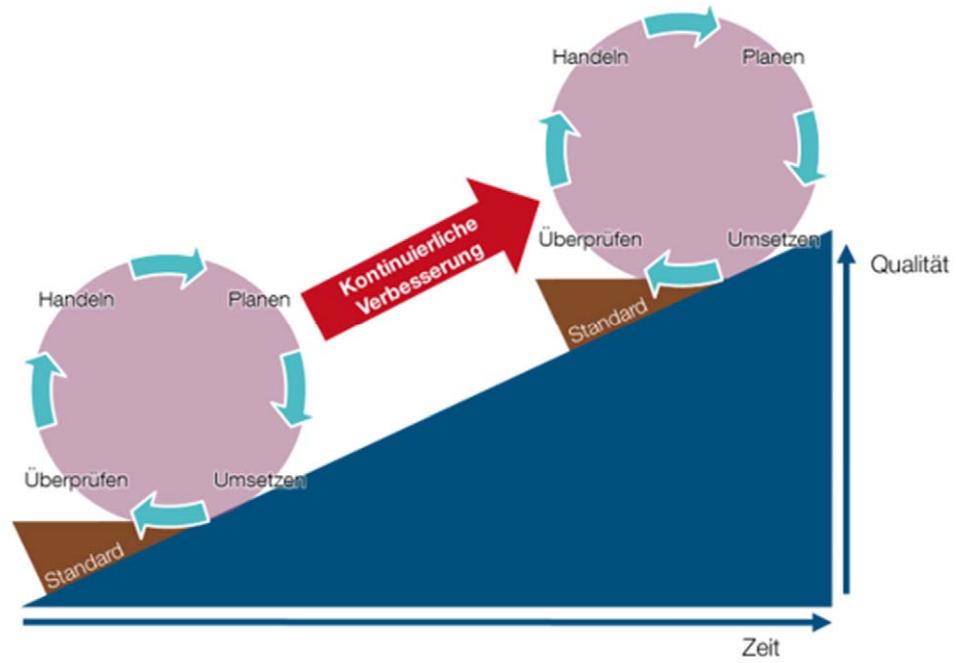


Abb.28 Kontinuierliche Qualitätsverbesserung durch PDCA-Zyklus und Standardisierung³²

³² Von Johannes Vietze - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26722308>

Anhänge

I	Empirische Befunde zur Wirkung von Gestaltungselementen	102
II	Detailanalyse des Unfallgeschehens	105
II.1	Unfallursachen innerorts	105
II.1.1	Nach Hauptverursacher	105
II.1.2	Nach Leidtragenden	108
II.2	Unfälle bei Rechtsvortritt	109
II.3	Unfalltypen	114
III	Priorisierung der Projektierungsprinzipien	115
III.1	Priorisierung durch die Paketleitung	115
III.2	Priorisierung nach Häufigkeit der SERFOR-relevante Unfallursachen.....	115
IV	Methoden und Auswertungen VR-Experimente.....	118
IV.1	Detaillierte Forschungsfragen	118
IV.2	Experimentalkonditionen	119
IV.3	Methodik VR	121
IV.4	Beschreibung der Stichprobe	123
IV.5	Aufbau Fragebogen	125
IV.6	Detaillierte Analysen VR-Experimente	126
IV.6.1	Ergebnisse Strecke	126
IV.6.2	Ergebnisse Knoten	136

I Empirische Befunde zur Wirkung von Gestaltungselementen

Zur Wirkung von Gestaltungselemente gibt es empirische Studien, deren untersuchte Gestaltungselemente im Folgenden genannt werden. Die Aufzählung stellt nicht ein vollständiges Abbild der Forschung in dem Bereich dar. Die Gestaltungselemente sind nach Dimensionen zum Verhalten im Strassenverkehr unterteilt. Die Dimensionen wurden abgeleitet aus den Erkenntnissen aus der Unfallursachenforschung. Aus dieser Forschung wurde abgeleitet, dass in erster Linie die Missachtung von Vortrittsregeln, eine unangepasste Geschwindigkeit, sowie ein inadäquates Abstandsverhalten zu Unfällen führen.

Die Hebel für Strecken resp. Knoten sind in *Tab. 23* resp. *Tab. 24* dargestellt.

Strecken

Tab. 23 Gestaltungselemente und psychologische Mechanismen: Strecken

Dimension	Aufmerksamkeit	Informationsverarbeitung	Risiko- / Nutzenabwägung
Geschwindigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Elektronische Geschwindigkeitsanzeigen • Horizontaler Versatz (Build-outs / Verkehrsnasen, Verschwenkungen) • Vertikaler Versatz • Ampel • Abwechslungsreiche (vs. monotone) Umgebung • Art der Umfeldnutzung (z.B. Schule, Wohngebäude) 	<ul style="list-style-type: none"> • Elektronische Geschwindigkeitsanzeigen • Kammerung der Strassenabschnitte mittels Bäume • Reduktion der Anzahl Fahrspuren • Komplexität der Verkehrssituation erhöhen 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierte Fahrbahn- / Spurbreite • Kammerung der Strassenabschnitte (z.B. mittels Bäume) • Horizontaler Versatz (Build-outs / Verkehrsnasen, Verschwenkungen) • Vertikaler Versatz • Kein Mittelstreifen • Verkehrsinsel oder Mehrzweckstreifen zwischen Fahrbahnen • Velostreifen • Umfeldnutzung • Parkierte Autos
Abstandsverhalten in Längsrichtung		<ul style="list-style-type: none"> • Durchgezogene / Kein Mittelstreifen 	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgezogene / Kein Mittelstreifen
Abstandsverhalten in Querrichtung	<ul style="list-style-type: none"> • Seitenmarkierung • "Herringbone"-Markierung (Fischgräte) in Kurven 		

Das Abstandsverhalten auf Strecken unterscheidet sich nach Längs- und Querrichtung. Ansätze zu einem angemessenen Abstandsverhalten in Querrichtung durch Seitenmarkierungen (Davidse & van Driel, 2002) oder "Herringbone"-Markierungen (Fischgräten) erhöhen die Aufmerksamkeit in Kurven. Sie können zu besserer Kurvenführung bei gefährlichen Kurven, bei gleichbleibender Geschwindigkeit führen (Charlton, 2007).

Mit höheren Geschwindigkeiten nimmt die Distanzunterschätzung zum Vorfahrer zu, jedoch je nach Mittelstreifen unterschiedlich stark. Gestrichelte Fahrbahnlinien führen zur grössten Abstandsunterschätzung, durchgezogene Linien weisen die geringsten Distanzunterschätzungen auf, gefolgt von gar keinen Markierungen Gordon & Mast (1986, zitiert nach Cohen, 1986) (Harte & Harte, 1976).

Die Bemühungen zur Beeinflussung der Geschwindigkeit sind vielfältig und basieren sich auf alle drei psychologische Wirkungsmechanismen (Siehe *Tab. 23*):

- Breitere Strassen führen zu höherer Geschwindigkeit, schmälere (bzw. schmaler wirkende) zu niedrigerer Geschwindigkeit (Cohen, 1986); (Elliott et al., 2003);

(Lewis-Evans & Charlton, 2006); (Fildes et al., 1987); Kolsrud (1985); (Fitzpatrick et al., 2001); (Godley et al., 2004).

- Elektronische Geschwindigkeitsanzeigen wirken dadurch, dass das Wissen über seine eigene Geschwindigkeit zur Anpassung (Reduktion) der eigenen Geschwindigkeit führt (Carsten, 2001).
- Eine Kammerung der Strassenabschnitte mittels Bäume reduziert die überschaubare Distanz. (Fildes et al., 1987)
- Strassen mit weniger Fahrspuren und/oder ohne Mittelstreifen werden mit niedriger Geschwindigkeitsbegrenzung assoziiert (Cairney, 1986).
- Build-Outs / Verkehrsnasen, Verschwenkungen führen zu geringerer Fahrbahnbreite, und dadurch beeinflussen die Geschwindigkeit (Ariën, 2016); (Elliott et al., 2003); (Schwarz et al., 2010).
- Vertikale Versätze haben eine positive Wirkung zur Verlangsamung des Verkehrs (Schwarz et al., 2010).
- Verkehrsinseln oder Mehrzweckstreifen, welche die Fahrbahnbreite nicht reduzieren, führen zu geringeren Geschwindigkeiten (Forbes & Gill, 2000) (Galante et al., 2010)
- Die erhöhte Wahrnehmung eines Risikos (z.B. Velostreifen, parkierte Autos) kann ebenfalls zu einer Geschwindigkeitsminderung führen (Gemeente Hof van Twente, 2016) (Gargoum et al., 2016) (Chinn & Elliott, 2002; Molino, 2009)
- Ampeln, wo man anzuhalten hat, dient als Reset und Neutralisation der Gewöhnung. Verkehrsteilnehmende verlieren den «Tunnelblick» und können sich erneut und ggfls. adäquater auf die herrschende Verkehrssituation und die geltenden Regeln einstellen (Cohen, 1986); (Runeson, 1974); (Weller, 2010)
- Durch erhöhte Komplexität der Verkehrssituation steigt die kognitive Belastung, was zu Kompensation mittels reduzierter Geschwindigkeit führt (De Waard et al., 1995) (Fusinato, 1977); (Harms, 1986, 1991)
- Abwechslungsreich gestaltete Umgebungen führen zu reduzierter Geschwindigkeit, monotone Umgebungen hingegen zu erhöhter Geschwindigkeit (Weller, 2010) (Weller et al., 2008).
- Auch die Art der Umfeldnutzung beeinflusst das Geschwindigkeitsverhalten (z.B. Schule, Wohngebäude) (Gargoum et al., 2016).

Knoten

An Knoten liegt der Fokus ebenfalls auf der Geschwindigkeit, aber auch auf der Einhaltung der Vortritts- und Verkehrsregeln. Die Aufmerksamkeit kann allgemein gefördert werden, und sich sowohl bezüglich der Geschwindigkeit als der Vortritts- und Verkehrsregeln positiv auswirken, insbesondere durch:

- einen Vertikalversatz (Candappa & Corben, 2006) (B+S AG, 2018)
- eine flächige Einfärbung (Taylor et al., 2002)
- eine Verengung der Strasse (Carlson et al., 2019)
- eine schmale Fahrbahn (B+S AG, 2018)
- das Weglassen einer zweiten Spur (B+S AG, 2018).

Weitere untersuchte Ansätze zur Geschwindigkeitsminderung sind:

- Grössere Dichte an Objekten / mehr vertikaler Kontrast im peripheren Sichtfeld führt zu Gefühl von grösserer Geschwindigkeit; Retinal streaming; ggfls. auch durch cognitive Load (Kerkhof, 1987).
- Durch Strassenbepflanzung wird einen urbaner Charakter assoziiert und damit verbunden die Notwendigkeit für eine reduzierte Geschwindigkeit / Retinal Streaming (De Waard et al., 1995) (Shinar et al., 1974), Keinen Einfluss gefunden bei: (Goldenbeld & van Schagen, 2007); (Chinn & Elliott, 2002).

Tab. 24 Gestaltungselemente und psychologische Mechanismen: Knoten

	Aufmerksamkeit	Informationsverarbeitung	Risiko- / Nutzenabwägung
Geschwindigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Vertikalversatz (ganzer Knoten erhöht) / Belagsrosette) • Verengung der Strasse • Schmale Fahrbahn • Weglassen zweiter Spur 	<ul style="list-style-type: none"> • Grössere Dichte an Objekten / mehr vertikaler Kontrast am Strassenrand • Strassenbepflanzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Strassenbepflanzung
Vortritts- / Verkehrsregeln einhalten	<ul style="list-style-type: none"> • Vertikalversatz (ganzer Knoten erhöht) / Belagsrosette) • Flächige farbliche Gestaltung • Verengung der Strasse • Schmale Fahrbahn • Weglassen zweiter Spur • Haltelinie von Kreuzung weiter entfernt platziert • Separate Velowege; im Gegenverkehrsrichtung • Wartebuchten für Velos/Motorräder mit Divergenzmarkierungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Flächige farbliche Gestaltung • Trennung von Richtungsangaben und Spurwahl bei Kreiseln • Separate Velowege; im Gegenverkehrsrichtung • 3-Phasen Kreuzung • Wartebuchten für Velos/Motorräder nach Fahrtrichtung unterteilen • Aufteilung von komplexen Situationen in Sequenzen (Zwischenampeln, Mittelinseln) 	<ul style="list-style-type: none"> • Countdown display

Die folgende Elemente fokussieren sich auf die Einhaltung der Vortritts- und Verkehrsregeln:

- Mit einem Countdown display, der anzeigt, wie lange es bis zur nächsten Grünphase dauert kann die Anzahl Überquerungen bei Rot reduziert werden (Lipovac et al., 2013)
- Klarere Information durch Trennung von Richtungsangaben und Spurwahl bei Kreiseln (Johnson, 2019)
- Erhöhte verfügbare Reaktionszeiten, wenn die Haltelinie weiter weg vor der Kreuzung platziert werden (Cantisani et al., 2019)
- Niedrigere Kollisionswahrscheinlichkeit durch separate Velowege im Gegenverkehrsrichtung (Cantisani et al., 2019)
- Separate LSA-Phase (3-Phasen Kreuzung) für Velofahrende auf separaten Velofahrbahnen (Cantisani et al., 2019)
- Verhinderung von Seitenkollisionen durch die Unterteilung von Wartebuchten und durch Markierungen (Bodenpfeile) zur Trennung der Warteschlange innerhalb der Radstreifen (Hsu & Wen, 2019)
- Aufteilung von komplexen Situationen in Sequenzen (Zwischenampeln, Mittelinseln), um die Überforderungswahrscheinlichkeit zu reduzieren (Becher et al., 2006); (Schlag et al., 2015)

II Detailanalyse des Unfallgeschehens

II.1 Unfallursachen innerorts

II.1.1 Nach Hauptverursacher

Die Hauptursachen wurden nach den drei Hauptverursachergруппen MIV, Veloverkehr und Fussverkehr separat ausgewertet und die SERFOR-Relevanz beschrieben. Datengrundlage sind alle registrierten Unfälle mit Personenschaden innerorts schweizweit von 2014 bis 2018 (5 Jahre, vgl. Tab. 25). Um das SERFOR Potential abzuschätzen wurden alle Unfälle ausgeschlossen, bei welchen die Hauptursache unbekannt oder auf den Zustand der Person (Alkoholkonsum, medizinische Probleme,...) zurückzuführen war.

Tab. 25 Hauptverursacher innerorts

Hauptverursacher	Anzahl registrierte Unfälle mit Personenschaden innerorts 2014-2018	Anteil
Motorisierter Verkehr	141'501	80,6 %
Veloverkehr (inkl. schnelle E-Bikes)	10'924	6,2 %
Fussverkehr	2'514	1,4 %
Unbekannt oder Zustand der Person	20'435	11,8 %

Motorisierter Verkehr

Beim MIV (siehe Tab. 26) gibt es keine dominante Hauptursache. Jeder vierte Unfall ist auf Unaufmerksamkeit und unvorsichtiges Rückwärtsfahren zurückzuführen. Gemessen an SERFOR-relevanten Themen sind das Missachten des Vortrittsignals «Kein Vortritt» und zu nahes Aufschliessen am wichtigsten.

Eine wichtige Feststellung ist, dass Missachten des Vortrittssignals «Kein Vortritt» deutlich häufiger ist, als das Missachten von anderen Vortrittsregelungen. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass bei Rechtsvortritten auch viele Unfälle mit momentaner Unaufmerksamkeit, zu nahem Aufschliessen und anderem Fehlverhalten im Zusammenhang mit Vortritt oder Fahrbewegungen registriert werden.

Tab. 26 Hauptursachen bei Hauptverursacher MIV ($\geq 1,0$ %)

Hauptursache	Relevanz self-explaining	Relevanz forgiving	Anzahl Unfälle 2014-2018	Anteil
Momentane Unaufmerksamkeit	Relevant	Relevant	18469	13,1%
Unvorsichtiges Rückwärtsfahren	?	?	17214	12,2%
Missachten des Vortrittssignals «Kein Vortritt»	Relevant	Relevant	11943	8,4%
Zu nahes Aufschliessen	?	Relevant	8812	6,2%
Anderes Fehlverhalten im Zusammenhang mit Vortritt	Nicht relevant (Unschärfe Aussage)	Nicht relevant (Unschärfe Aussage)	6067	4,3%
Anderes Fehlverhalten bei Fahrbewegungen	Nicht relevant (Unschärfe Aussage)	Nicht relevant (Unschärfe Aussage)	5381	3,8%
Vortritt beim Linksabbiegen vor Gegenverkehr	Relevant	Relevant	4160	2,9%

Anderer Einfluss im Zusammenhang mit Unaufmerksamkeit und Ablenkung	Nicht relevant (Unschärfe Aussage)	Nicht relevant (Unschärfe Aussage)	3747	2,6%
Mangelnde Rücksichtnahme bei Fahrstreifenwechsel	?	?	3727	2,6%
Nichtgewähren des Vortritts bei Fussgängerstreifen	Relevant	Relevant	3622	2,6%
Nichtanpassen an die Strassenverhältnisse (nass, vereist, Rollsplitt, Laub, usw.)	Nicht relevant	Relevant	2994	2,1%
Missachten des Vortrittssignals Stop	Relevant	Relevant	2590	1,8%
Mangelhafte Manipulation im Fahrzeug (Gas statt Bremse, Wegrutschen von Bremse bei Automaten, usw.)	Nicht relevant	Nicht relevant	2465	1,7%
Mangelnde Fahrpraxis	Nicht relevant	?	2241	1,6%
Missachten des Rechtsvortritts	Relevant	Relevant	2230	1,6%
Vorschriftswidriges Begegnen (Kreuzen in Längsrichtung) oder ungenügendes Rechtsfahren	Relevant	Relevant	2210	1,6%
Nichtanpassen an die Linienführung (enge Kurve, Verzweigungsbereich, usw.)	Relevant	Relevant	2185	1,5%
Anderer Bedienungsfehler	Nicht relevant (Unschärfe Aussage)	Nicht relevant (Unschärfe Aussage)	2137	1,5%
Missachten des Rotlichts	Relevant	Relevant	1907	1,3%
Ungenügend gesichertes Fahrzeug beim Parkieren	Nicht relevant	Nicht relevant	1905	1,3%

Veloverkehr

Bei den Velofahrenden (siehe *Tab. 27*) ist die momentane Unaufmerksamkeit die häufigste Hauptursache, gleich wie bei allen Typen des rollenden Verkehrs. Unaufmerksamkeit ist SERFOR-relevant, da Verkehrsteilnehmende durch die Häufigkeit oder Abwesenheit von Elementen im Strassenraum über- oder unterfordert werden. Die Infrastruktur hat dadurch einen direkten Einfluss auf die Konzentration der Verkehrsteilnehmenden.

Beim Veloverkehr sind auch sonst fast alle häufigen Hauptursachen auf unscharf beschriebenes Fehlverhalten („Anderes Fehlverhalten des Fahrradfahrers...“) oder bewusstes Fehlverhalten (z.B. unerlaubtes Befahren des Trottoirs) zurückzuführen.

Ebenfalls häufig ist Missachten von Vortrittsregelungen. Im Gegensatz zum MIV fällt auf, dass Unfälle bei Missachten des Rotlichts bei Velofahrenden ähnlich hoch sind, wie bei anderen Vortrittsregelungen.

Abschliessend sind Hauptursachen zu erwähnen, die mit dem Nichtbeherrschen des Fahrrads zusammenhängen (Nichtanpassen an die Strassenverhältnisse, zu nahes Aufschliessen). Nichtanpassen an die Linienführung ist hingegen häufig nicht auf Nichtbeherrschen des Fahrrads zurückzuführen, sondern auf Linienführungen, die nicht an die Fahrdynamik und spezifische Eigenschaften von Fahrrädern angepasst sind (z.B. spitzwinklige Gleisquerungen, zu enge Abbiegesituationen, fehlende Kurvenverbreiterungen von Velostreifen).

Tab. 27 Hauptursachen bei Hauptverursacher Veloverkehr ($\geq 1,0\%$)

Hauptursache	Relevanz self-explaining	Relevanz forgiving	Anzahl Unfälle 2014-2018	Anteil
Momentane Unaufmerksamkeit	Relevant	Relevant	1207	11,0%

Anderer Bedienungsfehler	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	630	5,8%
Anderes Fehlverhalten des Fahrradfahrers	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	629	5,8%
Anderer Einfluss im Zusammenhang mit Unaufmerksamkeit und Ablenkung	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	616	5,6%
Anderes Fehlverhalten im Zusammenhang mit Vortritt	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	545	5,0%
Unerlaubtes Befahren eines Trottoirs / Fussweges (längs)	Relevant (wissend/unwissend ?)	Relevant	500	4,6%
Anderes Fehlverhalten bei Fahrbewegungen	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	417	3,8%
Nichtanpassen an die Linienführung (enge Kurve, Verzweigungsbereich, usw.)	Relevant	Relevant	357	3,3%
Missachten des Rechtsvortritts	Relevant	Relevant	351	3,2%
Missachten des Vortrittssignals Kein Vortritt	Relevant	Relevant	349	3,2%
Missachten des Rotlichts	Relevant	Relevant	290	2,7%
Nichtanpassen an die Strassenverhältnisse (nass, vereist, Rollsplitt, Laub, usw.)	Nicht relevant	Nicht relevant	275	2,5%
Spitzwinklige Gleisquerung für Zweiradfahrer	Relevant	Relevant	241	2,2%
Zu nahes Aufschliessen	?	Relevant	220	2,0%
Befahren eines Fussgängerstreifens zum Überqueren der Fahrbahn	Relevant (Fehlverhalten wissend/unwissend ?)	Relevant	189	1,7%
Vorschriftswidriges Begegnen (Kreuzen in Längsrichtung) oder ungenügendes Rechtsfahren	Relevant	Relevant	143	1,3%
Nichtgewähren des Vortritts bei Fussgängerstreifen	Relevant	Relevant	114	1,0%
Laufen von Haustieren in Fahrbahn	Nicht relevant	Nicht relevant	108	1,0%
Missachten eines Signals	Relevant	Relevant	106	1,0%
Vortritt beim Linksabbiegen vor Gegenverkehr	Relevant	Relevant	105	1,0%

Fussverkehr

Zufussgehende (siehe *Tab. 28*) verursachen hauptsächlich Unfälle durch unvorsichtiges Überqueren der Fahrbahn, Nichtbenützen der für sie vorgesehenen Flächen oder Spielen auf der Fahrbahn. Aus sicherheitstechnischer Sicht besteht Handlungsbedarf, um Konfliktflächen, wo der Fussverkehr den Vortritt verliert, intuitiv abzugrenzen.

Ebenfalls sehr häufig sind Unfälle, die vom Fussverkehr durch Missachten des Rotlichts verursacht werden.

Tab. 28 Hauptursachen bei Hauptverursacher Fussverkehr

Hauptursache	Relevanz self-explaining	Relevanz forgiving	Anzahl Unfälle 2014-2018	Anteil
Unvorsichtiges Überqueren der Fahrbahn	?	Relevant	971	38,6%

Springen, Laufen oder Spielen auf der Fahrbahn	?	?	562	22,4%
Nichtbenützen der für Fuss-/FäG-Verkehr bestimmten Verkehrsflächen	Relevant (Fehlverhalten wissend/unwissend ?)	Relevant	241	9,6%
Anderes Fehlverhalten des Fuss- oder FäG-Verkehrs	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	Nicht relevant (Un-scharfe Aussage)	231	9,2%
Missachten des Rotlichts	Relevant	Relevant	218	8,7%
Missachten des Vortritts der Strassenbahn	Relevant	Relevant	38	1,5%
Missachten eines Signals	Relevant	Relevant	23	0,9%
Missachten der Verkehrsregelung durch Handzeichen (Polizei, Feuerwehr, Kadetten, usw.)	?	?	13	0,5%
Laufen von Haustieren in Fahrbahn	Nicht relevant	Nicht relevant	12	0,5%

II.1.2 Nach Leidtragenden

Bezüglich Sicherheit des Velo- und Fussverkehrs sind diejenigen Unfälle relevant, an denen Zufussgehende oder Velofahrende leidtragend, aber nicht Hauptverursacher waren. Dafür wurden die Daten für das Jahr 2018 analysiert (89'028 Unfällen mit Personenschaden beteiligt).

Veloverkehr

2018 geschahen 5'533 Unfälle (6,2 %) mit Personenschaden und Beteiligung von Velofahrenden (inkl. langsame oder schnelle E-Bikes). 2'447 mal waren die Velofahrende leidtragend, aber nicht Hauptverursacher (44 %). Die Unfallursachen in den Fällen mit Veloverkehr als Leidtragende sind in der *Tab. 29* aufgelistet.

Tab. 29 Hauptursachen bei Leidtragende Velofahrende

Hauptursache	Anzahl Unfälle 2018	Anteil
Missachten des Vortrittssignals Kein Vortritt	641	26,3%
Anderes Fehlverhalten im Zusammenhang mit Vortritt	296	12,1%
Vortritt beim Linksabbiegen vor Gegenverkehr	235	9,6%
Zu nahes Überholen (seitlich)	191	7,8%
Momentane Unaufmerksamkeit	110	4,5%
Nichtgewähren des Vortritts über Trottoir (Trottoirüberfahrt)	96	3,9%
Unvorsichtiges Öffnen der Wagentüre	90	3,7%
Missachten des Rechtsvortritts	78	3,2%
Missachten des Vortrittssignals Stop	75	3,1%
Vorschriftswidriges Begegnen (Kreuzen in Längsrichtung) oder ungenügendes Rechtsfahren	70	2,9%
Unvorsichtiges Rückwärtsfahren	50	2,1%
Unbekannte Ursache	49	2,0%
Anderes Fehlverhalten bei Fahrbewegungen	48	2,0%
Zu nahes Aufschliessen	47	1,9%
Anderes Fehlverhalten im Zusammenhang mit Überholen	34	1,4%
Mangelnde Rücksichtnahme bei Fahrstreifenwechsel	28	1,1%

Unvorsichtiges Überqueren der Fahrbahn	28	1,1%
Einwirkung von Alkohol	27	1,1%

Fussverkehr

2018 geschahen 2'390 Unfälle (2.7 %) mit Personenschaden und Beteiligung von Zufussgehenden. 1'923 mal waren die Zufussgehenden Leidtragende, aber nicht Hauptverursacher (80.6%). Die Unfallursachen in den Fällen mit Fussverkehr als Leidtragende sind in der *Tab. 30* aufgelistet.

Tab. 30 Hauptursachen bei Leidtragende Fussverkehr

Hauptursache	Anzahl Unfälle 2018	Anteil
Nichtgewähren des Vortritts bei Fussgängerstreifen	707	39,2%
Unvorsichtiges Rückwärtsfahren	193	10,7%
Momentane Unaufmerksamkeit	182	10,1%
Nichtgewähren des Vortritts über Trottoir (Trottoirüberfahrt)	57	3,2%
Einwirkung von Alkohol	57	3,2%
Anderes Fehlverhalten bei Fahrbewegungen	57	3,2%
Unbekannte Ursache	53	2,9%
Anderes Fehlverhalten im Zusammenhang mit Vortritt	38	2,1%
Nichtanpassen an die Sichtverhältnisse (beeinflusst durch Witterung und Lichtverhältnisse)	31	1,7%
Anderer Einfluss im Zusammenhang mit Unaufmerksamkeit und Ablenkung	30	1,7%
Unserlaubtes Befahren eines Trottoirs / Fussweges (längs)	29	1,6%
Missachten des Rotlichts	25	1,4%
Missachten der Verkehrsregelung durch Handzeichen (Kadetten, usw.)	24	1,3%
Mangelhafte Manipulation im Fahrzeug (Gas statt Bremse, usw.)	24	1,3%
Zu nahes Aufschiessen	21	1,2%
Missachten des Fussgängervortritts bei Vollgrün oder Warnblinker	19	1,1%
Anderer Bedienungsfehler	18	1,0%
Anderes Fehlverhalten des Fahrrad- oder Motorfahrradfahrers	17	0,9%

II.2 Unfälle bei Rechtsvortritt

Sicherheitsdefizite bei Rechtsvortritten konnten in den vorigen Unfallanalysen nur ungenügend untersucht werden. Um festzustellen, ob bei Rechtsvortritten signifikante Unfallbilder vorkommen, wurden einerseits die Unfälle von einem Quartier in Zürich im Detail analysiert und andererseits ein grösserer Datensatz statistisch analysiert.

Exemplarische Quartier-Analyse

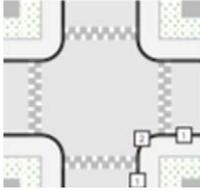
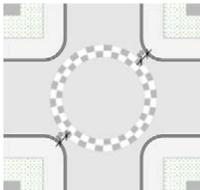
Exemplarisch werden einige Fälle mit den Werkzeugen einer detaillierteren Unfallanalyse analysiert. Dadurch kann die Unfallursache eingegrenzt werden, relevante Elemente des Strassenraums, die einen Einfluss auf die Unfallfolgen haben, können identifiziert werden.

Die DAV der Stadt Zürich hat mittels der Software Vugis, basierend auf den ASTRA-Unfalldaten, Unfälle im Anwand-Quartier in Zürich analysiert. Dabei wurden Unfälle berücksichtigt, welche sich in den Jahren 2016 - 2019 in der Tempo-30-Zone und bei

Rechtsvortritt-Knoten ereigneten. Der untersuchte Bereich umfasst je einen Abschnitt der Anwand- und der Kanzleistrasse und enthält insgesamt 8 Knoten. Im erwähnten Zeitabschnitt geschahen in diesem Bereich insgesamt 32 Unfälle. Es wurden neben den statistischen Daten auch die Unfallskizzen und die Freitext-Angaben aus den UAP's berücksichtigt.

Ein Teil der 32 Unfälle ereignete sich nicht in den Knotenbereichen, sondern auf gerader Strecke mit Längsparkierung. 14 Unfälle fanden in Knotenbereichen statt. Diese wurden für eine Erstbeurteilung gesichtet und nach Gestaltungsform des Knotens unterschieden. Die Analyse zeigt, dass für jede Gestaltungsform charakteristische Probleme festgestellt werden können, welchen in den aktuellen Normen nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die wichtigsten SERFOR-relevanten Erkenntnisse sind in *Tab. 31* gelistet.

Tab. 31 SERFOR-relevante Erkenntnisse pro Gestaltungsform aus der Quartier-Analyse

Gestaltungsform (Anzahl im Untersuchungsperimeter)	Erkenntnisse
Ganz angehoben (3)	 <ul style="list-style-type: none"> • Bei Anrampungen muss vor der Anrampung mindestens Platz für eine Aufstellfläche für einen PW frei gehalten bleiben (forgiving). • Erhöhung wurde durch Zufussgehende evtl. als Querungsstelle missverstanden (wenig self-explaining).
Belagsrosette, bzw. runder Vertikalversatz (1)	 <ul style="list-style-type: none"> • Vorrtrittsregelung evtl. unklar, bzw. Verwechslung mit baulich ähnlicher Kreiselsituation aber effektiv mit umgekehrtem Vortritt (wenig self-explaining). • Verkehrsteilnehmende probieren evtl. die Belagsrosette rechts umzufahren, wie im Fall eines Kreisels (wenig self-explaining).
Tulpenmarkierung (2)	 <ul style="list-style-type: none"> • Kritisch bei zu engen Strassen (z.B. wegen Längsparkplätzen auf der Fahrbahn), so dass Autos nicht auf der vorgesehenen Seite der Tulpenmarkierung bleiben können.
Keine Markierung (2)	 <ul style="list-style-type: none"> • Wegfahrt vom Längsparkplatz auf der Fahrbahn geradeaus in den Kreuzungsbereich. • Objekte (z.B. stehende Velos) unmittelbar vor dem Kreuzungsbereich werden evtl. schlecht wahrgenommen. Evtl. bräuchte es anschliessend zum Knoten ein bauliches Hindernis. • Missachten des Rechtsvortritts bei zulässigen Sichtweiten.

Statistische Analyse

In einem nächsten Schritt wurde untersucht, ob aus Unfallanalysen mit grösseren Datensätzen Empfehlungen abgeleitet werden können, welche Gestaltungsform in welcher Situation zu wählen ist. Der Ansatz, anstatt einer detaillierten Analyse einiger weniger Unfälle eine grössere Anzahl Unfälle oberflächlicher zu analysieren, ist vielversprechend. Durch die Kombination der im UAP plus Skizzen und Freitext-Beschreibungen enthaltenen Daten z.B. mit Geoinformationen können direkte Rückschlüsse auf SERFOR-relevante Aspekte gewonnen werden.

Um für jede Gestaltungsform charakteristische Sicherheitsdefizite zu identifizieren, wurden etwas mehr als 300 Unfälle an Rechtsvortrittknoten mit allen typischen Gestaltungsformen analysiert. Da nur eine begrenzte Menge an Unfallsituationen vertieft bearbeitet werden konnte, wurden nur Knoten in ausgewählten Quartieren in der Stadt Zürich untersucht. Dies

hatte den weiteren Vorteil, dass alle Daten bei der gleichen Quelle (Dienstabteilung Verkehr der Stadtpolizei Zürich) beschafft werden konnten.

Die DAV lieferte die Daten von insgesamt 313 Unfällen. Folgende Selektionskriterien wurden verwendet:

Geografische Analyse: Dadurch wurde der Einfluss durch subjektive Einschätzungen oder falsche oder fehlende Angaben in Unfallprotokollen reduziert. Unpassende Unfälle wurden nach der ersten Sichtung der Situation aus dem Basisdatensatz entfernt. Die ausgewählten Gebiete / Quartiere sind:

- Kreis 4; Wohn- und Gewerbequartiere, teilweise mit Nachtleben
- Kreis 5 (Quartier Gewerbeschule); Wohn- und Gewerbequartier
- Kreis 6, 7 und 8; Wohnquartiere

Zeitlich: Es wurden nur Unfälle aus den Jahren 2016 bis 2020 verwendet. So wurde das Risiko reduziert, dass der Knoten seit dem Unfall umgestaltet wurde.

Zusätzlich erhielten wir für jeden Unfall die im UAP abgelegte Skizze sowie die Freitext-Beschreibung.

Tab. 32 Rohdaten

	Sachschaden	Leichtverletzt	Schwerverl.	Summen	Anteile
Schleuder/Selbstunfall	101	12	4	117	37%
Fahrstreifenwechsel	4			4	1%
Auffahrunfall	21	2		23	7%
Abbiegeunfall	7	1	2	10	3%
Einbiegeunfall	9	4		13	4%
Überqueren Fahrbahn	22	18	2	42	13%
Frontalkollision	11	3		14	4%
Parkierunfall	80	2		82	26%
Fussgängerunfall	1	4	3	8	3%
Summen	256	46	11	313	
Anteile	82%	15%	4%	100%	100%

Ein grosser Anteil der Unfälle sind Parkier- oder Selbstunfälle (vgl. Tab. 32). 21% der Unfälle sind Abbiege/Einbiege/Überquer-Unfälle, also primär interessant für SERFOR.

Bei den Fahrradunfällen fällt der geringe Anteil mit nur Sachschaden auf, das ist aber erklärbar, da Selbstunfälle mit Velos, ohne Verletzte, normalerweise nicht der Polizei gemeldet werden. Es sind bei den Velos proportional mehr Abbiege/Einbiege/Überquer-Unfälle, allerdings gilt dieselbe Überlegung wie oben, und es gibt praktisch keine Parkierungsunfälle.

Unfälle mit Motorrädern sind im untersuchten Gebiet offenbar sehr selten und können daher nicht gesondert betrachtet werden.

Zunächst wurden aus dem Datensatz diejenigen Unfälle eliminiert, welche nicht SERFOR-relevant sind oder sich nicht im Bereich von Rechtsvortritts-Situationen ereigneten (vgl. Tab. 33).

Tab. 33 SERFOR-relevante Unfälle

	Sachschaden	Leichtverletzt	Schwerverl.	Summen	Anteile
Schleuder/Selbstunfall	47	5		52	33%
Fahrstreifenwechsel	3			3	2%
Auffahrunfall	5			5	3%
Abbiegeunfall	4	1	1	6	4%
Einbiegeunfall	6	4		10	6%
Überqueren Fahrbahn	21	18	2	41	26%
Frontalkollision	7	3		10	6%

Parkierunfall	20	1		21	13%
Fussgängerunfall	1	4	3	8	5%
Summen	114	36	6	156	
Anteile	73%	23%	4%	100%	100%

Tab. 34 SERFOR-relevante Unfälle bei Rechtsvortritts-Situationen

	Sachschaden	Leichtverletzt	Schwerverl.	Summen	Anteile
Schleuder/Selbstunfall		1		1	2%
Fahrstreifenwechsel	3			3	5%
Auffahrunfall	1			1	2%
Abbiegeunfall	4	1	1	6	10%
Einbiegeunfall	6	3		9	15%
Überqueren Fahrbahn	20	16	2	38	62%
Frontalkollision	3			3	5%
Parkierunfall				0	0%
Fussgängerunfall				0	0%
Summen	37	21	3	61	
Anteile	61%	34%	5%	100%	100%

Allen 313 Datensätzen (also auch den „nicht relevanten“) wurden Knoten-Typen zugeordnet (siehe Tab. 35), wobei die bereits in der Quartier-Analyse aufgelisteten Typen mitgezählt wurden.

Tab. 35 Knotentypen (alle Datensätze)

KnotenTyp	Anzahl Unfälle	SERFOR-relevant	Verhältnis
0 Kein Knoten	52	4	(8%)
1 Ganz angehoben	29	15	52%
2 Belagsrosette	74	51	69%
3 Tulpenmarkierung	17	11	65%
4 Keine Markierung	104	53	51%
5 andere	37	22	59%

Die Knoten-Typen wurden aufgrund von Satelliten-Aufnahmen (Google Earth, swisstopo) bestimmt. Dabei ist zu beachten, dass einzelne Knoten während des Untersuchungszeitraums (2016 - 2020) umgestaltet wurden. Wo möglich wurde dies berücksichtigt, in dem das Datum der Aufnahmen entsprechend ausgewählt wurde; einzelne Fehler könnten dennoch entstanden sein.

Tab. 36 SERFOR-relevante Unfälle nach Knotentyp

	0	1	2	3	4	5	Summe	Anteile
Schleuder/Selbstunfall	1	6	18	7	10	10	52	33%
Fahrstreifenwechsel			1		2		3	2%
Auffahrunfall			2		2	1	5	3%
Abbiegeunfall		1	2			3	6	4%
Einbiegeunfall		1		2	6	1	10	6%
Überqueren Fahrbahn		3	16		19	3	41	26%
Frontalkollision	1	2	3	2	2		10	6%
Parkierunfall	1	1	8		8	3	21	13%
Fussgängerunfall	1	1	1		4	1	8	5%

Summen	4	15	51	11	53	22	156
Anteile	3%	10%	33%	7%	34%	14%	

Die Verknüpfung der Klassifizierung nach Knotentyp und nach Unfalltyp ist in *Tab. 36* ersichtlich. Es fragt sich nun, ob bestimmte Knotentypen über- oder unterproportional vertreten sind. Der zur Verfügung stehende Datensatz eignet sich allerdings nur bedingt für derartige Analysen, da die Unfälle nicht nach Kriterien wie z.B. Quartiergrenzen etc. ausgewählt wurden. Die Anzahl der im untersuchten Gebiet insgesamt vorhandenen Knoten / Knotentypen ist daher a priori unbekannt und kann auch nicht ausgezählt werden. Zudem ist denkbar, dass gewisse Knoten bewusst umgestaltet wurden, weil dort aufgrund anderer Einflüsse besonders viele Unfälle geschahen. Dies würde die Statistik ebenfalls verfälschen. Mit allen diesen Einschränkungen entsteht dennoch der Eindruck, dass die Anzahl Unfälle auf einem bestimmten Knotentyp durchaus mit der Anzahl Knoten dieses Typs korreliert, dass also kein Knotentyp als besonders „gefährlich“ oder „sicher“ heraussticht.

Der Datensatz weist lediglich 8 Unfälle mit Beteiligung von Zufussgehenden und 12 Unfälle mit Beteiligung von Motorrädern auf; aufgrund dieser geringen Zahlen ist eine weiterführende Analyse nicht möglich. Von 313 Unfällen waren aber bei 58 Unfällen Fahrräder beteiligt, was einem Anteil von rund 20 % entspricht. Betrachtet man nur die SERFOR-relevanten Unfälle, steigt der Anteil auf 24 %. Schliesst man Unfälle mit nur einem beteiligten Objekt aus, steigt der Anteil weiter auf 41 %. Bei Unfällen auf einem Knoten mit Rechtsvortritt und Ursache in der Vortrittsregelung war von insgesamt 61 Unfällen in 29, also beinahe 50 %, ein Fahrrad (inklusive „langsames E-Bike“) beteiligt (vgl. *Tab. 37*). Die Kollisionen erfolgten nur in einem einzigen Fall zwischen zwei Fahrrädern.

Tab. 37 Unfälle mit Beteiligung von Fahrrädern

	Alle	Fahrrad beteiligt	Anteil
Alle Unfälle	313	58	19%
SERFOR-relevant	156	38	24%
Zwei beteiligte Objekte	88	36	41%
+ Rechtsvortritt	61	29	48%

Auf Rechtsvortritts-Knoten geschehen somit tendenziell überproportional viele Unfälle mit Beteiligung von Velos.

Weiter fällt auf, dass bei 66 % der Unfälle auf Belagsrosetten das Velo vortrittsbelastet war (vgl. *Tab. 38*), während dies bei allen anderen Knotentypen in nur 28 % der Unfälle zutraf. Trotz der geringen Fallzahlen ist dieser Unterschied erheblich.

Tab. 38 Unfälle mit Fahrradbeteiligung nach Knotentypen

Knotentyp	Anzahl Unfälle	Velo vortrittsbelastet
Ganz angehoben	6	2
Belagsrosette	9	6
Tulpenmarkierung	1	1
Keine Markierung	6	2
andere	6	1

Als Schlussfolgerung ergab sich aus dieser statistischen Analyse von Unfällen bei Rechtsvortritt, dass das Unfallgeschehen an sich tendenziell eher nicht vom Knotentyp abhängt, dass aber bei Kollisionen von Automobilen mit Velos offenbar Unterschiede bestehen, indem Velos häufiger auf Belagsrosetten und Automobile häufiger auf allen anderen Knotentypen Hauptverursacher sind.

II.3 Unfalltypen

Der Unfalltyp bezeichnet den Verkehrsvorgang bzw. die Konfliktsituation, welche massgebend für die Entstehung des Unfalls ist. Der Unfalltyp wird mit einem Fragebogen eindeutig identifiziert und ist eine wichtige Ergänzung zur Unfallursache.

In der *Tab. 39* wurden die Unfalltypen innerorts ausgewertet. Bei der Interpretation muss darauf geachtet werden, dass in dieser Tabelle auch nicht-SERFOR-relevanten Unfälle (z.B. Beeinflussung der Beteiligten durch Alkohol, Drogen oder Schwächezustände) registriert sind.

Der häufigste Unfalltyp (17.6%) ist der Aufprall auf ein stehendes Fahrzeug (welches den gleichen Fahrstreifen benutzt). Die verschiedenen Arten von Kollisionen mit einem Hindernis, und nicht mit einem anderen Verkehrsteilnehmenden, stellen zusammen ca. 16% der Unfälle dar. Die verschiedenen Arten von Kollisionen oder Aufpralle mit einem anderen (stehenden oder fahrenden, aber nicht parkierten) Fahrzeug oder mit Zufussgehenden stellen zusammen mehr als zwei Drittel der Unfälle innerorts dar.

Tab. 39 Unfalltypen innerorts ($\geq 1,0\%$)

Unfalltyp	Anzahl Unfälle	Anteil
Aufprall auf stehendes Fahrzeug	16340	17,6%
Kollision mit Hindernis ausserhalb der Fahrbahn	6742	7,3%
Kollision beim Linkseinbiegen mit von links kommendem Fahrzeug	6345	6,8%
Kollision zwischen geradeaus fahrendem Fahrzeug und querendem Fussverkehr	5975	6,4%
Kollision beim Rechtseinbiegen mit von links kommendem Fahrzeug	5455	5,9%
Aufprall auf fahrendes Fahrzeug	5045	5,4%
Kollision mit Hindernis auf der Fahrbahn	4864	5,2%
Kollision beim Linksabbiegen mit Gegenverkehr	4656	5,0%
Kollision mit festem Hindernis (inkl. mit richtig parkiertem Fahrzeug)	3448	3,7%
Kollision mit von rechts kommendem Überquerer	3384	3,6%
Ohne Kollision	2492	2,7%
Kollision mit von links kommendem Überquerer	2415	2,6%
Kollision beim Linkseinbiegen mit von rechts kommendem Fahrzeug	2092	2,3%
Kollision beim Fahrstreifenwechsel nach rechts	2060	2,2%
Streifen mit Gegenverkehr (ohne Überholen)	1809	1,9%
Kollision beim Fahrstreifenwechsel nach links	1700	1,8%
Kollision mit anderem Verkehrsteilnehmenden (inkl. Fussverkehr)	1628	1,8%
Anderer Unfalltyp	1509	1,6%
Beim Ausweichen, ohne Kollision	1141	1,2%
Streifen mit überholtem Fahrzeug	1036	1,1%
Frontalkollision mit Gegenverkehr (ohne Überholen)	928	1,0%

III Priorisierung der Projektierungsprinzipien

Als Stossrichtungen für neue Designregeln gibt es:
die 18 Projektierungsprinzipien aus dem TP1 (siehe Kap. 2.1.2) und
Priorisierung nach Häufigkeit der SERFOR-relevanten Unfallursachen (siehe Kap. 2.2.2
und Anhang II.1).

In einer ersten Stufe erfolgte eine Priorisierung durch die Paketleitung (Kap. III.1), in einer
zweiten Stufe anhand der Ergebnisse der Analyse der Unfallursachen (Kap. III.2).

III.1 Priorisierung durch die Paketleitung

In der *Tab. 40* ist die Priorisierung der Projektierungsprinzipien aus dem TP1 für die Stras-
sen durch die Paketleitung innerorts ersichtlich.

Tab. 40 Projektierungsprinzipien: Rangfolge aufgrund der Priorisierung durch die Paketlei-
tung

Rang	Projektierungsprinzip aus TP1
1	Aufmerksamkeit fördern
2	Konsistente Verkehrsregime in Knoten gewährleisten
3	Vereinheitlichung und Standardisierung flächendeckend umsetzen
4	Konfliktgegner erkennen
5	Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen (FOR-Thema)
6	Velofahrende: Salienz erhöhen
7	Vereinfachung unterstützen bzw. Komplexität reduzieren
8	Akzeptanz erhöhen
9	Zufussgehende: Synergien nutzen
10	Motorfahrzeuglenkende: Prägnanz
11	Velofahrende: Ideallinien kennzeichnen
12	Adaptivität verkehrstechnischer Einrichtungen erhöhen
13	Motorfahrzeuglenkende: Aktivierung
14	Orientierung geben
15	Zufussgehende: Signalisation ausrichten
16	Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen
17	Passive Sicherheit durch fehlerverzeihende Strassenräume erhöhen
18	Velofahrende: Feedback
19	Velofahrende: frühzeitig Erwartungen hervorrufen

III.2 Priorisierung nach Häufigkeit der SERFOR-relevante Unfall- ursachen

Die SER-relevante Unfallursachen (siehe Anhang II.1) wurden bis zu 3 Projektierungsprin-
zipien zugewiesen, und somit die Projektierungsprinzipien nach Anzahl Nennungen priori-
siert. Dafür wurden die Velo- und Fussverkehr einmal als Verursacher und einmal als Leid-
tragend berücksichtigt. Die Zuweisung der Projektierungsprinzipien zu den Unfallursachen
ist in der *Tab. 41* ersichtlich und die resultierende Rangliste in *Tab. 42*.

Tab. 41 Zuweisung Projektierungsprinzipien – SER-relevante Unfallursachen (Nummerierung der Prinzipien aus Tab. 40)

Gruppe	Verursacher / Leidtragender	Unfallursache	Prinzip 1	Prinzip 2	Prinzip 3
MIV	Verursacher	Momentane Unaufmerksamkeit	1	13	
MIV	Verursacher	Missachten des Vortrittssignals kein Vortritt	1	13	10
MIV	Verursacher	Zu nahes Aufschliessen	5	1	14
MIV	Verursacher	Vortritt beim Linksabbiegen vor dem Gegenverkehr	4	1	
MIV	Verursacher	Mangelnde Rücksichtnahme bei Fahrstreifenwechsel	4	5	1
MIV	Verursacher	Nichtgewähren des Vortritts bei Fussgängerstreifen	1	4	7
MIV	Verursacher	Nichtanpassen an die Strassenverhältnisse	1	13	
MIV	Verursacher	Missachten des Vortrittssignals Stop	1	13	10
MIV	Verursacher	Missachten des Rechtsvortritts	1	2	3
MIV	Verursacher	Kreuzen in Längsrichtung oder ungenügendes Rechtsfahren	14	16	
MIV	Verursacher	Nichtanpassen an die Linienführung (enge Kurve, Verzweigungsbereich, usw.)	14	16	
Velo	Verursacher	Momentane Unaufmerksamkeit	1	11	18
Velo	Verursacher	Unerlaubtes Befahren des Trottoirs (längs)	19	16	14
Velo	Verursacher	Nichtanpassen an die Linienführung	11	19	
Velo	Verursacher	Missachten von Rechtsvortritt	1	2	4
Velo	Verursacher	Missachten des Vortrittssignals kein Vortritt	1	13	10
Velo	Verursacher	Missachten Rotlicht			
Velo	Verursacher	Mangelnde Rücksichtnahme bei Fahrstreifenwechsel	5	16	19
Velo	Leidtragend	Missachten des Vortrittssignals Kein Vortritt	1	13	10
Velo	Leidtragend	Vortritt beim Linksabbiegen vor Gegenverkehr	4	1	
Velo	Leidtragend	Zu nahes Überholen (seitlich)	16	8	
Velo	Leidtragend	Nichtgewähren des Vortritts über Trottoir (Trottoirüberfahrt)	19	1	13
Velo	Leidtragend	Unvorsichtiges Öffnen der Wagentüre	16	19	1
Velo	Leidtragend	Missachten des Rechtsvortritts			
Fussverkehr	Verursacher	Unvorsichtiges Überqueren der Fahrbahn	1	9	15
Fussverkehr	Verursacher	Nichtbenützen der für Fussverkehr/FäG bestimmten Verkehrsflächen	8	14	16
Fussverkehr	Verursacher	Missachten des Rotlichts / eines Signals	1	8	15
Fussverkehr	Verursacher	Missachten des Vortritts der Strassenbahn	1	15	
Fussverkehr	Leidtragend	Nichtgewähren des Vortritts bei Fussgängerstreifen (40%)	1	4	7
Fussverkehr	Leidtragend	Unvorsichtiges Rückwärtsfahren (10%)	1	2	17
Fussverkehr	Leidtragend	Nichtgewähren des Vortritts über Trottoir (Trottoirüberfahrt) (10%)	10	4	8

Tab. 42 Projektierungsprinzipien: Rangfolge aufgrund der Bedeutung der Unfallursachen

Rang	Projektierungsprinzip aus TP1
1	Aufmerksamkeit fördern
2	Konfliktgegner erkennen Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen
4	Motorfahrzeuglenkende: Aktivierung
5	Motorfahrzeuglenkende: Prägnanz Velofahrende: frühzeitig Erwartungen hervorrufen Orientierung geben
8	Akzeptanz erhöhen Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen (FOR-Thema) Zufussgehende: Signalisation ausrichten
11	Konsistente Verkehrsregime in Knoten gewährleisten Vereinfachung unterstützen bzw. Komplexität reduzieren

IV Methoden und Auswertungen VR-Experimente

IV.1 Detaillierte Forschungsfragen

Aus dem fokussierten Rahmenmodell lassen sich die folgenden Fragestellungen für die Wirkung der Gestaltungselemente auf das Verkehrsverhalten ableiten (vgl. *Tab. 43*).

Tab. 43 Fragestellungen (1) zur Wirkung der Strassengestaltung auf das Verkehrsverhalten	
Allgemeine Fragestellung	Wie wirkt sich die Strassengestaltung auf das Verkehrsverhalten (Verhaltensintention) aus?
Forschungsfrage Strecke	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur auf der Strecke auf die gewählte Geschwindigkeit aus?
	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur auf der Strecke auf das vorsichtige Verhalten aus?
Forschungsfragen Knoten	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur beim Knoten auf die gewählte Geschwindigkeit aus?
	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur beim Knoten auf das vorsichtige Verhalten aus?
	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur beim Knoten auf das Vortrittsverhalten aus?

Weiter lassen sich aus dem fokussierten Modell die folgenden Fragestellungen für die Wirkung der Gestaltungselemente auf die Wahrnehmung (psychologische Mechanismen) ableiten (vgl. *Tab. 44*).

Tab. 44 Fragestellungen (2) zur Wirkung der Strassengestaltungen auf die Wahrnehmung durch die Verkehrsteilnehmenden	
Allgemeine Fragestellung	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur auf die Wahrnehmung durch die Verkehrsteilnehmenden aus?
Forschungsfragen Strecke	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur auf der Strecke auf das erwartete Geschwindigkeitslimit aus?
	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur auf der Strecke auf die Aufmerksamkeit aus?
	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur auf der Strecke auf die wahrgenommene Sicherheit aus?
Forschungsfragen Knoten	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur beim Knoten auf das erwartete Geschwindigkeitslimit aus?
	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur beim Knoten auf die Vortrittswahrnehmung aus?
	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur beim Knoten auf die Aufmerksamkeit aus?
	Wie wirkt sich die Strasseninfrastruktur beim Knoten auf die wahrgenommene Sicherheit aus?

Für die Fragestellung in Bezug des Zusammenhangs zwischen der Wahrnehmung und dem Verhalten lassen sich aus dem Modell die folgenden Forschungsfragen ableiten (vgl. *Tab. 45*).

Tab. 45 Fragestellungen (3) zur Wirkung der Wahrnehmung durch die Verkehrsteilnehmenden auf das Verkehrsverhalten

Allgemeine Fragestellung	Wie wirkt sich die Wahrnehmung auf das Verkehrsverhalten (Verhaltensintention) aus?
Forschungsfragen Strecke	Wie wirkt sich die Wahrnehmung der Strasseninfrastruktur auf der Strecke auf die gewählte Geschwindigkeit aus?
	Wie wirkt sich die Wahrnehmung der Strasseninfrastruktur auf der Strecke auf das vorsichtige Verhalten aus?
Forschungsfragen Knoten	Wie wirkt sich die Wahrnehmung der Strasseninfrastruktur beim Knoten auf die gewählte Geschwindigkeit aus?
	Wie wirkt sich die Wahrnehmung der Strasseninfrastruktur beim Knoten auf das vorsichtige Verhalten aus?
	Wie wirkt sich die Wahrnehmung der Strasseninfrastruktur beim Knoten auf Vortrittsverhalten aus?

IV.2 Experimentalkonditionen

Tab. 46 zeigt die Kontroll- und Experimentalkonditionen in der Übersicht, Tab. 47 zeigt die Merkmale der Gestaltungselemente für Strecken und Tab. 48 zeigt die Merkmale für Knoten.

Tab. 46 Untersuchte Gestaltungselemente: Kontrollkonditionen und Experimentalkonditionen

	Strecken					Knoten			
	Kontrollkonditionen		Mit variiert Leitlinie			Kontrollkondition	Tulpe	Belagsrosette	
	Ohne Leitlinie	Standard Leitlinie	V7 Linienabs. 1,5 m	V7 Linienabs. 3 m	V10			Ohne Markierung	gem. Norm
Auto	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Velo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
zu Fuss	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tab. 47 Gestaltung der Kontrollkonditionen sowie Experimentalkonditionen für die Strecken

Variante	Ohne Leitlinie (LL)	Standard Leitlinie (LL)	V7 Linienabstand 1,5 m	V7 Linienabstand 3 m	V10
Experimentalkondition	Kontrollkondition 1	Kontrollkondition 2	Experimentalkondition 1	Experimentalkondition 2	Experimentalkondition 3
Form (Prinzip)	ohne Leitlinie	Leitlinie gemäss Norm	Linie quer	Linie quer	Linie quer versetzt
Breite	-	15 cm	30 cm	60 cm	30 cm
Länge	-	3 m	20 cm	20 cm	20 cm
Linienabstand	-	6 m	1.50 m	3.00 m	3.00 m
Farbe	-	weiss	weiss	weiss	weiss

Tab. 48 Gestaltung der Kontrollkonditionen sowie Experimentalkonditionen für die Knoten

Variante	ohne Markierung	Tulpe gemäss Norm	Tulpe mit FGSO	Belagsrosette
	Kontrollkondition	Experimentalkondition 1	Experimentalkondition 2	Experimentalkondition 3

Form (Prinzip)	-	Tulpe gemäss Norm	Tulpe gem. Norm, verdeutlicht mit farblicher Markierung im Innenbereich der Tulpe (FGSO)	Belagsrosette, erhaben
Abmessungen	-	<ul style="list-style-type: none"> • Linienbreite 15 cm • Linienlänge 1 m • Linienabstand 1 m • Beginn der Linienmarkierung 6.5 m vor Beginn der abzweigenden Fahrspur • Abstand der Tulpe in Knotenmitte von der Strassenbeugung 4 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Wie Tulpe gemäss Norm • Abstand der farblichen Markierung zur Linie der Tulpe 15 cm 	<ul style="list-style-type: none"> • Markierung als Schachbrettmuster (50 x 50 cm) • Erhobene Belagsrosette (10 cm) • Steigung 10 % • Abstand zum Strassenrand min. 80 cm
Farbe	Markierung: weiss	Markierung: weiss	Markierung: weiss FGSO: blau	Markierung: weiss

Die folgende Liste zeigt die wichtigsten Prinzipien des gewählten experimentellen Aufbaus:

- **VR mit drei Freiheitsgraden:** Die Testpersonen können die Strassensituation in drei Freiheitsgraden betrachten (Kopf nach links oder rechts drehen, nach oben oder unten neigen, nach links und rechts neigen).
- **Bewegung im virtuellen Raum:** Die Testpersonen fahren in der Perspektive Auto oder Velo automatisiert durch die Strassensituationen.
- **Dynamische Verkehrssimulation:** In den Strassensituation gibt es vorbeifahrenden Autos. Damit soll die Verkehrssituation realistischer wirken und die externe Validität des experimentellen Aufbaus gesteigert werden.
- **Dynamische Umgebungssimulation:** In der Strassenumgebung gibt es Menschen, die sich bewegen und miteinander sprechen. Damit soll die Strassenumgebung realistischer wirken und die externe Validität des experimentellen Aufbaus gesteigert werden.
- **Neutrale Kondition vs. experimentelle Kondition:** Die Testpersonen betrachten jeweils zuerst die neutrale Kondition und danach die experimentellen Konditionen.
- **Randomisierung:** Die Gestaltungselemente werden randomisiert gezeigt. Zuerst werden entweder alle Gestaltungselemente der Strecke oder des Knotens gezeigt. Innerhalb der Gestaltungselemente werden zuerst die neutralen Konditionen gezeigt, die restlichen Gestaltungselemente werden dann wiederum in randomisierter Reihenfolge gezeigt.
- **Virtuell an einen anderen Ort springen:** Nach der Betrachtung und anschließenden Bewertung einer Strassensituation werden die Testpersonen im virtuellen Raum zur nächsten Strassensituation teleportiert.
- **Tempo 30/50:** Die virtuelle Strassenumgebungen sind so gestaltet, dass es unklar ist, ob es sich um eine Strassenumgebung mit Geschwindigkeitslimit 30 km/h oder 50 km/h ist.
- **Knoten (4-armig) mit schmalen einmündenden Strassen:** Bei den Strassensituationen des Knotens, ist dieser 4-armig und die einmündenden Strassen sind schmal. Die einmündenden Strassen sind absichtlich schmal gestaltet, um zu überprüfen, ob und wie stark die Gestaltungselemente die Erkennbarkeit der Strassensituation als Knoten verdeutlichen.
- **Perspektive:** Die Testpersonen betrachten die Strassensituationen nur aus einer Perspektive: Sie betrachten die identischen Situationen entweder aus der Perspektive von Autofahrenden, von Velofahrenden oder Zufussgehenden.
- **An Perspektive angepasste Sicht:** Die Sicht in VR ist an die jeweilige Perspektive angepasst: Autofahrende sitzen im Auto auf Fahrerseite hinter dem Steuer, Velofahrende sitzen auf einem Velo und Zufussgehenden stehen auf dem Trottoir.

IV.3 Methodik VR

Ablauf VR-Experimente

Der Ablauf der VR-Experimente gliederte sich in fünf Teile (vgl. *Tab. 49*). Die Experimente fanden im Digital Innovation Lab der Hochschule für Angewandte Psychologie statt. Die Gesamtdauer des Experiments betrug ungefähr 45 Minuten.

Nach Ankunft und Kontrolle der Einhaltung der jeweils geltenden Corona-Massnahmen begann das Experiment mit einer Einführung (Teil 1). Den Testpersonen wurde das Setting und der Ablauf des Experiments erklärt. Dabei wurden ihnen keine vertieften Informationen über das Ziel der Untersuchung bekannt gegeben. Sie wurden lediglich darüber informiert, dass sie aus der ihnen im Vorfeld zugeteilten Perspektive «Auto», «Velo», oder «zu Fuss» Strassensituationen bewerten sollten. Es folgten Hinweise zu Motion Sickness, die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme und dass das Experiment jederzeit und ohne Angabe eines Grundes abgebrochen werden könnte. Zum Abschluss von Teil 1 wurde eine Einverständniserklärung (Informed Consent) unterzeichnet.

Teil 2 beinhaltete die Instruktion mit VR. Um sich an VR zu gewöhnen, erlebten die Testpersonen eine neutrale Übungssituation in der Perspektive zu Fuss. Im Anschluss erfolgte, falls vorgesehen, die Einrichtung im Auto- oder Velo-Fahrsimulator.

Der Hauptteil des Experiments, Teil 3, war das Erleben von neun Strassensituationen mit je einem anderen Gestaltungselement. Das Erleben der Strassensituationen dauerte je ungefähr 15 Sekunden. Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wurden die Situationen randomisiert gezeigt: Auf der ersten Ebene wurden die Testpersonen zufällig der Kondition Strecke oder Knoten zugeordnet. Auf der zweiten Ebene wurden die Gestaltungselemente in zufälliger Reihenfolge gezeigt. Ausnahme war die erste Situation: Alle Probanden beurteilten als erstes die Kontrollkondition. Nach der Betrachtung jeder Strassensituation beantworteten die Testpersonen die zugehörigen Fragen im Fragebogen, der neben der jeweiligen VR-Installation auflag. Die Fragen dienten zur Erfassung der Wahrnehmung sowie der Verhaltensintention. Das Beantworten der Fragen dauerte typischerweise 1 – 3 Minuten.

Im Anschluss zum Experiment erfolgte im Teil 4 das Ausfüllen eines Schlussfragebogens. Das Ausfüllen des Schlussfragebogens dauerte rund 5 Minuten.

Zur Auflockerung nach dem Experiment wurde den Testpersonen eine Frage zum aktuellen Befinden und dem Erleben des Experiments in VR gefragt. Zum Ende (Teil 5) folgte das Debriefing, in dem der Hintergrund und Zweck der Studie erläutert wurden. Den Testpersonen wurde für die Teilnahme gedankt und das Incentive in der Höhe von CHF 60.00 übergeben (Testpersonen, welche über das Marktforschungsinstitut rekrutiert wurden, erhielten die Vergütung über das Institut ausbezahlt). Danach wurden sie verabschiedet.

Tab. 49 Aufbau des VR-Experiments

Teil	Inhalt	Instrument	Dauer
1	Information zum Ablauf des Experiments (Informed Consent) und Kurz-Information zum Zweck	Einverständniserklärung	7 Min.
2	Instruktion VR-Brille / Materialien und Erleben einer VR-Übungssituation als Fussverkehr	VR	3 Min.
3a	Alle Gruppen: Erleben von neun Strassensituationen mit je einem anderen Gestaltungselement (5 Strecken, 4 Knoten) <ul style="list-style-type: none"> • Auto: Fahrt in VR im Fahrsimulator Auto • Velo: Fahrt in VR im Fahrsimulator Velo • zu Fuss: In VR auf Trottoir stehend 	VR Fahrsimulator Auto, Fahrsimulator Velo	25 Min.
3b	Alle Gruppen: Nach jeder Strassensituation Evaluation der Strassensituation/des Gestaltungselements mittels Fragebogen	Fragebogen (Pen & Paper)	siehe oben
4	Schlussfragebogen: Erfassung der Kontrollvariablen	Schlussfragebogen (Pen & Paper)	5 Min.

5	Debriefing: Vertiefte Erläuterung des Zwecks und Hintergrund	5 Min.
Total		45 Min.

Instrumente und VR-Fahrsimulator

Um eine qualitativ hochwertige und damit möglichst immersive virtuelle Umgebung zu erstellen, kamen verschiedene Hard- und Software-Komponenten zum Einsatz (vgl. *Abb. 9*). Bei der Hardware fiel der Entscheid auf eine PC-VR Lösung. Dabei wird das dargestellte Bild in der Brille auf einer High-End-Grafikkarte gerendert und ans Head-Mounted Display (HMD) übertragen. Dies hat den Vorteil gegenüber einer mobilen Lösung, dass wesentlich realistischere Umgebungen, die mehr Rechenleistung benötigen, dargestellt werden können.

Die Hardware umfasst dabei die folgenden Ein- und Ausgabegeräte und Instrumente:

- Lenkrad und Pedalen, ohne Schaltung, keine Integration VR-Simulation, ermöglichen aber eine grössere Immersion
- Headset: Hardware für die VR-Ausgabe: HTC Vive Pro Wireless HMD und Lighthouse-Stations
- Hardware für die VR-Simulation: Desktop-PC mit High-End-Grafikkarte
- Bildschirm für Darstellung der VR-Simulation zur Kontrolle
- Autositz
- Velo
- Rollentrainer für Montage Velo

Für die VR-Simulation wurden diverse Software-Komponenten und Assets verwendet:

- Game Engine (Unity Version 2020.3.9f1)
- Prozedural generierte Assets (Strassenabschnitte, Gebäude, Leitlinien)
- Manuell erstellte Assets mit Blender
- Audio-Elemente sowie 3D-Modelle von Drittanbietern (Automobile, Avatare etc.)

Die VR-Simulation wurde mit der Unity Game Engine umgesetzt, welche eine grafische Darstellung gemäss dem aktuellen Stand der Technik ermöglicht. Bei der Gestaltung der Umgebung wurde darauf geachtet, wenn möglich schweizerische Elemente zu verwenden.

Die VR-Simulation besteht aus drei Teilen:

- Integration der 3D-Modelle (Strassen, Gebäude, Gestaltungselemente)
- Interaktionsdesign und Randomisierung des Experiments
- Animation von Objekten (Verkehr, Fahrzeuge, Passanten, Terrain)

Modellierung der Umgebung

Für die Simulation wurde eine Strasse nach Vorbild einer typischen Schweizer Agglomeration nachgebaut. Diese Besteht aus zwei Kreuzungen und einer geraden Strecke, die in einer Kurve ausläuft. Die Gebäude sind mit der «ArcGIS City Engine» und den «Swiss Building Rules» prozedural erzeugt. Diese bestehen aus sechs an Schweizer Architektur nachempfundenen Gebäudetypen. Die Strecken und Knoten sind entsprechend nach den Vorgaben gemäss Normenwerk bezüglich Randsteinhöhe, Breite und Erscheinungsbild programmiert. Mit animierten Objekten, Bepflanzung und Details in der Strassensituation wurde die Simulation möglichst realitätsnah und damit immersiv modelliert. Zudem wurden die Fahrzeuge mit Audio versehen.

Anschliessend wurden die getesteten Gestaltungselemente erstellt und in die Szene eingefügt. Die unterschiedlichen Leitlinien werden durch ein Skript zur Laufzeit mit unterschiedlichen Dimensionen und Abständen generiert. Dies half bei der Entwicklung eine Vielzahl verschiedener Varianten schnell auszuprobieren. Mit der 3D-Modelliersoftware

Blender sind die Gestaltungselemente Belagsrosette, Tulpe gemäss Norm und Tulpe mit FGSO für den Knoten erstellt worden.

Interaktionsdesign und randomisierter Ablauf

Die Simulation besteht aus zwei unterschiedlichen Situationstypen (Strecke oder Knoten), welche aus einer Perspektive (Auto, Velo, zu Fuss) erlebt werden können. Direkt nach dem Starten des Programms wird eine Perspektive für das Experiment über eine Benutzereingabe durch die Testleitenden ausgewählt. Ist die Perspektive ausgewählt, wird sowohl der Situationstyp wie auch die dazugehörigen Gestaltungselemente randomisiert ausgewählt. Sind alle Gestaltungselemente des ausgewählten Situationstyps durchgegangen, wird zum nächsten Situationstyp gewechselt.

Jeder Durchlauf mit dem Auto oder Velo besteht aus einer Beschleunigungs-, Fahr- und Bremsphase. Diese Phasen laufen automatisch ab und erfordern keine Interaktion durch die Testpersonen. Zufussgehende betrachteten die Szene von einer statischen Position aus. Während der gesamten Simulation können sich die Testpersonen mit 3DoF (Degrees of Freedom) in der Strassensituation umsehen. Zu Beginn von jedem Durchlauf werden die Testpersonen an die korrekte Position teleportiert und das aktuell gewählte Gestaltungselement in die Szene geladen.

Animierte Objekte

Für ein realistisches Strassenbild wurde Gegenverkehr implementiert. Dieser verläuft ausschliesslich auf der Gegenfahrbahn und ist quantitativ zufällig generiert. Damit die Szene noch etwas lebhafter wirkt, wurden bewegte Passantinnen und Passanten eingefügt. Ausserdem sind einige Bepflanzungen aus den Terrain Assets durch ein Windsystem bewegt.

IV.4 Beschreibung der Stichprobe

In *Tab. 50* und *Tab. 51* wird die Stichprobe hinsichtlich der vorhandenen Auto- resp. Velofahrpraxis beschrieben.

Tab. 50 Beschreibung Stichprobe hinsichtlich Auto-Fahrpraxis

Merkmale	n	Mittelwert	Standardabweichung
Besitz Auto-Führerschein (in Jahren)	69	23.2	14.93
Nutzung Auto für Arbeit / Ausbildung ¹	66	3.2	1.59
Nutzung Auto zum Einkäufen ¹	66	2.9	1.06
Nutzung Auto für Freizeit ¹	68	3.1	1.10

¹ Häufigkeit der Nutzung wurde erhoben auf einer Skala von 1 = weniger als einmal pro Monat, 2 = monatlich, 3 = wöchentlich, 4 = mehrmals pro Woche, 5 = täglich.

Tab. 51 Beschreibung Stichprobe hinsichtlich Velo-Fahrpraxis

Merkmale	n	Mittelwert	Standardabweichung
Nutzung Velo für Arbeit / Ausbildung ¹	53	2.0	1.42
Nutzung Velo zum Einkäufen ¹	56	2.3	1.23
Nutzung Velo für Freizeit ¹	55	2.6	1.04

¹ Häufigkeit der Nutzung wurde erhoben auf einer Skala von 1 = weniger als einmal pro Monat, 2 = monatlich, 3 = wöchentlich, 4 = mehrmals pro Woche, 5 = täglich

Die beiden folgenden Tabellen (*Tab. 52* und *Tab. 53*) beschreiben die Stichprobe hinsichtlich der Verfügbarkeit eines Autos im Haushalt sowie erlebten Auto- und Velo-Unfällen mit Personenschaden.

Tab. 52 Beschreibung Stichprobe hinsichtlich Verfügbarkeit eines Autos im Haushalt

Merkmale	Ausprägung	Anzahl gesamt		Personen Auto		Personen Velo		Personen Zu Fuss	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamt		71	100%	34	48%	20	28%	17	24%
Auto im Haushalt	Ja, immer verfügbar	49	69%	24	71%	10	50%	7	88%
	Ja, nach Absprache verfügbar	15	21%	7	21%	8	40%	10	59%
	Ja, via Mobility oder andere Car-Sharing Angebote	2	3%	1	3%	1	5%	15	88%
	Nein, nicht verfügbar	4	5%	2	6%	-	-	2	12%

Tab. 53 Beschreibung Stichprobe hinsichtlich Auto- und Velo-Unfällen

Merkmale	Ausprägung	Anzahl gesamt		Personen Auto		Personen Velo		Personen Zu Fuss	
		n	%	n	%	n	%	n	%
Gesamt		71	100%	34	48%	20	28%	17	24%
Auto-Unfall	Ja	34	48%	20	60%	7	35%	7	41%
	Nein	36	51%	14	40%	12	60%	10	49%
Velo-Unfall	Ja	15	21%	7	21%	6	30%	2	12%
	Nein	40	56%	17	50%	12	60%	13	65%

Die Sub-Stichprobe der Autofahrenden umfasste insgesamt 34 Personen. *Tab. 54* ist zu entnehmen, wie viele Kilometer sie in den vergangenen 12 Monaten zurückgelegt hat.

Tab. 54 Beschreibung Sub-Stichprobe hinsichtlich zurückgelegter Kilometer

Merkmal	Ausprägung	Anzahl	
		n	%
Gesamt		34	100%
Anzahl zurückgelegter Kilometer im letzten Jahr	Unter 1'000 km	3	9%
	1'000 – 5'000 km	6	18%
	5'000 – 10'000 km	9	26%
	10'000 – 15'000 km	5	15%
	Mehr als 15'000 km	10	29%
	Weiss nicht	1	3%

In Experimenten können aufgrund der Kontrolle der Untersuchungssituation mit relativ kleinen Stichproben valide Erkenntnisse gewonnen werden.

Über alle Perspektiven hinweg durfte keine starke Anfälligkeit auf Reiseübelkeit vorhanden sein. Die Anfälligkeit auf Simulator Sickness wurde mittels Screening-Fragebogen erhoben (siehe *Tab. 55*). Dieser basierte auf der Kurzversion des Motion Sickness Susceptibility Questionnaire (MSSQ-Short) nach Golding (2006). Der MSSQ-Short hat sich zur Identifikation von Personen, welche sich nicht für Studien mit einem Fahrsimulator eignen, bewährt. Für den Screening-Fragebogen wurde der MSSQ-Short auf sechs Items reduziert,

um den Dropout von interessierten Personen möglichst gering zu halten. Dazu wurden die Items ausgewählt, welche in der Studie von Golding (2006) die grösste Korrelation mit der MSSQ-Short-Gesamtskala hatten. Personen, die mehr als vier Ja-Antworten aufwiesen, wurden von einer Teilnahme ausgeschlossen. 22 Personen wurden «ausgescreent», weil sie die Bedingungen nicht erfüllten.

Tab. 55 Screening-Fragebogen zu Simulator Sickness

Screening-Fragebogen (adaptiert von Golding, 2006)		
Bitte denken Sie an die letzten 10 Jahre (ungefähr) zurück. Haben Sie sich während der Nutzung folgender Arten von Transportmitteln des Öfteren krank gefühlt oder Übelkeit verspürt?		
	Im Auto	Ja / Nein
	Im Bus / Reisebus	Ja / Nein
	Auf kleinen Booten	Ja / Nein
	Auf einem Schiff / einer Fähre	Ja / Nein
Bitte denken Sie an Ihre Kindheit (jünger als 12 Jahre) zurück. Haben Sie sich während der Nutzung folgender Arten von Unterhaltung des Öfteren krank gefühlt oder Übelkeit verspürt?		
	Auf einem Karussell	Ja / Nein
	Auf einer Achterbahn	Ja / Nein

IV.5 Aufbau Fragebogen

Tab. 56 Erhobene Konstrukte pro Gestaltungselement (Strassensituation)

Konstrukte	Auto	Velo	Zu Fuss	Quelle
Erwartete Geschwindigkeit	X	X	X	(Goldenbeld & van Schagen, 2007).
Gewählte Geschwindigkeit	X			Eigene Formulierung
Benötigte Aufmerksamkeit	X	X	X	Eigene Formulierung
Vorsichtiges Verhalten	X	X	X	Eigene Formulierung
Subjektive Sicherheit	X	X	X	(Wang et al., 2019)
Bereitschaft Velo zu fahren		X		Eigene Formulierung
Nur bei Knoten erhoben:				
Einschätzung Vortrittsregelung	X	X		Eigene Formulierung
Sicherheit bez. Vortrittsregelung	X	X		Eigene Formulierung
Erkennbarkeit Knoten	X	X		Eigene Formulierung
Verhalten bei Knoten	X	X		Eigene Formulierung

Um die Stärke und Glaubwürdigkeit der Immersion in die VR-Umgebung zu erheben, werden Fragen zur Immersion und zum Gefühl von Kontrolle (*feeling of control*) erhoben.

Die subjektive Einschätzung der eigenen Fähigkeiten zu sicherem und aufmerksamem Auto- bzw. Velofahren dient zur Erfassung des allgemeinen Verkehrsverhaltens. Die Einschätzung erfolgt auf fünf Items. Mit Fragen zur Auto-Fahrpraxis werden zudem objektive Angaben wie Besitz Führerschein sowie Häufigkeit und Zweck der Nutzung, zur Verfügbarkeit eines Autos sowie zur Beteiligung an einem Verkehrsunfall (unabhängig von der Verantwortlichkeit) erhoben. Analog werden objektive Angaben zur Velo-Fahrpraxis erfasst.

Um bereits vorhandene Erfahrungen mit VR zu erheben, wird die Häufigkeit der Nutzung einer VR-Brille, eines VR-Fahrsimulators sowie das Fahren von Autorennen mit einer Gaming-Konsole erfasst.

Als demografische Variablen werden das Alter, Geschlecht und Wohnort erhoben.

Tab. 57 zeigt den Aufbau des Schlussfragebogens. Der komplette Fragebogen befindet sich im Anhang.

Thema	Items	Quelle
Erleben VR Umgebung	Immersion, Gefühl von Kontrolle	Presence Questionnaire (Kronqvist et al., 2016; Witmer & Singer, 1998)
Allgemeines Verkehrsverhalten	Subjektive Einschätzung Fahrfähigkeit, Sicherheit, Einhaltung Verkehrsregeln, Aufmerksamkeit und Anpassung Fahrverhalten	Adaptiert von Safe Driving Performance (Victoir et al., 2005)
Fahrpraxis Auto (objektiv)	Besitz Führerschein, Häufigkeit, gefahrene Kilometer, Verfügbarkeit Auto, Beteiligung an Verkehrsunfall	Eigene Formulierung
Fahrpraxis Velo (objektiv)	Häufigkeit, Beteiligung an Verkehrsunfall	Eigene Formulierung
Erfahrung VR / Gaming		Eigene Formulierung
Demografische Angaben	Alter, Geschlecht, Wohnort	Eigene Formulierung

IV.6 Detaillierte Analysen VR-Experimente

IV.6.1 Ergebnisse Strecke

Bei der Strecke wurde die Wirkung auf Wahrnehmung und Verhalten im Strassenverkehr von drei experimentellen Konditionen (Gestaltungselemente: «V7 mit Linienabstand 1,5 m», «V7 mit Linienabstand 3 m» und «V10») im Vergleich zu zwei neutralen Konditionen (Kontrollkonditionen: Gestaltungselemente: «ohne Leitlinie», «Standard-Leitlinie») untersucht.

Gewählte Geschwindigkeit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie schnell sie in den Strassensituationen tatsächlich fahren würden. Diese Frage wurde nur in der Perspektive Auto gestellt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in Tab. 58 aufgeführt.

	Kontrollkonditionen		Experimentelle Konditionen		
	ohne Leitlinie	Standard-Leitlinie	V7 Linienabstand 1,5 m	V7 Linienabstand 3 m	V10 Linienabstand 3 m
Mittelwert	41.5 km/h	44.8 km/h	42.6 km/h	43.5 km/h	38.7 km/h
Standardabweichung	10.6 km/h	9.3 km/h	9.6 km/h	9.2 km/h	9.2 km/h

Frage: «Wie schnell würden Sie – unabhängig von der geltenden Geschwindigkeitslimite – hier fahren?»
Offene Angabe
n = 34

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden nicht-parametrische Tests gerechnet. Es wurden keine signifikanten Unterschiede im Vergleich von «ohne Leitlinie» mit den Gestaltungselementen gefunden. Beim Vergleich mit dem «Standard Leitlinie» wurde nur bei «V10» eine signifikant geringere Geschwindigkeit gefunden. «V10» wurde im Folgenden nebst den neutralen Konditionen noch mit den anderen experimentellen Konditionen verglichen und es zeigten sich signifikante Unterschiede im Vergleich zu «V7 mit Linienabstand 1,5 m» und «V7 mit Linienabstand 3 m».

Bei diesen Gestaltungselementen sind die gewählten Geschwindigkeiten höher als bei «V10».

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede bei der gewählten Geschwindigkeit nochmals im Überblick:

«V10» < «Standard Leitlinie»

«V10» < «V7 mit Linienabstand 1,5 m»

«V10» < «V7 mit Linienabstand 3 m»

Bei «ohne Leitlinie» und «V10» fahren die Testpersonen aus Perspektive Auto am langsamsten und damit am ehesten 30 km/h schnell.

Vorsichtiges Verhalten

Nachfolgend werden die Ergebnisse zum vorsichtigen Verhalten erläutert. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in *Tab. 59* aufgeführt. *Abb. 29* zeigt die Mittelwerte aus *Tab. 59* in einer grafischen Übersicht.

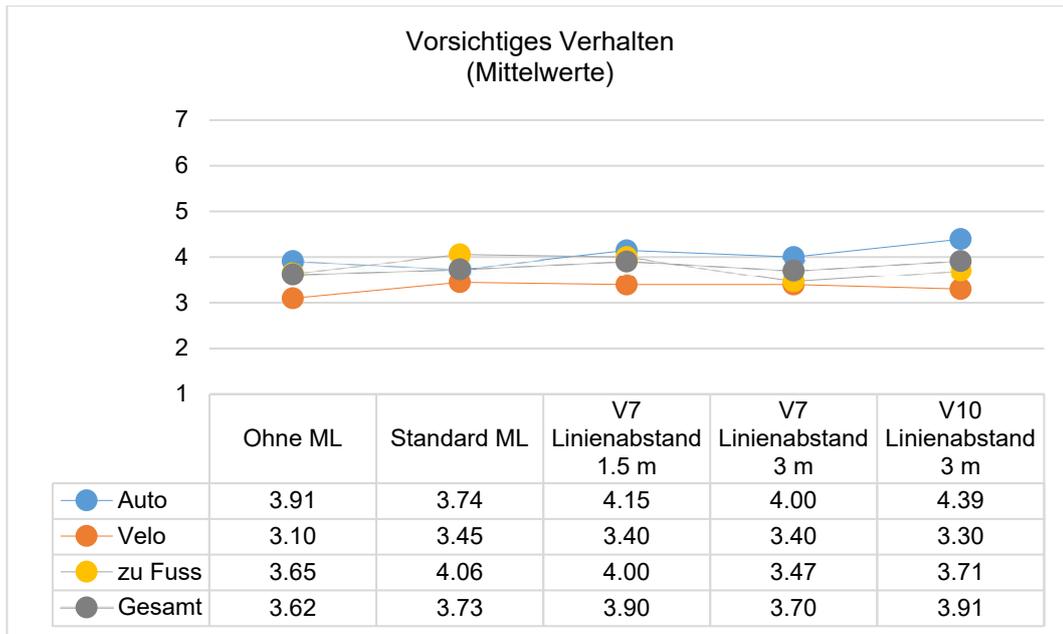
Tab. 59 Strecke. Vorsichtiges Verhalten. Vergleich der Gestaltungselemente. Unterteilt nach Perspektiven

	Neutrale Konditionen				Experimentelle Konditionen					
	ohne Leitlinie		Standard-Leitlinie		V7 Linienabstand 1,5 m		V7 Linienabstand 3 m		V10 Linienabstand 3 m	
	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.
Auto	3.9	1.4	3.7	1.8	4.2	1.4	4.0	1.5	4.4	1.5
Velo	3.1	1.4	3.5	1.5	3.4	1.4	3.4	1.4	3.3	1.4
zu Fuss	3.7	1.5	4.1	2.0	4.0	1.7	3.5	1.2	3.7	1.4
Gesamt	3.6	1.4	3.7	1.8	3.9	1.5	3.7	1.4	3.9	1.5

Statement: «Ich würde mich in der gezeigten Strassensituation in Realität besonders vorsichtig verhalten.»

7er-Antwortskala: «stimme überhaupt nicht zu» [1] bis «stimme voll und ganz zu» [7]

¹Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$



Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$

Abb. 29 Strecke. Vorsichtiges Verhalten. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden Mittelwertvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Bei der Auswertung der Antworten aller Testpersonen liessen sich keine Unterschiede der Gestaltungselemente im Vergleich zu «ohne Leitlinie» oder «Standard-Leitlinie» feststellen.

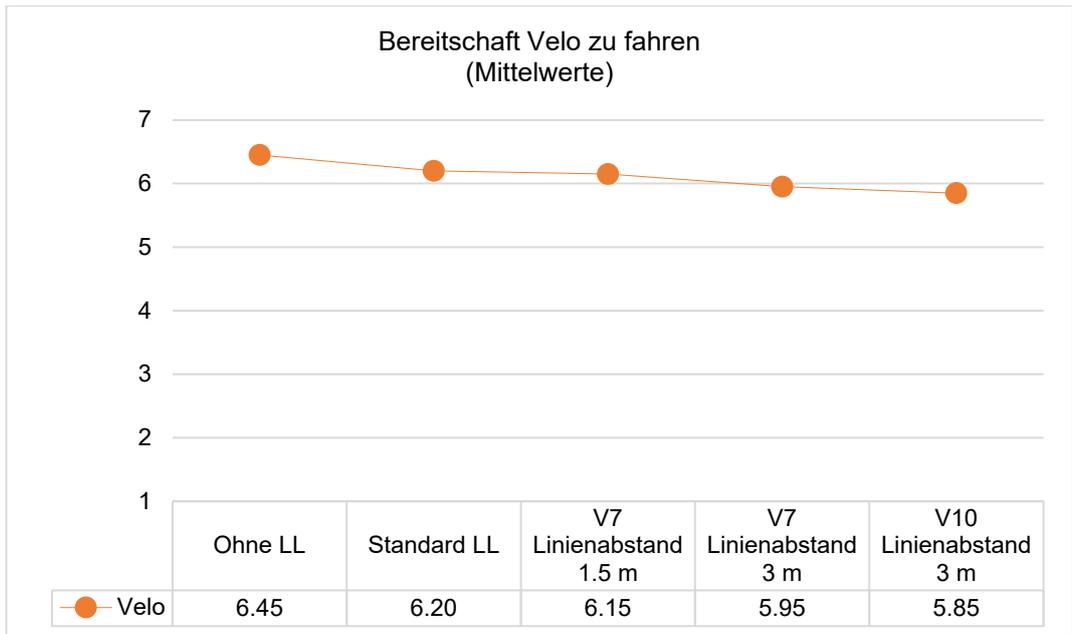
Im Weiteren wurden die gleichen Tests für Testpersonen der jeweiligen drei Perspektiven separat voneinander gerechnet. Hier zeigten sich nur für Autofahrende signifikante Unterschiede. Sie würden sich in «V10» signifikant vorsichtiger verhalten als bei den neutralen Konditionen «ohne Leitlinie» und «Standard-Leitlinie».

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede beim vorsichtigen Verhalten für die **Au-
tofahrenden** im Überblick:
 «ohne Leitlinie» < «V10»
 «Standard-Leitlinie» < «V10»

Das neue Gestaltungselement «V10» führt also am ehesten dazu, dass sich die Testpersonen besonders vorsichtig verhalten würden.

Bereitschaft Velo zu fahren

Nachfolgend werden die Ergebnisse zur Bereitschaft der Velofahrenden, in der Strassensituation zu fahren, erläutert. *Abb. 30* zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.



Anmerkung: Velo $n = 20$

Abb. 30 Strecke. Bereitschaft Velo zu fahren. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Gestaltungselementen hinsichtlich der Bereitschaft der Testpersonen, mit dem Velo zu fahren. Die Bereitschaft ist bei allen Gestaltungselementen recht hoch.

Erwartete Geschwindigkeit

Bei der Auswertung der erwarteten Geschwindigkeit wurden zuerst die Verteilungen in den Antworten betrachtet. In *Abb. 31*, *Abb. 32*, *Abb. 33*, *Abb. 34* und *Abb. 35* wird ersichtlich, dass bei allen Gestaltungselementen die meisten Testpersonen eine Geschwindigkeitslimite von 30 km/h oder 50 km/h erwarten.

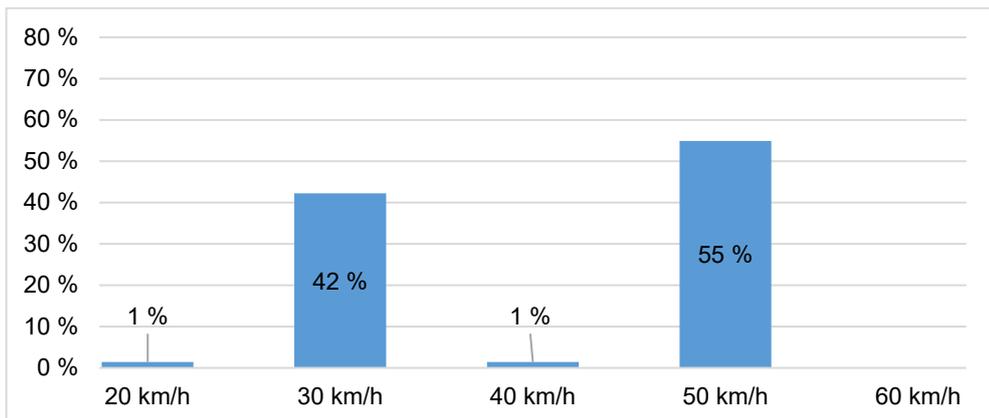


Abb. 31 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Ohne Leitlinie. Verteilung. $n = 71$

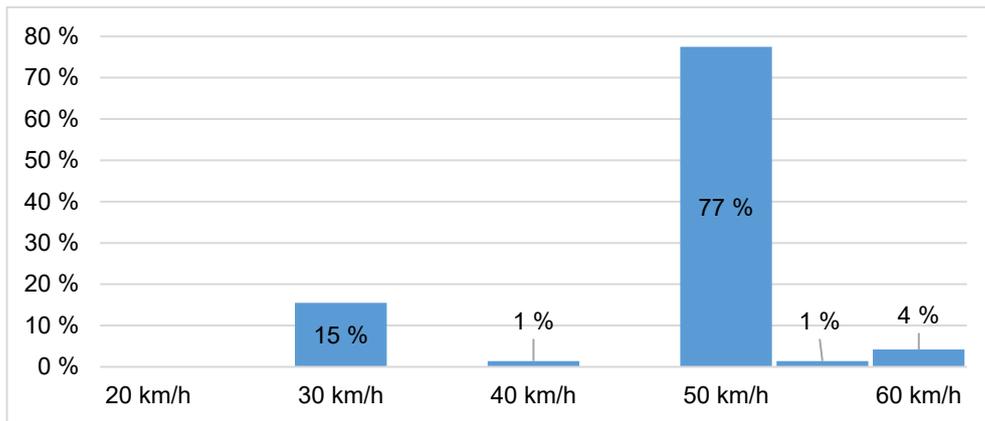


Abb. 32 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Standard-Leitlinie. Verteilung. n = 71

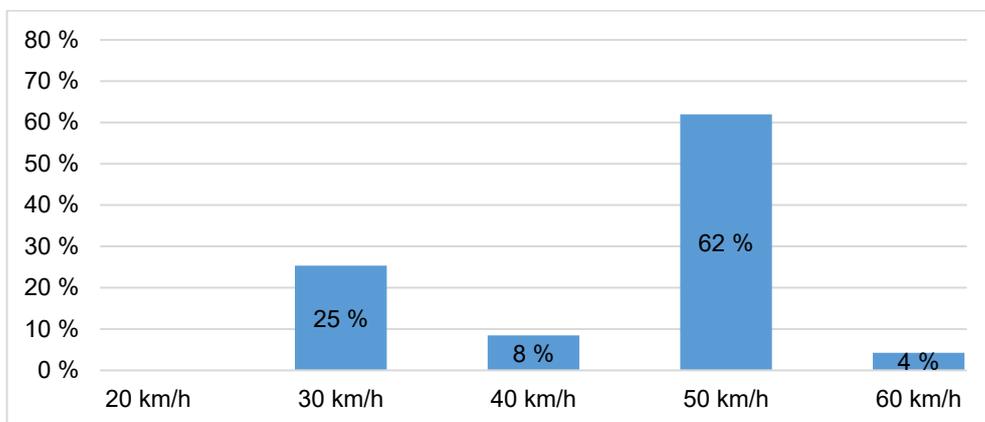


Abb. 33 Erwartete Geschwindigkeitslimite. V7 mit Linienabstand 1,5 m. Verteilung. n = 71

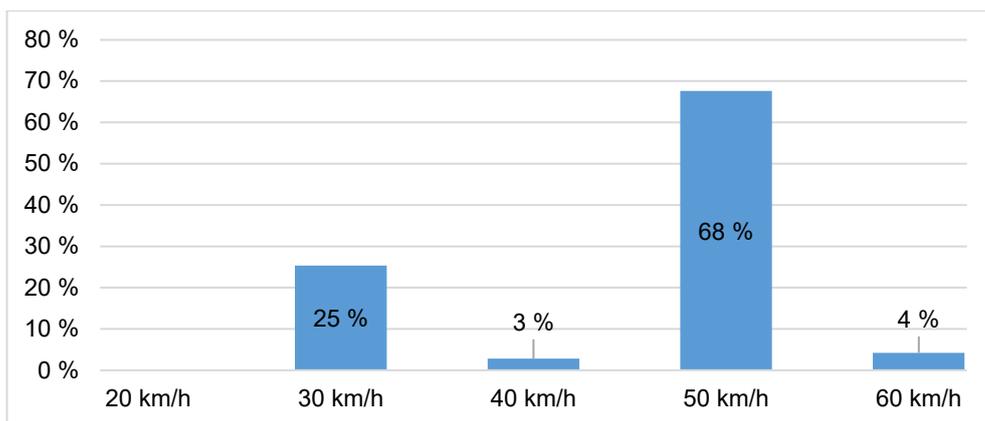


Abb. 34 Erwartete Geschwindigkeitslimite. V7 mit Linienabstand 3 m. Verteilung. n = 71

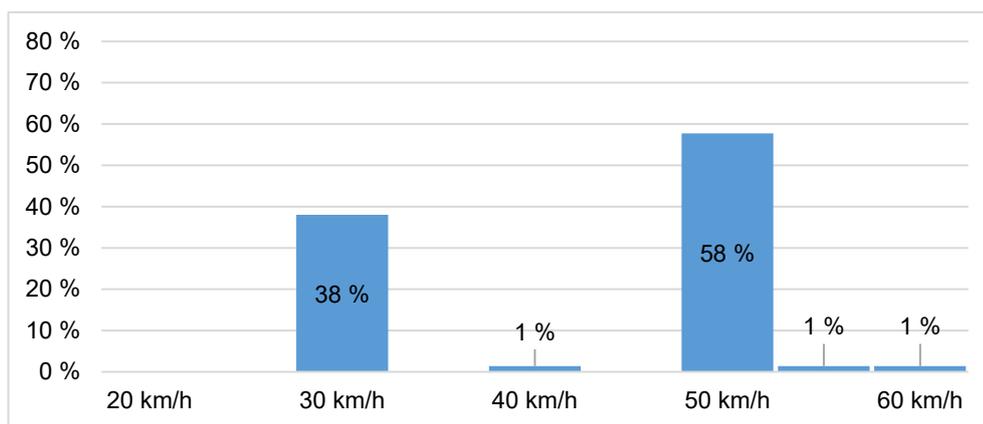


Abb. 35 Erwartete Geschwindigkeitslimite. V10. Verteilung. n = 71

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in *Tab. 60* aufgeführt. Die Resultate von Verteilungen der Abbildungen *Abb. 31* bis *Abb. 35* widerspiegeln sich in den Mittelwerten in *Tab. 60*: «*Ohne Leitlinie*» und «*V10*» mit den niedrigsten Mittelwerten weisen bei den Antworten einen höheren Anteil der Antworten bei 30 km/h als die anderen Gestaltungselemente auf. Der «*Standard-Leitlinie*» mit dem höchsten Mittelwert weist einen höheren Anteil der Antworten bei 50 km/h als die anderen Gestaltungselemente auf.

Tab. 60 Strecke. Erwartete Geschwindigkeitslimite. Vergleich der Gestaltungselemente

	neutrale Konditionen		experimentelle-Konditionen		
	ohne Leitlinie	Standard-Leitlinie	V7 Linienabstand 1,5 m	V7 Linienabstand 3m	V10 Linienabstand 3m
Mittelwert	41.0 km/h	47.3 km/h	44.5 km/h	45.1 km/h	42.5 km/h
Standardabweichung	10.2 km/h	7.8 km/h	9.2 km/h	9.2 km/h	10.0 km/h

Frage: «Was vermuten Sie, welche vorgeschriebene Geschwindigkeitslimite gilt für die gezeigte Strassensituation?»

Offene Angabe

n = 71

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden nicht-parametrische Tests gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen die Geschwindigkeitslimite im Vergleich zu «*ohne Leitlinie*» bei «*Standard-Leitlinie*», bei «*V7 mit Linienabstand 1,5 m*» und bei «*V7 mit Linienabstand 3 m*» als signifikant höher einschätzen. «*V10*» und «*ohne Leitlinie*» unterscheiden sich nicht signifikant. Im weiteren Vergleich mit der «*Standard-Leitlinie*» schätzen die Testpersonen die Geschwindigkeitslimite bei «*V7 mit Linienabstand 1,5 m*», «*V7 mit Linienabstand 3 m*» und «*V10*» signifikant tiefer ein.

Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Perspektiven Auto, zu Fuss und Velo.

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede bei der erwarteten Geschwindigkeitslimite nochmals im Überblick:

- «Ohne Leitlinie» < «Standard-Leitlinie»
- «Ohne Leitlinie» < «V7 mit Linienabstand 1,5 m»
- «Ohne Leitlinie» < «V7 mit Linienabstand 3 m»
- «Standard-Leitlinie» > «V7 mit Linienabstand 1,5 m»
- «Standard-Leitlinie» > «V7 mit Linienabstand 3 m»
- «Standard-Leitlinie» > «V10»

«Ohne Leitlinie» und «V10» bringen die Testpersonen also am ehesten dazu, eine vorgeschriebene Geschwindigkeitslimite von 30 km/h zu erwarten.

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede bei der Sicherheit bezüglich der Geschwindigkeitslimite für die **Gesamtstichprobe** im Überblick:

«Standard Leitlinie» > «V7 mit Linienabstand 1,5 m»

«Standard Leitlinie» > «V10»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede für die **Autofahrenden** im Überblick:

«ohne Leitlinie» < «Standard-Leitlinie»

«ohne Leitlinie» < «V7 mit Linienabstand 3 m»

«Standard-Leitlinie» > «V7 mit Linienabstand 1,5 m»

«Standard-Leitlinie» > «V10»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede für die **Velofahrenden** im Überblick:

«ohne Leitlinie» > «V7 mit Linienabstand 1,5 m»

Die Testpersonen sind bei der «Standard-Leitlinie» am sichersten bei ihrer Einschätzung der geltenden Geschwindigkeitslimite. Bei «ohne Leitlinie» sind sie sich weniger sicher als bei anderen Gestaltungselementen.

Aufmerksamkeit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie stark sie sich auf die Strassensituation konzentrieren müssen, wie viel Aufmerksamkeit das Gestaltungselement also erforderte. In *Tab. 61* sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Gesamtperspektiven und die einzelnen Perspektiven separat aufgeführt. *Abb. 36* zeigt die Mittelwerte aus *Tab. 61* in einer grafischen Übersicht.

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden Mittelwertvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen im Vergleich zu «ohne Leitlinie» bei «V10» signifikant mehr Aufmerksamkeit benötigen.

Im Weiteren wurden die gleichen Tests für Testpersonen der jeweiligen drei Perspektiven separat voneinander gerechnet. Hier zeigte sich bei den Autofahrenden der gleiche Unterschied wie bei der Gesamtstichprobe. Darüber hinaus stellt sich heraus, dass die Autofahrenden im Vergleich zur «Standard-Leitlinie» bei den experimentellen Konditionen «V7 mit Linienabstand 1,5 m», «V7 mit Linienabstand 3 m» und «V10» signifikant mehr Aufmerksamkeit benötigen. Bei den Perspektiven Velo und zu Fuss zeigt sich ein anderes Bild: Die Velofahrenden benötigen im Vergleich zu «ohne Leitlinie» bei «V7 mit Linienabstand 3 m» signifikant mehr Aufmerksamkeit und Zufussgehenden benötigen im Vergleich zur «Standard-Leitlinie» bei «V7 mit Linienabstand 1,5 m» signifikant weniger Aufmerksamkeit.

Tab. 61 Strecke. Benötigte Aufmerksamkeit. Vergleich der Gestaltungselemente. Unterteilt nach Perspektiven

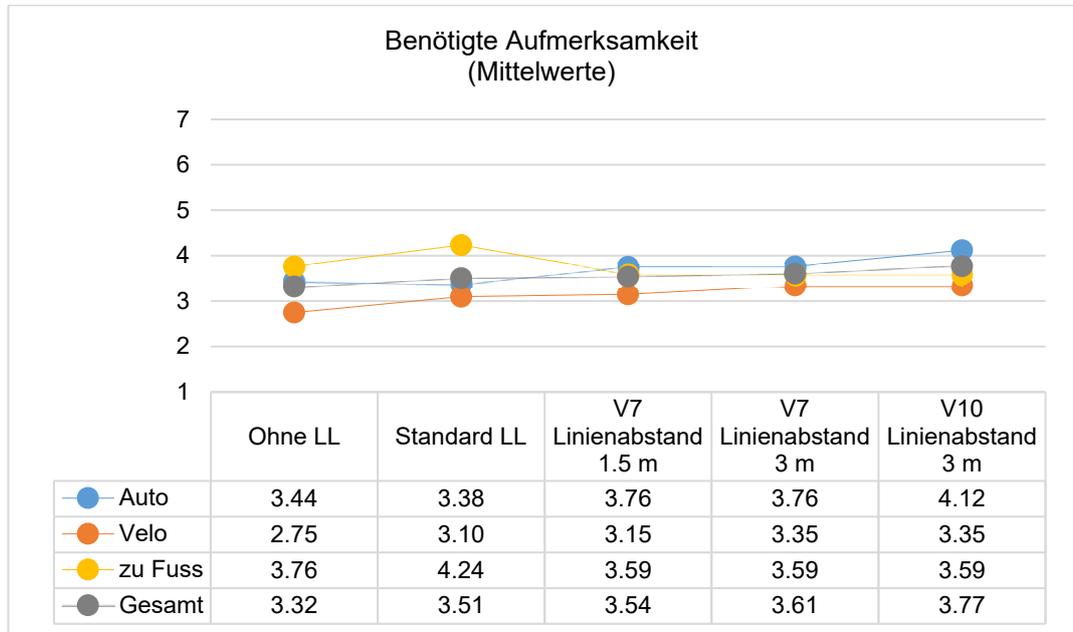
	neutrale Konditionen				experimentelle-Konditionen					
	ohne Leitlinie		Standard-Leitlinie		V7 Linienabstand 1,5 m		V7 Linienabstand 3 m		V10 Linienabstand 3 m	
	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.
Auto	3.4	1.4	3.4	1.4	3.8	1.5	3.8	1.5	4.1	1.6
Velo	2.8	0.9	3.1	1.3	3.2	1.3	3.4	1.3	3.4	1.5
zu Fuss	3.8	1.5	4.2	1.8	3.6	1.6	3.6	1.3	3.6	1.5
Gesamt	3.3	1.3	3.5	1.5	3.5	1.5	3.6	1.4	3.8	1.5

Frage Perspektive Auto & Velo: «Wie stark müssen Sie sich auf die Strasse konzentrieren, um sicher geradeaus über die abgebildete Kreuzung fahren zu können?»

Frage Perspektive zu Fuss: «Wie stark müssen Sie sich auf die Strasse konzentrieren, um in der gezeigten Situation die Strasse sicher überqueren zu können?»

7er-Antwertskala: «Ich muss mich überhaupt nicht konzentrieren» [1] bis «Ich muss meine ganze Konzentration aufbringen» [7]

Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$



Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$

Abb. 36 Strecke. Benötigte Aufmerksamkeit. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwertskala

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede bei der benötigten Aufmerksamkeit für die **Gesamtstichprobe** im Überblick:

«ohne Leitlinie» < «V10»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede für die **Autofahrenden** im Überblick:

«ohne Leitlinie» < «V10»

«Standard-Leitlinie» < «V7 mit Linienabstand 1,5 m»

«Standard-Leitlinie» < «V7 mit Linienabstand 3 m»

«Standard-Leitlinie» < «V10»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede für die **Velofahrenden** im Überblick:

«ohne Leitlinie» < «V7 mit Linienabstand 1,5 m»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede für die **Zufussgehenden** im Überblick:

«Standard-Leitlinie» < «V7 mit Linienabstand 1,5 m»

Vor allem «V10» benötigt am meisten Aufmerksamkeit. Bei der Betrachtung der Antworten der Autofahrenden zeigte sich, dass alle neuen Gestaltungselemente mehr Aufmerksamkeit benötigen.

Subjektive Sicherheit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie sicher sie sich in der jeweiligen Strassensituation fühlen, wobei sich «sicher» auf die Verkehrssicherheit bezog. In Tab. 62 sind die

Mittelwerte und Standardabweichungen für die Gesamtperspektiven und die einzelnen Perspektiven separat aufgeführt. *Abb. 37* zeigt die Mittelwerte aus *Tab. 62* in einer grafischen Übersicht.

Tab. 62 Strecke. Sicherheitsempfinden. Vergleich der Gestaltungselemente. Unterteilt nach Perspektiven

	Neutrale Konditionen				Experimentelle Konditionen					
	ohne Leitlinie		Standard-Leitlinie		V7 Linienabstand 1,5 m		V7 Linienabstand 3 m		V10 Linienabstand 3 m	
	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.
Auto	5.8	1.4	6.1	0.8	5.6	1.2	5.7	1.2	5.1	1.7
Velo	6.2	1.0	5.8	1.1	5.8	1.2	5.5	1.5	5.6	1.4
zu Fuss	5.3	1.2	4.8	1.4	5.2	1.3	5.4	1.0	5.3	1.2
Gesamt	5.8	1.2	5.7	1.2	5.6	1.3	5.6	1.3	5.3	1.5

Frage Perspektive Auto & Velo: «Wie sicher fühlen Sie sich bei der Fahrt auf dieser Strecke? (Bezüglich Verkehrssicherheit)»

Frage Perspektive zu Fuss: «Wie sicher würden Sie sich fühlen, wenn Sie in der gezeigten Strassensituation die Strasse überqueren würden?»

7er-Antwortskala: «sehr unsicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen im Vergleich zu «ohne Leitlinie» sich bei «V10» weniger sicher fühlen. Im Vergleich zu «Standard-Leitlinie» ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Einschätzung der Testpersonen.

Im Weiteren wurden die gleichen Tests für Testpersonen der jeweiligen drei Perspektiven separat voneinander gerechnet. Hier zeigten sich für Autofahrende keine signifikanten Unterschiede im Vergleich mit «ohne Leitlinie», dafür aber im Vergleich zu «Standard-Leitlinie»: Sie fühlen sich bei «V7 mit Linienabstand 1,5 m» und «V10» weniger sicher.

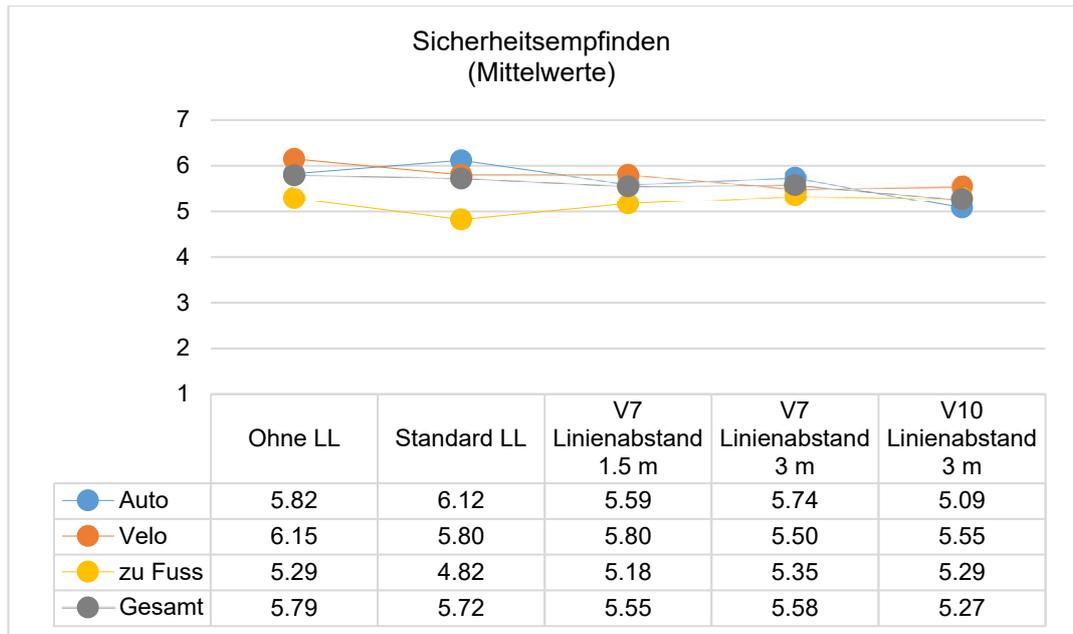
Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede beim Sicherheitsempfinden für die **Gesamtstichprobe** im Überblick:

«ohne Leitlinie» > «V10»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede für die **Autofahrenden** im Überblick:

«Standard-Leitlinie» > «V7 mit Linienabstand 1,5 m»

«Standard-Leitlinie» > «V10»



Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$

Abb. 37 Strecke. Sicherheitsempfinden. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwertskala

Das neue Gestaltungselement «V10» führt also zu niedrigerer subjektiver Sicherheit. Für die Autofahrenden führen ebenfalls die zwei anderen neuen Gestaltungselemente, «V7 mit Linienabstand 1,5 m» und «V10», zu niedrigerer subjektiver Sicherheit, allerdings nur im Vergleich zum «Standard-Leitlinie».

Wirkung der Wahrnehmung auf das Verhalten

Um die Wirkung der Wahrnehmung auf das Verhalten zu messen, wurden Zusammenhängeanalysen (Korrelationen) gerechnet. Die gerechneten Zusammenhänge beziehen sich auf das fokussierte Rahmenmodell (vgl. Kap. 6.2). Tab. 63 zeigt die Korrelationen im Überblick.

Die Analysen zeigten folgende Ergebnisse:

- Die Aufmerksamkeit korreliert mit der erwarteten Geschwindigkeit bei «ohne Leitlinie».
- Die Aufmerksamkeit korreliert mit dem vorsichtigen Verhalten bei allen Gestaltungselementen.
- Die subjektive Sicherheit korreliert negativ mit der erwarteten Geschwindigkeit bei «ohne Leitlinie», d.h. je tiefer die erwartete Geschwindigkeit, desto sicherer fühlen sich die Testpersonen oder umgekehrt.
- Die subjektive Sicherheit korreliert negativ mit vorsichtigem Verhalten über alle Gestaltungselemente hinweg, stärker jedoch bei «V7 mit Linienabstand 1,5 m», «V7 mit Linienabstand 3 m» und «V10».
- Bei «Standard-Leitlinie» korreliert vorsichtiges Verhalten mit der gewählten Geschwindigkeit signifikant negativ.

Tab. 63 Strecke. Wirkung der Wahrnehmung auf das Verhalten. Überblick Korrelationen

Zusammenhang zwischen	Ohne Leitlinie	Standard Leitlinie	V7 Linienabstand 1,5 m	V7 Linienabstand 3 m	V10
Korrelationskoeffizient nach Spearman: r*					
Aufmerksamkeit x erwartete Geschwindigkeit	.253	-	-	-	-
Aufmerksamkeit x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-	-	-	-	-
Aufmerksamkeit x vorsichtiges Verhalten	.579	.788	.847	.822	.820
Sicherheit x erwartete Geschwindigkeit	-.283	-	-	-	-
Sicherheit x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-	-	-	-	-
Sicherheit x vorsichtiges Verhalten	-.324	-.360	-.532	-.522	-.494
Vorsichtiges Verhalten x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-	-.507	-	-	-
*Spearman rho (ρ): ≤ -1 r ≤ 1 r = 0: kein Zusammenhang r = 1/-1: perfekter Zusammenhang r nur eingetragen, wenn auf Niveau 0.01 oder 0.05 beidseitig signifikant			*Einstufung nach Cohen r = .10 schwacher Effekt r = .30 mittlerer Effekt r = .50 starker Effekt		

Anmerkung: n = 54 - 71

IV.6.2 Ergebnisse Knoten

Beim Knoten wurde die Wirkung auf Wahrnehmung und Verhalten im Strassenverkehr von drei experimentellen Konditionen (Gestaltungselemente: «Tulpe gemäss Norm», «Tulpe mit FGSO», «Belagsrosette») im Vergleich zu einer neutralen Kondition (Gestaltungselement: «ohne Markierung») untersucht.

Gewählte Geschwindigkeit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie schnell sie in den Strassensituationen tatsächlich fahren würden. Diese Frage wurde nur in der Perspektive Autofahrende gestellt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in Tab. 64 aufgeführt.

Tab. 64 Knoten. Gewählte Geschwindigkeit. Vergleich der Gestaltungselemente. Perspektive Auto

	Neutrale Kondition	Experimentelle Konditionen		
	ohne Markierung	Tulpe gemäss Norm	Tulpe mit FGSO	Belagsrosette
Mittelwert	26.1 km/h	26.4 km/h	24.1 km/h	22.6 km/h
Standardabweichung	7.8 km/h	10.6 km/h	7.0 km/h	7.2 km/h
Frage: «Wie schnell würden Sie – unabhängig von der geltenden Geschwindigkeitslimite – hier fahren?» Offene Angabe n = 34				

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden hier ebenfalls nicht-parametrische Tests gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen bei der «Belagsrosette» signifikant langsamer fahren würden als bei «ohne Markierung» und bei der «Tulpe gemäss Norm».

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede bei der gewählten Geschwindigkeit nochmals im Überblick:

- «ohne Markierung» > «Belagsrosette»
- «Tulpe gemäss Norm» > «Belagsrosette»

Bei der «Belagsrosette» und «Tulpe mit FGSO» würden die Testpersonen aus Perspektive Auto am langsamsten fahren und damit am ehesten 30 km/h wählen.

Vorsichtiges Verhalten

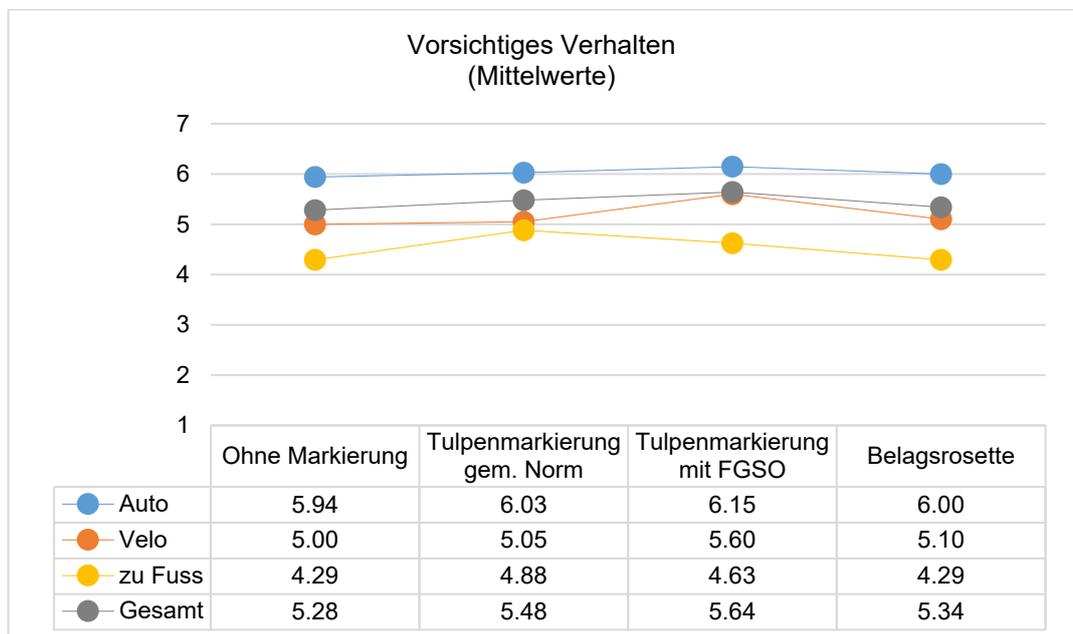
Nachfolgend werden die Ergebnisse zum vorsichtigen Verhalten erläutert. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in Tab. 65 abgebildet. Abb. 38 zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.

Tab. 65 Knoten. Vorsichtiges Verhalten. Vergleich der Gestaltungselemente. Unterteilt nach Perspektiven

	Neutrale Kondition		Experimentelle Konditionen					
	ohne Markierung		Tulpe gemäss Norm		Tulpe mit FGSO		Belagsrosette	
	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.
Auto	5.9	1.2	6.0	1.4	6.2	1.2	6.0	1.3
Velo	5.0	1.6	5.1	1.3	5.6	1.2	5.1	1.2
zu Fuss	4.3	1.7	4.9	1.5	4.6	1.6	4.3	1.6
Gesamt	5.3	1.6	5.5	1.5	5.6	1.4	5.3	1.5

Statement: «Ich würde mich in der gezeigten Strassensituation in Realität besonders vorsichtig verhalten.»
 7er-Antwortskala: «stimme überhaupt nicht zu» [1] bis «stimme voll und ganz zu» [7]

Anmerkung: Gesamt n = 71; Auto n = 34; Velo n = 20, zu Fuss n = 17



Anmerkung: Gesamt n = 71; Auto n = 34; Velo n = 20, zu Fuss n = 17

Abb. 38 Knoten. Vorsichtiges Verhalten. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Bei der Auswertung der Antworten aller Testpersonen liessen sich keine Unterschiede der Gestaltungselemente im Vergleich zu «ohne Markierung» feststellen. Im Weiteren wurden die gleichen Tests für Testpersonen

der jeweiligen drei Perspektiven separat voneinander gerechnet. Dort liessen sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede feststellen.

Bei allen Gestaltungselementen würden sich die Autofahrenden signifikant vorsichtiger verhalten als die Velofahrenden und die Zufussgehenden.

Verhalten beim Knoten

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie sie sich bei der Knotensituation verhalten würden. Die Antworthäufigkeiten sind in *Abb. 39*, *Abb. 40*, *Abb. 41* und *Abb. 42* dargestellt.

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet.

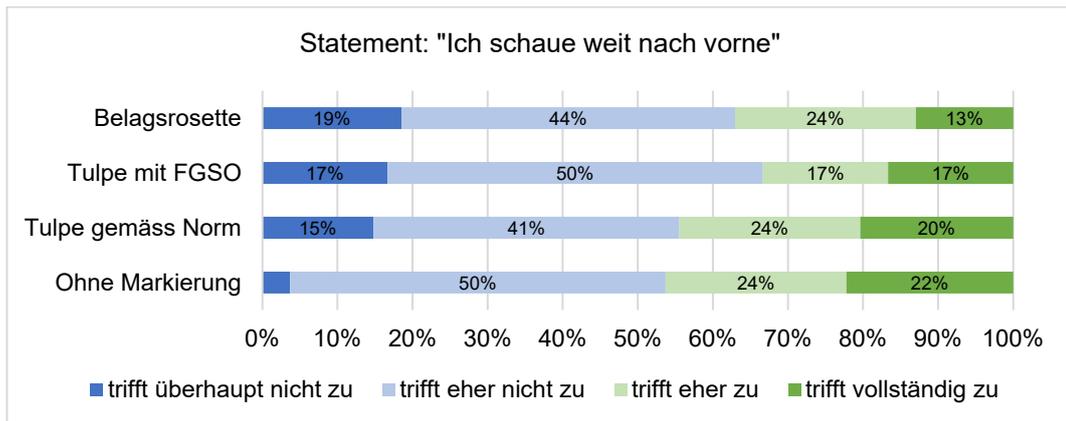


Abb. 39 Knoten. Verhalten beim Knoten: Weit nach vorne schauen. Darstellung Antworthäufigkeiten. 4er Skala. n = 54

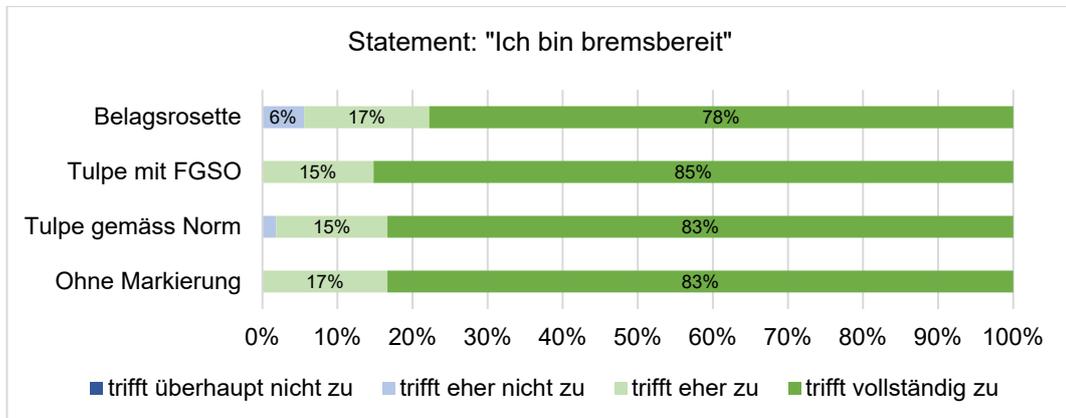


Abb. 40 Knoten. Verhalten beim Knoten: Bremsbereit sein. Darstellung Antworthäufigkeiten. 4er Skala. n = 54

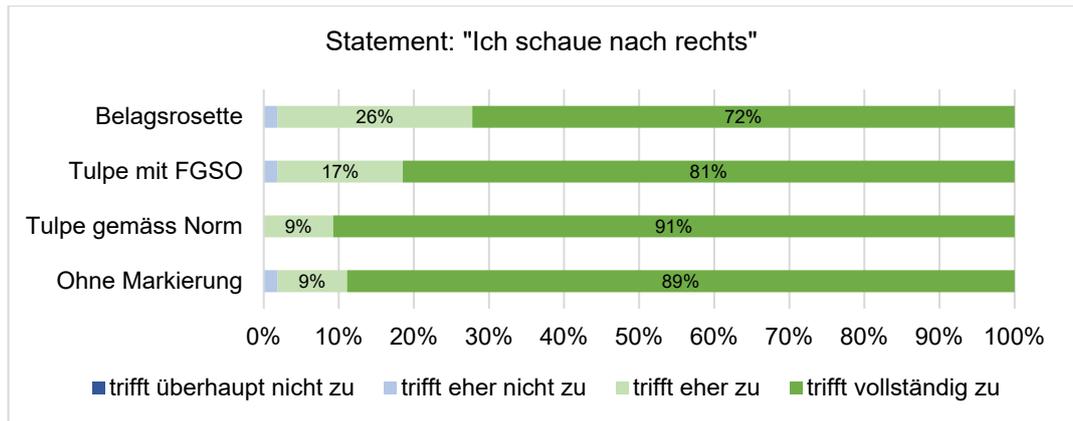


Abb. 41 Knoten. Verhalten beim Knoten: Nach rechts schauen. Darstellung Antworthäufigkeiten. 4er Skala. $n = 54$

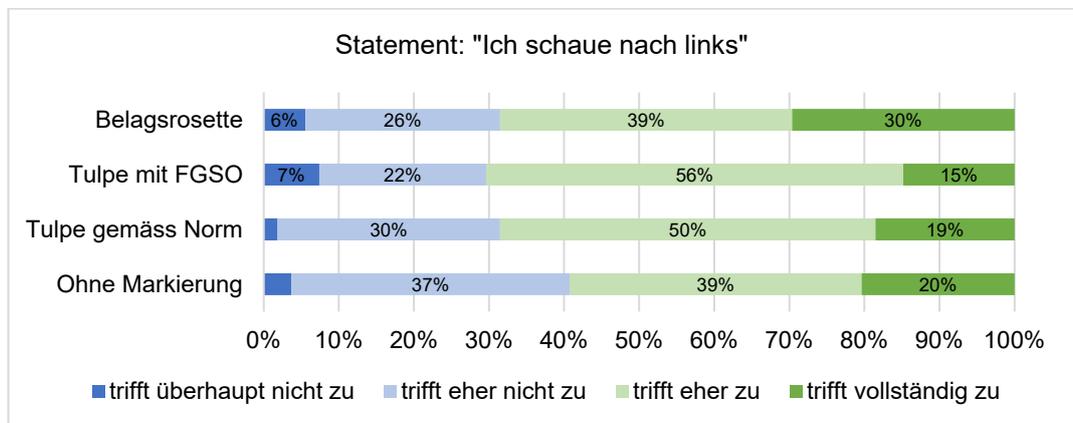


Abb. 42 Knoten. Verhalten beim Knoten: Nach links schauen. Darstellung Antworthäufigkeiten. 4er Skala. $n = 54$

Es zeigte sich, dass die Testpersonen im Vergleich zu «ohne Markierung» bei «Tulpe gemäss Norm» und bei «Belagsrosette» signifikant weniger häufig weit nach vorne schauen. Ausserdem würden die Testpersonen bei der «Tulpe gemäss Norm» signifikant weniger häufig weit nach vorne schauen als bei der «Belagsrosette». Bei der Bremsbereitschaft (bremsbereit sein) zeigte sich nur ein signifikanter Unterschied: Die Testpersonen sind bei der «Tulpe mit FGSO» eher bremsbereit als bei der «Belagsrosette». Bei der Frage, ob man nach rechts schauen würde, zeigte sich ein Unterschied im Vergleich zu «ohne Markierung»: Die Testpersonen würden bei der «Belagsrosette» weniger nach rechts schauen. Zudem würden die Testpersonen bei der «Tulpe gemäss Norm» signifikant häufiger nach rechts schauen als bei der «Belagsrosette». Bei der Frage, ob man nach links schauen würde, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur neutralen Kondition oder zwischen den experimentellen Konditionen.

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede beim Statement «Ich schaue weit nach vorne» im Überblick:

- «ohne Markierung» > «Tulpe gemäss Norm»
- «ohne Markierung» > «Belagsrosette»
- «Tulpe gemäss Norm» < «Belagsrosette»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede beim Statement «Ich bin bremsbereit» im Überblick:

- «Tulpe mit FGSO» > «Belagsrosette»

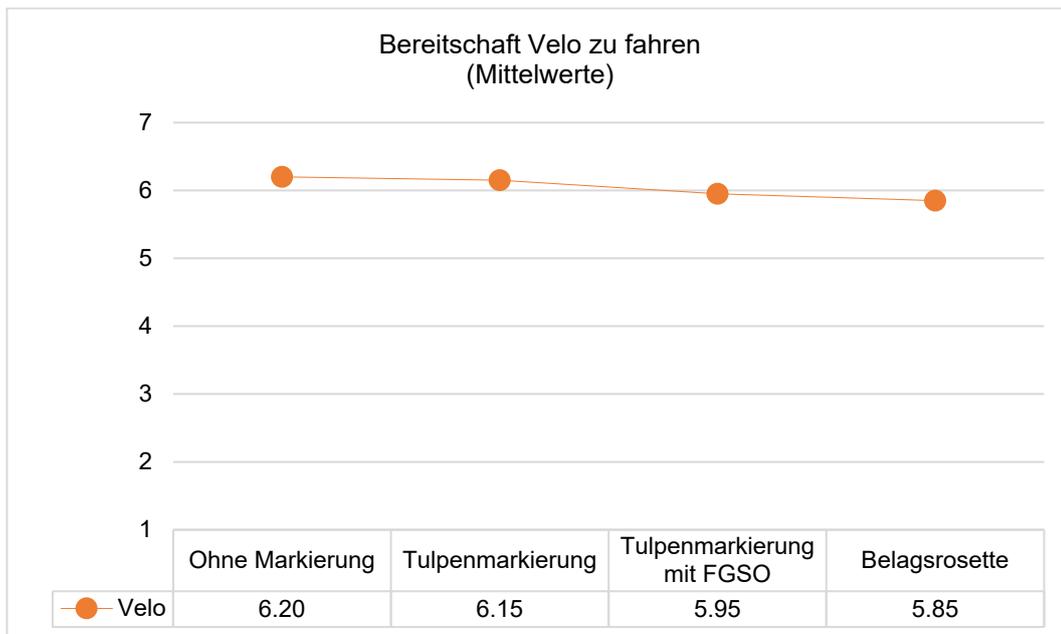
Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede beim Statement «**Ich schaue nach rechts**» im Überblick:

«ohne Markierung» > «Belagsrosette»

«Tulpe gemäss Norm» > «Belagsrosette»

Bereitschaft Velo zu fahren

Nachfolgend werden die Ergebnisse zur Bereitschaft der Velofahrenden, in der jeweils erlebten Strassensituation Velo zu fahren, erläutert. Die *Abb. 43* zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.



Anmerkung: Velo $n = 20$

Abb. 43 Knoten. *Bereitschaft, Velo zu fahren. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwertskala*

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit den neutralen Konditionen wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Gestaltungselementen hinsichtlich der Bereitschaft der Testpersonen, mit dem Velo zu fahren. Die Bereitschaft ist bei allen Gestaltungselementen recht hoch.

Erwartete Geschwindigkeit

Bei der Auswertung der erwarteten Geschwindigkeit wurden zuerst die Verteilungen in den Antworten betrachtet. In *Abb. 44*, *Abb. 45*, *Abb. 46* und *Abb. 47* wird ersichtlich, dass bei allen Gestaltungselementen die meisten Testpersonen eine Geschwindigkeitslimite von 30 km/h oder 50 km/h erwarten.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in *Tab. 66* aufgeführt. Die Resultate von Verteilungen der erwarteten Geschwindigkeitslimite widerspiegeln sich in den Mittelwerten in *Tab. 66*: «*Ohne Markierung*» und «*Belagsrosette*» mit den niedrigsten Mittelwerten weisen einen höheren Anteil der Antworten bei 30 km/h als die anderen Gestaltungselemente auf. Die «*Tulpe gemäss Norm*» und die «*Tulpe mit FGSO*» mit den höchsten Mittelwerten weisen einen höheren Anteil der Antworten bei 50 km/h als die anderen Gestaltungselemente auf.

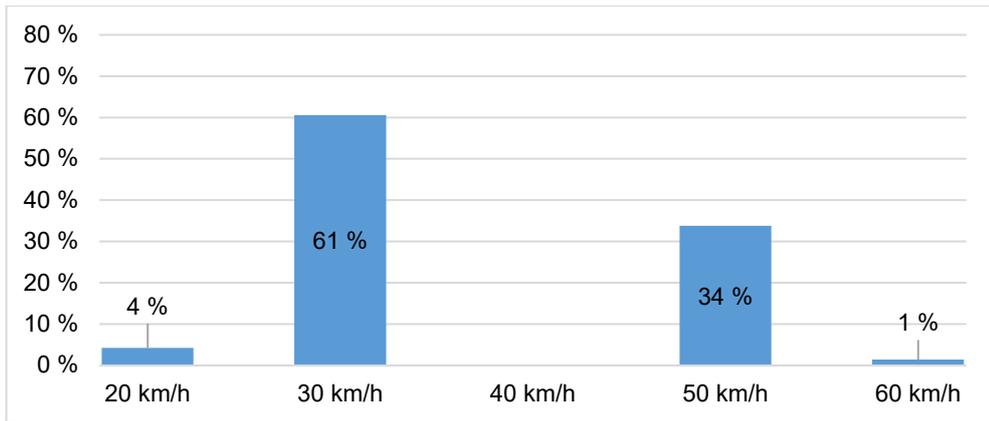


Abb. 44 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Ohne Markierung. Verteilung. n = 71

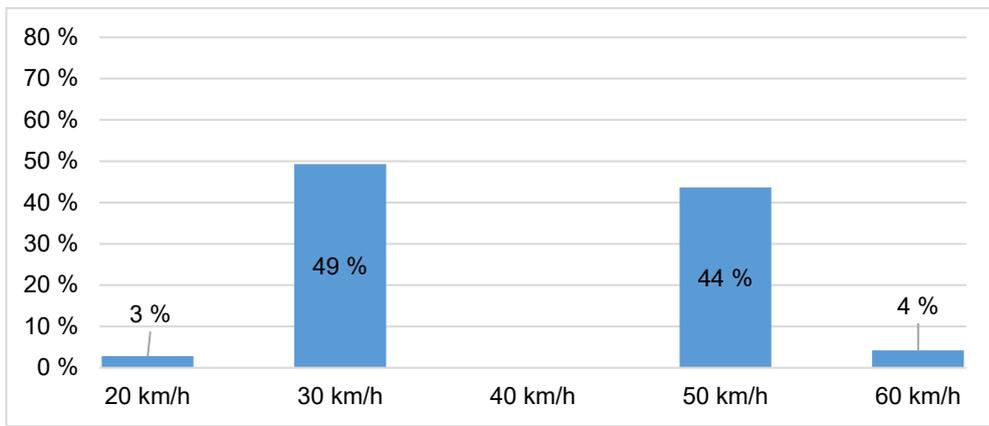


Abb. 45 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Tulpe gemäss Norm. Verteilung. n = 71

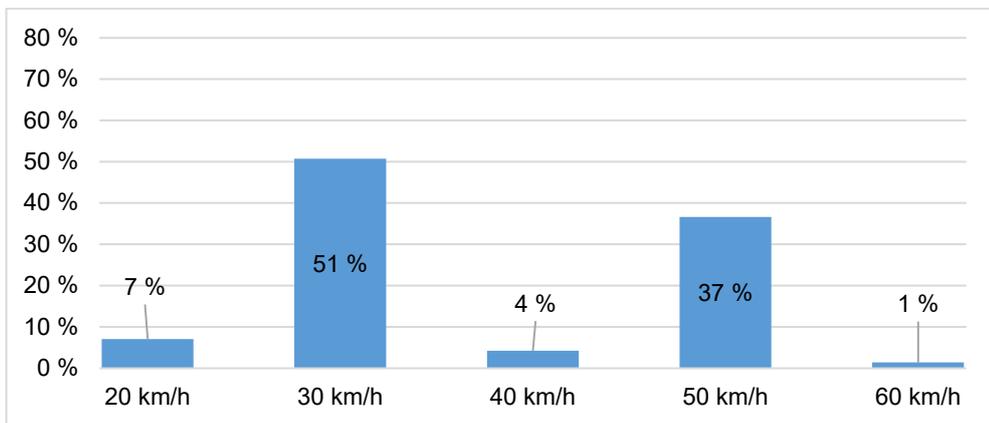


Abb. 46 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Tulpe mit FGSO. Verteilung. n = 71

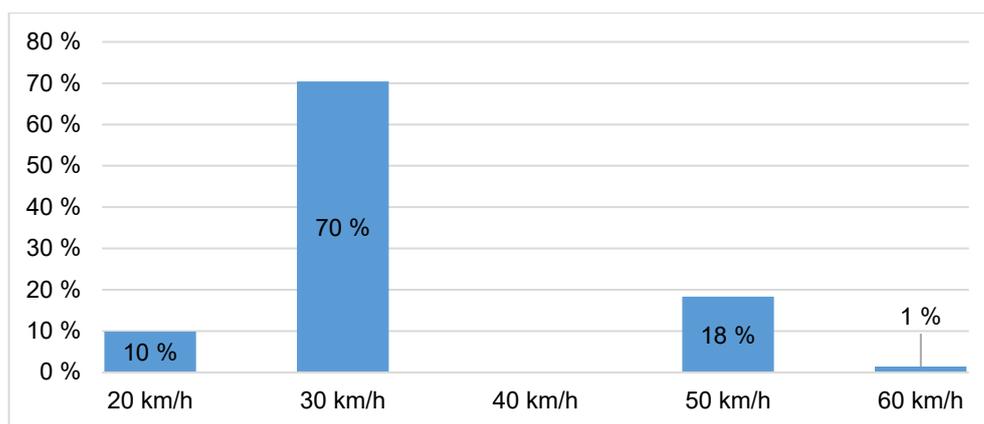


Abb. 47 Erwartete Geschwindigkeitslimite. Belagsrosette. Verteilung. $n = 71$

Tab. 66 Knoten. Erwartete Geschwindigkeitslimite. Vergleich der Gestaltungselemente

	Neutrale Kondition	Experimentelle Konditionen		
	ohne Markierung	Tulpe Norm	gemäss Tulpe mit FGSO	Belagsrosette
Mittelwert	36.8 km/h	39.7 km/h	37.5 km/h	33.1 km/h
Standard- abweichung	10.4 km/h	11.1 km/h	10.8 km/h	9.3 km/h

Frage: «Was vermuten Sie, welche vorgeschriebene Geschwindigkeitslimite gilt für die gezeigte Strassensituation?»
 Offene Angabe
 $n = 71$

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden nicht-parametrische Tests gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen die Geschwindigkeitslimite im Vergleich mit «ohne Markierung» bei der «Belagsrosette» als signifikant tiefer einschätzen, während sich die Tulpenmarkierungen, «Tulpe gemäss Norm» und «Tulpe mit FGSO» nicht unterscheiden. Bei einem zusätzlichen Vergleich der Tulpenmarkierungen mit der «Belagsrosette» zeigte sich ein signifikanter Unterschied: die Testpersonen schätzen die Geschwindigkeitslimite beider Tulpenmarkierungen als signifikant höher ein.

Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Perspektiven Auto, Velo und zu Fuss.

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede bei der erwarteten Geschwindigkeitslimite nochmals im Überblick:

- «Ohne Markierung» < «Belagsrosette»
- «Belagsrosette» < «Tulpe gemäss Norm»
- «Belagsrosette» < «Tulpe mit FGSO»

Die «Belagsrosette» bringt die Testpersonen also am ehesten dazu, eine vorgeschriebene Geschwindigkeitslimite von 30 km/h zu erwarten.

Aufmerksamkeit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie stark sie sich auf die Strassensituation konzentrieren müssen, also wie viel Aufmerksamkeit das Gestaltungselement erfordert. In Tab. 67 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Gesamtperspektiven und die einzelnen Perspektiven separat aufgeführt. Die Abb. 48 zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.

Tab. 67 Knoten. Benötigte Aufmerksamkeit. Vergleich der Gestaltungselemente. Unterteilt nach Perspektiven

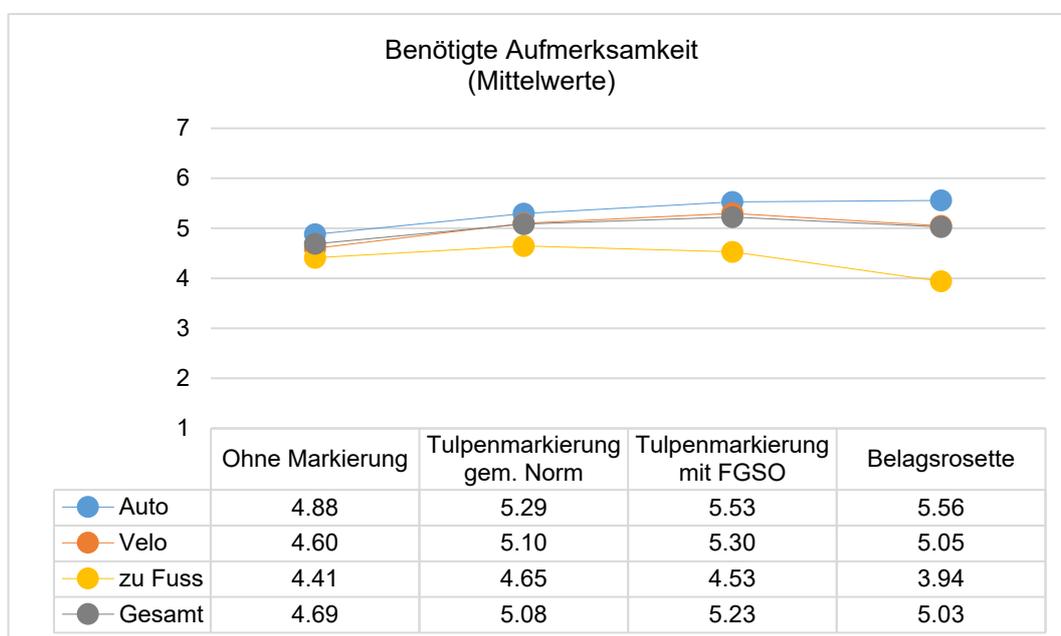
	Neutrale Kondition		Experimentelle Konditionen					
	ohne Markierung		Tulpe gemäss Norm		Tulpe mit FGSO		Belagsrosette	
	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.
Auto	4.9	1.8	5.3	1.7	5.5	1.5	5.6	1.6
Velo	4.6	1.4	5.1	1.1	5.3	1.1	5.1	1.3
zu Fuss	4.4	1.7	4.6	1.6	4.5	1.5	3.9	1.4
Gesamt	4.7	1.7	5.1	1.5	5.2	1.4	5.0	1.6

Frage Perspektive Auto & Velo: «Wie stark müssen Sie sich auf die Strasse konzentrieren, um sicher geradeaus über die abgebildete Kreuzung fahren zu können?»

Frage Perspektive zu Fuss: «Wie stark müssen Sie sich auf die Strasse konzentrieren, um in der gezeigten Situation die Strasse sicher überqueren zu können?»

7er-Antwortskala: «Ich muss mich überhaupt nicht konzentrieren» [1] bis «Ich muss meine ganze Konzentration aufbringen» [7]

Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$



Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$

Abb. 48 Knoten. Benötigte Aufmerksamkeit. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala; «überhaupt nicht sicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass die Testpersonen im Vergleich zu «ohne Markierung» bei «Tulpe gemäss Norm» und «Tulpe mit FGSO» signifikant mehr Aufmerksamkeit benötigen.

Im Weiteren wurden die gleichen Tests für Testpersonen der jeweiligen drei Perspektiven separat voneinander gerechnet. Die Autofahrenden benötigten im Vergleich zu «ohne Markierung» nur bei einer der Tulpenmarkierungen mehr Aufmerksamkeit, nämlich bei «Tulpe mit FGSO». Darüber hinaus benötigen sie auch bei der «Belagsrosette» mehr Aufmerksamkeit als bei «ohne Markierung». Die Velofahrenden benötigen nur bei der «Tulpe mit FGSO» mehr Aufmerksamkeit als bei «ohne Markierung». Bei den Zufussgehenden wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden.

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede der benötigten Aufmerksamkeit für die **Gesamtstichprobe** im Überblick:

«ohne Markierung» < «Tulpe gemäss Norm»

«ohne Markierung» < «Tulpe mit FGSO»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede für die **Autofahrenden** im Überblick:
«ohne Markierung» < «Tulpe mit FGSO»

«ohne Markierung» < «Belagsrosette»

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede für die **Velofahrenden** im Überblick:
«ohne Markierung» < «Tulpe mit FGSO»

Die Tulpenmarkierungen, «*Tulpe gemäss Norm*» und «*Tulpe mit FGSO*» und die «*Belagsrosette*» benötigen am meisten Aufmerksamkeit.

Subjektive Sicherheit

Die Testpersonen wurden dazu befragt, wie sicher sie sich in der jeweiligen Strassensituation fühlen, wobei sich «sicher» auf die Verkehrssicherheit bezog. In *Tab. 68* sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Gesamtperspektive und die einzelnen Perspektiven separat aufgeführt. *Abb. 49* zeigt die Mittelwerte aus *Tab. 68* in einer grafischen Übersicht.

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Einschätzung der Testpersonen dazu, wie sicher sie sich bei den Gestaltungselementen fühlen.

Insgesamt fühlen sich die Testpersonen bei allen Gestaltungselementen recht sicher bezüglich der Verkehrssicherheit.

Tab. 68 Knoten. Sicherheitsempfinden. Vergleich der Gestaltungselemente. Unterteilt nach Perspektiven

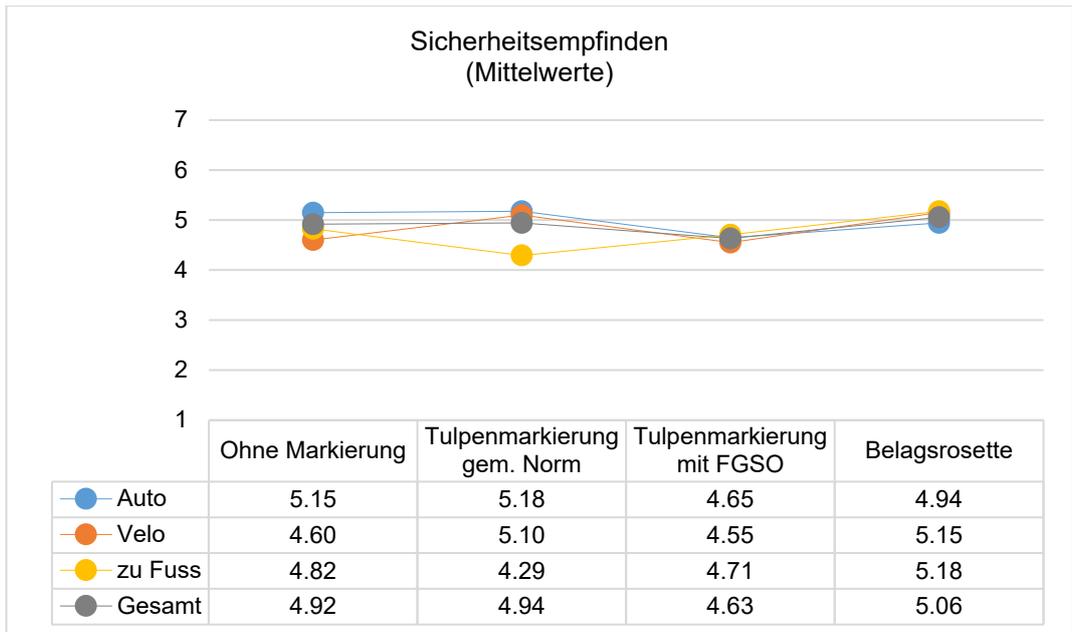
	Neutrale Kondition		Experimentelle Konditionen					
	ohne Markierung		Tulpe gemäss Norm		Tulpe mit FGSO		Belagsrosette	
	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.
Auto	5.2	1.5	5.2	1.7	4.7	1.7	4.9	1.6
Velo	4.6	1.7	5.1	1.5	4.6	1.7	5.2	1.7
zu Fuss	4.8	1.3	4.3	1.3	4.7	1.5	5.2	1.5
Gesamt	4.9	1.5	4.9	1.6	4.6	1.6	5.1	1.6

Frage Perspektive Auto & Velo: «Wie sicher fühlen Sie sich, wenn Sie in der gezeigten Situation geradeaus über die Kreuzung fahren? (Bezüglich Verkehrssicherheit)»

Frage Perspektive zu Fuss: «Wie sicher würden Sie sich fühlen, wenn Sie in der gezeigten Strassensituation die Strasse überqueren würden?»

7er-Antwortskala: «sehr unsicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Anmerkung: Gesamt $n = 71$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$, zu Fuss $n = 17$

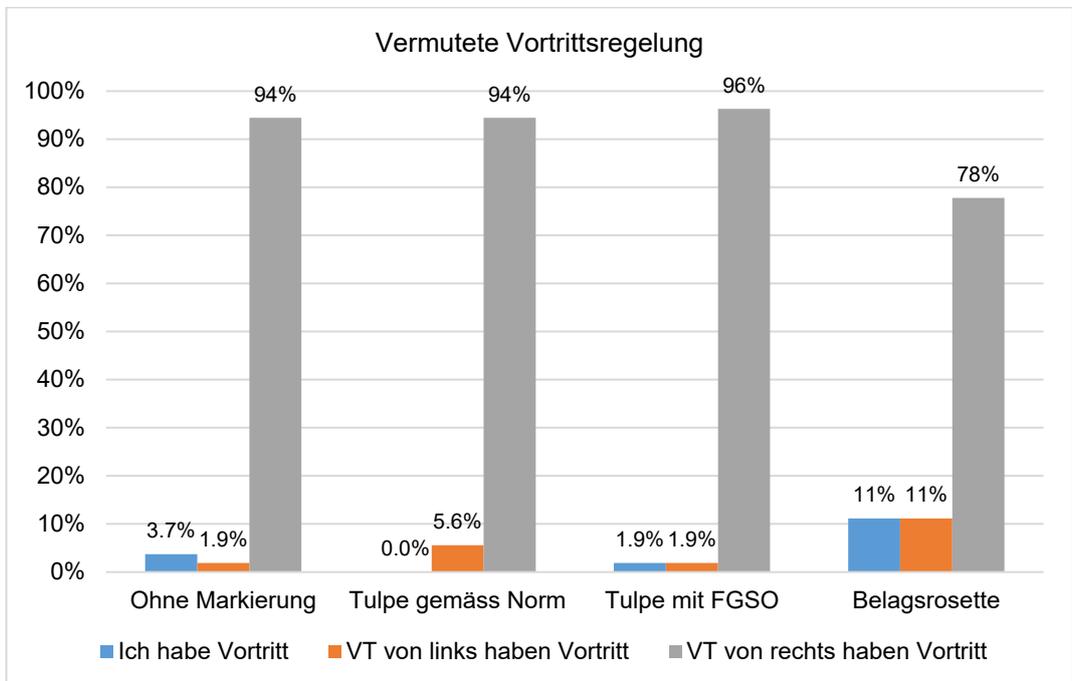


Anmerkung: Gesamt n = 71; Auto n = 34; Velo n = 20, zu Fuss n = 17

Abb. 49 Knoten. Sicherheitsempfinden. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala; «überhaupt nicht sicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Vortritt beim Knoten

Nachfolgend werden die Ergebnisse zur Einschätzung der Testpersonen der geltenden Vortrittsregelung erläutert. Dazu wurden nur die Autofahrenden und Velofahrenden befragt. Die Antworthäufigkeiten sind in *Abb. 50* dargestellt.



Anmerkung: VT = Verkehrsteilnehmende

Abb. 50 Knoten. Vermutete Vortrittsregelung. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung Antworthäufigkeiten. Nominale Skala mit Einfachantwort. n = 54

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden die Antworthäufigkeiten für die vermutete Vortrittsregelung der Gestaltungselemente mittels

Chi-Quadrat-Test verglichen. Es zeigte sich, dass die Testpersonen bei der «Belagsrosette» signifikant häufiger angeben, dass Verkehrsteilnehmende von links oder sie selbst Vortritt hätten.

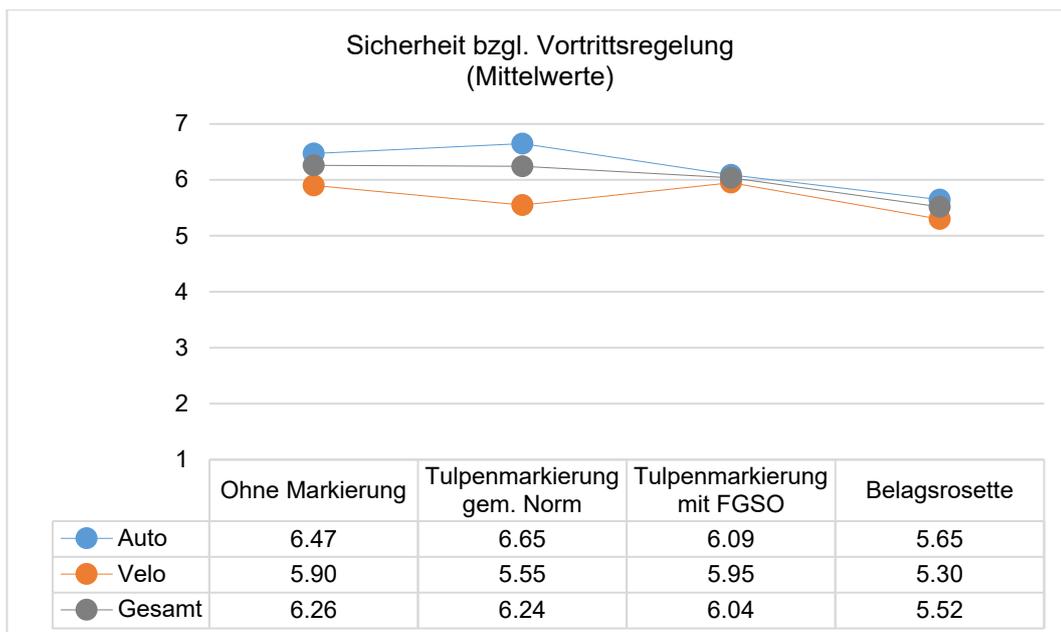
Darüber hinaus wurde abgefragt, wie sicher sich die Testpersonen bei der Angabe der Vortrittsregelung für die Gestaltungselemente sind. Dazu wurden ebenfalls nur die Autofahrenden und Velofahrenden befragt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in Tab. 69 aufgeführt. Die Abb. 51 zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.

Tab. 69 Knoten. Sicherheit bzgl. Vortrittsregelung. Vergleich der Gestaltungselemente. Unterteilt nach Perspektiven

	Neutrale Kondition		Experimentelle Konditionen					
	ohne Markierung		Tulpe gemäss Norm		Tulpe mit FGSO		Belagsrosette	
	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.
Auto	6.5	1.2	6.7	1.0	6.1	1.8	5.7	2.0
Velo	5.9	1.3	5.6	1.9	6.0	1.4	5.3	2.0
Gesamt	6.3	1.3	6.3	1.5	6.0	1.6	5.5	2.0

Frage: «Wie sicher sind Sie sich, welche Vortrittsregelung bei der gezeigten Kreuzung vorgeschrieben ist?»
7er-Antwortskala: «überhaupt nicht sicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Anmerkung: Gesamt $n = 54$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$



Anmerkung: Gesamt $n = 54$; Auto $n = 34$; Velo $n = 20$

Abb. 51 Knoten. Sicherheit bzgl. Vortrittsregelung. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala; «überhaupt nicht sicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertsvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass sich die Testpersonen bei der «Belagsrosette» signifikant weniger sicher sind bezüglich der Vortrittsregelung als bei «ohne Markierung». Bei der separaten Berechnung der Unterschiede innerhalb der zwei Perspektiven liess sich dieser Unterschied nur bei den Autofahrenden feststellen, bei den Velofahrenden nicht.

Folgende Liste zeigt die signifikanten Unterschiede bei der Sicherheit bzgl. Vortrittsregelung für die **Gesamtstichprobe** im Überblick:
«ohne Markierung» > «Belagsrosette»

Die Testpersonen sind sich bei den meisten Gestaltungselementen sehr sicher, was die geltende Vorrtrittsregelung ist. Nur bei der Belagsrosette besteht eine grössere Unsicherheit – bei der Belagsrosette gaben zudem einige Testpersonen an, dass Verkehrsteilnehmende von links oder sie selbst Vortritt hätten, also kein Rechtsvortritt bestehen würde.

Erkennbarkeit Knoten

Im Weiteren wurden die Autofahrenden und Velofahrenden dazu befragt, wie deutlich bei den Gestaltungselementen die Strassensituation als Knoten («Kreuzung») erkennbar ist. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Antworten sind in *Tab. 70* aufgeführt. Die *Abb. 52* zeigt die Mittelwerte in einer grafischen Übersicht.

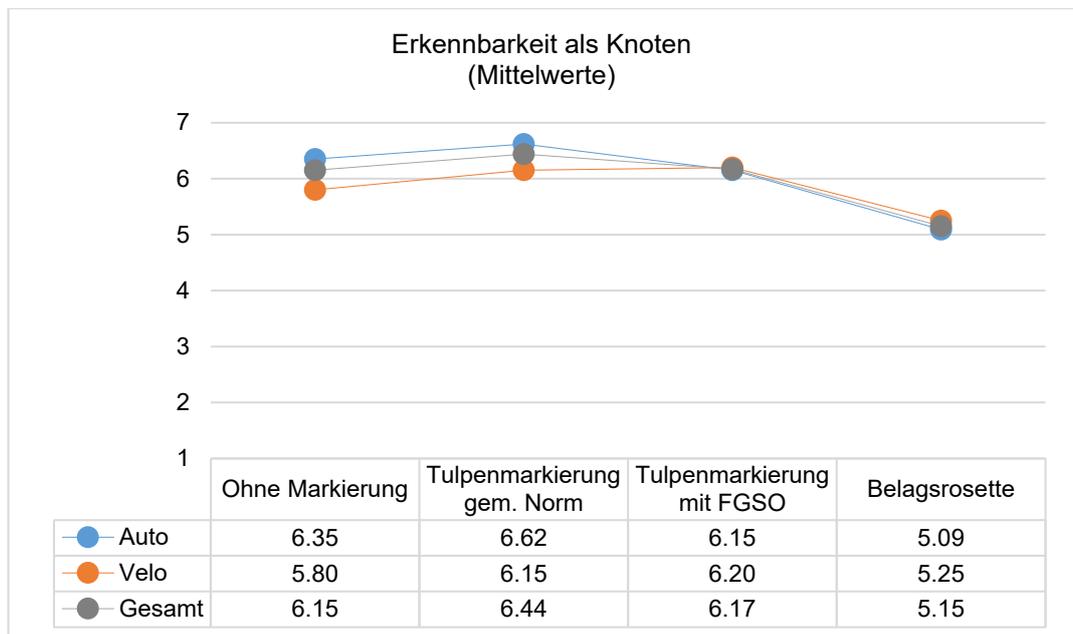
Tab. 70 Knoten. Erkennbarkeit als Knoten. Vergleich der Gestaltungselemente. Unterteilt nach Perspektiven

	Neutrale Kondition		Experimentelle Konditionen					
	ohne Markierung		Tulpe gemäss Norm		Tulpe mit FGSO		Belagsrosette	
	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.	Mittelwert	St.Abw.
Auto	6.4	1.1	6.6	1.1	6.2	1.4	5.1	2.0
Velo	5.8	1.4	6.2	1.3	6.2	0.9	5.3	1.9
Gesamt	6.2	1.3	6.4	1.2	6.2	1.3	5.2	1.9

Statement: «Es ist sehr deutlich erkennbar, dass es sich um eine Kreuzung handelt.»

7er-Antwortskala: «stimme überhaupt nicht zu» [1] bis «stimme voll und ganz zu» [7]

Anmerkung: Gesamt n = 54; Auto n = 34; Velo n = 20



Anmerkung: Gesamt n = 54; Auto n = 34; Velo n = 20

Abb. 52 Knoten. Erkennbarkeit als Knoten. Vergleich der Gestaltungselemente. Darstellung der Mittelwerte. 7er-Antwortskala; «überhaupt nicht sicher» [1] bis «sehr sicher» [7]

Für den Vergleich der experimentellen Konditionen mit der neutralen Kondition wurden Mittelwertvergleiche (gepaarte T-Tests) gerechnet. Es zeigte sich, dass für die Testpersonen die «Belagsrosette» signifikant schlechter als Kreuzung erkennbar ist als «ohne Markierung». Bei der separaten Berechnung der Unterschiede innerhalb der zwei Perspektiven Auto und Velo liess sich dieser Unterschied nur bei den Autofahrenden feststellen, bei den Velofahrenden nicht.

Bei der Formulierung der Frage im Fragebogen bezüglich der Wahrnehmung als Knoten wurde der Begriff «Kreuzung» anstatt «Knoten» verwendet. Damit sollte verdeutlicht werden, dass es sich um eine Strassensituation handelt, in der Verkehrsteilnehmende von der Seite her in die Strasse einbiegen könnten, auf der man selbst aktuell fährt. Möglicherweise haben die Testpersonen aber eine «Kreuzung» als Situation aufgefasst, wo es normal einmündende Seitenstrassen gibt und ein Kreisell nicht dazu gehört und deshalb die Strassensituation nicht als Knoten (bzw. «Kreuzung») wahrgenommen, obwohl sie durchaus realisierten, dass andere Verkehrsteilnehmende einbiegen könnten. Darüber hinaus die Belagsrosette eher nicht als Strassensituation interpretiert, wo Rechtsvortritt herrscht. Zusammengenommen deuten die Resultate und die Interpretation der Ergebnisse darauf hin, dass einzelnen Verkehrsteilnehmende die Belagsrosette mit einem Kreisell verwechseln.

Wirkung der Wahrnehmung auf das Verhalten

Um die Wirkung der Wahrnehmung auf das Verhalten zu messen, wurden Zusammenhangsanalysen (Korrelationen) gerechnet. Die gerechneten Zusammenhänge beziehen sich auf das fokussierte Rahmenmodell (vgl. Kap. 6.2). Die Tab. 71 zeigt die Korrelationen im Überblick.

Tab. 71 Knoten. Wirkung der Wahrnehmung auf das Verhalten. Überblick Korrelationen

Zusammenhang zwischen	ohne Markierung	Tulpe gem. Norm	Tulpe mit FGSO	Belagsrosette
	Korrelationskoeffizient nach Spearman: r*			
Aufmerksamkeit x erwartete Geschwindigkeit	-	-	-	-
Aufmerksamkeit x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-.512	-.489	-.370	-
Aufmerksamkeit x vorsichtiges Verhalten	-	-	-	-
Sicherheit x erwartete Geschwindigkeit	-	-	-	-
Sicherheit x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	.612	.665	.756	.747
Sicherheit x vorsichtiges Verhalten	-	-	-	-
Vorsichtiges Verhalten x gewählte Geschwindigkeit (Auto)	-	-	-	-
*Spearman rho (ρ): ≤ -1 $r \leq 1$ r = 0: kein Zusammenhang r = 1/-1: perfekter Zusammenhang r nur eingetragen, wenn auf Niveau 0.01 oder 0.05 beidseitig signifikant		*Einstufung nach Cohen r = .10 schwacher Effekt r = .30 mittlerer Effekt r = .50 starker Effekt		

Anmerkung: n = 54 - 71

Die Analysen zeigten folgende Ergebnisse:

- Die Aufmerksamkeit korreliert signifikant negativ mit der gewählten Geschwindigkeit bei «ohne Markierung», «Tulpe gemäss Norm» und «Tulpe mit FGSO».
- Die Aufmerksamkeit korreliert signifikant positiv bei allen Gestaltungselementen.
- Die subjektive Sicherheit korreliert mit der Erkennbarkeit des Knotens bei allen Gestaltungselementen.
- Bei der «Belagsrosette» korreliert die subjektive Sicherheit positiv mit der Sicherheit bezüglich der Vortrittsregelung.
- Die subjektive Sicherheit korreliert negativ mit dem vorsichtigen Verhalten.

Glossar

Begriff	Bedeutung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
Belagsrosette	Runder vertikaler Versatz in der Knotenmitte
BFU	Beratungsstelle für Unfallverhütung
DAV	Dienstabteilung Verkehr
E-Bike	Electric bike bzw. Elektrovelo
FäG	Fahrzeugähnliche Geräte: alle mit Rädern oder Rollen ausgestatteten Fortbewegungsmittel, die ausschliesslich durch eigene Körperkraft angetrieben werden.
FGSO	Farbliche Gestaltung von Strassenoberflächen
MIV	Motorisierter individueller Verkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
SERFOR	Selbsterklärende und fehlerverzeihende Strassen <i>self-explaining roads = SER, forgiving roads = FOR</i>
TP1, TP2, TP3	Teilprojekt 1 (Forschung Humanfaktoren), Teilprojekt 2 (Handlungsbedarf Innerortsstrassen), Teilprojekt 3 (Handlungsbedarf Ausserortsstrassen)
UAP	Unfallaufnahmeprotokoll
V85	V85 ist die Geschwindigkeit, die von 85 % der erfassten Fahrzeuge nicht überschritten wird. Sie zeichnet damit das vorherrschende Geschwindigkeitsniveau auf.
VR	Virtual Reality bzw. virtuelle Realität
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Literaturverzeichnis

Bundesgesetze

- [1] Schweizerische Eidgenossenschaft (1958), „**Strassenverkehrsgesetz vom 19. Dezember 1958 (SVG)**“, SR 741.01, www.admin.ch.

Verordnungen

- [2] Schweizerische Eidgenossenschaft (1962), „**Verkehrsregelverordnung vom 13. November 1962 (VRV)**“, SR 741.11, www.admin.ch.
- [3] Schweizerische Eidgenossenschaft (1979), „**Signalisationsverordnung vom 5. September 1979 (SSV)**“, SR 741.21, www.admin.ch.

Weisungen, Richtlinien und Fachhandbücher der UVEK

- [4] Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2021), „**Weisungen über besondere Markierungen auf der Fahrbahn**“, www.admin.ch.

Normen

- [5] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2001), „**Strassenverkehrsunfälle - Unfallanalysen sowie Kurz-, Gefahren- und Risikoanalysen**“, SN 640 010.
- [6] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Strassentypen**“, VSS 40 040b.
- [7] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Strassentypen; Hauptverkehrsstrassen (in Erarbeitung)**“, VSS 40 042.
- [8] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Strassentypen; Verbindungsstrassen (in Erarbeitung)**“, VSS 40 043.
- [9] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Strassentypen; Nebenstrassen (in Erarbeitung)**“, VSS 40 044.
- [10] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Strassentypen; Erschliessungsstrassen (in Erarbeitung)**“, VSS 40 045.
- [11] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1994), „**Leichter Zweiradverkehr; Grundlagen**“, SN 640 060.
- [12] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2000), „**Führung des leichten Zweiradverkehr auf Strassen mit öffentlichem Verkehr**“, SN 640 064.
- [13] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2014), „**Fussgängerverkehr; Hindernisfreier Verkehrsraum**“, SN 640 075.
- [14] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Projektierung, Grundlagen; Geschwindigkeit als Projektierungselement**“, VSS 40 080b.
- [15] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Linienführung; Optische Anforderungen**“, VSS 40 140.
- [16] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Geometrisches Normalprofil; Allgemeine Grundsätze, Begriffe und Elemente**“, VSS 40 200a.
- [17] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Geometrisches Normalprofil; Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer, inkl. Anhänge 1 und 2**“, VSS 40 201.
- [18] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1999), „**Vorgehen für die Entwicklung von Gestaltungs- und Betriebskonzepten**“, VSS 40 210.
- [19] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2000), „**Entwurf des Strassenraums; Grundlagen**“, SN 640 211.
- [20] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Entwurf des Strassenraums; Gestaltungselemente**“, VSS 40 212.
- [21] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Entwurf des Strassenraums; Verkehrsberuhigungselemente**“, VSS 40 213.
- [22] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Entwurf des Strassenraums; Farbliche Gestaltung von Strassenoberflächen**“, VSS 40 214.
- [23] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Entwurf des Strassenraums; Mehrzweckstreifen**“, VSS 40 215.

- [24] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Entwurf des Strassenraums; Abgrenzung von Markierungen, anderen Ankündigungen auf der Strassenoberfläche und farblichen Gestaltungen von Strassenoberflächen**“, VSS 40 220.
- [25] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr; Grundlagen**“, VSS 40 240.
- [26] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr; Fussgängerstreifen**“, VSS 40 241.
- [27] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Querungen für den Langsamverkehr; Trottoirüberfahrten**“, VSS 40 242.
- [28] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr; Unterführungen**“, VSS 40 246a.
- [29] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr; Überführungen**“, VSS 40 247a.
- [30] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Knoten; Grundnorm**“, SN 640 250.
- [31] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Knoten; Knotenelemente**“, VSS 40 251.
- [32] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Knoten; Führung des Veloverkehrs**“, VSS 40 252.
- [33] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Knoten; Kreuzungsfreie Knoten**“, VSS 40 261.
- [34] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2020), „**Knoten; Knoten in einer Ebene (ohne Kreisverkehr)**“, VSS 40 262.
- [35] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Knoten; Knoten mit Kreisverkehr**“, VSS 40 263.
- [36] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Kontrolle der Befahrbarkeit, inkl. Beilagen**“, VSS 40 271a.
- [37] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Knoten; Sichtverhältnisse in Knoten in einer Ebene**“, VSS 40 273a.
- [38] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Strassen projektierung; Entwurf von Hauptverkehrsstrassen innerorts**“, VSS 40 303.
- [39] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2018), „**Passive Sicherheit im Strassenraum; Grundnorm**“, SN 640 560.
- [40] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021), „**Passive Sicherheit im Strassenraum; Fahrzeug-Rückhaltesysteme**“, VSS 40 561.
- [41] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Passive Sicherheit im Strassenraum; Massnahmen in Siedlungsgebieten**“, VSS 40 562.
- [42] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Passive Sicherheit im Strassenraum; Geländer**“, VSS 40 568.
- [43] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Passive Sicherheit im Strassenraum; Tragkonstruktionen der Strassenausstattung**“, VSS 40 569.
- [44] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2017), „**Lärmschutz an Strassen**“, SN 640 570.
- [45] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2014), „**Grünräume; Grundlagen und Projektierung**“, SN 640 660.
- [46] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Alleebäume; Grundlagen**“, VSS 40 677.
- [47] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021), „**Leiteinrichtungen; Art, Ausführung und Anordnung**“, VSS 40 822.
- [48] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021), „**Signale; Anordnung an Haupt- und Nebenstrassen**“, VSS 40 846.
- [49] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021), „**Signale; Anordnung an Kreisverkehrsplätzen**“, VSS 40 847.
- [50] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2005), „**Markierungen; Ausgestaltung und Anwendungsbereiche**“, SN 640 850.
- [51] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021), „**Besondere Markierungen; Anwendungsbereiche, Formen und Abmessungen**“, VSS 40 851.

- [52] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2007), „**Markierungen; Unterflurleuchten**“, *SN 640 853*.
- [53] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021), „**Markierungen; Anwendungsbeispiele für Haupt- und Nebenstrassen**“, *SN 640 862*.
- [54] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Markierungen; Lichttechnische Anforderungen, Griffigkeit**“, *VSS 40 877*.
- [55] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019), „**Bushaltestellen**“, *VSS 40 880*.

Dokumentation

- [56] Alrutz (2002), „**Verkehrssicherheit in Einbahnstrassen mit gegengerichtetem Radverkehr, Strassenverkehrstechnik**“, 6/2002
- [57] APEC (2011), „**Motorcycle and Scooter Safety Compendium of Best Practice: Motorcycle lanes (Malaysia)**“, http://www.apec-tpwtwg.org.cn/new/Projects/Compendium%20of%20MSS/case_studies/Malaysia_motorcycle_lanes.html gesehen am 14.08.2013
- [58] Ariën, C. (2016), „**The effects in distance and time of traffic calming measures near road transitions and discontinuities by means of driving simulator research**“, PhD Thesis, Hasselt University.
- [59] B+S AG. (2018), „**KREISEL – DON'T BELIEVE THE HYPE: Analyse von Velounfällen in Kreiseln und Empfehlungen für die Praxis.**“
- [60] Bärlocher et al.(2021), „**Die Countdown-Ampel**“, *Strasse und Verkehr* Nr. 10/2021
- [61] Becher, T., Baier, M., Steinauer, B., & Scheuchenpflug, R. (2006), „**Berücksichtigung psychologischer Aspekte beim Entwurf von Landstrassen-Grundlagenstudie**“, *Berichte Der Bundesanstalt Für Strassenweisen. Unterreihe Verkehrstechnik*, 148.
- [62] Bekiaris E, Wiethoff M, Gaitanidou E (Eds) (2011), „**Infrastructure and Safety in a Collaborative World**“, Springer, Heidelberg. ISBN 978-3-642-18371, DOI 10.1007/978-3-642-18372-0
- [63] Belopitov, I., Laube, M., Niemann, S., Ostermayr, L., Scaramuzza, G. (2011), „**Fussgängerstreifen (Grundlagen)**“ (Forschungsprojekt VSS 2008/302 auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS). Bern: Bundesamt für Strassen.
- [64] BFU (2019), „**SINUS-Report 2019 - Sicherheitsniveau und Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2018**“, Fonds für Verkehrssicherheit FVS.
- [65] Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E., & Vollrath, M. (2015), „**Automobilergonomie**“, Springer-Vieweg.
- [66] Bühlmann, F., Laube, M. (2005), „**Einsatz gelb hinterlegter Signale**“, Forschungsauftrag Nr. 1998/196, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK.
- [67] Cairney, P. (1986), „**The influence of cues from the road and the roadside environment on estimates of operating speeds and speed limits**“
- [68] Candappa, N., & Corben, B. (2006), „**Best Practice in Intersection Layout Design with Roundabout and Traffic Signal Focus**“, Contract Report Prepared for VicRoads.
- [69] Cantisani, G., Moretti, L., & De Andrade Barbosa, Y. (2019), „**Risk Analysis and Safer Layout Design Solutions for Bicycles in Four-Leg Urban Intersections**“, *Safety*, 5(2), 24. <https://doi.org/10.3390/safety5020024>
- [70] Carlson, J. A., Grimes, A., Green, M., Morefield, T., Steel, C., Reddy, A., Bejarano, C., Shook, R. P., Moore, T., Steele, L., Campbell, K., & Rogers, E. (2019), „**Impacts of temporary pedestrian streetscape improvements on pedestrian and vehicle activity and community perceptions**“, *Journal of Transport & Health*, 15, 100791. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.100791>
- [71] Carsten, O. M. J. (2001), „**User trials with intelligent speed limiters**“, In *Behavioural Research in Road Safety: Tenth Seminar*. Department of Transport.
- [72] Charlton, S. G. (2007), „**The role of attention in horizontal curves: A comparison of advance warning, delineation, and road marking treatments**“, *Accident Analysis & Prevention*, 39(5), 873–885. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2006.12.007>
- [73] Charlton, S. G., Starkey, N. J., Perrone, J. A., & Isler, R. B. (2014), „**What's the risk? A comparison of actual and perceived driving risk.**“, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 25, 50–64.
- [74] Charltona S, Mackie H, Baas P, Hayc K, Menezes M, Dixon C (2010), „**Using endemic road features to create self-explaining roads and reduce vehicle speeds**“, *Accident Analysis and Prevention* 42:1989–1998
- [75] Chinn, L., & Elliott, M. A. (2002), „**The effects of road appearance on perceived safe travel speed: Final report**“ (PA3828/20). Crowthorne: TRL Limited.
- [76] Cohen, A. S. (1986), „**Moeglichkeiten und Grenzen visueller Wahrnehmung im Strassenverkehr**“, *Unfall-Und Sicherheitsforschung Straßenverkehr*, Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen.(57).
- [77] Cox, J. A., Beanland, V., & Filtness, A. J. (2017), „**Risk and safety perception on urban and rural roads: Effects of environmental features, driver age and risk sensitivity.**“ *Traffic Injury Prevention*, 18(7), 703–710.

- [78] Davidse, D. R. J., & van Driel, C. J. G. (2002), „**Bronnen voor een meta-analyse van de relatie tussen omgevingskenmerken en verkeersgedrag**“ (D-2002-6; p. 141). SWOV Institute for Road Safety Research.
- [79] de Sousa, A. A., Sanches, S. P., & Ferreira, M. A. G. (2014), „**Perception of Barriers for the Use of Bicycles**“, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 160, 304–313.
- [80] de Waard, D., Jessurun, M., Steyvers, F. J. J. M., Reggatt, P. T. F., & Brookhuis, K. A. (1995), „**Effect of road layout and road environment on driving performance, drivers' physiology and road appreciation**“, *Ergonomics*, 38(7), 1395–1407. <https://doi.org/10.1080/00140139508925197>
- [81] Dietiker, J., Bosshard, M., Gottardi, G., Krämer, C., Luchsinger, C., Regli, P., & Zeyer, A. (2009), „**Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen**“ (Forschungsbericht 2004 / 057). Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure (SVI).
- [82] Dixon, K., Zhu, H., Ogle, J., & Brooks, J. (2008), „**Determining Effective Roadway Design Treatments for Transitioning from Rural Areas to Urban Areas on State Highways**“ (p. 192).
- [83] Domenichini L, Barnzi V, Smorti M (2019), „**Influence of drivers' psychological risk profiles on the effectiveness of traffic calming measures**“, *Accident Analysis and Prevention* 123: 243-255
- [84] E. Dumbaugh (2007), „**Design of Safe Urban Roadsides; An Empirical Analysis**“, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 74-82.
- [85] Elliott, M. A., McColl, V. A., & Kennedy, J. V. (2003), „**Road design measures to reduce drivers' speed via 'psychological' processes: A literature review**“ (No. TRL564; p. 34). TRL Limited.
- [86] Fildes, B., Fletcher, M., & Corrigan, J. (1987), „**Speed perception 1: Drivers' judgements of safety and speed on urban and rural straight roads**“ (Report CR 54). Canberra, Australia: Federal Office of Road Safety, Department of Transport & Communication.
- [87] Fitzpatrick, K., Carlson, P., Brewer, M., & Wooldridge, M. (2001), „**Design Factors That Affect Driver Speed on Suburban Streets**“, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1751, 18–25. <https://doi.org/10.3141/1751-03>
- [88] Forbes, G., & Gill, T. (2000), „**Arterial speed calming: Mohawk Road case study**“, *Transportation Research Circular*, 501, 7-p.
- [89] Fowler, S. L., Berrigan, D., & Pollack, K. M. (2017), „**Perceived barriers to bicycling in an urban U.S. environment**“, *Journal of Transport & Health*, 6, 474–480.
- [90] Fusinato, L. A. (1977), „**Physiological correlates of road traffic demand**“, University of Melbourne.
- [91] Galante, F., Mauriello, F., Montella, A., Perneti, M., Aria, M., & D'Ambrosio, A. (2010), „**Traffic calming along rural highways crossing small urban communities: Driving simulator experiment**“, *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1585–1594. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.017>
- [92] Gargoum, S. A., El-Basyouny, K., & Kim, A. (2016), „**Towards setting credible speed limits: Identifying factors that affect driver compliance on urban roads**“, *Accident Analysis & Prevention*, 95, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.07.001>
- [93] Gemeente Hof van Twente. (2016), „**Evaluatie eenrichtingsverkeer Molenstraat Goor**“ (No. 605503).
- [94] Gemeente Amsterdam. (2016), „**Evaluatie Pilot Sarphatistraat OV-fietsstraat**“ (No. 150258).
- [95] Ghielmetti et al. (2017), „**Flächiges Queren in Ortszentren - langfristige Wirkung und Zweckmässigkeit**“, Forschungsprojekt SVI 2011/023
- [96] Gkemou, M., Vorotovic, V., Bhandari, R. (2020), „**SAFE STRIP - Safe and green sensor technologies for self-explaining and forgiving road interactive applications**“, Schlussbericht, https://safestrip.eu/wp-content/uploads/sites/18/2020/10/SAFE-STRIP-D8.3-Project-Final-Report_final-1.pdf, gesehen am 06.07.2022,
- [97] Godley, S. T., Triggs, T. J., & Fildes, B. N. (2004), „**Perceptual lane width, wide perceptual road centre markings and driving speeds**“, *Ergonomics*, 47(3), 237–256. <https://doi.org/10.1080/00140130310001629711>
- [98] Goldenbeld, C., & van Schagen, I. (2007), „**The credibility of speed limits on 80km/h rural roads: The effects of road and person(ality) characteristics**“, *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1121–1130. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2007.02.012>
- [99] Harms, L. (1986), „**Drivers' attentional response to environmental variations: A dualtask real traffic study**“, In *Vision in Vehicles*, I (pp. 131–138).
- [100] Harms, L. (1991), „**Experimental studies of variations in cognitive load and driving speed in traffic and in driving simulation**“, 71-78. *Vision in Vehicles-III*. New York: North-Holland.
- [101] Harte, D. B., & Harte, M. R. (1976), „**Estimates of car-following distances on three types of two-laned roads**“, *Human Factors*, 18(4), 393–396.
- [102] Hsu T, Wen K (2019), „**Effect of novel divergence markings on conflict prevention regarding motorcycle-involved right turn accidents of mixed traffic flow**“, *Journal of Safety Research* 69:167–176

- [103] Janssen B, Schepers P, Farah H, Hagenzieker M (2018), „**Behaviour of cyclists and pedestrians near right angled, sloped and levelled kerb types: Do risks associated to height differences of kerbs weigh up against other factors?**“, *EJTIR* 18(4): 360-371
- [104] Johnson, M. T. (2019), „**Safety Impacts of Signing and Pavement Markings on Property-Damage-Only Crashes at Multi-Lane Roundabouts**“, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2673(2), 477–488. <https://doi.org/10.1177/0361198118823738>
- [105] Köll (2004), „**Auswirkungen des Grünblinkens bei lichtsignalgesteuerten Knoten auf die Verkehrssicherheit**“, Working Paper, ETH Zürich, Zürich, 2004
- [106] Kolsrud, B. (1985), „**Speeds in rural traffic: The influence of various factors on car speeds on straight level roads**“, *Meddelande, Sweden: VTI*.
- [107] Latham, F. E., & Trombly, J. W. (2003), „**Low cost traffic engineering improvements: A primer**“, United States. Federal Highway Administration.
- [108] Lewis-Evans, B., & Charlton, S. G. (2006), „**Explicit and implicit processes in behavioural adaptation to road width**“, *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 610–617.
- [109] Lipovac, K., Vujanic, M., Maric, B., & Nestic, M. (2013), „**The influence of a pedestrian countdown display on pedestrian behavior at signalized pedestrian crossings**“, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 20, 121–134. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.07.002>
- [110] Mackie H, Charlton S, Baas P, Villasenor P (2013), „**Road user behaviour changes following a self-explaining roads intervention**“, *Accident Analysis and Prevention* 50:742–750
- [111] Mackie, H et al., 2018, „**Te Ara Mua – Future Streets suburban street retrofit: A researcher-community-government co-design process and intervention outcomes**“, *Journal of Transport & Health* Volume 11, December 2018, Pages 209-220.
- [112] Molino, J. (2009), „**Simulator Evaluation of Low-Cost Safety Improvements on Rural Two-Lane Undivided Roads: Nighttime Delineation for Curves and Traffic Calming for Small Towns**“ (FHWA-HRT-09-062). Federal Highway Administration.
- [113] Polydorou, T (2019), „**Innovative Concrete Barriers for Forging Road Infrastructure**“, 6th MCAA General Assembly and Annual Conference, February 25th, 2019.
- [114] Runeson, S. (1974), „**Constant velocity—Not perceived as such**“, *Psychological Research*, 37(1), 3–23.
- [115] 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.
- [116] Schlag, B., Voigt, J., Lippold, C., & Enzfelder, K. (2015), „**Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen**“.
- [117] Schnieder & Schnieder (2013), „**Verkehrssicherheit: Maße und Modelle, Methoden und Maßnahmen für den Straßen- und Schienenverkehr**“, Berlin Heidelberg 2013.
- [118] Schönborn (1993), „**MARKIERUNGEN UND VERKEHRSSICHERHEIT**“, *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Strassenverkehrstechnik*, 6/1993
- [119] Schüller (2009), „**Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung**“, Dissertation. Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ der Technischen Universität Dresden
- [120] Schüller H (2010), „**Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung**“, Dissertation TU Dresden, ISSN 1432-5500
- [121] 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
- [122] Schwarz, R., Ströhle, M., & Bayer, R. (2010), „**Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen**“ (Forschungsbericht VSS 2000/467; p. 102), Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS.
- [123] Silvano A, Bang K (2016), „**Impact of speed limits and road characteristics on free-flow speed in urban areas**“, *J Transp Eng* 142(2): 04015039-1
- [124] Sørensen, M., & Mosslemi, M. (2009), „**Subjective and Objective Safety**“, 161.
- [125] Taylor, M. C., Crinson, L. F., & Osborn, R. E. (2002). „**An assessment of traffic calming for trunk roads using the TRL driving simulator**“ (No. TRL539). Crowthorne: TRL Limited.
- [126] Theeuwes, J und Godthelp, H. (1993), „**Self-explaining roads**“, In: J. L. de Kroes und J. A. Stoop, Hg. *Safety of Transportation*. Delft: University Press.
- [127] Theeuwes, J., & Godthelp, H. (1995), „**Self-explaining roads**“, *Safety Science*, 19(2–3), 217–225. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00022-U](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00022-U)

-
- [128] Tiefbauamt des Kantons Bern (2017), „**FGSO - Farbliche Gestaltung von Strassenoberflächen**“, Arbeitshilfe
-
- [129] Weller, G. (2010), „**The Psychology of Driving on Rural Roads: Development and Testing of a Model**“, Springer Science & Business Media.
-
- [130] Weller, G., Schlag, B., Friedel, T., & Rammin, C. (2008), „**Behaviourally relevant road categorisation: A step towards self-explaining rural roads**“, Accident Analysis & Prevention, 40(4), 1581–1588. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2008.04.009>
-
- [131] World Road Association PIARC (2019), „**ROAD SAFETY MANUAL - 8. DESIGNING FOR ROAD USERS**“, <https://roadsafety.piarc.org/en/planning-design-operation/designing-road-users>, gesehen am 06.07.2022.
-
- [132] Pestalozzi, C., Conrad, V., Steiner, R. (2013). «**Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr**»
-
- [133] Ghielmetti, M., Steiner, R., Leitner, J., Hackenfort, M., Diener, S., Topp, H. (2017): «**Flächiges Queren in Ortszentren - langfristige Wirkung und Zweckmässigkeit**»
-
- [134] International Transport Forum (2016): «**Zero Road Deaths and Serious Injuries - Leading a Paradigm Shift to a Safe System**»
-
- [135] International Transport Forum (2022): «**Road Safety in Cities, Street Design and Traffic Management Solutions**»
-
- [136] International Transport Forum (2022): «**The Safe System Approach in Action**»
-

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: 02.11.2022

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2018/514

Projekttitle: Forschungspaket SERFOR, TP2: Handlungsbedarf Innerorts-Strassen

Enddatum: 31.12.2022

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Ziel des vorliegenden Teilprojekts (TP2 «Handlungsbedarf Innerortsstrassen») ist eine Aktualisierung und weitere Optimierung der Grundlagen für Planung, Projektierung, Bau und Betrieb von Strassenräumen Innerorts hinsichtlich ihrer Konformität mit der SERFOR-Philosophie. Aus dem Unfallgeschehen Innerorts ergibt sich, dass von den durch SERFOR beeinflussbaren Hauptursachen Vortrittsmissachtung am dominantesten (32 %), vor Unaufmerksamkeit und Ablenkung (13 %) und Geschwindigkeit (6 %) ist. Durch fehlerverzeihende Strassen können allenthalben die Folgen aller Fehlverhalten reduziert werden.

Selbsterklärende Strassen erfordern eine gewisse Vereinfachung der Strassenraumgestaltung. Dazu unterscheiden sich die Gegebenheiten und Voraussetzungen Innerorts von Situationen ausserorts. Innerorts wird i.d.R. langsamer gefahren als ausserorts. Die Innerörtlichen Strassen befinden sich in mehr oder weniger dicht bebauten Orten, was eine gewisse Komplexität mit sich bringt. Insbesondere können Städte und Dörfer nur begrenzt umgebaut werden. Innerorts besteht ein Spannungsfeld zwischen den SERFOR-Grundsätzen und den lokalen Gegebenheiten. Man muss einen Weg finden, um einerseits seifexplaining zu gestalten und andererseits die anderen Zielsetzungen (städtebauliche Integration, Identitätsbezug, Sachzwänge) mitzubedenken.

Innerorts ist die Anzahl und vor allem die Vielfalt an Verkehrsteilnehmern sehr hoch (mit unterschiedlichem Sicherheitsempfinden, unterschiedlichen Kompetenzen, unterschiedlichem Kenntnisstand, begrenzter Aufnahmefähigkeit).

6 SERFOR-Designregeln Innerorts:

- Prägnanz und Eindeutigkeit aller Projektierungselemente erhöhen (Eindeutigkeit des erwarteten Geschwindigkeits- und Vortrittsverhalten sicherstellen)
- Aufmerksamkeit und Blick auf Konfliktpunkte und Konfliktgegner lenken (Reizdichte im Normalfall senken, «Aufmerksamkeitsreserve schaffen», Gefahren / Konflikte verdeutlichen, andere Verkehrsteilnehmende erkennbar machen)
- Zuweisung von Querschnittsbereichen verdeutlichen (vorgesehene Nutzung der Verkehrs- und Seitenflächen eindeutig erkennbar machen)
- Geschwindigkeitsdifferenzen abbauen (Verkehrsströme nach Geschwindigkeit trennen, Geschwindigkeit im Mischverkehr senken)
- Akzeptanz für Verkehrsregelung erhöhen (Intuitive Nachvollziehbarkeit für die Regelung erhöhen, alle Verkehrsteilnehmende ansprechen, Abstimmung zwischen Verkehrsregelung und Gestaltung des Strassenraums)
- Fehlerverzeihende Strassen (geschützte Bereiche und Ausweichmöglichkeit im Querschnitt schaffen, kritische Hindernisse vermeiden, Reaktions- und Bremswege verkürzen)

Das Thema Verkehrssicherheit ist in den Normen und Leitfäden breit und gut abgehandelt. Für die Planungspraxis wurden für jede der SERFOR-Designregeln Handlungsempfehlungen für Strecken, Knoten und Querungen Innerorts formuliert.

Um die Wirkung von unterschiedlichen Leitlinien und Formen der Gestaltung von Rechtsvortritt-Knoten empirisch zu untersuchen, wurden Virtual-Reality-Experimente (VR-Experimente) durchgeführt. Ergebnisse:

- Gestaltung der Leitlinie bei Tempo-30: Lineare Markierungen zur Trennung der Fahrrichtungen (Leitlinien gemäss heutiger Norm) haben in der Regel einen beschleunigenden Effekt. Sie geben insbesondere den Autofahrenden Sicherheit, da sie ihnen eine klare Fahrbahn zuweisen. Aus diesem Grund ist beim Einsatz von solchen Markierungen bei Tempo 30 Vorsicht geboten. Im Gegensatz dazu kann mit versetzten Markierungen zur Trennung der Fahrrichtungen, welche die Linearität teilweise aufheben, der Effekt der Beschleunigung verhindert werden. Insbesondere in Strassen, in denen eine Markierung von Fahrspuren notwendig ist, ist der Einsatz solcher Markierungen ein Ansatz. Offen bleibt die Frage, ob die versetzte Markierung nur wirkt, weil sie ungewohnt ist. In diesem Falle wäre die Massnahme nicht direkt selbsterklärend.
- Gestaltung bei Rechtsvortritt: Tulpenmarkierungen am Knoten zeigen keinen messbaren Effekt auf die Verhaltensintention, langsamer und vorsichtiger zu fahren; diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass diese Massnahme nicht selbsterklärend ist. Obwohl die bauliche Massnahme der Belagsrosette in Bezug auf die Verhaltensintentionen eine erwünschte Wirkung zeigt, ist sie nicht selbsterklärend; aufgrund der damit verbundenen geringeren Wahrnehmung des Knotens sowie der tieferen Erkennbarkeit des Rechtsvortritts ist beim Einsatz der Belagsrosette Vorsicht geboten. Die Belagsrosette wird vermutlich von einzelnen Verkehrsteilnehmenden mit einem Kreisels verwechselt.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Das Ziel der Forschung konnte erreicht werden. Die Designregeln konnten entsprechend ihrer Bedeutung aufgrund der Unfallstatistik gewichtet und mit konkreten Empfehlungen illustriert werden. Für zwei Fragestellungen (Leitlinien für Tempo 30, Formen der Gestaltung von Rechtsvortritt-Knoten) konnten VR-Experimente durchgeführt werden.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Erkenntnisse aus der vorliegenden Studie geben wichtige Anhaltspunkte für selbsterklärende und verzeihende Strassen. Es muss sichergestellt werden, dass die SERFOR-Designregeln in die Projekte systematisch einfließen, bzw. dass ihnen die angemessene Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Alle involvierten Akteure in der Gestaltung der Strasseninfrastruktur müssen zur SERFOR-Thematik und deren Designregeln und Ansätzen sensibilisiert und geschult werden.

Bei der Überarbeitung einzelner Normen gilt es zu prüfen, wie konkrete SERFOR-Ansätze aufgrund der vorliegenden Forschung einfließen können.

Publikationen:

Forschungsbericht, auch als Input für den geplante Synthesebericht zur SERFOR

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Gloor

Vorname: Urs

Amt, Firma, Institut: Transitec Beratende Ingenieure

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



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:

Die Forschungsstelle hat im vorliegenden Teilprojekt SERFOR TP2 die Ergebnisse des vorangegangenen Teilprojekts zu den Humanfaktoren aufgenommen und in den Kontext von Strassen im Innerortsbereich gesetzt. Diese Forschung ist insofern als innovativ zu verstehen, als dass sich die oftmals kontextspezifische Strassenraumgestaltung innerorts und die angestrebte Standardisierung der selbsterklärenden und fehlerverzeihenden Strassen zumindest teilweise widersprechen, und die SERFOR Ansätze bisher kaum innerorts angewendet worden sind. Dieses Spannungsfeld und die daraus resultierenden Kompromisse wurden im vorliegenden Schlussbericht aufgezeigt. Das gesetzte Ziel, die Grundlagen für Planung, Projektierung, Bau und Betrieb von Strassenräumen innerorts zu ergänzen bzw. zu aktualisieren, wurde teilweise erreicht. Die Begleitkommission erkennt die grosse Herausforderung dieser Forschung und den gewählten interdisziplinären Ansatz aus Sozial- und Ingenieurwissenschaften an.

Umsetzung:

Die gewählten Methoden waren dem explorativen Charakter der Forschung angemessen. Eine Literaturanalyse bestätigte die Vermutung, dass SERFOR explizit innerorts noch kaum untersucht oder eingesetzt worden ist. Der Blick auf das Unfallgeschehen innerorts zeigte jedoch ein beträchtliches Potential des SERFOR Konzepts für die Erhöhung der Verkehrssicherheit auf. Aus der Analyse der heutigen Planungspraxis ergab sich, dass bereits viele Elemente von SERFOR im aktuellen Stand der Normen enthalten sind, aber dennoch Potential für die Weiterentwicklung von Gestaltungselementen und für ein übersichtliches sowie systematisches Vorgehen besteht. Dieses Potential wurde an zwei Beispielen in einer virtuellen Experimentalumgebung konkretisiert, nämlich einer neuen Leitlinie in Bereichen mit Tempo-30 und neuen Gestaltungsformen des Rechtsvortritts. Abschliessend wurden zahlreiche Empfehlungen für die Planungspraxis abgegeben und an Fallbeispielen konkretisiert.

weitergehender Forschungsbedarf:

Der vorliegende Schlussbericht ist als Übersicht relevanter Ergebnisse zu SERFOR innerorts zu verstehen. Diese schafft bei Bedarf die Grundlage für zahlreiche Folgeforschungen zu einzelnen SERFOR Themen. Der Analyseansatz, welcher in der vorliegenden Forschung an zwei Beispielen aufgezeigt wurde, kann auch für andere neuartige Gestaltungsideen zur Anwendung kommen. Gleichwohl erscheint eine pilothafte Umsetzung solcher Ideen in der Realität noch wichtiger, um deren tatsächlichen Wirkungen bewerten zu können.

Einfluss auf Normenwerk:

Die vorliegende Forschung hatte zum Ziel, eine Grundlage für die bedarfsgerechte Anpassung und/oder Ergänzung des Schweizer Normenwerks um Humanfaktoren zu schaffen. Die vorliegenden Ansätze sollen von den normenschaffenden Gremien zukünftig berücksichtigt und weiterentwickelt werden, wenn den menschlichen Einflüssen im Bereich der verkehrssicheren Strassengestaltung und -signalisation in der Schweiz noch stärker Rechnung getragen werden soll.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Brucks

Vorname: Wernher

Amt, Firma, Institut: Stadt Zürich, Dienstabteilung Verkehr

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Digital unterschrieben von
Brucks Wernher (DAV)

Datum: 2022.11.02 12:53:51
+01'00'