



Grundlagen für die Dimensionierung von sicheren Veloverkehrsanlagen

Bases pour le dimensionnement de voies cyclables sûres

Basis for the design of safe bike infrastructure

Sigmaplan AG, Bern
Klaus Dörnenburg, dipl. Bauing. ETH/SVI, Raumplaner NDS ETH
Gabriele Leonardi, MSc Geographie

verkehrsteiner AG, Bern
Rolf Steiner, dipl. phil. nat. Geograph, Verkehrsplaner SVI, VSS, FSU
Samuel Gerber, MSc Geographie

Ingenieurbüro Ghielmetti, Winterthur
Marco Ghielmetti, dipl. Bauing ETH/SIA/SVI

Dipl. Ing. Jean-Louis Frossard GmbH, Zürich
Jean-Louis Frossard, dipl. Bauing. ETH/SIA/SVI

**Forschungsprojekt VSS 2010/207 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes 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)



Grundlagen für die Dimensionierung von sicheren Veloverkehrsanlagen

Bases pour le dimensionnement de voies cyclables sûres

Basis for the design of safe bike infrastructure

Sigmaplan AG, Bern
Klaus Dörnenburg, dipl. Bauing. ETH/SVI, Raumplaner NDS ETH
Gabriele Leonardi, MSc Geographie

verkehrsteiner AG, Bern
Rolf Steiner, dipl. phil. nat. Geograph, Verkehrsplaner SVI, VSS, FSU
Samuel Gerber, MSc Geographie

Ingenieurbüro Ghielmetti, Winterthur
Marco Ghielmetti, dipl. Bauing ETH/SIA/SVI

Dipl. Ing. Jean-Louis Frossard GmbH, Zürich
Jean-Louis Frossard, dipl. Bauing. ETH/SIA/SVI

**Forschungsprojekt VSS 2010/207 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS))**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Klaus Dörnenburg, Sigmaplan AG

Mitglieder

Rolf Steiner, verkehrsteiner AG

Marco Ghielmetti, Ingenieurbüro Ghielmetti

Jean-Louis Frossard, Dipl. Ing. Jean-Louis Frossard GmbH

Gabriele Leonardi, Sigmaplan AG

Samuel Gerber, verkehrsteiner AG

Federführende Fachkommission

Fachkommission 2: Projektierung

Begleitkommission

Präsident

Urs Walter

Mitglieder

Oskar Balsiger

Sabine Degener

Peter Lerch

Heinz Leu

Jasmine Montel-Cambou,

Marcel Raemy

Aline Renard

Christoph Rohner

Eva Schmidt

Thomas Schweizer

Philipp Schwery

Marco Starkermann

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	11
	Summary	15
1	Einleitung	19
1.1	Problembeschreibung	19
1.2	Ziel der Untersuchung	19
1.3	Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes	20
1.4	Methodik	20
1.4.1	Literatur	20
1.4.2	Vergleich der Normen und Richtlinien	21
1.4.3	Videogestützte Beobachtung des Verkehrsablaufs	21
1.5	Begriffe und Literatur	22
2	Einflussfaktoren	23
2.1	Charakteristiken des Veloverkehrs	23
2.1.1	Nutzergruppen im Veloverkehr	23
2.1.2	Dynamisches Verhalten	24
2.1.3	Beachtung der Verkehrsregeln	25
2.2	Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern	26
2.2.1	Konkurrierende Nutzer	26
2.2.2	Gegenseitige Wahrnehmung	26
2.3	Charakteristiken der Verkehrsanlage	26
2.3.1	Verkehrsaufkommen	26
2.3.2	Zugelassene Geschwindigkeit	28
2.3.3	Netzhierarchie	28
2.3.4	Verkehrsqualität	28
2.4	Abhängigkeiten der Einflussfaktoren	29
3	Anwendungsfälle	31
4	Führungsarten	33
4.1	Getrennte Führung	33
4.1.1	Velo allein	33
4.1.2	Velo mit Fussverkehr und fahrzeugähnlichen Geräten	34
4.1.3	Trottoirs mit zugelassenem Veloverkehr	35
4.1.4	Strasse mit Teilfahrverbot (Signale 2.13 oder 2.14)	35
4.2	Velo auf Radstreifen	35
4.3	Mischverkehr	38
4.3.1	Reiner Mischverkehr (Velo mit motorisiertem Verkehr)	38
4.3.2	Velostrasse oder Fahrradstrasse	38
4.4	Eignung der Führungsarten gemäss ausländischen Normen	39
4.5	Anwendbarkeit der Führungsarten	43
5	Grundsätzliches zu den Projektierungselementen	45
5.1	Abgestufte Standards	45
5.2	Platzbedarf und Abstände gegenüber Hindernissen	45
5.3	Projektierungsgeschwindigkeit und Kurvenradien	49
5.4	Kurvenzuschläge	51
5.5	Anhaltstrecke	54
5.6	Längsneigung	55

6	Projektierungselemente für Anlagen mit getrennter Führung	57
6.1	Radwege ohne Fussverkehr	57
6.1.1	Bestehende Normen und Empfehlungen	57
6.1.2	Erkenntnisse aus Videobeobachtung	59
6.1.3	Fazit	68
6.2	Radwege mit Fussverkehr	72
6.2.1	Bestehende Normen und Empfehlungen	72
6.2.2	Erkenntnisse aus Videobeobachtung	73
6.2.3	Fazit	76
6.3	Gehwege mit zugelassenem Radverkehr	78
6.3.1	Bestehende Normen und Empfehlungen	78
6.3.2	Erkenntnisse aus Videobeobachtung	78
6.3.3	Fazit	82
6.4	Strassen mit Teilfahrverbot	83
6.4.1	Bestehende Normen und Empfehlungen	83
6.4.2	Erkenntnisse aus Videobeobachtung	83
6.4.3	Fazit	87
7	Projektierungselemente Fahrbahnen mit Radverkehr	89
7.1	Fahrbahnen ohne Radstreifen	89
7.1.1	Bestehende Normen und Empfehlungen	89
7.1.2	Erkenntnisse aus Videobeobachtung	89
7.1.3	Fazit	92
7.2	Fahrbahnen mit Radstreifen	93
7.2.1	Bestehende Normen und Empfehlungen	93
7.2.2	Erkenntnisse aus Videobeobachtung	93
7.2.3	Fazit	104
7.3	Fahrbahnen im Richtungsverkehr mit Velo im Gegenverkehr	109
7.3.1	Bestehende Normen und Empfehlungen	109
7.3.2	Erkenntnisse aus Videobeobachtung	109
7.3.3	Fazit	110
8	Sonderfälle	113
8.1	Baustellen	113
8.2	Engstellen	116
8.3	Längsparkierung	116
9	Empfehlung für die Normierung	119
	Anhänge	121
	Glossar	137
	Literaturverzeichnis	139
	Projektabschluss	141
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	145

Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung und Vorgehen

Die Forschung dient der Erarbeitung von Grundlagen zur Wahl der Führungsart und zur Bestimmung der wichtigsten Projektierungselemente von Fahrstreifen, Radstreifen und Radwegen. Sie ist Grundlage für die Normierung der Projektierung der Trassen für den Veloverkehr (Radwege, gemeinsame Fuss- und Radwege) und mit Veloverkehr (Fahrbahnen mit Mischverkehr, Radstreifen).

Die im vorliegenden Bericht formulierten Empfehlungen zur Wahl der Führungsart und zur Dimensionierung der Projektierungselemente stützen sich auf drei verschiedene Quellen: Literatur bzw. Normen (aus dem Ausland) und Richtlinien (primär der Kantone), deren Bewertung unter Berücksichtigung der Erfahrungen des Forschungsteams aus der Praxis als Planer und Velofahrer sowie - soweit sinnvoll bzw. nötig - videogestützte Verhaltensbeobachtungen und deren Interpretation. Im Laufe der Bearbeitung zeigte sich, dass daneben auch statistische Simulationen einen wertvollen Beitrag leisten können.

Resultate

Der vorliegende Bericht formuliert Empfehlungen zu folgenden Bereichen:

- Empfehlenswerte Führungsarten für den Veloverkehr je nach Situation
- Projektierungsgeschwindigkeiten und Kurvenradien
- Erforderliche Abstände gegenüber seitlichen Hindernissen
- Zuschläge zu Grundabmessungen und gegenüber Hindernissen in Kurven
- Erforderliche Abmessungen von Veloinfrastrukturen in Abhängigkeit der Menge des Veloverkehrs und Gefällsverhältnissen. Diese betreffen folgende Arten von Anlagen:
 - Einrichtungsradwege mit oder ohne Fussverkehr
 - Zweirichtungsradwege mit oder ohne Fussverkehr
 - Radstreifen
- Einbahnstrassen mit Velo im Gegenverkehr

Daneben werden weitere Themen beleuchtet, zu denen aber keine neuen Empfehlungen formuliert werden, sondern wofür auf bestehende Hilfsmittel verwiesen wird:

- Anhaltstrecke und Längsneigung (SN 640 060)
- Gehwege mit zugelassenem Radverkehr (Broschüre SVK und FVS)
- Fahrbahnen im Mischverkehr ohne Radstreifen (Forschungsauftrag SVI 1999/135)

Empfehlenswerte Führungsarten

Aufgrund verschiedener Kriterien wurden schematisch 24 Anwendungsfälle gebildet: Es wurden drei Ausprägungen bezüglich Geschwindigkeitsniveau und je zwei nach Verkehrsmenge (MIV und Veloverkehr) und danach, ob es sich um einen Schulweg handelt, miteinander kombiniert. Für jeden dieser Anwendungsfälle wurden die empfohlenen (ein bis maximal drei) Führungsarten angegeben.

Abstände gegenüber seitlichen Hindernissen

Die nötigen Abstände gegenüber seitlichen Hindernissen liessen sich aus vorhandenen Normen und Videobeobachtungen ableiten. Dabei wurde je nach Höhe der Hindernisse differenziert: Randsteine mit einer Höhe von 4 bis 15 cm, Hindernisse mit einer Höhe von maximal 130 cm (Gartenmäuerchen oder Geländer) und Hindernisse, die darüber hinausgehen (z.B. hohe Hecken oder Fassaden von Gebäuden).

Projektierungsgeschwindigkeiten und Kurvenradien

Angesichts der geänderten Rahmenbedingungen und insbesondere im Hinblick auf die rasante Zunahme der E-Bikes - die sowohl im Alltags- wie im Freizeitverkehr zu konstatieren ist - empfehlen wir, die heute gültige Projektierungsgeschwindigkeit von 30 km/h nur noch auf Radwanderrouen ohne Asphaltbelag beizubehalten und in anderen Fällen auf 35 bzw. 45 km/h heraufzusetzen.

Die Vergleiche mit bestehenden Empfehlungen und Videobeobachtungen zeigten, dass die Schräglage von Velofahrenden im Normalfall bis maximal 18 Grad betrug. Damit liessen sich die nötigen Minimalradien auf der Strecke aus der Projektierungsgeschwindigkeit und physikalischen Gegebenheiten ableiten.

Kurvenzuschläge

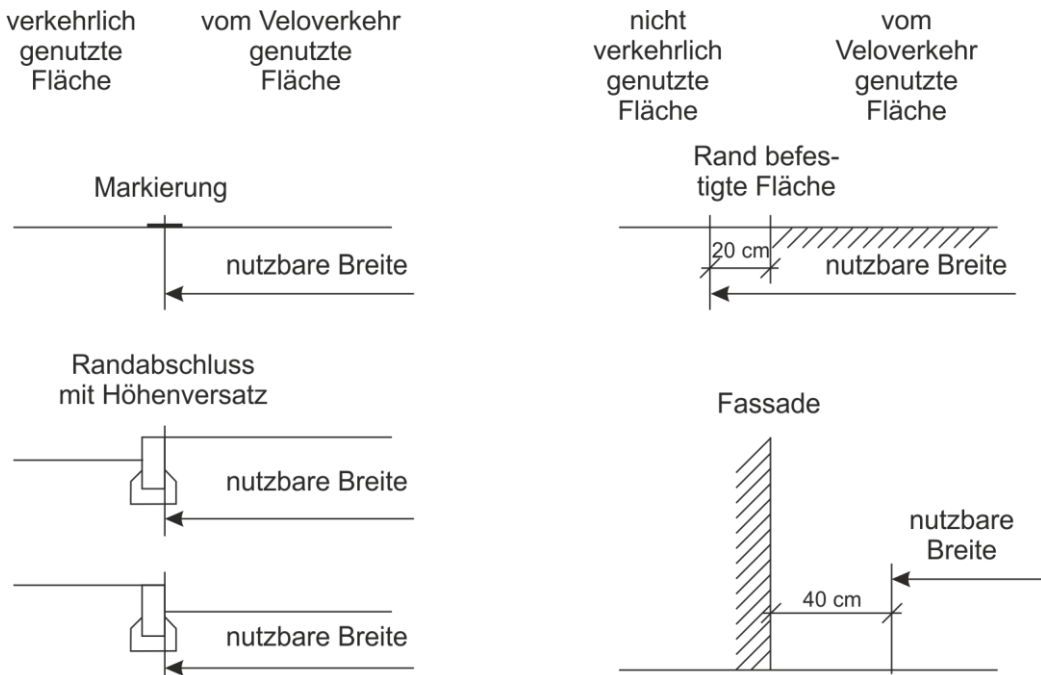
Auch die notwendigen Breitenzuschläge von Veloinfrastrukturen sowie die Zuschläge zu Hindernisabständen in Kurven liessen sich aus physikalischen und geometrischen Überlegungen ableiten und differenzieren. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die massgebenden Abstände zwischen Velofahrenden und Hindernis (also z.B. zwischen dem Kopf und einem hohen Hindernis bzw. zwischen Lenker oder Ellbogen und einem Geländer) bei der Kurvenfahrt gegenüber der Geradeausfahrt nicht verkleinert werden darf.

Abmessungen von Veloinfrastrukturen

Vor der Definition von notwendigen nutzbaren Breiten von Veloinfrastrukturen mussten zwei Punkte festgehalten werden:

- Die für die Messung dieser Breite massgebenden Regeln und die Anwendung der Zuschläge
- Die Bedeutung der abgestuften Empfehlungen

Für den ersten Punkt muss unterschieden werden, wie die an die Veloinfrastruktur angrenzende Fläche genutzt ist (verkehrlich - inklusive Fussgänger - oder nicht verkehrlich) und wie der entsprechende Abschluss genau aussieht. Die untenstehende Skizze zeigt dies für einige ausgewählte Beispiele.



Fast alle konsultierten Empfehlungen und Normen operieren mit "Normal-" und "Minimalwerten" für die Dimensionierung von Veloinfrastrukturen. Die Erfahrung zeigt, dass dies oft dazu führt, dass aus Kostengründen nur die Minimalabmessungen angewendet werden. Andererseits ist es nicht von der Hand zu weisen, dass zu hoch gesteckte Anforderungen in bestimmten Fällen dazu führen, dass bei engen Platzverhältnissen ganz auf Massnahmen zugunsten des Veloverkehrs verzichtet wird. Der vorliegende Bericht verwendet darum nach "Stufe A" und "Stufe B" differenzierte Empfehlungen und definiert deren jeweiligen Anwendungsbereich.

Alle erarbeiteten Empfehlungen haben das Ziel, dem vorhandenen bzw. zu erwartenden Veloverkehr eine komfortable Benützung der Anlagen zu erlauben bzw. die Häufigkeit von kritischen Situationen auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Dazu wurden einerseits die mit Video beobachteten Situationen auf ihre Attraktivität bewertet und andererseits mit Hilfe von Simulationen die zu erwartende Häufigkeit von kritischen Situationen bestimmt. Als Kriterien für kritische Situationen galten folgende:

- Häufigkeit von Überholvorgängen (bei Einrichtungsradwegen)
- Häufigkeit von Überholvorgängen bei Gegenverkehr (bei Zweirichtungsradwegen)
- Häufigkeit von Begegnungen mit Fussgängern (bei Radwegen mit Fussverkehr)
- Häufigkeit von Überholvorgängen zwischen Velofahrenden und das Überholen von Velofahrenden durch Schwerverkehrsfahrzeuge (bei Radstreifen)

Die Simulationen basierten auf real gemessenen Geschwindigkeitsverteilungen und wurden nach Verkehrsdichten differenziert. Durch die Festlegung von "Grenzen der Zumutbarkeit" konnten damit nach Verkehrsdichte differenzierte Masse abgeleitet werden.

Einbahnstrassen mit Velo im Gegenverkehr

Analog zu den Überlegungen zur Begrenzung der kritischen Situationen bei der Quantifizierung der Abmessungen wurde auch im Falle von Einbahnstrassen mit Velo im Gegenverkehr die erträgliche Schwelle von kritischen Situationen der Dimensionierung zugrunde gelegt. Die ausschlaggebende Rolle spielen dabei die Länge der Strecke ohne Ausweichmöglichkeit und die Häufigkeit von Schwerverkehr.

Sonderfälle

Der Bericht gibt abschliessend Hinweise für den Umgang mit Sonderfällen, nämlich Baustellen, Engstellen und Längsparkierung. Baustellen stellen für alle Verkehrsteilnehmenden temporäre Einschränkungen dar, es ist jedoch wichtig, dass die Velofahrenden nicht vergessen werden und die ihnen allenfalls aufgezwungenen Ausweichmanöver für Automobilisten vorhersehbar sind. Engstellen sind nicht immer vermeidbar. Da sie aber dauernd existieren, ist es umso wichtiger, dass auch Motorfahrzeuglenkende die Ausweichmanöver von Velofahrenden voraussehen können.

Sich öffnende Türen bei längs der Strasse abgestellten Autos stellen für Velofahrende ein grosses Risiko dar. Durch die Anordnung von genügend Abstand zur Fahrlinie der Velos kann dieses entschärft werden.

Résumé

But de l'étude et méthodes de recherche

L'étude se veut un point de départ dans l'élaboration de bases pour le choix du principe de gestion et pour la détermination des éléments de projet de voies, bandes et pistes cyclables. Elle sert de base de normes pour la conception des infrastructures destinées aux cycles (pistes cyclables, pistes cyclables et chemins pour piétons communs) et celles sur lesquelles circulent aussi des cycles (voies de circulation avec trafic mixte et bandes cyclables).

Les recommandations pour le choix du principe de gestion pour la détermination des éléments de projet formulées dans le présent rapport se fondent sur trois sources différentes : littérature, normes (étrangères) et directives (surtout cantonales). Leur évaluation s'appuie sur l'expérience pratique de l'équipe de recherche en tant que planificateurs et cyclistes et - si judicieux ou nécessaire – sur les observations filmées du comportement et sur leur interprétation. Au cours de l'étude, il s'est avéré que des simulations statistiques pouvaient également apporter une précieuse contribution.

Résultats

Le présent rapport énonce des recommandations dans les domaines suivants:

- Principes de gestion des cycles selon la situation
- Vitesses de projet et rayons de courbure
- Distances latérales de sécurité par rapport aux obstacles
- Surlargeurs par rapport aux dimensions de base et aux obstacles dans les virages
- Dimensions nécessaires des infrastructures cyclables en fonction de la quantité de cycles et de la pente. Celles-ci portent sur les types d'infrastructures suivants :
 - Pistes cyclables unidirectionnelles avec ou sans piétons
 - Pistes cyclables bidirectionnelles avec ou sans piétons
 - Bandes cyclables
- Routes à sens unique avec contresens cyclable

Par ailleurs, d'autres thèmes sont abordés dans l'étude, pour lesquels aucune recommandation particulière et pour lesquels les documents suivants font référence :

- Distance d'arrêt et pente (SN 640 060)
- Trottoirs autorisés aux cyclistes (Brochure SVK et FSR)
- Routes à trafic mixte sans bandes cyclables (Mandat de recherche SVI 1999/135)

Principes d'insertion des cycles recommandés

24 cas d'application ont été conçus en s'appuyant sur plusieurs critères: trois différents niveaux de vitesse ont été combinés avec deux niveaux de volume de trafic (motorisé et cycliste) et de s'il s'agit d'un chemin d'école ou non. Pour chacun de ces cas d'application un à max. trois principes d'insertion recommandés sont indiqués.

Distances latérales de sécurité par rapport aux obstacles

Les distances nécessaires par rapport aux obstacles latéraux sont issues des normes et des enregistrements vidéo à disposition. Celles-ci sont différenciées selon la hauteur des obstacles : bordures de trottoir avec une hauteur de 4 à 15 cm, obstacles d'une hauteur maximale de 130 cm (murs de jardin ou rambardes) et obstacles encore plus hauts (p.ex. hautes haies ou façades des bâtiments).

Vitesse de projet et rayons de courbure

Compte tenu des modifications des conditions cadres, notamment en ce qui concerne la croissance rapide du nombre de vélos à assistance électrique (VAE) – constaté tant sur les trajets utilitaires que ceux de loisir – il est conseillé de maintenir la vitesse de projet de 30 km/h en vigueur aujourd'hui uniquement pour des itinéraires cyclotouristiques pas goudronnés, tandis que dans d'autres situations cette vitesse doit être augmentée jusqu'à 35 resp. 45 km/h.

La comparaison avec les recommandations et les enregistrements vidéo disponibles ont montré que, dans les virages, les cyclistes se penchent avec un angle de 18 degrés maximum. Ainsi il a été possible de déduire les rayons de courbure minimaux requis à partir de la vitesse de projet et des lois physiques.

Surlargeurs en courbe

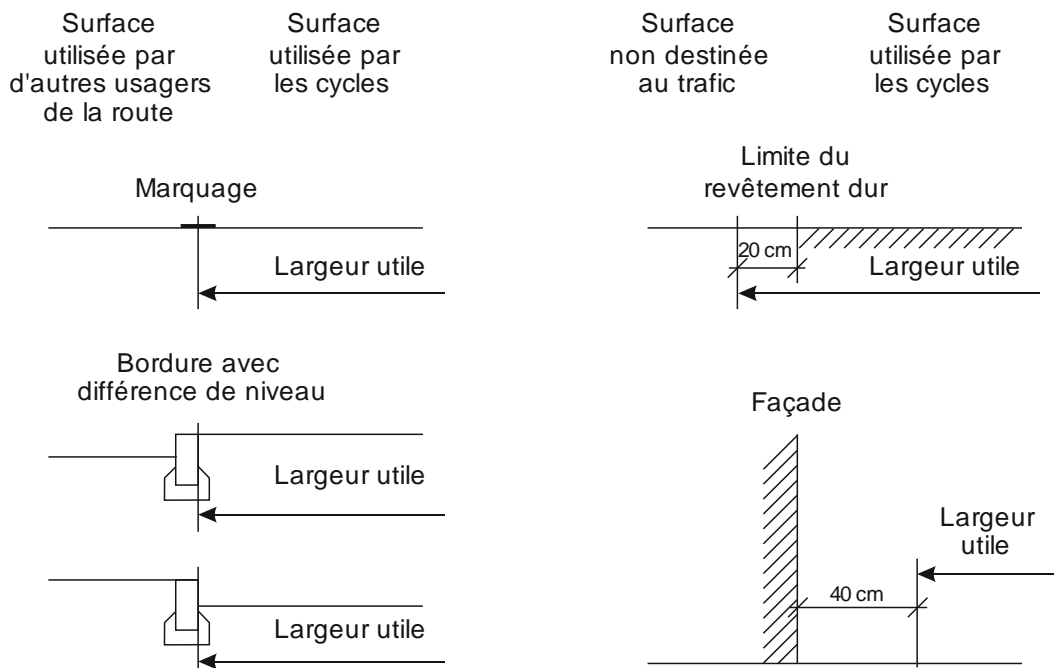
Les surlargeurs nécessaires des infrastructures cyclables ainsi que par rapport aux obstacles dans les virages sont déduites et différenciées à partir de considérations physiques et géométriques. Ces réflexions se basent sur l'hypothèse que les distances déterminantes entre cyclistes et obstacles (ainsi p. ex. entre la tête et un obstacle élevé ou entre le guidon ou le coude et une rambarde) dans les virages ne doivent pas être réduites par rapport à la conduite en ligne.

Dimensions des infrastructures cyclables

Avant la détermination des largeurs utiles nécessaires aux infrastructures cyclables, deux points ont dû être définis :

- Les règles déterminantes pour mesurer ces largeurs et l'application des surlargeurs
- La signification des différents degrés de recommandations

Pour le premier point, il faut distinguer de quelle manière la zone attenante à l'infrastructure cyclable est utilisée (avec ou sans circulation – piétons y compris) et la nature de la délimitation. Le schéma ci-dessous illustre cela pour quelques exemples choisis.



Presque toutes les recommandations et normes consultées définissent des valeurs "normales" et "minimales" pour le dimensionnement de l'infrastructure cyclable. L'expérience montre que cela se traduit souvent par la seule application des dimensions minimales pour des raisons de coût. D'autre part, il ne faut pas négliger le fait que dans certains cas des exigences trop élevées amènent à renoncer complètement à la mise en œuvre de mesures en faveur des cyclistes lorsque la place manque. Par conséquent, dans le présent rapport les recommandations sont différenciées en "niveau A" et "niveau B", tout en définissant leur champ d'application respectif.

Toutes les recommandations élaborées ont pour objectif de permettre une utilisation confortable des infrastructures pour les cycles (volume actuel ou escompté à terme) et de maintenir la fréquence d'occurrence des situations critiques à un niveau acceptable. A cet effet, les situations observées au moyen des enregistrements vidéo ont été évaluées quant à leur attractivité d'une part et d'autre part, la fréquence d'occurrence attendue des situations critiques a été déterminée. Les critères pour les situations critiques considérées sont les suivants:

- Fréquence des manœuvres de dépassement sur un tronçon bidirectionnel (sur des pistes cyclables bidirectionnelles)
- Fréquence des croisements avec piétons (sur des pistes cyclables mixtes)
- Fréquence des manœuvres de dépassement entre cyclistes et dépassement de cyclistes par des poids lourds (sur des bandes cyclables)

Les simulations sont basées sur la distribution des vitesses réellement mesurées et sont différenciées en fonction de la densité du trafic. Des « limites d'acceptabilité » ont été définies, qui ont permis ensuite de fixer des dimensions différentes selon les charges de trafic.

Routes à sens unique avec contresens cyclable

De manière analogue aux considérations formulées lors de la détermination des situations critiques en termes de dimensionnement, les seuils tolérables de situations critiques ont également été appliqués pour les routes à sens unique avec contresens cyclable. La longueur des tronçons sans échappatoires et la fréquence des poids lourds y jouent un rôle fondamental.

Situations particulières

Le rapport se conclut avec la formulation de recommandations pour le traitement de situations particulières, telles que chantiers, rétrécissements et stationnement longitudinal. Les chantiers représentent des restrictions temporaires pour tous les usagers de la route, il est donc important que les cyclistes ne soient pas négligés et que leurs éventuelles manœuvres d'évitement nécessaires puissent être prévisibles pour les automobilistes. Des rétrécissements de la chaussée ne sont pas toujours évitables. Comme ils existent en permanence, il est d'autant plus important que les conducteurs de véhicules à moteur soient en mesure d'anticiper les manœuvres d'évitement effectuées par les cyclistes.

L'ouverture des portières des voitures stationnées le long de la chaussée constituent un risque majeur pour les cyclistes. Celui-ci peut être désamorcé à travers l'agencement d'une distance suffisante par rapport à la trajectoire du vélo.

Summary

Objective of the study and approach

The aim of the research was the development of basis for the choice of guidance of bicycles and for the dimensioning of planning elements like cycle lanes and cycle routes. It is the basis for the elaboration of standards for cycle infrastructure design for separate cycle routes (without or with pedestrians) as well as for roads with bicycle traffic (mixed traffic, cycle lanes).

The recommendations of the report concerning the choice of guidance and the dimensioning of planning elements are based on three different sources: literature analysis (standards from abroad and guidelines from Swiss cantons), its evaluation considering the experience of the research team as planner and as active cyclists and - where appropriate or necessary - video observation of traffic situations and its interpretation. During the course of work it became clear that statistical simulations could make a valuable contribution.

Results

The present report gives recommendations on the following topics:

- Advisable type of guidance of bicycle traffic according to traffic conditions
- Projection speeds and curve radius
- Necessary distances to lateral obstacles
- Additions to basic dimensions and to distances to lateral obstacles in curves
- Necessary dimensions of cycle infrastructure depending on the quantity of cycle traffic and topographic conditions. This includes the following types of installation:
 - Unidirectional cycle routes with or without pedestrian traffic
 - Bidirectional cycle routes with or without pedestrian traffic
 - Cycle lanes
- One-way roads with cycle traffic in the opposite direction

Additional topics are treated for which no recommendation is given but reference is made to existing manuals:

- Braking distance and longitudinal slope (Swiss standard SN 640 060)
- Admitted cycle traffic on walkways (brochure SVK and FVS)
- Traffic lanes in mixed traffic without cycle lanes (research report SVI 1999/135)

Recommended type of guidance of bicycle traffic

On the basis of several criteria 24 application cases were distinguished: Three types concerning the speed regime and two each concerning the traffic volume of motorised and bicycle traffic and whether the link is part of a way to school were combined schematically. For each of these application cases between one and up to three recommended types of guidance for bicycle traffic are indicated.

Distances to lateral obstacles

Necessary distances to lateral obstacles could be derived from existing standards and video observation. They were differentiated according to the height of the obstacle: kerbstones 4 to 15 cm high, obstacles with a height of up to 130 cm (garden walls or railings) or higher obstacles (high hedges or building facades).

Projection speed and curve radius

With respect to the changing conditions especially concerning the fast increase of E-Bikes or pedelecs - which can be stated in every day traffic as well as in leisure traffic - we recommend to maintain the present-day projection speed standard of 30 km/h only on unpaved touristic routes and to raise it to 35 respectively 45 km/h in other cases.

Comparison with existing standards and video observation show, that the angle of inclination of cyclists normally does not exceed 18 degrees. With that, the necessary minimum radii can be derived from projection speed and physical laws.

Additional dimensions in curves

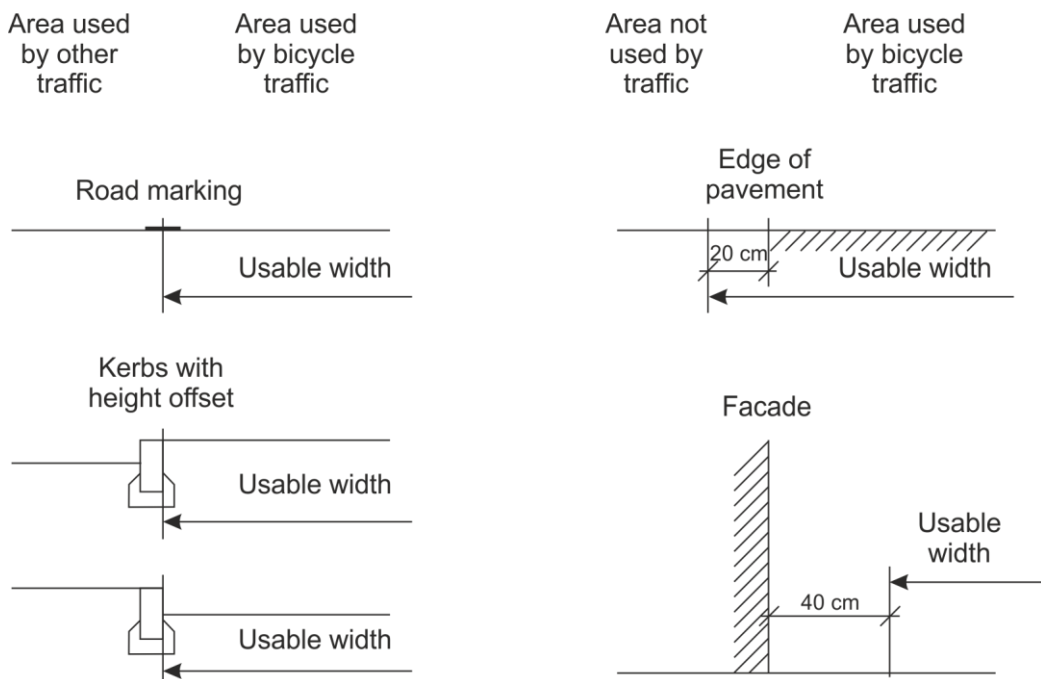
The necessary additional widths of cycle infrastructure could also be derived and differentiated by physical and geometrical considerations. It was assumed that the decisive distances between cyclists and lateral obstacles may not be reduced compared to straight ride while driving along curves (e.g. between head of cyclist and facade of building or elbow and railings).

Dimensions of cycle infrastructures

Before defining the necessary dimensions of cycle infrastructures, two items had to be specified:

- The decisive rules of measuring the "usable width" of cycle infrastructure and the application of additional widths
- The significance of the graduated recommendations

For the first item we have to distinguish how the areas adjoining the cycle infrastructure are used (for transport - also pedestrians - or other purposes) and how the border is constructed. The sketch below shows it for some selected examples.



Nearly all consulted guidelines and standards use "standard" and "minimal" values for dimensioning of cycling infrastructures. Experience shows, that this often leads to the situation, that for financial reasons only the minimal values are applied. On the other hand it cannot be denied, that too high requirements may lead to a total renouncement of measures in favour of cyclists in cases of scarcity of space. The present report uses therefore recommendations differentiated by "level A" and "level B" and defines its area of application.

All recommendations given here have the aim to offer the existing or future cycle traffic a convenient utilisation of its infrastructure respectively to limit the frequency of critical situations to a reasonable level. Therefore, on the one hand the situations observed by video were rated according to their attractiveness and on the other hand the frequency of critical situations was determined by statistical simulations. Criteria for the considered critical situations are the following:

- Frequency of overtaking situations (on unidirectional cycle routes)
- Frequency of overtaking situations in case of oncoming traffic (on bidirectional cycle routes)
- Frequency of encounters with pedestrians (on cycle routes with pedestrians)
- Frequency of overtaking situations between cyclists and overtaking of cyclists by heavy vehicles (on cycle lanes)

The simulations were based on measured velocity distributions and were differentiated by cycle traffic volume. By defining "limits of reasonableness" differentiated values could be derived according to traffic volume.

One-way roads with cycle traffic in the opposite direction

Also in cases of one-way roads opened to cycle traffic in the opposite direction, an admissible threshold of critical situations was defined (in analogy to the considerations to limitation of critical situations for the dimensioning of cycle infrastructures). The essential factors were the length of the road section without possibility of crossing safely and the frequency of heavy vehicles.

Particular situations

The report provides some indications concerning particular situations such as roadworks, narrow passages and cars parking alongside the cycle lane. Roadworks represent temporary limitations to all road users. Nevertheless it is important to think about the situation of cyclists and to make predictable their imposed evasive manoeuvres to car drivers. Narrow passages cannot always be avoided. As they exist permanently, it is even more important that car drivers can anticipate evasive manoeuvres of cyclists.

Opening doors of cars parking alongside a cycle lane present an enormous risk for cyclists. Buffer zones between parking cars and bike lanes can reduce these risks.

1 Einleitung

1.1 Problembeschreibung

Die Grundlagennorm zum Leichten Zweiradverkehr SN 640 060 [1] zeigt, dass vielfältige und teilweise divergierende Ansprüche bei der Nutzung leichter Zweiräder und der zugehörigen Radverkehrsinfrastruktur bestehen. Die verschiedenen Nutzergruppen, die sich primär durch das Alter der Verkehrsteilnehmenden und ihren Fahrtzweck unterscheiden (Bsp. Schülerverkehr, Pendlerverkehr, Freizeitverkehr usw.) zeichnen sich durch starke Unterschiede im Fahrverhalten aus. Daraus resultieren sehr unterschiedliche Anforderungen an die Infrastruktur. Zudem müssen die Interaktionen mit dem übrigen Verkehr, sei es mit dem motorisierten oder dem Fussverkehr, bei paralleler oder gemeinsamer Führung bzw. beim Queren anderer Verkehrsströme berücksichtigt werden.

Wünschbar wäre es, wenn für den Veloverkehr für eine bestimmte Quelle-Ziel-Beziehung zumindest eine für alle Benützer attraktive und sichere Verbindung bestünde bzw. realisiert würde. Deshalb sind bei der Planung neuer Verbindungen grundsätzlich die Anforderungen aller Nutzergruppen zu beachten. Real wird es jedoch oft so sein, dass mehrere Angebote zur Verfügung stehen, die den unterschiedlichen Bedürfnissen Rechnung tragen und zu einer Vielfalt der Infrastruktur beitragen. Gegebenenfalls ist explizit festzuhalten, welche Nutzergruppen allenfalls ausgeschlossen oder mit anderen Angeboten zu berücksichtigen sind. Für die Projektierungspraxis ist es von grosser Bedeutung, dass in Anbetracht der vielfältigen Kombinationsfälle der verschiedenen Einflussfaktoren für konkrete Fragestellungen eine Hilfe angeboten werden kann, die für den vorliegenden Fall die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten aufzeigt und auf die zu beachtenden Rahmenbedingungen hinweist.

Die verschiedenen Nutzergruppen im Veloverkehr zeichnen sich durch starke Unterschiede im Fahrverhalten aus. Daraus resultieren sehr unterschiedliche Anforderungen an die Infrastruktur. Bis anhin existiert in der Schweiz keine landesweit gültige Norm oder Richtlinie, welche die Trassierung von sicheren Fahrbahnen für den Veloverkehr ausserhalb von Knoten umfassend abdeckt. Wünschenswert ist eine Norm, die alle Anwendungsfälle aus unterschiedlichen Blickrichtungen systematisch erschliesst. Für alle in Betracht kommenden Lösungsansätze soll sie die relevanten Projektierungsparameter angeben.

1.2 Ziel der Untersuchung

Die Forschung dient der Erarbeitung von Grundlagen zur Wahl der Führungsart und zur Bestimmung der wichtigsten Projektierungselemente von Fahrstreifen, Radstreifen und Radwegen. Dabei sind die verschiedenen Führungsarten (getrennt, auf Radstreifen, gemischt), Betriebsformen (Mischverkehr, Einbahnstrasse mit Velogegegenverkehr, Fussweg Velos gestattet, Radweg benützungspflichtig usw.) sowie Einsatzzwecke (Velo-Alltag inkl. Schulweg, Velo-Freizeit) zu berücksichtigen. Sie ist Grundlage zur Erarbeitung einer Norm für die Projektierung der Trassen

- für den Veloverkehr, z. B. Bemessung des Zuschlags zur Radwegbreite infolge Schräglage in der Kurve, oder bei überlappendem Lichtraumprofil beim Radwegverlauf neben einer Strasse usw.
- mit Veloverkehr (Fahrbahnen mit Mischverkehr Motorfahrzeuge und Velos), z. B. zweistreifige Strassen mit Gegenverkehr mit oder ohne Radstreifen, Einbahnstrassen mit oder ohne Gegenverkehr von Velofahrern, Anwendungsfälle Kernfahrbahn.

Darzustellen sind zudem Wechselwirkungen auf den Veloverkehr zwischen Verkehrsbelastung, Verkehrszusammensetzung, zulässiger Höchstgeschwindigkeit und Längsneigung auf der einen Seite und der erforderlichen Fahrbahn- und Durchfahrtsbreite sowie dem benötigten Lichtraumprofil auf der anderen Seite.

1.3 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Die im Forschungsbericht empfohlenen Führungsarten und Projektierungselemente basieren auf den bestehenden Regelungen des Strassenverkehrsrechts in der Schweiz. Wenn von den bestehenden rechtlichen Regelungen abgewichen wird, ist dies im Folgenden explizit erwähnt.

Verkehrsnetze bestehen primär aus Knoten und Strecken. Das Forschungsprojekt behandelt das Velonetz ausschliesslich im Bereich der Strecke. Knoten werden definiert als Zusammentreffen von mindestens 3 Strassenästen, wobei auch unabhängig geführte Radwege als Strassen gelten. Knoten sind Gegenstand einer separaten Forschungsarbeit resp. Norm. Zur Strecke gehören auch Anfänge/Enden von Veloverkehrsanlagen sowie Übergänge zwischen verschiedenen Arten von Veloverkehrsanlagen, sofern sich diese nicht im Knotenbereich befinden. Querungen von Radwegen durch Benützer von Einfahrten zu Liegenschaften werden hier ebenfalls behandelt.

Die Normen zum geometrischen Normalprofil (SN 640 200 bis SN 640 202) [2] sind in Überarbeitung (Stand September 2015). Die entsprechenden Inhalte wie Grundabmessungen, Bewegungsspielraum und Sicherheitsabstände spielen auch für die vorliegende Forschungsarbeit eine Rolle. Die Inputs dazu sind über die Begleitkommission, die NFK 2.4, in die Vernehmlassung eingeflossen. Wie weit sie berücksichtigt werden konnten, ist zur Zeit nicht bekannt. Es ist daher möglich, dass gewisse Arbeitshypothesen im vorliegenden Bericht teilweise von den Vorgaben der erwähnten zukünftigen Norm abweichen.

1.4 Methodik

Erkenntnisse für die vorliegende Forschungsarbeit sollen aus drei verschiedenen Quellen schöpfen: Literatur bzw. Normen/Richtlinien, deren Bewertung unter Berücksichtigung der Erfahrungen des Forschungsteams aus der Praxis als Planer und Velofahrer sowie - soweit sinnvoll bzw. nötig - videogestützte Verhaltensbeobachtungen und deren Interpretation.

1.4.1 Literatur

In der Schweiz haben verschiedene Kantone Richtlinien und Empfehlungen für die Anlage und Gestaltung von Anlagen mit und für den Veloverkehr erarbeitet. Von diesen wurden in erster Linie diejenigen der Kantone Aargau (Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau (2010), "Merkblatt Zweiradverkehr" [6]) Bern (Tiefbauamt des Kantons Bern (2014), "Anlagen für den Veloverkehr", Arbeitshilfe [8]) und Zürich (Tiefbauamt Kanton Zürich und Kantonspolizei Zürich (2012), "Anlagen für den leichten Zweiradverkehr des Kantons Zürich" [9]) beigezogen.

Im Ausland existieren ebenfalls Normen, Richtlinien und Literatur zu diesem Thema. Davon wurden in erster Linie folgende Grundlagen verwendet und auf ihre Übertragbarkeit auf die Verhältnisse in der Schweiz analysiert:

- Deutschland: ERA 2010: Empfehlungen für Radverkehrsanlagen der deutschen Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen [23]
- Österreich: Österreichische Forschungsgesellschaft Schiene Strasse Verkehr, Radverkehr RVS (2013), Anlagen für den nichtmotorisierten Verkehr [24]
- Frankreich: CERTU (2008), Recommendations pour les aménagements cyclables [25]
- Niederlande: CROW (2007), Design manual for bicycle traffic [26]
- Belgien: Centre de recherches routières (2010), Fiches techniques: Les aménagements cyclables en section courante [27]
- Grossbritannien: Department for transport, London (2008), Cycle infrastructure design, Local transport note 2/08 [28]

In einer ersten Phase wurde verglichen, zu welchen Themen die verschiedenen Richtlinien Aussagen machen, die zueinander in Relation gesetzt werden können. Denn es liegt auf der Hand, dass zum Beispiel in den Niederlanden die Steigungen kein Thema sind, das Verkehrsaufkommen bei den Velos aber schon.

Unterschiedliche Masseinheiten waren nur im Vergleich mit Grossbritannien zu berücksichtigen, allerdings spielen unterschiedliche Messweisen in den verschiedenen Ländern eine Rolle: In der Schweiz werden Fahr- und Radstreifenbreiten ab „Mitte Markierung“ gemessen, in anderen Ländern wird bis zum Aussenrand der Markierung gemessen. Dieser Effekt wurde jedoch quantitativ vernachlässigt.

Miteinander vergleichbare Aussagen konnten zu folgenden Themen gefunden werden (in Klammern jeweils die zum Vergleich herangezogenen Länder bzw. Kantone):

- Unterschiede Alltags- / Freizeitverkehr (nur qualitative Aussagen, CH, A)
- Lichtraumprofil (CH, D, A, NL, B, GB)
- Projektierungsgeschwindigkeit (CH, D, A, NL, GB)
- Kurvenradius (CH, D, A, NL, GB)
- Anhaltestrecke (CH, D, A, GB, ZH)
- Führungsart (CH, D, A, NL, GB, F)
- Dimensionierung Radweg (D, A, NL, B, ZH, AG, BE)
- Dimensionierung Radstreifen (D, A, NL, B, ZH, AG, BE)
- Spezialfälle Gehweg „Radfahren gestattet“ und Fussgängerzone (nur qualitative Aussagen, CH, D, A)

1.4.2 Vergleich der Normen und Richtlinien

Für alle oben erwähnten Elemente wurden die Vorgaben aus den verschiedenen Ländern bzw. Kantonen miteinander verglichen und den Erfahrungen des Forschungsteams gegenübergestellt. In verschiedenen Fällen konnte daraus direkt abgeleitet werden, welche Empfehlungen zuhanden einer zukünftigen Norm ausgesprochen werden konnten, zum Beispiel in Fällen, in denen über alle Länder gesehen eine hinreichend gute Übereinstimmung bestand oder in Fällen, in denen die für Schweizer Verhältnisse beschriebenen Vorgaben genügend gut mit den praktischen Erfahrungen des Forschungsteams übereinstimmten. Wo dies nicht möglich war oder aber die Vermutung bestand, dass die Vorgaben unter unterschiedlichen Verhältnissen zu überprüfen seien - z.B. in Abhängigkeit von den Verkehrsablauf beeinflussenden Parametern - wurden real existierende Beispiele gesucht, in denen der Verkehrsablauf beobachtet und qualifiziert werden konnten.

1.4.3 Videogestützte Beobachtung des Verkehrsablaufs

Dank der breiten Erfahrung des an der Forschung beteiligten Büros verkehrsteiner AG im Bereich der Videoaufnahmen und deren Auswertung und Interpretation konnte auf einen Fundus von vorhandenen Videoaufnahmen zurückgegriffen werden, die für die Forschung relevante Situationen zeigten. Da diese aber meist auf Grund von spezifischen Fragestellungen vorgenommen worden waren, konnten sie zwar oft wertvolle Hinweise liefern, waren aber für eine vertiefte Analyse nicht ausreichend. In diesen Fällen wurden Situationen gesucht, die allein für die Zwecke der vorliegenden Forschung aufgenommen und analysiert werden konnten. Die Beobachtung sollte Antworten geben auf die Frage, wie sich das Verhalten der Velofahrenden untereinander und gegenüber anderen Verkehrsteilnehmenden unter unterschiedlichen Voraussetzungen verändert (Verkehrsmenge, Abmessungen, topografische Verhältnisse etc.). Sie umfasste primär die folgenden Punkte:

- Beobachtung und Qualifizierung des Abstandes zwischen Velos untereinander und zwischen Velos und Autos bei Überholmanövern in verschiedenen Situationen (unterschiedliche Strassenanlage, Breite der allfälligen Velostreifen, Längsneigungen, Verkehrsmengen)
- Feststellung der Geschwindigkeit der Velos und deren Verteilung bei verschiedenen Längsneigungen

Die Analyse konzentrierte sich primär darauf, wie häufig die beobachteten Situationen im Verkehrsablauf aus Sicht des Veloverkehrs als "komfortabel", "akzeptabel" bzw. "kritisch" bezeichnet werden konnten.

1.5 Begriffe und Literatur

Die wichtigsten verwendeten Begriffe sind im Glossar im Anhang erläutert. Dort befindet sich ebenfalls eine detaillierte Literaturliste.

2 Einflussfaktoren

In der Folge sind alle relevanten Einflussfaktoren bezüglich Verkehrsverhalten des Veloverkehrs, dessen Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmern und deren Verhalten sowie bezüglich Charakteristiken der Verkehrsanlage zusammengestellt und kurz diskutiert. Sie alle haben einen Einfluss auf die Sicherheit des Verkehrsablaufs und damit auch auf den benötigten Platz, der im Zentrum der vorliegenden Forschungsarbeit steht.

2.1 Charakteristiken des Veloverkehrs

2.1.1 Nutzergruppen im Veloverkehr

Im Gegensatz zum Autoverkehr ist der Veloverkehr schon aufgrund unterschiedlicher Nutzergruppen recht heterogen. Er umfasst schnelle und langsame Velofahrende, sichere und solche mit hohen Sicherheitsansprüchen, Personen, bei denen der Transportzweck im Vordergrund steht und solche, für die das Velofahren Selbstzweck ist. Die Grundlagennorm zum Veloverkehr SN 640 060 [1] unterscheidet zwischen vier Nutzergruppen (Transport (z.B. für Fahrt zur Arbeit oder Einkauf), Freizeitgestaltung ("Velotouristen"), Sport, Reisen (Velofahren als Leistungssport) und Schulweg, Spiel von Kindern), der Forschungsbericht SVI 2001/542 Konfliktanalyse im Mischverkehr [19] konzentriert sich auf das für die Wahrnehmung von Konflikten ausschlaggebende Alter der Velofahrenden als Unterscheidungskriterium (Kinder bis 14 Jahre, Jugendliche, Erwachsene).

Diese Aufzählungen zeigen, dass die Fähigkeiten und Bedürfnisse der unterschiedlichen Velofahrenden sehr breit streuen, was wiederum zu hohen Anforderungen an die entsprechende Infrastruktur führt. Abgesehen von den Velotouristen, die die Radwanderrouen benutzen (die grossenteils nicht über öffentliche Strassen mit wesentlichem Verkehr führen) ist es aber weder sinnvoll noch möglich, jeder Nutzergruppe ihre eigene Infrastruktur bereitzustellen. Deshalb müssen alle Veloinfrastrukturen die ganze Palette der Ansprüche mehr oder weniger befriedigen oder es müssen zu Netzteilen, die nicht allen Nutzergruppen dienen können, Alternativen zur Verfügung stehen.

Die verschiedenen Nutzergruppen unterscheiden sich allerdings nicht nur in Bezug auf ihren Fahrtzweck und ihre Fähigkeiten bzw. Bedürfnisse: Es ist der verwendete Fahrzeugtyp, der noch viel mehr eine spezielle und individuelle Berücksichtigung verlangt. Die Rede ist von Spezialrädern wie Lastenfahräder (sogenannte Cargo-Bikes), Velos mit Anhänger sowie E-Bikes.

Während Cargo-Bikes und Velos mit Anhänger tendenziell langsamer unterwegs sind als ein Durchschnittsvelo, ist es bei den E-Bikes gerade umgekehrt. Und Velos, die zum Transport eingesetzt werden, sind breiter; zudem gibt es noch ein weiteres Unterscheidungsmerkmal, das rechtlich relevant ist: Die Signalisationsverordnung SSV verwendet den Terminus „einspurige Fahrräder“, der auf Velos mit Anhänger und gewisse Cargo-Bikes nicht zutrifft. Bei den Cargo-Bikes gibt es sowohl solche mit zwei – also einspurige – als auch solche mit drei Rädern.

SSV Art. 33 Radweg, Fussweg, Reitweg

1 Das Signal «Radweg» (2.60) verpflichtet die Führer von einspurigen Fahrrädern und Motorfahrrädern, den für sie gekennzeichneten Weg zu benutzen.

VRV Art. 40 Radwege und Radstreifen

2 Fahrräder mit Anhänger sind auf dem Radweg nur zugelassen, wenn sie den übrigen Fahrradverkehr nicht behindern.

Dreirädrige Cargo-Bikes sowie Velos mit Anhänger sind nicht einspurig, es ist deshalb nicht vorgeschrieben, damit Radwege zu benützen. Wenn der übrige Fahrradverkehr behindert wird, ist es sogar verboten.

Bei den E-Bikes muss man ebenfalls Unterschiede beachten. Es gibt zwei Kategorien:

- Elektrofahrräder mit einer elektrischen Tretunterstützung bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h und einer maximalen Nennleistung von 1.00 kW. Sie gelten als Motorfahrräder (Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge VTS Art. 18 lit. a).
- Elektrofahrräder mit einer elektrischen Tretunterstützung bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h und einer maximalen Nennleistung von 0.50 kW. Sie gelten als Leicht-Motorfahrräder (VTS Art. 18 lit. b).

Die Bedeutung der doch recht grossen rechtlichen und faktischen Unterschiede dieser speziellen Fahrzeugtypen wurde in der Vergangenheit zu sehr ignoriert. Es ist deshalb von grosser Wichtigkeit, dass bei der Planung der Veloinfrastrukturen immer geprüft wird, ob das vorliegende Projekt allen Anforderungen in angemessener Form entspricht oder ob für einzelne Nutzergruppen Alternativführungen nötig sind. Die umfassende Förderung des Veloverkehrs erfordert also eine doppelte Strategie:

- Wo immer möglich sind auf den historischen Hauptstrassen (heute meist Kantonsstrassen), die aus energetischer Sicht einer optimalen Linienführung entsprechen, Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit für den Veloverkehr zu realisieren
- Wo immer möglich sind parallel zu solchen Strassen - insbesondere wenn sie stark vom motorisierten Verkehr befahren sind - Alternativrouten für Personen mit höherem Sicherheitsbedürfnis anzubieten.

2.1.2 Dynamisches Verhalten

Das dynamische Verhalten der Radfahrenden ist von drei Faktoren abhängig:

- Von der Infrastruktur (Gefällsverhältnisse);
- Vom Typ des gefahrenen Velos (E-Bike);
- Vom Fahrverhalten des Radfahrenden (Pendelbewegungen)

Das erste Kriterium (Infrastruktur) ist von aussen gegeben. Das zweite Kriterium (Art des Velos) hat einen grossen Einfluss auf das dynamische Verhalten, wird jedoch von den Radfahrenden – im Gegensatz zur Infrastruktur – selber gewählt und beeinflusst ihre Gefährdung. Dabei gilt ein besonderes Augenmerk dem E-Bike, dem man seine Geschwindigkeit nicht ansieht.

Das dritte Kriterium (Fahrverhalten) ist durch Fahrpraxis und Fitness ebenfalls selbstbestimmt und hat einen Einfluss auf die Fahrdynamik (Pendelbewegung) und damit auf die Sicherheit. Diese Pendelbewegungen der Radfahrenden haben zwei Merkmale: Der Ausschlag nach links bzw. rechts kann stark oder gering sein, und die Strecke, die für eine einzelne Pendelbewegung gebraucht wird, kann lang oder kurz sein. Bei elektromagnetischen Wellen würde man von „Amplitude“ und „Wellenlänge“ sprechen.

Bei ungeübten Radfahrenden ist die Amplitude tendenziell grösser als bei geübten, bei Gefälle ist die Wellenlänge grösser als bei Steigungen. Ob und in welchem Mass sich die Amplitude in Steigungen und Gefälle unterscheidet, ist nicht gesichert, subjektiv wird die seitliche Pendelbewegung aufwärts stärker sichtbar als abwärts, und zwar sowohl von den Radfahrenden selbst als auch von den an ihnen vorbeifahrenden Motorfahrzeuglenkenden.

Für die Verkehrssicherheit von Bedeutung ist die Tatsache, dass die Pendelbewegungen aufwärts in kürzeren Abständen erfolgen als abwärts und Radfahrende deshalb viel unvermittelter in den Fahrraum eines Motorfahrzeugs gelangen können. In Kombination

mit einer geringen Fahrpraxis verschärft sich das Problem, erst recht bei ungeübten E-Bike-Lenkenden, die ihr schnelles Fahrzeug schlecht beherrschen.

Das Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren kann komplex sein. Zum Beispiel ist folgendes Szenario denkbar: Schneller Radfahrer 1 überholt langsamen und eventuell seitlich schwankenden Radfahrer 2 und verlässt dazu den Radstreifen, während ein beide Velos überholendes Motorfahrzeug naht (vgl. Abb. 1). Wer gefährdet hier wen in welchem Mass und welchen Einfluss hat die Ausgestaltung der Infrastruktur?



Abb. 1 Überholvorgang eines Radfahrers mit sich von hinten näherndem Motorfahrzeug in Bern, Schanzenstrasse.

2.1.3 Beachtung der Verkehrsregeln

Die Erfahrung aller Mitglieder des Forschungsteams - sowohl als aktive Verkehrsteilnehmer wie als Verkehrsplaner - zeigt, dass Verkehrsregeln im täglichen Verkehrsgeschehen oft nicht genügend beachtet werden. Dies gilt grundsätzlich für alle Verkehrsteilnehmenden, somit auch für den Veloverkehr. Die Gründe für das nicht immer regelkonforme Verhalten der Velofahrenden sind vielschichtig:

- Verkehrsanlagen sind oft auf den motorisierten Individualverkehr ausgelegt, respektive für diesen optimiert. Nicht selten argumentieren Velofahrende deshalb, dass sie gegenüber den Autofahrenden benachteiligt seien, so z.B. bei koordinierten Lichtsignalanlagen ("Grüne Welle"), denen die Geschwindigkeit von Autos zugrunde liegt.
- Eine andere Argumentation ist die, dass die Velofahrenden sowohl durch ihre vergleichsweise geringe Masse und geringe Geschwindigkeit nur eine geringe Gefährdung für andere Verkehrsteilnehmende darstellen
- Bremsen, allenfalls Anhalten und Wiederanfahren, kostet die Velofahrenden Energie. Dieser Energieaufwand (Muskelkraft) wird gerne vermieden, insbesondere, wenn - aus subjektiver Sicht - die Einhaltung von Verkehrsregeln im aktuellen Fall für unnötig gehalten wird.

Bei der Projektierung von Anlagen für den Veloverkehr ist deshalb auf auch für den Veloverkehr optimierte Abläufe und für die Velofahrenden nachvollziehbare Verkehrsregelungen zu achten. Ansonsten wird aus den oben genannten Gründen eine Missachtung der Verkehrsregeln gehäuft zu beobachten sein.

2.2 Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern

2.2.1 Konkurrierende Nutzer

Der wichtigste konkurrierende Nutzer im Strassenraum ist der motorisierte Verkehr. Dabei sind die Kategorien des Schwerverkehrs (Lastwagen mit und ohne Anhänger, Busse und Gelenkbusse) und der Trams besonders zu beachten: Die erste Gruppe hat einen erhöhten Platzbedarf und stellt schon durch ihre Grösse - auch subjektiv! - eine erhöhte Gefährdung der Velofahrenden dar. Bei den Trams kommt erschwerend dazu, dass diese keine Möglichkeit haben, seitlich auszuweichen. Aber auch bei den Personwagen ist ein Trend zu immer breiteren Fahrzeugen (Stichwort SUV) zu beobachten. Diese Gegebenheiten sind bei der Ausgestaltung gemeinsamer Verkehrsflächen zu beachten.

Auf Flächen, die gemeinsam von verschiedenen Teilgruppen des pauschal als "Langsamverkehr" bezeichneten Verkehrssegments benützt werden, zeigt sich oft, dass die "Langsamkeit" sehr unterschiedlich sein kann: Schlendernde FussgängerInnen, Spazierende, gemütliche Velofahrende, Joggende, Benützer von Scootern, Velotouristen, Inlineskater, Rennvelofahrende, BenutzerInnen von schnellen E-Bikes etc. Je nach Zusammensetzung des Langsamverkehrs sind unterschiedliche Anforderungen an die Ausgestaltung der entsprechenden Fläche zu stellen.

2.2.2 Gegenseitige Wahrnehmung

Auch die folgenden Aussagen sind Schlussfolgerungen aus den Erfahrungen der Mitglieder des Forschungsteams aus der täglichen Beobachtung des Verkehrs.

Das regelwidrige Verhalten einer Minderheit von Velofahrenden führt dazu, dass Autofahrende den Veloverkehr zum Teil als undiszipliniert empfinden und - auch hier eine Minderheit der Autofahrenden - zu "belehrenden" Massnahmen wie dem Abschneiden des Weges, Verweigerung des rechts Vorbeifahrenlassens greift. Dies ist kaum geeignet, die gegenseitige Rücksichtnahme zu fördern. Es ist offensichtlich, dass das "Verkehrsklima" einen massgebenden Einfluss auf das Verhalten eines Grossteils der Verkehrsteilnehmenden hat. Dieses "Verkehrsklima" ist je nach Gegend und Mentalität der Bevölkerung recht unterschiedlich und lässt sich nur teilweise beeinflussen bzw. nur langsam verändern.

Einen grossen Einfluss auf die gegenseitige Wahrnehmung hat auch die relative Menge der Verkehrsmittel: In den bekannten Velostädten wie Kopenhagen oder Amsterdam erreicht der Veloverkehr einen so hohen Anteil am Gesamtverkehr, dass er schlicht nicht übersehbar ist. Damit beansprucht er automatisch einen grösseren Teil der Verkehrsfläche, trägt zu einem generell tieferen Geschwindigkeitsniveau bei und wird zur Selbstverständlichkeit im Strassenraum. Eine ernstgemeinte Förderung des Veloverkehrs könnte damit zu einem positiven Regelkreis beitragen: Mehr Sicherheit und Komfort für Velos - mehr Veloverkehr - tieferes Geschwindigkeitsniveau - verbessertes Verkehrsklima - mehr Sicherheit und Komfort für Velos usw.

2.3 Charakteristiken der Verkehrsanlage

2.3.1 Verkehrsaufkommen

Beim Verkehrsaufkommen gilt es zu differenzieren: Zu berücksichtigen sind verschiedene Kriterien und Indikatoren, die in den verschiedenen Kapiteln dieses Berichtes in angemessener Form einbezogen werden:

Motorisierter Verkehr

Ausschlaggebend ist in erster Linie der Gesamtverkehr, ausgedrückt in Motorfahrzeugen pro Tag (durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV). Für die praktische Anwendung ist es sinnvoll, zwischen Situationen mit "viel" und "mässig viel" motorisiertem Verkehr zu

unterscheiden - und dort, wo es sich als notwendig erweist, feiner zu differenzieren. Die Grenze zwischen diesen beiden Fällen wurde bei einer Verkehrsbelastung von 5000 Mfz/Tag gesetzt. Dies entspricht der Praxis in verschiedenen Studien und Richtlinien, wobei auch teilweise die Grenze etwas tiefer angesetzt wurde.

Auf Strassen, auf denen der motorisierte Verkehr zeitlich sehr atypisch verteilt ist, oder auf solchen, auf denen der massgebliche Teil des Veloverkehrs sich ausserhalb der für den Gesamtverkehr üblichen Spitzenstunde abspielt, ist es zu empfehlen, den massgeblichen stündlichen Verkehr in dieser Periode - falls nicht zufällig spezifische Zählungen vorliegen - mit Hilfe von Ganglinien grob abzuschätzen und als Vergleichskriterium zu verwenden.

Ein weiteres Kriterium ist die Menge des Schwerverkehrs, wobei auch der öffentliche Linienverkehr (Busse), grosse Lieferwagen etc. zu berücksichtigen sind. Dabei ist im Normalfall nicht der prozentuale Anteil des Schwerverkehrs, sondern dessen absolute Menge massgebend, da jede einzelne Vorbeifahrt eines breiten Fahrzeuges vom Veloverkehr als oft unangenehme Störung und Beeinträchtigung der Sicherheit empfunden wird. Auch hier ist es im Allgemeinen nicht nötig, diese Menge des Schwerverkehrs zu berechnen. Im vorliegenden Bericht wird der Einfluss des Schwerverkehrs in den relevanten Kapiteln als Unterkriterium verwendet und zwar in den Dimensionen "Schwerverkehr unbedeutend" - "Schwerverkehr wesentlich".

Veloverkehr

Die Menge des Veloverkehrs ist für die Ausgestaltung der entsprechenden Infrastruktur wesentlich. Ein wichtiger Punkt ist der, dass mit der Menge des Veloverkehrs die Häufigkeit der Überholvorgänge zwischen den verschiedenen Velofahrenden zunimmt, ein anderer, dass die Streuung der Geschwindigkeiten zwischen schnellen und langsamen Velofahrenden zunimmt (E-Bikes): Geringere Streuungen des Geschwindigkeitsspektrums führen tendenziell zu weniger Überholvorgängen, die Länge des Überholwegs bzw. die Dauer des Vorgangs werden aber grösser, grosse Streuungen des Geschwindigkeitsspektrums führen zu mehr Überholvorgängen, die Länge des Überholwegs - und damit der Zeit, in dem das überholende Velo im Mischverkehr stärker durch den motorisierten Verkehr gefährdet ist - nimmt aber tendenziell ab.

Da Veloinfrastrukturen auch deshalb geschaffen werden, um den Veloverkehr zu fördern, ist beim Kriterium Menge des Veloverkehrs nicht nur die beobachtbare aktuelle Verkehrsmenge zu betrachten, sondern immer auch das Potenzial an zusätzlichem Veloverkehr zu beachten.

Die Menge des Veloverkehrs ist im Idealfall als Spitzenstundenwert zu berücksichtigen, da die zeitliche Verteilung sehr unterschiedlich sein kann. In gewissen Fällen - z.B. beim Schülerverkehr - ist allenfalls sogar der Spitzen-Viertelstundenverkehr massgebend. Da aber noch vielerorts genaue Daten zur Menge des Veloverkehrs fehlen oder nicht in der erforderlichen Feinheit vorliegen, wird im vorliegenden Bericht vorläufig zwischen "viel" und "wenig" Veloverkehr unterschieden. Für einzelne Fälle (siehe Kapitel 6 und 7) kann gezeigt werden, bei welchen Schwellenwerten die Menge des Veloverkehrs einen Einfluss auf die erforderlichen Abmessungen hat.

Fussverkehr

Der Fussverkehr wird vom Veloverkehr auf gemeinsam benutzten Flächen teilweise als "Störfaktor" wahrgenommen. Dabei ist die Menge der zu Fuss Gehenden nicht unbedingt das allein Ausschlaggebende. Allerdings steigt mit der Menge der Fussgänger die Wahrscheinlichkeit, dass mehrere Personen nebeneinander gehen und damit den Fahrbereich für die Velofahrenden stark beschränken oder dass eine dieser Personen unerwartet die Richtung ändert. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Menge des Fussverkehrs einen Einfluss auf die erforderlichen Abmessungen der gemeinsam benutzten Fläche hat.

2.3.2 Geschwindigkeit

Die Gefährdung des Veloverkehrs geht im Mischverkehr von den Motorfahrzeugen aus. Dabei ist die gefahrene Geschwindigkeit der Fahrzeuge wesentlich, da die für die Gefährdung massgebende potenzielle Energie der Fahrzeuge im Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt. Die von den Motorfahrzeugen gefahrene Geschwindigkeit beeinflusst auch wesentlich die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen motorisiertem und Veloverkehr: Bei geringen Geschwindigkeiten kann der Veloverkehr theoretisch im ganzen Verkehrsfluss "mitschwimmen" (praktisch gilt dies aber immer nur für einen Teil der Velofahrenden), bei grösseren Differenzen muss das Velo vom motorisierten Verkehr überholt werden können, sonst stellt es ein Verkehrshindernis dar.

Für das Kriterium gefahrene Geschwindigkeit des motorisierten Verkehrs ist normalerweise der Wert v_{85} (die Geschwindigkeit, die von 85% der Autofahrenden eingehalten wird) zu verwenden. In Fällen, in denen dieser Wert nicht verfügbar ist, gibt die signalisierte zugelassene Höchstgeschwindigkeit (v_{zul}) Hinweise auf die gefahrenen Geschwindigkeiten.

Für die Anforderungen der vorliegenden Studie erscheint die Bildung von drei Geschwindigkeitskategorien sinnvoll: Tempo 30-Zonen oder -Strecken, Innerortsverhältnisse (signalisierte Höchstgeschwindigkeit 50 km/h, in Ausnahmefällen bis 60 km/h) und Ausserortsverhältnisse (bis 80 km/h).

2.3.3 Netzhierarchie

Die Norm SN 640 060 unterscheidet zwischen vier Routentypen für den Veloverkehr: Hauptrouten, Verbindungsrouten, Erschliessungsrouten und Radwanderrouten. Diese hängen einerseits mit den Nutzergruppen bzw. dem Einsatzzweck des Velos zusammen und haben andererseits Auswirkungen auf die Anforderungen an die Gestaltung. Dieser Einfluss auf die Art und Ausgestaltung der Veloinfrastruktur wird in der vorliegenden Studie insofern berücksichtigt, als die Netzhierarchie und die Routentypen einen Einfluss auf die Menge der dort verkehrenden Velos hat und diese wiederum als entscheidendes Kriterium für die Gestaltung der Infrastruktur behandelt wird.

2.3.4 Verkehrsqualität

Unter Verkehrsqualität wird gemäss Norm SN 640 017a „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm“ [3] der Grad der gegenseitigen Behinderungen der Verkehrsteilnehmer verstanden. Im Forschungsbericht SVI 2007/005 „Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie“ [22] wird folgende neue Definition vorgeschlagen: „Unter Verkehrsqualität wird die vom Verkehrsteilnehmer wahrgenommene und beurteilte Güte des Verkehrsablaufs verstanden“

Wichtigstes Kriterium zur Beurteilung der Verkehrsqualität einer Veloanlage (Radstreifen, Radweg, Rad- und Fussweg) ist die Zahl der Behinderungen infolge von Überhol- und Begegnungsvorgängen, welche vom Betriebsregime der Anlage, von den Frequenzen der Verkehrsteilnehmer, von den gefahrenen Geschwindigkeiten und vom zur Verfügung stehenden Raum abhängig ist. Bei zunehmender Zahl von Überhol- und Begegnungsfällen bei gleichbleibenden Abmessungen sinkt die Verkehrsqualität, da es vermehrt zu gegenseitigen Behinderungen kommt.

Quantitative Angaben für die Abschätzung der Verkehrsqualität von Veloanlagen und die Einteilung in Verkehrsqualitätsstufen stehen aus den USA und Deutschland zur Verfügung. So wird z.B. die Verkehrsqualität eines Einrichtungradweges mit einer Breite von 1.50 m und einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 17 km/h in Deutschland mit Stufe A bei weniger als 150 Radfahrern pro Stunde und mit Stufe E bei mehr als 1000 Radfahrern pro Stunde angegeben.

Die Verkehrsqualität hat einen Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und die Verkehrssicherheit.

2.4 Abhängigkeiten der Einflussfaktoren

Zwischen den soeben beschriebenen Einflussfaktoren bestehen Wechselwirkungen. Diese sind oft komplex, möglicherweise paradox. Zum Beispiel kann – wie schon erwähnt – die Sicherheitsmassnahme „Radstreifen“ zur Falle werden, wenn ein schnelles Velo diesen geschützten Bereich zwecks Überholen eines langsamen Velos verlässt. Gefährdet wird dadurch nicht nur das überholte Velo, sondern in erster Line das überholende Velo, das sich in das "Hoheitsgebiet" des Motorfahrzeugverkehrs begibt. Motorfahrzeuglenkende können unter Umständen nicht mit einem solchen Manöver rechnen, es kann zu einer Kollision kommen, bei der im schlimmsten Fall beide Radfahrende zu Schaden kommen.

In diesem Abschnitt geht es darum, die verschiedenen Einflussfaktoren in Bezug auf ihre Sicherheitsrelevanz zueinander in Beziehung zu bringen.

In Kapitel 2.1 wurden die Charakteristiken des Veloverkehrs festgehalten:

- Es gibt stark unterschiedliche Nutzergruppen (schnell/langsam, sicher/unsicher, Transportzweck/Selbstzweck, Pendeln/Einkaufen/Freizeit) sowie unterschiedliche Fahrzeugtypen (einspurig/mehrspurig, ohne/mit Tretunterstützung).
- Das dynamische Verhalten der verschiedenen Radfahrenden unterscheidet sich ebenfalls stark und hängt ab von Infrastruktur (Gefälle) / Fahrzeugtyp (z.B. E-Bike) / Fahrverhalten (Pendelbewegungen). Messbar wird das dynamische Verhalten (die Pendelbewegung) mittels Wellenlänge und Amplitude.

In Kapitel 2.2 wurden die Merkmale der Interaktion zwischen den verschiedenen Verkehrsteilnehmern festgehalten:

- Der motorisierte Individualverkehr – und da besonders der Schwerverkehr (Lastwagen mit und ohne Anhänger, Busse, Gelenkbusse) stellt die grösste Gefährdung für die Radfahrenden dar. Eine Sonderstellung nimmt das Tram ein, da es keine Möglichkeit hat, seitlich auszuweichen. Zudem hat es einen sehr langen Bremsweg, die Tramschienen und entsprechende Engstellen bei Haltestellen bereiten zusätzliche Probleme (Sturzgefahr).
- Radfahrende und Motorfahrzeuglenkende nehmen sich gegenseitig unterschiedlich wahr. Radfahrende können sich behaupten, wenn sie sehr zahlreich auftreten. Motorfahrzeuglenkende behaupten sich manchmal durch einen belehrenden Fahrstil.

Kapitel 2.3 beschreibt die Charakteristiken der Verkehrsanlage. Diese sollen hier noch einmal aufgezählt und – soweit sinnvoll – mit den Merkmalen aus den Kapiteln 2.1 und 2.2 verknüpft werden. Daraus lassen sich Aussagen über ihren Einfluss auf die Verkehrssicherheit ableiten:

- Verkehrsaufkommen MIV: Je mehr Motorfahrzeuge unterwegs sind, desto gefährdeter sind die Radfahrenden.
- Schwerverkehr, Trams: Je grösser ihr Aufkommen in absoluten Zahlen (nicht in Prozenten) ist, desto gefährlicher ist es für Radfahrende.
- Verkehrsaufkommen Veloverkehr: Grundsätzlich schafft ein gehäuftes Auftreten von Radfahrenden mehr Sicherheit, da eine grosse Anzahl von Velos nicht übersehen werden kann und ihre Ansprüche gut sichtbar geltend macht. Probleme ergeben sich bei hohen Geschwindigkeitsdifferenzen der verschiedenen Velos.
- Nutzergruppen im Veloverkehr: Die Fähigkeiten und Bedürfnisse der verschiedenen Radfahrenden machen sich insbesondere durch unterschiedliche Geschwindigkeiten bemerkbar. Diese können zu Gefahren führen, insbesondere bei Überholvorgängen Velo-Velo.
- Auswirkungen verschiedener Fahrzeugtypen: Cargo-Bikes, Velos mit Anhänger und E-Bikes sind – sei es generell oder situativ – den herkömmlichen, einspurigen Fahr-

rädern rechtlich oder faktisch oft nicht gleichgestellt. Ihre Bedürfnisse bleiben gelegentlich unberücksichtigt.

- Fussverkehr: Radfahrende und Zu-Fuss-Gehende stehen miteinander in Konkurrenz, was die Nutzung der zur Verfügung stehenden Fläche betrifft. Mehr Platz schafft mehr Sicherheit.
- Geschwindigkeiten MIV: Je schneller gefahren wird, desto gefährlicher ist es für Velos.
- Netzhierarchie: Die vier Routentypen Haupt-, Verbindungs-, Erschliessungs- und Radwanderoute unterscheiden sich insbesondere in ihrem Radverkehrsaufkommen voneinander. Dieses wiederum diktiert die Ansprüche an Infrastruktur und Sicherheit.
- Verkehrsqualität: Die Zahl der Behinderungen sollte möglichst tief gehalten werden. Behinderungen sind umso wahrscheinlicher, je mehr die Bedürfnisse und Fähigkeiten der verschiedenen Nutzergruppen variieren.

Methodisch kann man unterscheiden zwischen Faktoren, die ihre Ursache in der Infrastruktur und ihren Gegebenheiten haben sowie solchen, die entweder in der Person des Radfahrenden oder im Typ seines Fahrzeugs liegen.

Für die Radfahrenden können Einflüsse der Infrastruktur (inklusive Merkmale des MIV) als von aussen gegeben angesehen werden. Man kann als Radfahrer nicht direkt darauf Einfluss nehmen. Anders sieht es bei der Wahl des Velos (City-Bike, Rennvelo, E-Bike) aus sowie der Bereitschaft, die Verkehrsregeln einzuhalten, darin sind die Radfahrenden frei. Bedingt Einfluss können sie auf ihre Fitness und ihre Fahrpraxis nehmen.

Aus Sicht des planenden Ingenieurs ist es gerade umgekehrt: Er hat Einfluss auf die bereitzustellende Infrastruktur, kann aber das Verhalten und die Fahrzeugwahl der Radfahrenden nur beobachten und unterscheiden. In diesem Sinn werden in den folgenden Kapiteln die verschiedenen Anwendungsfälle (Kapitel 3) und Führungsarten (Kapitel 4) unterschieden, woraus sich Grundsätze zu den Projektierungselementen ergeben (Kapitel 5).

3 Anwendungsfälle

Die Anwendungsfälle sollen dem Benutzer der zukünftigen Norm den Einstieg erleichtern und über die grundsätzlich denkbaren Lösungen zu den Details der Ausgestaltung der Projektierungselemente unter Berücksichtigung aller relevanten Faktoren führen. Für deren Formulierung wurde von der Frage ausgegangen, wie der Veloverkehr entlang bestehender und geplanter Strassen geführt werden soll. Wie aus Kapitel 2 hervorgeht, gibt es eine grosse Zahl von Einflussfaktoren, die berücksichtigt werden könnten. Andererseits ist aber auch klar, dass aus praktischen Gründen die Zahl der Anwendungsfälle nicht zu gross sein soll.

Es geht also darum, aus den in Kapitel 2 beschriebenen Einflussfaktoren diejenigen für die Bildung der Anwendungsfälle auszuwählen, die einen wesentlichen Einfluss haben und die einfach abzuschätzen sind.

Das Verkehrsaufkommen sowohl des motorisierten wie des Veloverkehrs ist für die Bildung der Anwendungsfälle wesentlich. Beim Veloverkehr ist nicht nur die unter den gegebenen Umständen beobachtbare Verkehrsmenge zu beachten, sondern immer auch das zukünftige Potenzial. Ebenfalls sehr wichtig ist die auf der betrachteten Strasse zugelassene Geschwindigkeit. Die Nutzergruppen im Veloverkehr sollen insofern berücksichtigt werden, dass Strecken des Velonetzes, die dem Schülerverkehr auf dem Velo dienen, speziell zu behandeln sind. Dabei wurde auf eine Quantifizierung der Menge des Schüler-Veloverkehrs verzichtet. Massgebend sind die lokalen Festlegungen, welche Netzteile als Schulwege deklariert werden und damit höheren Anforderungen genügen müssen.

Die Faktoren "Dynamisches Verhalten", "Beachtung der Verkehrsregeln" und "Gegenseitige Wahrnehmung" sind allgemein gültig, es ist aber nicht sinnvoll, sie für die Bildung der Anwendungsfälle zu verwenden. Auch die Kriterien "Netzhierarchie" und "Verkehrsqualität" werden nicht für die Bildung der Anwendungsfälle verwendet. Die Strassenanlage soll nicht als Input für die Anwendungsfälle verwendet werden, sondern das Resultat der Abklärungen sein.

Die ausgewählten wesentlichen Kriterien werden in den folgenden Ausprägungen berücksichtigt:

- Geschwindigkeit des parallelen motorisierten Verkehrs: Tempo 30-Zonen (30 km/h), Innerortssituationen (50 km/h, allenfalls auch 60 km/h) und Ausserortssituationen (80 km/h)
- Menge des motorisierten Verkehrs: Differenzierung nach DTV ≤ 5000 Fz/Tag und > 5000 Fz/Tag. Diese Unterteilung wird auch für Tempo 30 verwendet, auch wenn hier andere Unterteilungen sinnvoll sein könnten. Es bleibt anzumerken, dass neben dieser groben Einteilung zwischen "schwach belasteten" und "stark belasteten" Strassen eigentlich auch noch eine Kategorie "sehr stark belasteter" Strassen zu berücksichtigen wäre, bei der sich noch einmal andere Probleme stellen. Um die Zahl der Anwendungsfälle nicht noch weiter zu potenzieren, wurde auf eine systematische Aufnahme dieser Kategorie in die Liste der Anwendungsfälle verzichtet. Wo dies jedoch von Belang sein könnte, wird es in der Folge erwähnt.
- Menge bzw. Potenzial des Veloverkehrs: viel bzw. wenig. Als ersten Ansatz für die Grenze zwischen viel und wenig Veloverkehr haben wir die in den Niederlanden verwendete Grenze zwischen wenig und "normal viel" Veloverkehr, nämlich 60 Velofahrende pro Spitzenstunde gewählt. Im Laufe der Bearbeitung zeigte es sich, dass diese Grenze leicht nach oben auf rund 100 Velofahrende pro Spitzenstunde angepasst werden sollte.
- Nutzergruppen: Ist die betreffende Strecke als Schulweg deklariert?

Mit der systematischen Anwendung dieser Kriterien ergeben sich die in Abb. 2 zusammengestellten 24 Kombinationen.

Kriterium Geschwindigkeit mIV	Kriterium Menge mIV	Kriterium Menge/ Potenzial Veloverkehr	Kriterium Schülerverkehr	
$v_{85} \leq 30 \text{ km/h}$	DTV $\leq 5000 \text{ Mfz/Tag}$	viel Veloverkehr	kein Schulweg	
		wenig Veloverkehr	Schulweg	
	DTV $> 5000 \text{ Mfz/Tag}$	viel Veloverkehr	kein Schulweg	
		wenig Veloverkehr	Schulweg	
	$v_{85} \leq 50 \text{ km/h}$ allenfalls $v_{85} \leq 60 \text{ km/h}$	DTV $\leq 5000 \text{ Mfz/Tag}$	viel Veloverkehr	kein Schulweg
			wenig Veloverkehr	Schulweg
DTV $> 5000 \text{ Mfz/Tag}$		viel Veloverkehr	kein Schulweg	
		wenig Veloverkehr	Schulweg	
$v_{85} \leq 80 \text{ km/h}$		DTV $\leq 5000 \text{ Mfz/Tag}$	viel Veloverkehr	kein Schulweg
			wenig Veloverkehr	Schulweg
	DTV $> 5000 \text{ Mfz/Tag}$	viel Veloverkehr	kein Schulweg	
		wenig Veloverkehr	Schulweg	

Abb. 2 Anwendungsfälle

4 Führungsarten

Grundsätzlich wird unter dem Thema "Führungsarten" zwischen Trennsystemen (Trennung vom motorisierten Verkehr) und Mischsystemen unterschieden. In der in Revision stehenden SN 640 252 [5] wird innerhalb der Mischsysteme noch zwischen Mischverkehr einerseits und der Führung auf Radstreifen andererseits unterschieden. Diese beiden Fälle werden als unterschiedliche Führungsarten interpretiert. In der Folge wird diese neue Einteilung verwendet.

4.1 Getrennte Führung

Bei der getrennten Führung sind unterschiedliche Arten zu unterscheiden, wobei ein wesentliches Kriterium die gemischte bzw. getrennte Führung mit dem Fussverkehr ist. Auf dem Radweg (Abschnitt 4.1.1) sind Fuss- und Veloverkehr getrennt, auf dem gemeinsamen Fuss- und Radweg (Abschnitt 4.1.2) und auf Trottoirs mit zugelassenem Veloverkehr (Abschnitt 4.1.3) sind die beiden Verkehrsarten gemischt. Auf Strassen mit Teilfahrverbot (Abschnitt 4.1.4) ist beides möglich (mit oder ohne Trottoir).

4.1.1 Radweg

Das klassische Beispiel von einzig dem Veloverkehr zur Verfügung stehenden Infrastrukturen sind die Radwege. Darunter werden Fahrbahnen verstanden, die in geringem Abstand parallel zu Strassen für den motorisierten Verkehr geführt werden und baulich von diesen abgetrennt sind. Sie sind mit dem Signal 2.60 Radweg signalisiert und mit einer Benützungspflicht verbunden: Das bedeutet, dass das Velo die parallel verlaufende Strasse nicht benützen darf.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen des Strassenverkehrsgesetzes (SVG), der Verkehrsregelnverordnung (VRV) und der Signalisationsverordnung (SSV) sind in der Folge zitiert:

SVG, Art. 43 Verkehrstrennung

² Das Trottoir ist den Fussgängern, der Radweg den Radfahrern vorbehalten. Der Bundesrat kann Ausnahmen vorsehen.

SVG, Art. 46 Regeln für Radfahrer

¹ Radfahrer müssen die Radwege und -streifen benützen.

² Radfahrer dürfen nicht nebeneinander fahren. Der Bundesrat kann Ausnahmen vorsehen.¹

VRV, Art. 1 Begriffe

⁶ Radwege sind die für Radfahrer bestimmten, von der Fahrbahn durch bauliche Massnahmen getrennten und entsprechend signalisierten Wege (Art. 33 Abs. 1 SSV).

VRV, Art. 40 Radstreifen und Radwege

¹ Die Radfahrer haben den Vortritt zu gewähren, wenn sie aus einem Radweg oder Radstreifen auf die anliegende Fahrbahn fahren und wenn sie beim Überholen den Radstreifen verlassen.

² Fahrräder mit Anhänger sind auf dem Radweg nur zugelassen, wenn sie den übrigen Fahrradverkehr nicht behindern. Fussgänger dürfen Radwege benützen, wo Trottoir und Fussweg fehlen.

⁴ Ausserhalb von Verzweigungen, z.B. bei Einfahrten zu Liegenschaften, müssen Führer anderer Fahrzeuge beim Überqueren von Radwegen oder Radstreifen den Radfahrern den Vortritt lassen.³

⁵ Verläuft ein Radweg in einem Abstand von nicht mehr als 2 m entlang einer Fahrbahn für den Motorfahrzeugverkehr, gelten bei Verzweigungen für die Radfahrer die gleichen Vortrittsregeln wie für die Fahrzeugführer der anliegenden Fahrbahn. Die Motorfahrzeugführer der anliegenden Fahrbahn haben beim Abbiegen den Radfahrern den Vortritt zu gewähren.

SSV, Art. 33 Radweg, Fussweg, Reitweg

1 Das Signal «Radweg» (2.60) verpflichtet die Führer von einspurigen Fahrrädern und Motorfahrrädern, den für sie gekennzeichneten Weg zu benutzen. Wo der Radweg endet, kann das Signal «Ende des Radweges» (2.60.1) aufgestellt werden. Für den Vortritt und für die Benützung des Radwegs durch Fahrräder und Motorfahrräder mit Anhänger sowie durch andere Strassenbenützer gelten die Artikel 15 Absatz 3 und 40 VRV.

3 Um Strassenbenützer auf einen Rad-, Fuss- oder Reitweg am andern Strassenrand zu verweisen, wird das entsprechende Signal mit einer nach jener Strassenseite weisenden «Richtungstafel» (5.07) angebracht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Führungsart "Velo allein" nur folgende Ausprägungen aufweist: Einrichtungsradswege und Zweirichtungsradswege.

4.1.2 Gemeinsamer Fuss- und Radweg

Rechtliche Grundlagen:

SSV, Art. 33 Radweg, Fussweg, Reitweg

4 Ist ein Weg für zwei Benützerkategorien (z.B. Fussgänger / Radfahrer, Fussgänger / Reiter) bestimmt, und wird dort jeder der beiden Benützerkategorien mittels unterbrochener oder ununterbrochener Linie (Art. 74 Abs. 6) eine eigene Verkehrsfläche zugeordnet, werden die entsprechenden Symbole durch einen senkrechten Strich getrennt in einem Signal dargestellt (z.B. «Rad- und Fussweg mit getrennten Verkehrsflächen»; 2.63); jede Kategorie hat den ihr durch das entsprechende Symbol zugewiesenen Teil der Verkehrsfläche zu benutzen. Ist ein Weg für zwei Kategorien ohne Trennung durch eine Markierung zur gemeinsamen Benützung bestimmt, werden die entsprechenden Symbole auf einem Signal dargestellt (z. B. «Gemeinsamer Rad- und Fussweg»; 2.63.1). Rad- und Motorfahrradfahrer sowie Reiter haben auf Fussgänger Rücksicht zu nehmen und, wo die Sicherheit es erfordert, diese zu warnen sowie nötigenfalls anzuhalten.



Wenn auf dem Radweg auch zu Fuss Gehende und Benützer von fahrzeugähnlichen Geräten (fäG) zugelassen sind, wird diese Fläche mit dem Signal 2.63.1 Gemeinsamer Rad- und Fussweg signalisiert. Die alternative Ausgestaltung mit der Signalisation 2.63 Rad- und Fussweg mit getrennten Verkehrsflächen und mit Hilfe von Markierungen separierten Verkehrsflächen ist eher zu vermeiden: Sie entspricht nicht den Anforderungen des Bundesgesetzes über die Beseitigung von Benachteiligungen von Menschen mit Behinderungen (Behindertengleichstellungsgesetz, BehiG). Ausserdem könnte sie dazu führen, dass die Nichtbeachtung auf der einen und die Rechthaberei auf der anderen Seite zu Konflikten zwischen Velofahrenden und zu Fuss Gehenden führt, dies trotz der rechtlichen Regelung "Rad- und Motorfahrradfahrer sowie Reiter haben auf Fussgänger Rücksicht zu nehmen". Eine Komplikation der gemeinsamen Rad- und Fusswege ist in der rechtlichen Formulierung angetönt: Auch Motorfahrradfahrende und schnelle Velofahrende sind verpflichtet, diese Verkehrsfläche zu benutzen und sie dürfen nicht auf die Strasse ausweichen. Ausserdem sind auch Benützer von fäG auf diese Verkehrsfläche angewiesen, was den Benutzermix und die entsprechenden Geschwindigkeitsdifferenzen noch verstärkt.

Es ist darauf hinzuweisen, dass gemäss SN 640 075 Hindernisfreier Verkehrsraum [4] gemeinsame Rad- und Fusswege innerorts generell zu vermeiden sind. Als besser geeignet wird eine Separierung in je einen Rad- und einen Fussweg bezeichnet. Die Trennung erfolgt z.B. mit schrägen Abschlüssen mit einer Höhe von 4 bis 6 cm. Gemäss der gleichen Norm sind ausserorts gemeinsame Rad- und Fusswege möglich, sofern die Strecke für den Fuss- und/oder den Radverkehr untergeordnete Bedeutung hat.

4.1.3 Trottoirs mit zugelassenem Veloverkehr

Rechtliche Grundlagen:

SSV Art. 65 Zusatztafeln zu bestimmten Signalen

8 Insbesondere zur Schulwegsicherung kann auf relativ stark befahrenen Strassen am Beginn eines schwach begangenen Trottoirs das Signal «Fussweg» (2.61) mit der Zusatztafel « gestattet» angebracht werden. Das Trottoir darf von Fahrrädern und Motorfahrrädern mit abgestelltem Motor mitbenutzt werden. In diesem Fall gelten die Bestimmungen über gemeinsame Benützung nach Artikel 33 Absatz 4. Das Ende der Berechtigung kann dadurch angezeigt werden, dass die dem Signal 2.61 beigefügte Zusatztafel « gestattet» mit drei schwarzen Diagonalstrichen von links unten nach rechts oben durchgestrichen wird

Für die Anwendung dieser Regelung existiert eine Broschüre der Schweizerischen Velokonferenz SVK und des Fonds für Verkehrssicherheit FVS [14], die anhand von Praxisbeispielen deren Anwendungsbereich erläutert.

4.1.4 Strasse mit Teilfahrverbot (Signale 2.13 oder 2.14)

Rechtliche Grundlagen:

SSV Art. 19 Teilfahrverbote, Fussgängerverbot

1 Teilfahrverbote verbieten den Verkehr für bestimmte Fahrzeugarten und haben folgende Bedeutung:

.... «Verbot für Motorwagen» (2.03) «Verbot für Motorräder» (2.04) «Verbot für Lastwagen» (2.07) gelten jeweils für ein bestimmtes Verkehrsmittel

2 In einem Signal können zwei, auf unbedeutenden Nebenstrassen (Art. 22 Abs. 4) sowie innerorts drei Verbotssymbole dargestellt werden, z.B. «Verbot für Motorwagen und Motorräder» (2.13), «Verbot für Motorwagen, Motorräder und Motorfahrräder» (2.14).

In der heutigen Praxis stellen die Strassen mit Teilfahrverboten eine Alternative zu Radwegen dar, die keine Benützungspflicht für Velofahrende beinhaltet. Damit eignen sie sich dort, wo keine Sicherheitsgründe gegen die Benützung der parallelen Strasse durch Velofahrende sprechen und die Strasse mit Teilfahrverbot für einzelne Benutzergruppen unter den Velofahrenden unattraktiv ist, zum Beispiel wegen enger Platzverhältnisse und regem Fussverkehr für Velos mit Anhängern oder für schnelle Velofahrende (Rennvelos, schnelle E-Bikes). Auf solchen Einrichtungen besteht im Allgemeinen keine Mischung mit motorisiertem Verkehr (allenfalls mit Spezialverkehren, die dank Zusatztafeln wie "Ausgenommen landwirtschaftlicher Verkehr" oder „Zubringer gestattet“ die gleiche Verkehrsfläche benützen dürfen). Der Veloverkehr ist hier allenfalls mit Fussverkehr oder Verkehr mit fahrzeugähnlichen Geräten (fäG) gemischt.

4.2 Velo auf Radstreifen

Die Führung des Veloverkehrs auf Radstreifen ist ein Spezialfall des Mischverkehrs von motorisiertem und Veloverkehr, bei dem ein Teil der Strassenfläche durch einen Radstreifen als primär für den Veloverkehr vorgesehenen Bereich markiert ist. Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden: Radstreifen mit unterbrochener gelber Linie und Radstreifen mit durchgezogener gelber Linie. Rechtlich gesehen darf der Radstreifen im ersten Fall von Motorfahrzeugen nur benutzt werden, wenn sie "den Fahrradverkehr nicht behindern", im zweiten Fall darf die Markierungslinie nicht überquert werden.

Die entsprechenden gesetzlichen Grundlagen sind die folgenden:

VRV, Art. 1 Begriffe

7 Radstreifen sind die für Radfahrer bestimmten Fahrstreifen, die normalerweise durch gelbe unterbrochene oder ausnahmsweise durch ununterbrochene Linien gekennzeichnet sind (Art. 74 Abs. 5 SSV).

SSV, Art. 74 Fahrstreifen, Bus-Fahrstreifen, Radstreifen

5 Radstreifen werden durch eine unterbrochene oder ununterbrochene, gelbe Linie abgegrenzt (6.09). Die ununterbrochene Linie darf weder überfahren noch überquert werden. Auf Verzweigungsflächen dürfen Radstreifen nur markiert werden, wenn den einmündenden Fahrzeugen der Vortritt entzogen ist. Für die Benützung der Radstreifen gilt im übrigen Artikel 40 VRV

6 Zur Trennung von Rad-, Fuss- und Reitwegen, die auf gleicher Ebene verlaufen (Art. 33), wird eine gelbe, unterbrochene oder ununterbrochene Linie verwendet. Ununterbrochene Linien dürfen von Rad- und Motorfahrradfahrern oder von Reitern weder überfahren noch überquert werden.

7 Auf Radwegen und Radstreifen können das Symbol eines Fahrrades sowie Fahrtrichtungs- oder Einspurpfeile in gelber Farbe aufgemalt werden.

Aus dem Vergleich der verschiedenen gesetzlichen Texte wird nicht ganz klar, welchen relativen Stellenwert die beiden Varianten haben. Während die VRV zwischen dem "Normalfall" der unterbrochenen Linie und dem "Ausnahmefall" ununterbrochene Linie unterscheidet, sind die beiden Varianten in der SSV gleichwertig dargestellt. In der Praxis sind Radstreifen mit ununterbrochener Abgrenzungslinie sehr selten. Sie werden meist nur punktuell eingesetzt oder über kurze Distanzen und zwar an Orten, an denen Radstreifen von MIV nicht überfahren werden sollen (z.B. vor LSA, bei Kreiseln oder unübersichtlichen Rechtskurven).

Im Kanton Aargau wird die ununterbrochene Linie in der Broschüre Kernfahrbahn [7] erwähnt. Sie gilt als Sicherheitslinie und darf nicht überfahren werden. Über den Anwendungsbereich wird dabei nichts ausgesagt.

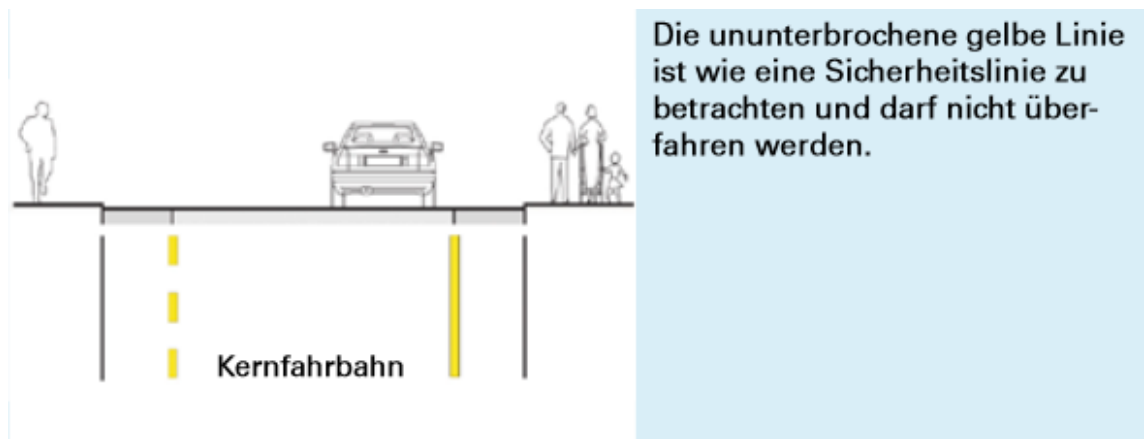


Abb. 3 Auszug aus der Broschüre des Kantons Aargau [7]

In Deutschland wird gemäss ERA 2010 [23] zwischen Schutzstreifen (Radstreifen in der CH) und Radfahrstreifen (Radstreifen mit ununterbrochener Linie in der CH) unterschieden. Deren Einsatz wird gemäss Abb. 4 empfohlen. Die entsprechenden Erfahrungen bzw. Empfehlungen in Deutschland lassen sich folgendermassen zusammenfassen: Bei der Frage der Eignung von Schutzstreifen (als eine Form der Mischung) einerseits und Radfahrstreifen (als eine Form der Separation) andererseits spielt die Fahrbahnbreite die zentrale Rolle. Daraus ergeben sich auch die entsprechenden Begegnungs- und Überholssituationen. In der aktuellen Praxis gelten für belebte Strassenräume inzwischen die Schutzstreifen als Regel, weil nach der Regel der "städtebaulichen Bemessung" die Sei-

tenräume für Fußgänger und gute Gestaltung viel Platz benötigen. Die Ergebnisse der Wirkungsforschung in Deutschland ergeben, grob gesagt, dass sich die beiden Möglichkeiten bezüglich der Sicherheit im Längsverkehr nicht stark unterscheiden. Im Hinblick auf die ERA 2020 zeichnet sich ab, dass sich das empfohlene Einsatzgebiet des Schutzstreifens (Radstreifens) auch auf Bereiche mit höheren Verkehrsbelastungen des motorisierten Verkehrs erweitern wird.

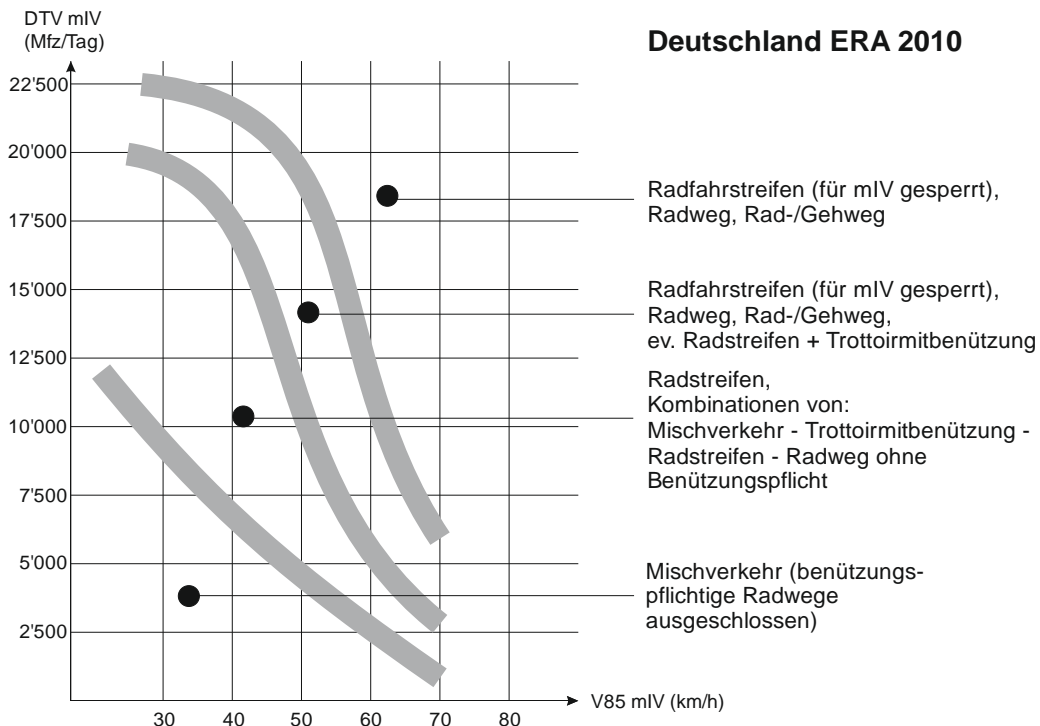


Abb. 4 Anwendungsgebiet der Führungsarten nach ERA 2010

Das Forschungsteam ist der Ansicht, dass im Sinne der SSV die ununterbrochene Trennlinie nicht nur als Ausnahmefall betrachtet werden soll, sondern im Sinne der Erkenntnisse in Deutschland bei genügenden Platzverhältnissen häufiger anzuordnen ist, insbesondere, wenn am anschliessenden Knoten dieses Element wieder aufgenommen wird. Allerdings ist damit auch die Pflicht verbunden, sich als Radfahrer innerhalb des Radstreifens aufzuhalten. Somit ist es wichtig, dass Radstreifen mit ununterbrochener Trennlinie ausreichend breit sind und je nach Verkehrsaufkommen anzunehmende Überholmanöver von Velofahrenden zulassen.

Einen Spezialfall stellt die Kernfahrbahn dar, die immer mit unterbrochenen Markierungen ausgestattet ist, weil die verbleibende Verkehrsfläche zwischen den Radstreifen für das Kreuzen von zwei Motorfahrzeugen zu wenig breit ist. Im Normalfall werden Radstreifen auf beiden Seiten der Strasse angeordnet. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Führungsart "Velo auf Radstreifen" die beiden Ausprägungen aufweist:

- Fahrstreifen, die durch gelbe unterbrochene Linien gekennzeichnet sind
- Fahrstreifen, die durch gelbe ununterbrochene Linien gekennzeichnet sind (in der Folge in Anlehnung an die deutsche Richtlinie als "Radfahrstreifen" bezeichnet).

Da in der Schweiz nur wenige Beispiele von Radstreifen mit ununterbrochener Begrenzungslinie - also Radfahrstreifen - existieren, konnten keine Videobeobachtungen durchgeführt werden. Dieses Instrument soll aber im Kapitel 7.2, das sich mit Fahrbahnen mit Radstreifen beschäftigt, wieder aufgenommen werden.

4.3 Mischverkehr

Unter den verschiedenen Formen des Mischverkehrs sind zwei Kriterien von Bedeutung: Steht allen beteiligten Verkehrsmitteln die ganze Verkehrsfläche zur Verfügung oder sind einzelnen Beteiligten Teilflächen reserviert. Dabei spielt auch die Art der Unterteilung eine Rolle.

4.3.1 Reiner Mischverkehr (Velo mit motorisiertem Verkehr)

Wenn der Veloverkehr und der motorisierte Verkehr die gleiche Fläche ohne Abtrennungen baulicher Art oder durch Markierungen benutzen, spricht man von reinem Mischverkehr. Was die rechtlichen Grundlagen angeht, ist der Mischverkehr im Zusammenhang mit dem Velo nicht sehr ergiebig, da Radfahrende im Grundsatz gleich wie die anderen Verkehrsteilnehmenden behandelt werden.

Es gibt einen Hinweis auf gefährdete Radfahrende:

SSV Art. 11 Fussgängerstreifen, Kinder, Radfahrer

3 Das Signal «Radfahrer» (1.32) zeigt an, dass häufig Radfahrer in die Strasse einfahren oder diese überqueren; es darf nur ausserhalb von Verzweigungen aufgestellt werden.

Interessant ist, dass das, was üblicherweise als „Überholen eines Velos“ angesehen wird, rechtlich gesehen gar kein Überholen ist:

VRV Art.10 Überholen im Allgemeinen

1 Der Fahrzeugführer, der überholen will, muss vorsichtig ausschwenken und darf nachfolgende Fahrzeuge nicht behindern. Er darf nicht überholen, wenn sich vor dem voranfahrenden Fahrzeug Hindernisse befinden, wie Baustellen, eingespurte Fahrzeuge oder Fussgänger, welche die Strasse überqueren.

2 Nach dem Überholen hat der Fahrzeugführer wieder einzubiegen, sobald für den überholten Strassenbenützer keine Gefahr mehr besteht.

Überholen ist rechtlich gesehen also durch „Ausschwenken“ und „wieder einbiegen“ gekennzeichnet. Das geschieht relativ selten, meist fahren Motorfahrzeuge an den Velos vorbei. Rechtlich muss man deshalb „überholen“ und „vorbeifahren“ unterscheiden, je nachdem, ob ein Ausschwenken und Wiedereinbiegen stattfindet oder nicht. In der Praxis sind die Grenzen zwischen den beiden rechtlichen Sachverhalten oft fließend und schlecht festzustellen. Motorfahrzeuglenkende „mitten“ sich in der Regel zwischen Sicherheits- bzw. Leitlinie und dem Fahrbahnrand oder der Radstreifenmarkierung ein. Dies bedingt zum Überholen eines Velos in ausreichendem Abstand auf einer Fahrbahn ohne Radstreifen in der Regel eine stärkere Bewegung gegen oder sogar über die Leitlinie hinaus. Im Folgenden werden wir ohne Radstreifen den Begriff „überholen“ verwenden und beim Vorhandensein eines Radstreifens von „Vorbeifahren“ sprechen.

4.3.2 Velostrasse oder Fahrradstrasse

Die "Velostrasse" oder "Fahrradstrasse" - nicht zu verwechseln mit so genannten "Velobahnen"! - auf der der Veloverkehr weitgehende Vorrechte genießt, existiert in der Schweiz noch nicht. Es bestehen weder rechtliche Grundlagen noch eine Praxis mit diesem Instrument, das in anderen Ländern schon seit längerer Zeit angewendet wird. In Deutschland sind die entsprechenden rechtlichen Grundlagen zur Fahrradstrasse in § 67 der Strassenverkehrsordnung (StVO) festgelegt:

(1) Die Behörde kann, wenn es der Sicherheit, Leichtigkeit oder Flüssigkeit des Verkehrs, insbesondere des Fahrradverkehrs, oder der Entflechtung des Verkehrs dient oder aufgrund der Lage, Widmung oder Beschaffenheit eines Gebäudes oder Gebietes im öffentlichen Interesse gelegen ist, durch Verordnung Straßen oder Straßenabschnitte dauernd oder zeitweilig zu Fahrradstraßen erklären. In einer solchen Fahrradstraße ist außer dem Fahrradverkehr jeder Fahrzeugverkehr verboten; ausgenommen davon ist das Befahren

mit den in § 76a Abs. 5 genannten Fahrzeugen sowie das Befahren zum Zweck des Zu- und Abfahrens.

(2) Die Behörde kann in der Verordnung nach Abs. 1 nach Maßgabe der Erfordernisse und unter Bedachtnahme auf die örtlichen Gegebenheiten bestimmen, dass die Fahrradstraße auch mit anderen als den in Abs. 1 genannten Fahrzeugen dauernd oder zu bestimmten Zeiten befahren werden darf; das Queren von Fahrradstraßen ist jedenfalls erlaubt.

(3) Die Lenker von Fahrzeugen dürfen in Fahrradstraßen nicht schneller als 30 km/h fahren. Radfahrer dürfen weder gefährdet noch behindert werden.

(4) Für die Kundmachung einer Verordnung nach Abs. 1 gelten die Bestimmungen des § 44 Abs. 1 mit der Maßgabe, dass am Anfang und am Ende einer Fahrradstraße die betreffenden Hinweiszeichen (§ 53 Abs. 1 Z 26 und 29) anzubringen sind.

In der Schweiz wird diese Massnahme auch schon länger als Möglichkeit diskutiert. Für das Jahr 2016 sind in fünf Städten Pilotversuche geplant.

4.4 Eignung der Führungsarten gemäss ausländischen Normen

Die ausländischen Normen und Empfehlungen stellen die Eignung verschiedener Führungsarten auf sehr unterschiedliche Art dar. Grundsätzlich spielen in allen Fällen die Menge des motorisierten Verkehrs auf der entsprechenden Verbindung und die zulässige Geschwindigkeit eine Rolle. Die folgenden beispielhaften Darstellungen konnten nur zum Teil direkt übernommen werden, in anderen Fällen sind es sinngemässe Interpretationen der teilweise nur textlichen Festlegungen.

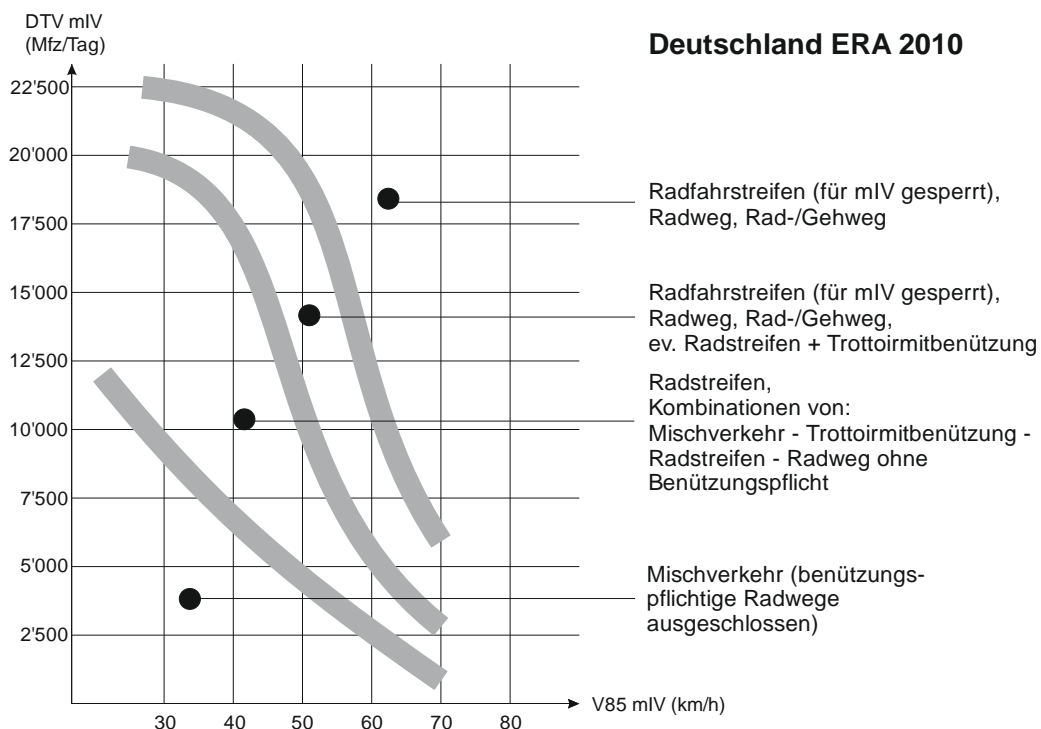


Abb. 5 Anwendungsgebiet der Führungsarten nach ERA 2010 [23]

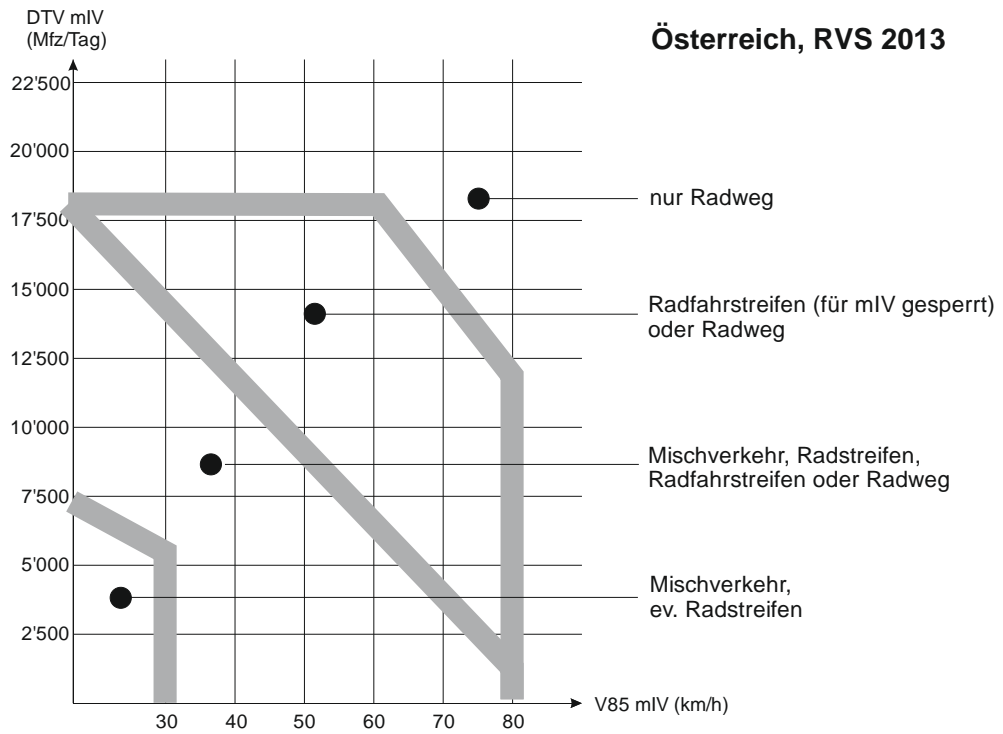


Abb. 6 Anwendungsgebiet der Führungsarten nach RVS 2013 [24]

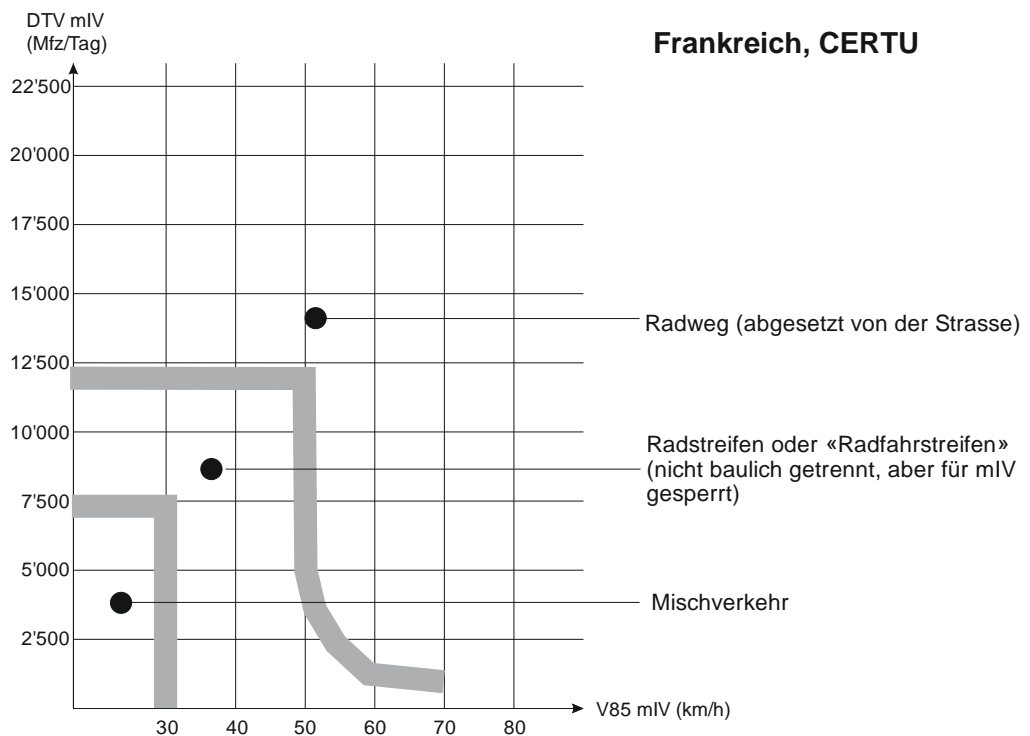


Abb. 7 Anwendungsgebiet der Führungsarten nach CERTU [25]

Werden diese Normen und Empfehlungen überlagert, ergeben sich folgende Darstellungen:

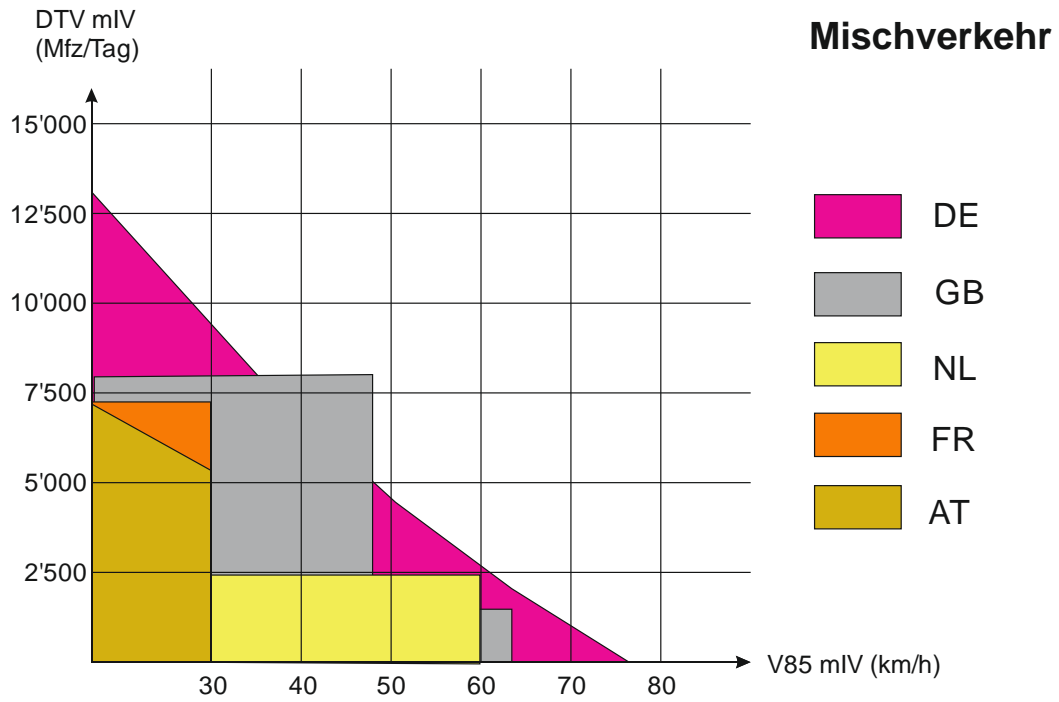


Abb. 8 Anwendungsgebiet für Mischverkehr in 5 europäischen Ländern

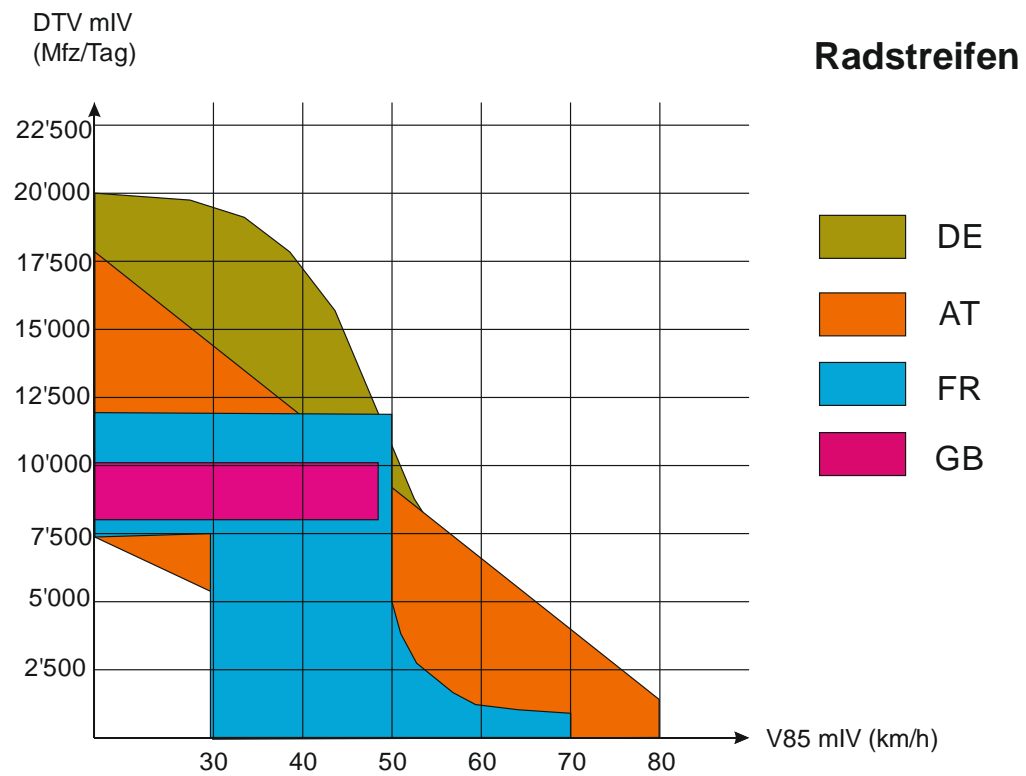


Abb. 9 Anwendungsgebiet für Radstreifen in 4 europäischen Ländern

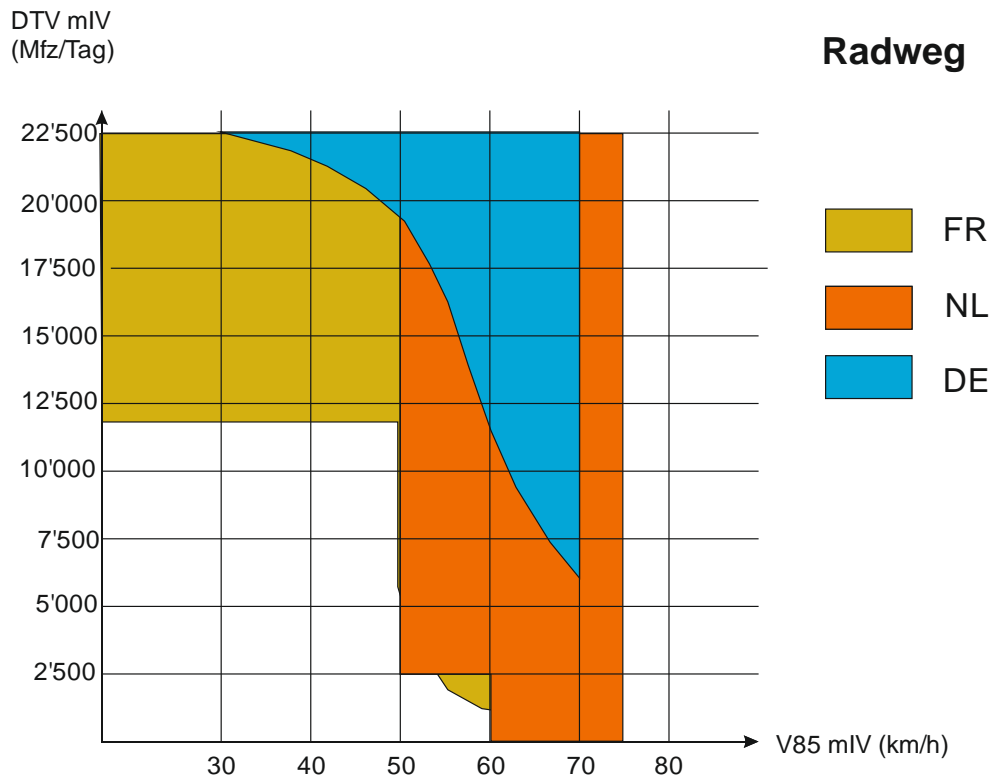


Abb. 10 Anwendungsgebiet für Radwege in 3 europäischen Ländern

Die vergleichenden Analysen zeigen, dass sich die Empfehlungen der verschiedenen Länder tendenziell entsprechen, im Detail aber stark voneinander divergieren. Dies ist nicht nur Ausdruck von unterschiedlichen Voraussetzungen bezüglich zur Verfügung stehendem Verkehrsraum, sondern auch Ausdruck des unterschiedlichen Stellenwerts des Veloverkehrs im jeweiligen Land. Es ist deshalb nicht möglich, ein entsprechendes Schema für die Schweizer Verhältnisse zu übernehmen. Am ehesten scheint uns das deutsche Schema wegleitend, das keine scharfen Grenzwerte kennt. Dabei ist die bereits genannte Differenzierung zwischen Radfahrstreifen bzw. Schutzstreifen und eigentlichem Radstreifen zu beachten.

4.5 Anwendbarkeit der Führungsarten

Obwohl in den einzelnen Ländern mit unterschiedlichen Diagrammen, Tafeln und Grenzwerten gearbeitet wird, ist es möglich, eine entsprechende Übersicht zusammenzustellen.

Tab. 1 Führungsart gemäss ausländischen Normen und Empfehlungen

Führungsart	Deutschland ERA 2010	Österreich RVS	Niederlande CROW	Grossbritannien Cycle Inf. Des.	Frankreich CERTU
V85 = 20 [km/h], DTV = 5'000 [Fz/Tag]	Mischverkehr	Mischverkehr	Mischverkehr	ev. Radstreifen	Mischverkehr
V85 = 20 [km/h], DTV = 10'000 [Fz/Tag]	Radstreifen/ -weg	Radstreifen	nicht relevant	Radstreifen	Radweg
V85 = 40 [km/h], DTV = 5'000 [Fz/Tag]	Mischv./ Radstreifen	Radstreifen	Mischv./ Radstreifen	ev. Radstreifen	Radstreifen
V85 = 40 [km/h], DTV = 10'000 [Fz/Tag]	Radstreifen/ -weg	Radstreifen	Radweg	Radstreifen	Radstreifen
V85 = 60 [km/h], DTV = 5'000 [Fz/Tag]	Radstreifen/ -weg	Radstreifen	Radweg	Radstreifen/ -weg	Radweg
V85 = 60 [km/h], DTV = 10'000 [Fz/Tag]	Radweg	Radweg	Radweg	Radstreifen/ -weg	Radweg

Es gilt jeweils: Je schneller die Motorfahrzeuge und je höher das Verkehrsaufkommen, desto eher ist ein baulich abgetrennter Radweg nötig. Am differenziertesten und aussagekräftigsten sind die Aussagen aus den Niederlanden, am wenigsten präzise diejenigen aus Grossbritannien.

Eine eindeutige Zuweisung einer Führungsart an die in Kapitel 3 definierten Anwendungsfälle ist nur in den wenigsten Fällen möglich. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die empfohlenen Führungsarten pro Anwendungsfall. Dies bedeutet zwar nicht, dass alle nicht aufgezählten Führungsarten ungeeignet sind, diese stehen aber eher in Spezialfällen zur Diskussion.

Unter "Mischverkehr" wird in der Tabelle eine Führung des Veloverkehrs auf der gleichen Fläche ohne Abtrennung durch Markierungen oder bauliche Mittel verstanden, die "Fahrradstrasse" wurde auch in die Liste aufgenommen, obwohl sie heute noch nicht existiert. "Unabhängige Führung" bedeutet eine Führung des Veloverkehrs auf einer von der in den ersten beiden Spalten beschriebenen Strasse unabhängigen Route, im Normalfall über wenig befahrene oder ganz oder teilweise für den motorisierten Verkehr gesperrte Strassen (im Gegensatz zum strassenbegleitenden Radweg). Mit der - juristisch falschen - Bezeichnung "Fuss-/Radweg (ohne BP)" ist ein Fuss-/Radweg ohne Benutzungspflicht gemeint, der in Form einer Strasse mit Teilfahrverbot angelegt sein muss, um die Benutzungspflicht auszuschliessen und damit dem Benutzer die Wahl zum Radstreifen auf der Strasse offen zu lassen. Zur Mitbenutzung des Trottoirs sollte immer eine Alternative bestehen, da es nicht das Ziel sein kann, auch schnelle Velos auf das Trottoir zu holen (vgl. auch Kapitel 6.3).

Kriterium Geschw. mIV	Kriterium Menge mIV	Kriterium Veloverkehr	Kriterium Schulweg	Empfohlene Führungsarten				
30 km/h	<= 5000	viel	nein	Mischverkehr	oder	Fahrradstrasse		
			ja	Mischverkehr	oder	Fahrradstrasse		
		wenig	nein	Mischverkehr				
			ja	Mischverkehr				
	> 5000	viel	nein	Radstreifen	ev.	Fahrradstrasse	ev.	Radweg
			ja	Radstreifen	ev.	Fahrradstrasse	ev.	Radweg
wenig	nein	Mischverkehr	ev.	Radstreifen				
	ja	Mischverkehr	ev.	Radstreifen	ev.	Radweg		
50 km/h allenfalls	<= 5000	viel	nein	Radstreifen	oder	Radweg	oder Radfahrstreifen	
			ja	Radstreifen	oder	Radweg	oder Radfahrstreifen	
		wenig	nein	Mischverkehr	oder	Radstreifen		
			ja	Radstreifen	oder	Radfahrstreifen	ev. Mitbenutzung Trottoir	
60 km/h	> 5000	viel	nein	Radstreifen	oder	Radweg	ev. Radfahrstreifen	
			ja	Radweg	oder	unabhängige Führung		
		wenig	nein	Radstreifen	oder	Radweg	ev. Radfahrstreifen	
			ja	Radweg	oder	unabhängige Führung	ev. Fuss-/Radweg	
80 km/h	<= 5000	viel	nein	Radweg	oder	Radfahrstreifen	oder unabhängige Führung	
			ja	Radweg	oder	Radfahrstreifen	oder unabhängige Führung	
		wenig	nein	Fuss-/Radweg	oder	unabhängige Führung		
			ja	Fuss-/Radweg	oder	unabhängige Führung		
	> 5000	viel	nein	Radweg	oder	Fuss-/Radweg	oder unabhängige Führung	
			ja	Radweg	oder	Fuss-/Radweg	oder unabhängige Führung	
		wenig	nein	Fuss-/Radweg	oder	unabhängige Führung		
			ja	Fuss-/Radweg	oder	unabhängige Führung		

Mischverkehr	
Radstreifen / Radfahrstreifen	
getrennte Führung: Fuss-/Veloverkehr gemeinsam	
Radweg	

Abb. 11 Empfohlene Führungsarten pro Anwendungsfall

5 Grundsätzliches zu den Projektierungselementen

5.1 Abgestufte Standards

In den folgenden Kapiteln 6 und 7 werden Standards für die Ausgestaltung von Veloinfrastrukturen definiert. Da es sich um Empfehlungen für Neuanlagen handelt, sollen sie einen möglichst hohen Sicherheitsstandard erfüllen. Unter gewissen Umständen, insbesondere bei beengten Platzverhältnissen, kann es jedoch vorkommen, dass eine "normgerechte" Ausführung der Veloinfrastruktur nicht oder nur unter unverhältnismässigen Kosten realisiert werden kann. In diesen Fällen kann es sinnvoll sein, trotz nicht idealer Bedingungen Massnahmen zugunsten des Veloverkehrs zu ergreifen. Der Grund ist der, dass gemäss allen Erfahrungen des Forschungsteams eine vermehrte Anwesenheit von Velofahrenden im Verkehrsraum die Aufmerksamkeit der übrigen Verkehrsteilnehmenden erhöht und damit wiederum die Sicherheit des Veloverkehrs im Allgemeinen verbessert, während die Sicherheit des einzelnen Velofahrenden tendenziell abnimmt, je weniger die Velofahrenden im Verkehr in Erscheinung treten.

Um diesen Ansprüchen zu genügen, werden die Standards jeweils für zwei Stufen festgelegt. Im Normalfall sollen die Anlagen nach den Standards für die Stufe A ausgestaltet sein. Die Standards der Stufe B kommen zur Anwendung, wenn triftige Gründe vorliegen, die eine Anlage nach Stufe A nicht oder nur unter unverhältnismässigem Aufwand erlauben (z.B. sehr beengte Platzverhältnisse, unverhältnismässiger Aufwand) und sie nicht zu einer spürbaren Reduktion der Sicherheit der Velofahrenden führt. Dies bedeutet, dass unter den jeweiligen örtlichen Verhältnissen ein Ausweichen der Velofahrenden (wegen möglicher Konflikte mit anderen Velofahrenden oder allenfalls zu Fuss Gehenden) nicht zu einem spürbar erhöhten Risiko führen darf. Ein akzeptables Risiko liegt beispielsweise vor, wenn beidseits eines Radweges das Gelände eben ist, nicht aber bei angrenzenden Hindernissen. Ein anders Beispiel: Wenn die Fahrbahn neben dem Radstreifen nur eine geringe Verkehrsbelastung aufweist und ein Motorfahrzeug nach links ausweichen kann, darf auch von einem akzeptablen Risiko ausgegangen werden. Die Bedingung ist dabei, dass die entsprechenden Massnahmen einen wesentlichen Beitrag zur Förderung des Veloverkehrs leisten.

Die Standards der Stufen A und B dürfen nicht mit den "Verkehrsqualitätsstufen" ("level of service" bzw. "LOS"), verwechselt werden. Sie sind normalerweise auf Fälle mit mässigem oder mit hohem Veloverkehrsaufkommen ausgerichtet. Im Falle von sehr hohem Veloverkehrsaufkommen können sich aber weitergehende Massnahmen oder ganz andere Konzepte aufdrängen. Im Extremfall - der übrigens, wie das Beispiel Kopenhagen zeigt, absolut nicht utopisch sein muss - ist die Menge des Veloverkehrs im Strassenraum so hoch, dass das Velo den Rhythmus bestimmt und die Sicherheit durch ein tieferes Geschwindigkeitsniveau merklich verbessert wird.

5.2 Platzbedarf und Abstände gegenüber Hindernissen

Für den Vergleich der verschiedenen Werte wird der Begriff des Verkehrsraums gewählt, der den von Fahrzeug und Führer beanspruchten Raum im Verkehr bezeichnet.

In der Schweiz ist der Platzbedarf für Velofahrende in der Norm über das geometrische Normalprofil SN 640 201 definiert. Dabei setzt sich der beanspruchte Raum aus der Grundabmessung und dem beidseitigen Bewegungsspielraum, der von der Steigung abhängig ist, zusammen. Beim Vergleich mit den Normen und Empfehlungen in anderen europäischen Ländern (siehe Tab. 2) fällt auf, dass im Gegensatz zu den übrigen Ländern in der Schweiz auf ebener Strecke mit einer Breite des Velos von 0.80 m (Grundabmessung plus Bewegungsspielraum) an Stelle von 1.00 m ausgegangen wird. Dies

steht im Widerspruch zu den gesetzlichen Bestimmungen der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge VTS (SR 741.41), die die maximale Breite der Fahrräder auf 1.00 m, für den Transport von Behinderten sogar auf 1.30 m festlegt (Art. 213). Auch die Veloanhänger dürfen gemäss Verkehrsregelnverordnung VRV Art. 69 bis zu 1.00 m breit sein. Ob die laufende Revision der Norm daran etwas ändert, kann noch nicht gesagt werden.

Die in den verschiedenen Ländern angesetzten Breiten des Lichtraumprofils bewegen sich zwischen 1.00 und 1.50 m, die Sicherheitszuschläge in der Breite sind dagegen vergleichbar.

Tab. 2 Lichtraumprofil gemäss nationalen Normen und Empfehlungen

Lichtraumprofil	Schweiz SN 640 201	Deutschland ERA 2010	Österreich RVS	Niederlande CROW	Belgien Dossier 7	Grossbritannien Cycle Inf. Des.
Verkehrsraum						
Breite [m]	0.80 - 1.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Höhe [m]	2.00 - 2.30	2.25	2.25	1.75		
Sicherheitszuschläge beidseitig						
Breite [m]	2 x 0.20	variabel	2 x 0.25	2 x 0.20	2 x 0.25	
Höhe [m]	0.25	variabel	0.25	0.75		
Lichtraumprofil						
Breite [m]	1.20	variabel	1.50	1.40	1.50	1.00 - 1.50
Höhe [m]	2.25 - 2.55	variabel	2.50	2.50		

Beim Veloverkehr ist der Abstand gegenüber Hindernissen wegen der fehlenden "Schutzschicht" noch einiges bedeutsamer als beim motorisierten Verkehr. Auch muss beachtet werden, dass Velo und Velofahrende auf verschiedenen Höhen verschieden breit sind, aber auch verschieden empfindlich. Dies wird von den verschiedenen Beobachtungen immer wieder belegt. Dass sich diese - durch die Erfahrung aller Mitglieder des Forschungsteams sowohl als aktive Velofahrer wie als Verkehrsplaner bestätigten - Erkenntnisse kaum in den Empfehlungen und Normen niederschlagen, ist bemerkenswert. Ausnahmen bilden die Empfehlungen für Massnahmen für Zweiradanlagen des Kantons Bern aus dem Jahre 1989 [13], die niederländischen Empfehlungen aus dem "Design manual for bicycle traffic" von 2007 [26] und die britischen Normen von 2008 [28].

Die folgende Tabelle zeigt die in den verschiedenen Grundlagen postulierten Hindernisabstände im Vergleich. Dabei ist festzuhalten, dass die Abgrenzung der Höhe der Hindernisse nicht in allen Quellen gleich vorgenommen wird, was den Vergleich erschwert.

Tab. 3 Abstände gegenüber Hindernissen (ab Achse Velofahrer)

Quelle	a (Abstand zu Randstein <4 cm Höhe)	b (Abstand zu Hindernis 5 bis 40 cm Höhe)	c (Abstand zu Hindernis bis 130 cm Höhe)	d (Abstand zu Hindernis in Kopf- höhe oder mehr)
Kanton Bern 1989	25 cm	45 - 65 cm	75 - 80 cm	110 - 135 cm
Niederlande 2007	25 cm	50 cm	nicht definiert	100 cm
Grossbritannien 2008	25 cm	50 cm	nicht definiert	100 cm

Abb. 12 illustriert die Verhältnisse und die daraus folgenden Empfehlungen für Abstände gegenüber Hindernissen.

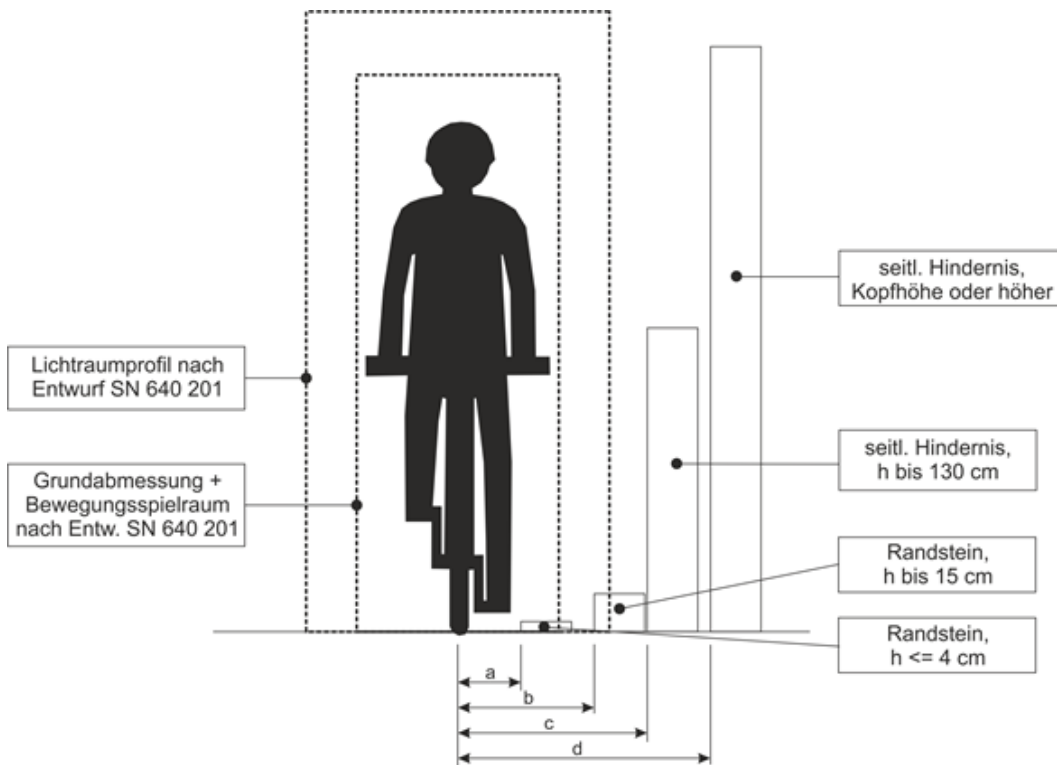


Abb. 12 Minimale Abstände gegenüber Hindernissen bei Geradeausfahrt

Ausgehend von der Breite des Lichtraumprofils von 1.20 m lässt sich also sagen, dass gemäss den verwendeten Quellen Randsteine bzw. Hindernisse von 5 bis ca. 15 cm Höhe ausserhalb des Lichtraumprofils liegen sollen oder um max. 15 cm hineinragen dürfen. Gegenüber Hindernissen, die höher sind als der Kopf der Velofahrenden, wird ein Zuschlag von 40 bis 75 cm über das Lichtraumprofil hinaus postuliert, für Hindernisse in Geländerhöhe gibt es nur in einem Fall Angaben. Sämtliche Mitglieder des Forschungsteams sind der einhelligen Meinung, dass gegenüber einem Geländer ein anderer Abstand einzuhalten ist als gegenüber einer Fassade oder Mauer. Dies wird auch von den Videoaufnahmen gestützt. Als Fazit werden für eine künftige Norm folgende Werte vorgeschlagen:

Tab. 4 Zuschläge bzw. Abzüge gegenüber Lichtraumprofil bei Hindernissen

Zuschlag bei Hindernis bis 15 cm Höhe	Zuschlag bei Hindernis bis 130 cm Höhe (c)	Zuschlag bei Hindernis in Kopfhöhe oder mehr (d)
0 cm	+ 20 cm	+ 40 cm

Ausgehend von den Werten von Abb. 12 lassen sich für die Geradeausfahrt minimale "Pedal-, Lenker- und Kopfabstände" ableiten, die im Falle der Schrägfahrt in Kurven eine Rolle spielen bzw. eingehalten werden müssen (siehe Abschnitt 5.4). Die Werte betragen gemäss Abb. 13:

- minimaler Pedalabstand gegenüber Randstein > 4 cm: 40 cm
- minimaler Lenkerabstand bzw. Ellbogenabstand: 45 cm
- minimaler Kopfabstand: 85 cm

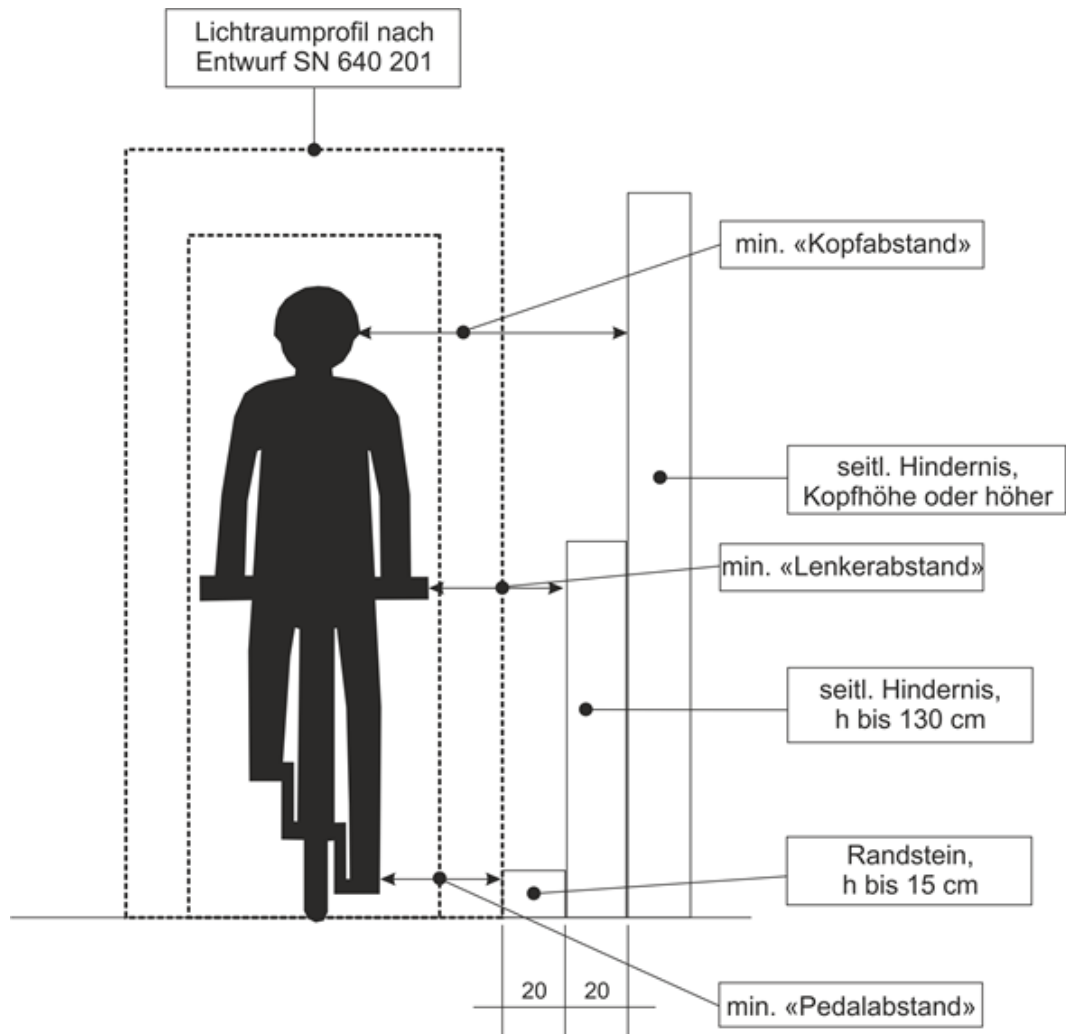


Abb. 13 Minimale "Pedal-", "Lenker-" und "Kopfabstände"

Nutzbare Breite und Messweise: Für die Beurteilung bestehender Infrastrukturen muss der Begriff der "nutzbaren Breite" definiert werden. So lange die seitlich angrenzenden Flächen auch dem Verkehr dienen, ist die Breite zwischen der Mitte einer allfälligen Markierung und der dem Veloverkehr näher liegende Kante einer baulichen Abtrennung bzw. dem Rand des befestigten Weges für den Veloverkehr nutzbar. Sind die seitlichen Flächen nicht verkehrlich genutzt und befinden sich auf der gleichen Höhe wie die Fahrbahn für den Veloverkehr, ist kein Sicherheitsabstand erforderlich, also kann für die nutzbare Breite in diesem Fall pro Seite mit 20 cm mehr gerechnet werden.

Sobald sich neben der für den Veloverkehr bestimmten Fläche ein Hindernis befindet, so sind zusätzliche Abstände nötig (Zuschlag gemäss Tab. 4) bzw. wird die nutzbare Breite um dieses Mass verringert. Konkret bedeutet dies: Befindet sich neben der Anlage ein Hindernis mit einer Höhe bis zu 130 cm, so beginnt die nutzbare Breite 20 cm von diesem Hindernis entfernt. Dementsprechend beginnt die nutzbare Breite einer Anlage neben einem höheren Hindernis - z.B. einer Fassade oder einer hohen Mauer - 40 cm neben diesem (Beispiele siehe Abb. 14).

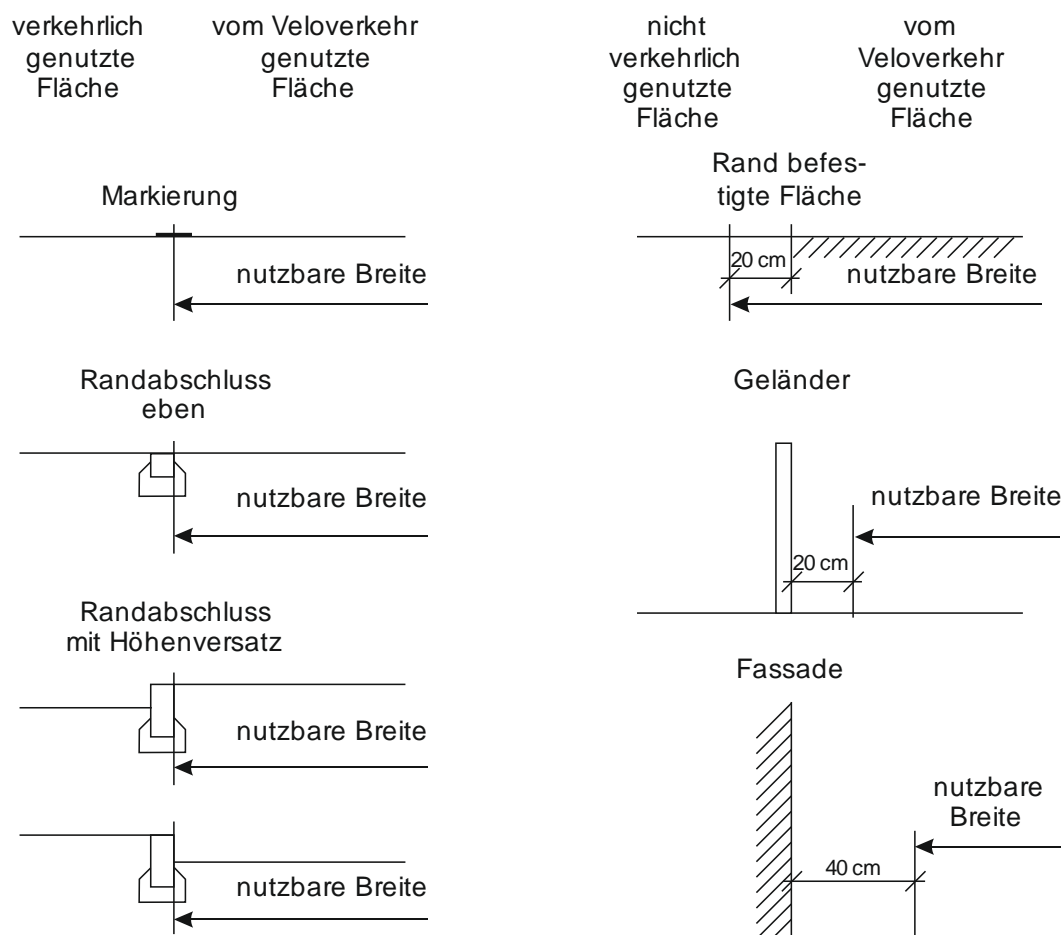


Abb. 14 Beispiele der nutzbaren Breite

5.3 Projektierungsgeschwindigkeit und Kurvenradien

Die folgende Tabelle zeigt die in verschiedenen Ländern gültigen Projektierungsgeschwindigkeiten.

Tab. 5 Projektierungsgeschwindigkeit gemäss nationalen Normen und Empfehlungen

	Schweiz SN 640 060	Deutschland ERA 2010	Österreich RVS	Niederlande CROW	Belgien Dossier 7	Grossbritannien Cycle Inf. Des.
Haupt- und Verbindungsrouten [km/h]	30	20 - 30	30	20 - 30	30	32
... bei 3% Gefälle [km/h]	40		30	bis 50		
... bei 6% Gefälle [km/h]	45		40	bis 50		
Erschliessungs-/Radwanderrouen	20	15 - 20	30	15 - 20	20	
... bei 3% Gefälle [km/h]	30		30			19
... bei 6% Gefälle [km/h]	40		40			

Die Anforderungen an die Projektierungsgeschwindigkeit sind in den verschiedenen Ländern vergleichbar. Nicht überall wird eine Unterscheidung in Haupt- und Erschliessungsstrassen bzw. in Routen mit und ohne Gefälle vorgenommen und dort, wo dies gemacht wird, sind die Unterschiede nicht gleichwertig. Darüber hinaus ist jedoch zu beachten, dass die rasante Zunahme der E-Bikes - und zwar sowohl der "langsamen" (mit Tretunterstützung bis 25 km/h) wie der "schnellen" E-Bikes (mit Tretunterstützung bis 45 km/h) - eine Projektierungsgeschwindigkeit von weniger als 40 km/h nur auf Radwanderrouen ohne Asphaltbelag vertretbar ist bzw. dort, wo zumindest die schnellen E-Bikes nicht zugelassen sind und das Gefälle unter 3% liegt. In allen anderen Fällen muss die Projektierungsgeschwindigkeit höher angesetzt werden.

Als Fazit werden folgende Werte für die Projektierungsgeschwindigkeit v_p vorgeschlagen:

- Radwanderrouten ohne Asphaltbelag: $v_p = 30$ km/h
- Radverkehrsanlagen mit Verbot von schnellen E-Bikes und $p \leq 3\%$: $v_p = 35$ km/h
- Alle anderen Radverkehrsanlagen: $v_p = 45$ km/h

Die Kurvenradien sind von der Projektierungsgeschwindigkeit abhängig. In den verschiedenen Ländern werden in Abhängigkeit der Projektierungsgeschwindigkeit folgende Kurvenradien vorgeschlagen:

Tab. 6 Kurvenradien gemäss nationalen Normen und Empfehlungen

Kurvenradius horizontal [m]	Schweiz SN 640 060	Deutschland ERA 2010	Österreich RVS	Niederlande CROW	Belgien Dossier 7	Grossbritannien Cycle Inf. Des.
...bei 10 [km/h]	5		2.5 + 0.5	2		
...bei 15 [km/h]	6 - 10		4.5 + 0.5	4	7	
...bei 20 [km/h]	9 - 16	10	8.0 + 0.5	8	10	15
...bei 25 [km/h]	12 - 22		14.0 + 0.4	13	13	
...bei 30 [km/h]	18 - 30	20	22.0 + 0.3	22	17	25
...bei 40 [km/h]	> 30	30			25	

Die Schweiz hat durchwegs tendenziell höhere Anforderungen an den Kurvenradius als die anderen Länder. Dabei sind die tieferen Werte nur anwendbar, wenn zusätzliche Sicherheitsmassnahmen vorgesehen oder vorhanden sind. Darunter werden Randlinien, Sicherheitslinien, Beleuchtung, Kurvenverbreiterung, Vorwarntafeln und Rüttelstrecken verstanden. Für die Anwendung der Empfehlungen auf die oben vorgeschlagenen Projektierungsgeschwindigkeiten müssen einerseits deren Anwendungsgebiet festgelegt werden und andererseits die Werte für Geschwindigkeiten über 40 km/h extrapoliert werden.

Die Projektierungsgeschwindigkeit gilt für Strecken ohne Abzweigungen. Dementsprechend sind die daraus abgeleiteten minimalen Radien auch nur für Situationen ohne Abzweigungen anzuwenden. Es darf davon ausgegangen werden, dass Velofahrende beim Abbiegen ihre Geschwindigkeit nach unten anpassen. Ausgangspunkt für die Festlegung der Minimalradien ist die Tab. 6. Ein daraus abgeleiteter mittlerer Wert von 22 m für eine Projektierungsgeschwindigkeit von 30 km/h liegt ziemlich genau in der Mitte des Bereiches B gemäss der schweizerischen Norm SN 640 060. Für höhere Geschwindigkeiten müssen die erforderlichen Radien gegenüber dieser Darstellung extrapoliert werden. Die Kurven der erwähnten Norm stellen eine quadratische Funktion dar. Dies bedeutet am Beispiel einer Projektierungsgeschwindigkeit von 35 km/h folgende Rechnung: $22 \text{ m} \cdot \frac{35^2}{30^2} = 30 \text{ m}$, für 45 km/h entsprechend $22 \text{ m} \cdot \frac{45^2}{30^2} = 50 \text{ m}$. Diese Werte wurden anhand der vorliegenden Videoaufnahmen grob überprüft und bestätigt:

- Projektierungsgeschwindigkeit $v_p = 30$ km/h: Minimalradius 22 m
- Projektierungsgeschwindigkeit $v_p = 35$ km/h: Minimalradius 30 m
- Projektierungsgeschwindigkeit $v_p = 45$ km/h: Minimalradius 50 m

5.4 Kurvenzuschläge

Im Gegensatz zu vierrädrigen Fahrzeugen können und müssen sich Zweiräder „in die Kurve legen“. Die dazu nötige Schräglage ist physikalisch bedingt und hängt von den beiden Grössen Kurvenradius und Fahrgeschwindigkeit ab. Die folgende Abbildung illustriert dies und zeigt die nötigen Neigungswinkel, die über unwesentliche Grössen (> 2 Grad) hinausgehen und nicht grösser als 30 Grad sind. Solche Schräglagen sind zwar theoretisch (und praktisch bei Velorennen auf Bahnen mit hoher Reibung) möglich, nicht aber im Alltagsverkehr. Anhang I gibt die errechneten Zahlenwerte für die Schräglage der Velofahrenden in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Kurvenradius wieder.











	$v = 10$ km/h	$v = 20$ km/h	$v = 30$ km/h	$v = 40$ km/h	$v = 50$ km/h
$r = 40$ m	< 2 Grad				
$r = 30$ m	< 2 Grad				> 30 Grad
$r = 20$ m				> 30 Grad	> 30 Grad

Abb. 15 Schräglage in Abhängigkeit von Radius und Geschwindigkeit

Die Überprüfung der in Abschnitt 5.3 vorgeschlagenen Kombinationen von Projektierungsgeschwindigkeit und Minimalradius ergibt eine sehr gute Übereinstimmung: In allen Fällen führen diese Kombinationen zu einem physikalisch bedingten Neigungswinkel von 17.5 bis 18 Grad. Vergleicht man nun eine Überholsituation auf gerader Strecke mit einer Überholsituation in der Kurve (siehe Abb. 16), bei der ein schneller Velofahrer einen sehr langsamen überholt und hält dabei den Abstand zwischen den Köpfen der beiden Velofahrenden fest, so ergibt sich ein Kurvenzuschlag von 55 cm.

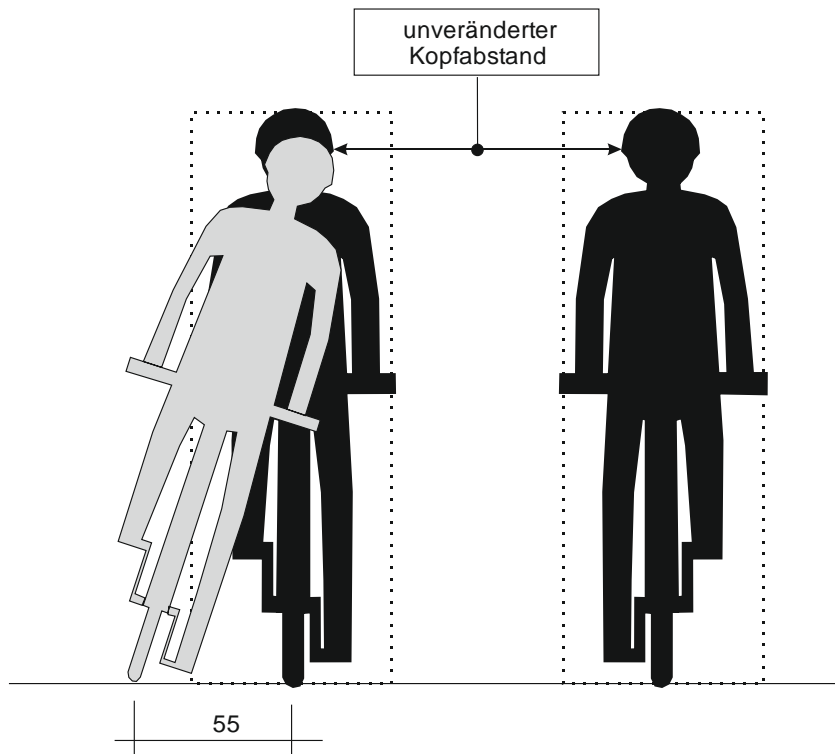


Abb. 16 Überholungsituation mit Schräglage 0 bzw. 18 Grad

Gegenüber seitlichen Hindernissen kann genau die gleiche Argumentation verwendet werden:

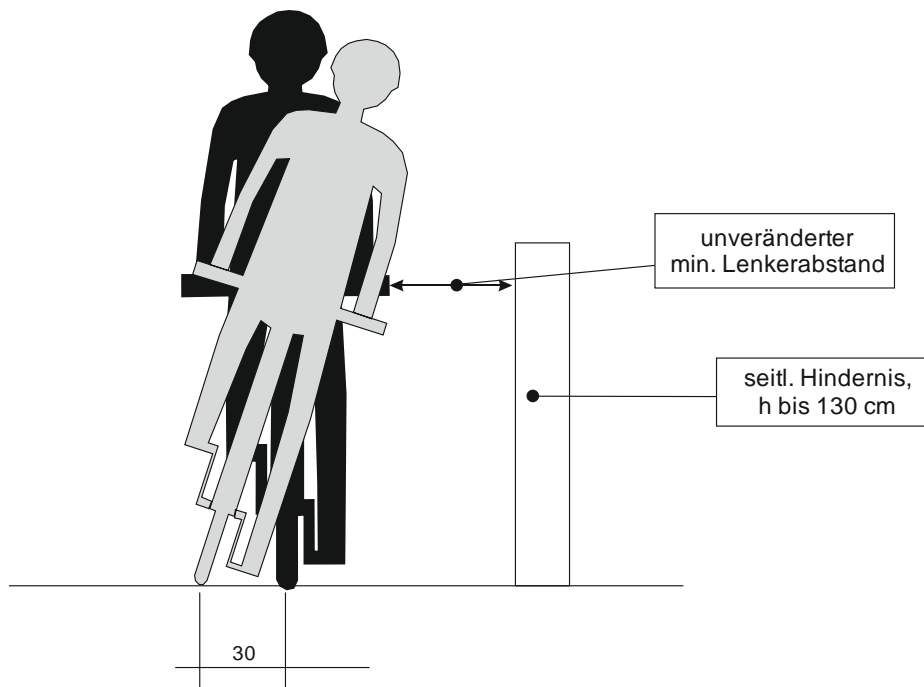


Abb. 17 Abstand zu Hindernis in Geländerhöhe mit Schräglage 0 bzw. 18 Grad

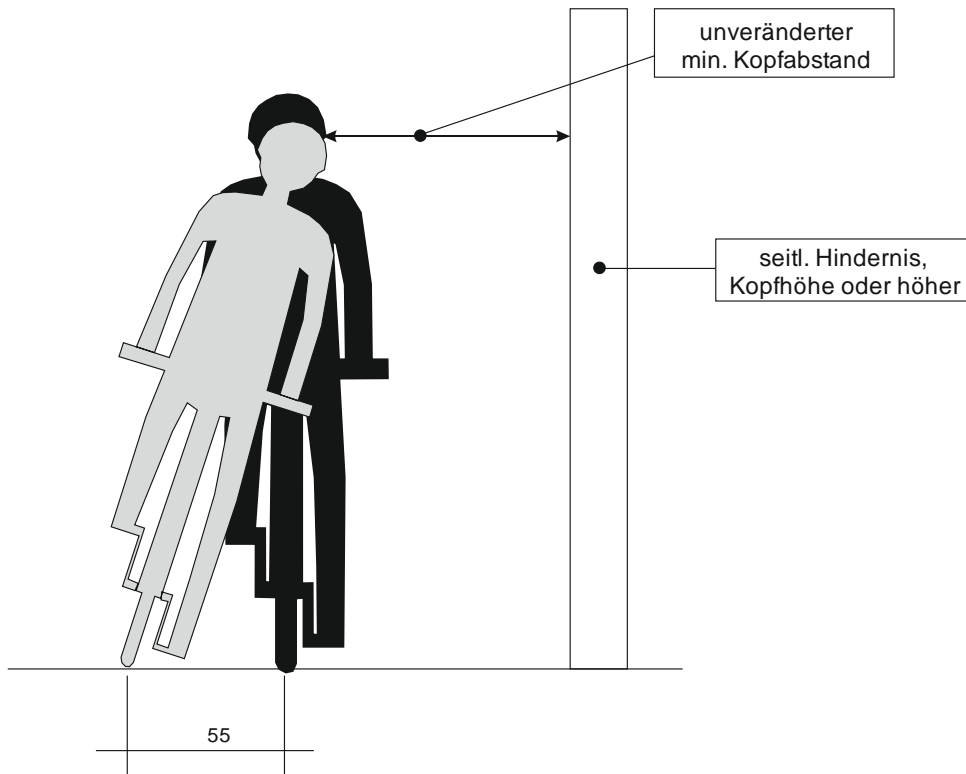


Abb. 18 Abstand zu kopfhohem Hindernis mit Schräglage 0 bzw. 18 Grad

Im Normalfall, also auf Stufe A der Standards, ist immer dafür zu sorgen, dass Begegnungen und/oder Überholvorgänge zwischen Velofahrenden komfortabel möglich sind. Hier sind die Werte aus Tabelle 7 zu verwenden.

Tab. 7 Zuschläge auf Breite und Hindernisabstände Stufe A

Projektierungs- geschwindigkeit	Radius	Kurvenzuschlag	Zuschlag auf Abstand zu Hindernissen	
			h = 130 cm	h > 160 cm
$V_p = 30 \text{ km/h}$	r = 22 m (min.)	55 cm	40 cm	55 cm
	r = 30 m	40 cm	30 cm	40 cm
	r = 50 m	25 cm	20 cm	25 cm
	r = 75 m	15 cm	10 cm	15 cm
	r = 100 m	---	---	---
$V_p = 35 \text{ km/h}$	r = 30 m (min.)	55 cm	40 cm	55 cm
	r = 50 m	35 cm	25 cm	35 cm
	r = 75 m	25 cm	15 cm	25 cm
	r = 100 m	15 cm	---	15 cm
	r = 125 m	---	---	---
$V_p = 45 \text{ km/h}$	r = 50 m (min.)	55 cm	40 cm	55 cm
	r = 75 m	35 cm	25 cm	35 cm
	r = 100 m	30 cm	20 cm	30 cm
	r = 125 m	20 cm	15 cm	20 cm

Wie erwähnt, kommen die Standards der Stufe B zur Anwendung, wenn triftige Gründe vorliegen, die eine Anlage nach Stufe A nicht oder nur unter unverhältnismässigem Aufwand erlauben und sie nicht zu einer spürbaren Reduktion der Sicherheit der Velofahrenden führt. Es gelten folgende Richtwerte:

Tab. 8 Zuschläge auf Breite und Hindernisabstände Stufe B

Projektierungs- geschwindigkeit	Radius	Kurvenzuschlag	Zuschlag auf Abstand zu Hindernissen	
			h = 130 cm	h > 160 cm
V _p = 30 km/h	r = 22 m (min.)	30 cm	25 cm	35 cm
	r = 30 m	20 cm	20 cm	25 cm
	r = 50 m	---	---	15 cm
	r = 75 m	---	---	---
V _p = 35 km/h	r = 30 m (min.)	30 cm	25 cm	35 cm
	r = 50 m	15 cm	15 cm	20 cm
	r = 75 m	---	---	15 cm
	r = 100 m	---	---	---
V _p = 45 km/h	r = 50 m (min.)	30 cm	25 cm	35 cm
	r = 75 m	20 cm	15 cm	25 cm
	r = 100 m	15 cm	---	15 cm
	r = 125 m	---	---	---

5.5 Anhaltestrecke

Aus Gründen der Sicherheit müssen alle Verkehrsteilnehmenden in allen sich ergebenden Situationen eine genügend weite Sicht haben. Die notwendigen Sichtweiten orientieren sich generell an den gefahrenen Geschwindigkeiten, beim motorisierten Verkehr zusätzlich an Manövern (z.B. Einmünden) und an horizontalen (Kurven) bzw. vertikalen (Kuppen) Hindernissen.

Für den Veloverkehr ist nur die Anhaltesichtweite von Bedeutung. Sie hängt ab von der gefahrenen Geschwindigkeit der Radfahrenden und darf eine Mindestweite nicht unterschreiten. Die Anhaltesichtweite ist also eine Anforderung an die Infrastruktur. Die Anhaltstrecke unterscheidet sich von der Anhaltesichtweite dadurch, dass sie eine rein physikalische Grösse darstellt. Sie beschreibt, wie lange eine Strecke ist, wenn Radfahrende mit einer bestimmten Geschwindigkeit anhalten.

Sind Radfahrende in nur einer Richtung unterwegs, entspricht der Wert der vorliegenden Anhaltstrecke dem Wert der notwendigen Anhaltesichtweite. Auf Zweirichtungsradwegen entspricht die erforderliche Sichtweite der Summe der Anhaltstrecken aus beiden Richtungen.

Wie Tab. 9 zeigt, sind im internationalen Vergleich die geltenden Werte für die Anhaltstrecke in allen Ländern praktisch identisch. Dies ist nicht verwunderlich, da es sich um physikalische Zusammenhänge handelt, bei denen einzig das Gefälle und die Annahmen zur Bremsverzögerung beim Velo eine Rolle spielt. Zu letzteren ist zu sagen, dass sich die Bremstechnologie wohl in den letzten Jahren verbessert hat, dass aber die immer noch verkehrenden älteren "Normalvelos" das Mass für die Sicherheit darstellen müssen.

Tab. 9: Anhaltestrecke gemäss nationalen Normen und Empfehlungen

Anhaltestrecke [m]	Schweiz SN 640 060	Deutschland ERA 2010	Österreich RVS	Österreich Meschik
...bei 20 [km/h]	13 - 15	15	15	15
...bei 30 [km/h]	24 - 28	25	25	25
...bei 40 [km/h]	40 - 46	40	40	

Wir schlagen vor, für die drei verwendeten Projektierungsgeschwindigkeiten (30, 35 und 45 km/h) die Anhaltestrecke einzig nach zwei topografischen Kategorien "Steigung, eben oder Gefälle max. 4%" und "Gefälle > 4%" zu differenzieren. Dies führt zu den in Tab. 10 festgehaltenen Werten.

Tab. 10: Anhaltestrecke (in m) nach Projektierungsgeschwindigkeit und Topografie

Anhaltestrecke [m]	Steigung, eben oder Gefälle max. 4%	Gefälle > 4%
...bei 30 [km/h]	24	28
...bei 35 [km/h]	29	36
...bei 45 [km/h]	45	55

5.6 Längsneigung

Gemäss VSS-Norm SN 640 060 werden folgende Steigungen als komfortabel bezeichnet: $\leq 3\%$ für lange Abschnitte, $\leq 5\%$ für Strecken bis 100 m, $\leq 10\%$ für Rampen bis 20 m. Bei Sonderbauwerken (Unterführungen, Brücken, Rampen usw.) kann die maximale Längsneigung auf kurze Distanz (≤ 20 m) überschritten werden.

Das Forschungsteam beurteilt diese Richtwerte als weiterhin gültig und empfiehlt keine Änderungen. Es drängt sich auch keine Differenzierung nach Stufe A und B auf. Ausdrücklich ausgenommen von diesen Empfehlungen sind Veloschnellverbindungen, für die andere Qualitätskriterien gelten, die aber Gegenstand einer anderen Forschungsarbeit sind.

5.7 Bemessung der Projektierungselemente

In den folgenden Kapiteln 6 und 7 werden Angaben zu den gemäss unserer Forschung zu empfehlenden Abmessungen gemacht. Dabei geht es um Breitenabmessungen. Diese sind so zu interpretieren, dass es sich um die in Kapitel 5.2 beschriebenen nutzbaren Breiten handelt: Gegenüber verkehrlich genutzten Flächen sind die Abgrenzungen die Mitte einer allfälligen Markierung, die Kante einer baulichen Abtrennung oder der Rand des befestigten Weges für den Veloverkehr. Gegenüber eben weiterverlaufenden Flächen ohne verkehrliche Nutzung kann für die nutzbare Breite ein 20 cm breiter Streifen neben der üblichen Abgrenzung mit einbezogen werden (die angegebenen Breitenempfehlungen also um 20 cm reduziert), gegenüber Hindernissen sind Zuschläge erforderlich und zwar 20 cm gegenüber Hindernissen bis 130 cm Höhe und 40 cm gegenüber höheren seitlichen Hindernissen (vgl. Abb. 14).

6 Projektierungselemente für Anlagen mit getrennter Führung

6.1 Radwege ohne Fussverkehr

6.1.1 Bestehende Normen und Empfehlungen

Der Vergleich verschiedener Empfehlungen zu den Radwegbreiten zeigt folgendes:

Tab. 11: Abmessungen von Radwegen ohne Fussverkehr in Normen und Empfehlungen

Radweg	DE ERA 2010	AT RVS	NL CROW	BE Fiches Techn.	Kt. ZH Richtlinie 1)	Kt. AG Merkblatt	Kt. BE Arb.hilfe 2)
Normalbreite [m] Einrichtungsrادweg	2.00	1.60 - 2.00	...	...	...	2.00	2.50
Minimalmass [m] Einrichtungsrادweg	1.60	1.00	...	1.30	...	...	1.50
Normalbreite [m] Zweirichtungsrادweg	2.50 - 3.00	3.00	2.50 - 3.50	2.60	...	2.50	3.00
Minimalmass [m] Zweirichtungsrادweg	2.00 - 2.50	2.00	2.00	2.20	...	2.00	2.50

- Keine Unterscheidung zwischen Einrichtungsrادwegen und Zweirichtungsrادwegen und zwischen Minimal- und Normalbreiten
- Keine Unterscheidung zwischen Radwegen mit und ohne Fussgänger, die hier aufgeführten Werte sind deshalb tendenziell zu hoch

Im Allgemein sind die Anforderungen an die Radwegbreite international ähnlich und vergleichbar. Je nach Situation bestehen jedoch teilweise beträchtliche Unterschiede.

Bei der **Normalbreite von Einrichtungsrادwegen** sind sich die verschiedenen Quellen ziemlich einig und gehen von 2.00 m aus. Die Abweichung in Österreich ist damit begründet, dass Velofahrende auf dem Radweg durch angrenzende Nutzungen gefährdet werden können. Ein erhöhter seitlicher Abstand (mindestens 0.5m) schafft Sicherheit, ist nach österreichischer Ansicht jedoch nicht Teil des eigentlichen Radwegs. Diesem Sicherheitsabstand gibt man in Österreich eine grosse Bedeutung: Er muss mit zunehmendem Gefahrenpotential auch breiter ausfallen:

Tab. 12: Anforderungen an Schutzstreifen in Österreich

Schutzstreifen	Mindestbreite
zur Fahrbahn (Fließverkehr)	0.50 m
zu abgestellten Fahrzeugen	0.75 m
V _{zul} > 50 km/h, Freilandbereich	1.00 m

Dieser seitliche Zuschlag zur eigentlichen Radwegbreite hat in Österreich den Namen „Schutzstreifen“. Diese Bezeichnung ist etwas missverständlich und darf nicht mit demselben, in Deutschland verwendeten Begriff verwechselt werden. In Österreich geht es um einen seitlichen Abstand auf der Verkehrsfläche des eigentlichen Radwegs. Österreich differenziert bei der seitlichen Gefährdung, es unterscheidet zudem, ob auf einem Radweg Überholen möglich sein soll oder nicht. Das schon tiefe Mass von 1.60 m ist ohne Sicherheitsabstand („Schutzstreifen“) gerechnet, und das seltsam anmutende Minimalmass von 1.00 m soll zusätzlich nur dann möglich sein, wenn man akzeptiert, dass sich Velos gegenseitig nicht überholen können. Die vergleichsweise tiefen Minimalwerte in Belgien haben eine ähnliche Ursache wie in Österreich: Man empfiehlt gebebe-

nenfalls einen zusätzlichen seitlichen Abstand („Zone tampon“, auf Deutsch „Pufferzone“) von 0.80 m.

In Deutschland wird gemäss ERA 2010 für Einrichtungsradwege eine Regelbreite von 2.00 m und bei geringem Radverkehr 1.60 m empfohlen. Zwischen Radweg und benachbarten Flächen müssen Sicherheitsräume gewährleistet werden. Diese sollten baulich vom Radweg deutlich unterscheidbar sein.

Tab. 13: Anforderungen an Sicherheitsräumen in Deutschland

Sicherheitstrennstreifen	Breite
vom Fahrbahnrand in sonstigen Fällen	0.50 m
vom Fahrbahnrand mit festen Einbauten im Sicherheitstrennstreifen bzw. bei $V_{zul} > 50$ km/h	0.70 m
von parkenden Fahrzeugen in Längsaufstellung	0.75 m
von parkenden Fahrzeugen in Schräg- und Senkrechtaufstellung	1.10 m
Von Gebäuden, Einfriedungen, Baumscheiben, Verkehrseinrichtungen und sonstigen Einbauten	0.25 m

Sowohl in Österreich als auch in Deutschland ist man sich einig, dass ein Radweg nicht unmittelbar an eine Fahrbahn des Motorfahrzeugverkehrs oder an parkierte Motorfahrzeuge angrenzen soll. Es braucht eine gebührende seitliche Distanz. Ein Unterschied zwischen den beiden Ländern besteht darin, dass der österreichische „Schutzstreifen“ nach unserem Schweizer Verständnis ein Sicherheitszuschlag und somit Teil des eigentlichen Radweges ist, während die Sicherheitsräume in Deutschland bewusst und gut sichtbar andersartig gestaltet werden.

In Deutschland können gemäss ERA 2010 grössere Breiten von Radwegen unter folgenden Bedingungen erforderlich werden: Auf Hauptverbindungen des Radverkehrs, bei hohen Radverkehrsstärken, bei häufig auftretenden Belastungsspitzen, bei mittlerer bis hoher Nutzungsintensität im Seitenraum und/oder bei starkem Gefälle.

Nach der Arbeitshilfe "Anlagen für den Veloverkehr" des Kantons Bern, können so Mindestbreiten bei geringem Veloverkehrspotential und/oder beidseitig freiem Lichtraumprofil >0.50 m angewendet werden. Ausnahmsweise sind punktuelle Einengungen bei genügender Sichtweite möglich. Für so genannte Überbreiten ist bei Erfüllung von mindestens einem der nachfolgenden Kriterien ein Zuschlag von mind. 0.50 m erforderlich: Bei fehlendem seitlichem Freiraum (Lichtraumprofil, cf. Abschnitt 5.2), bei angrenzender Fahrbahn, bei anderen linienförmig wirkenden Einrichtungen wie z.B. Poller, ab einer Längsneigung von $> 6\%$, bei hohem Veloverkehrspotential, für Güterstrassen und in Kurven.

Bei den Zweirichtungsradwegen fordern alle Quellen eine Minimalbreite von 2.00 bis 2.50 m und setzen die Normalbreite bei 2.50 bis 3.50 m an.

In der deutschen ERA wird zwischen einseitigen und beidseitigen Zweirichtungsradwegen unterschieden, im letzteren Fall gelten die geringeren Werte. Bei geringem Radverkehrsaufkommen kann, sofern beim Begegnungsfall Anhänger – Anhänger der Sicherheitstrennstreifen befahrbar ist, ausnahmsweise das Mindestmass von 2.00 m angewendet werden. Die Anwendung der Sicherheitstrennstreifen entspricht der an Richtungsradwegen.

Bei der Beurteilung der Führungsart wird in Deutschland gemäss ERA 2010 die Anzahl der Querungsstellen von Radverkehrsanlagen resp. die Anzahl der querenden Motorfahrzeuge als Kriterium berücksichtigt. Bei der Anzahl Querungsstellen wird nach den Kategorien >10 pro km, 4 bis 10 pro km und <4 pro km unterschieden, wobei nur Querungsstellen mit mindestens 30 Querungen pro Tag in die Beurteilung einfließen. Bei der Anzahl Querungen gelangen die Kategorien >1000 querende Fz/Tag, 100 bis 1000 querende Fz/Tag und <100 querende Fz/Tag zur Anwendung.

6.1.2 Erkenntnisse aus Videobeobachtung

An zwei Fallbeispielen wurden die gefahrenen Geschwindigkeiten, das Fahrverhalten und Konfliktsituationen sowohl für einen Einrichtungsradweg wie für einen Zweirichtungsradweg exemplarisch untersucht.

Beispiel 1: Einrichtungsradweg Tiefenaustrasse, Bern

Anlage: Beim untersuchten Fallbeispiel handelt es sich um einen von der Fahrbahn durch Miniguards (Trennelemente) abgetrennten eigenständigen Einrichtungsradweg, signalisiert mit dem Strassensignal 2.60 gemäss SSV. Der Abb. 20 können die genauen Abmessungen entnommen werden. Die gesamte Breite beträgt knapp 3 Meter. Durch die beidseitigen seitlichen Elemente ist die nutzbare Breite, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, etwas kleiner, nämlich knapp 2.90 m. Der Weg weist im untersuchten Bereich ein minimales Gefälle von durchschnittlich 0.5% auf.

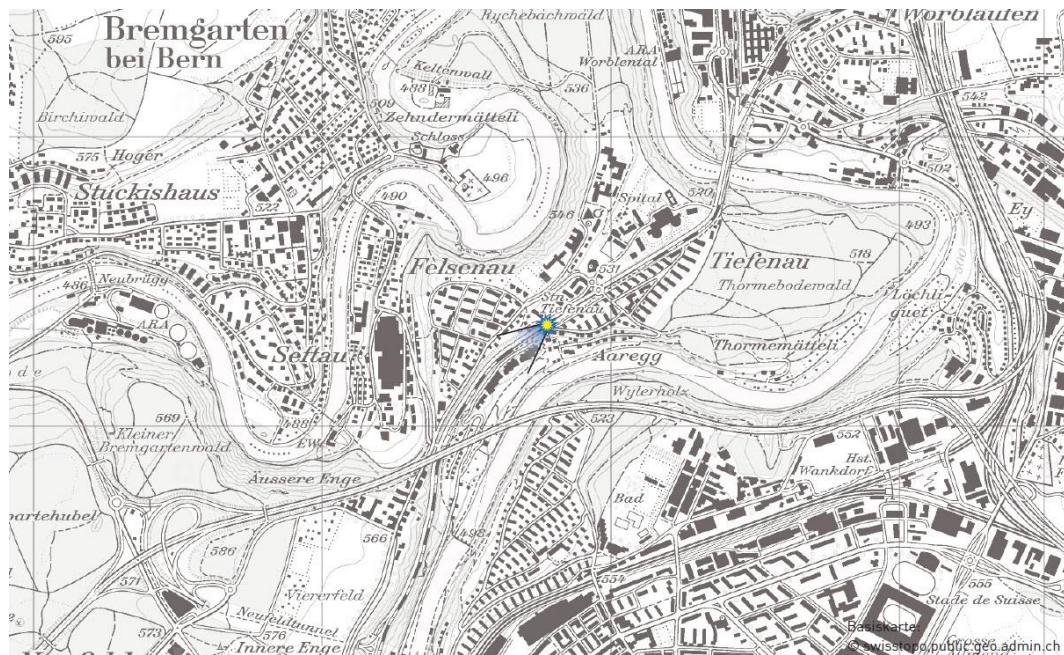


Abb. 19 Kamerastandort Einrichtungsradweg Bern, Tiefenaustrasse



Abb. 20 Radweg Bern, Tiefenaustrasse

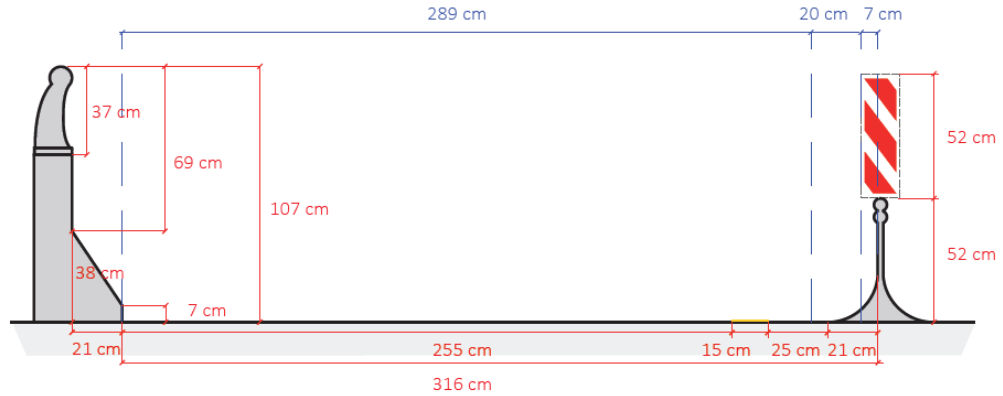


Abb. 21 Querschnitt Radweg Bern, Tiefenaustrasse

Verkehrsaufkommen: Im untersuchten Zeitraum wurde an einem Donnerstag zwischen 6:00 und 21:00 Uhr in Fahrtrichtung des Veloweges (Richtung Osten) ein Verkehrsaufkommen von 7500 Motorfahrzeugen und 591 Velos beobachtet. Die Beobachtung der Velofahrenden ergab eine Morgenspitze (7:00-8:00 Uhr) mit 92 Velos pro Stunde und eine Abendspitze (17:15-18:15 Uhr) mit 118 Velos pro Stunde. Die untersuchte Anlage wird von vielen Pendlern genutzt. Das Verkehrsaufkommen von mehr als 7500 Motorfahrzeugen in eine Richtung und keine seitlichen Einflüsse für den Veloverkehr sprechen dafür, dass in dieser Situation der Radweg sinnvoll ist.

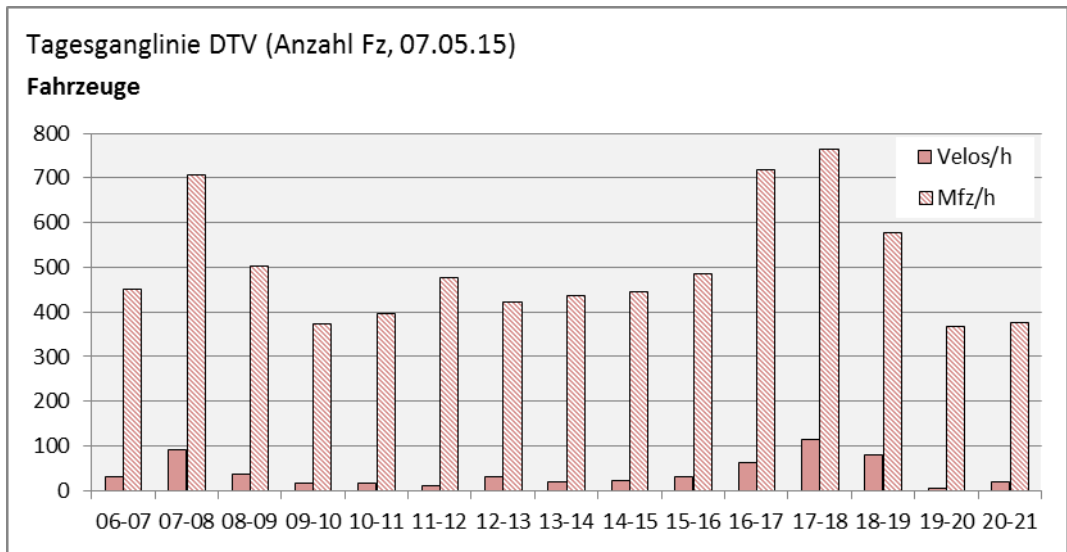


Abb. 22 Verkehrsaufkommen Bern, Tiefenaustrasse

Geschwindigkeiten: Am untersuchten Standort wurden die Geschwindigkeiten von insgesamt 120 Velos gemessen. Es konnte ein grosser Anteil Elektrovelos festgestellt werden. Dadurch erklären sich auch die zum Teil sehr hohen Geschwindigkeiten. Die durchschnittliche Geschwindigkeit auf dem Radweg betrug 28,6 km/h (Median 27,7 km/h). Die höchste gemessene Geschwindigkeit lag bei 50,0 km/h, die geringste Geschwindigkeit bei 13,5 km/h. Die Ergebnisse sind in Abb. 23 dargestellt. Sie zeigt die Verteilung aller Messwerte mit den entsprechenden Extremwerten, den Mittelwert sowie den Medianwert (wird von je 50% aller Velofahrenden unter- bzw. überschritten) sowie die daraus abgeleiteten Kennziffern v_{15} (wird von 15% aller Velofahrenden unterschritten) und v_{85} (wird von 85% aller Velofahrenden unterschritten).

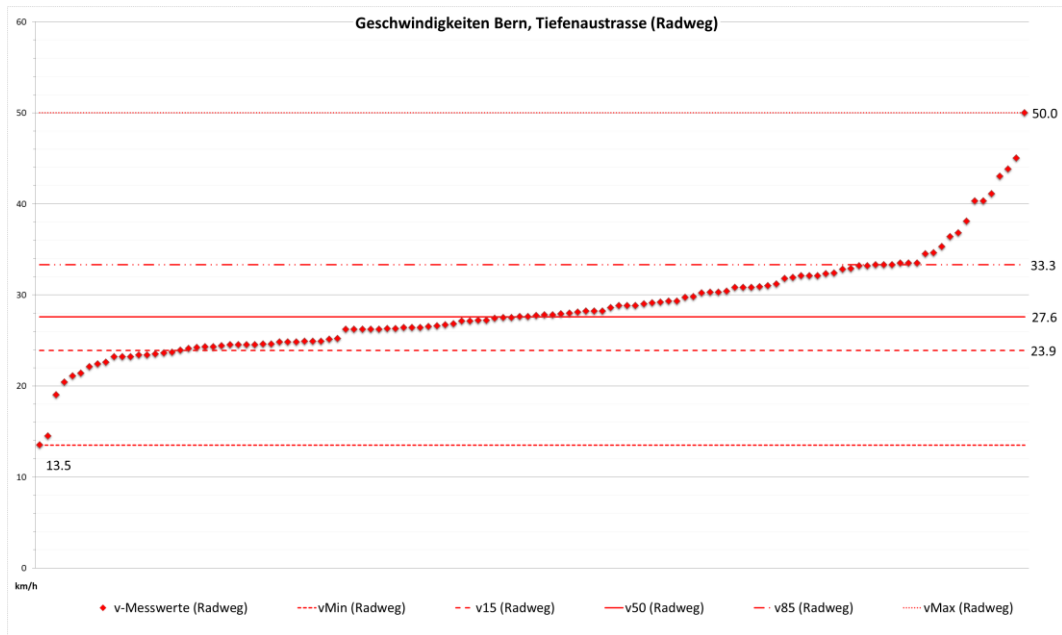


Abb. 23 Geschwindigkeitsverteilung Bern, Tiefenau

Auf einem eigenständigen Einrichtungsrادweg ohne nennenswertes Gefälle konnten Geschwindigkeiten im Bereich von 10 – 50 km/h beobachtet werden. Üblich sind zwischen 20 – 45 km/h. Dabei sind die Geschwindigkeiten über 35 km/h fast ausnahmslos E-Bikes zuzuordnen.

Fahrlinien und Überholvorgänge: Die Radfahrenden fahren überwiegend in der Mitte der Fahrbahn. Wenn ein Ausschlag beobachtet werden konnte, ist dieser mehrheitlich zum rechten Fahrbahnrand hin zu beobachten. Ein Überholen wäre aber im Normalfall ohne Anpassung der Fahrlinie wohl kaum möglich. Die vereinzelt beobachteten Überholvorgänge zwischen Radfahrenden liefen alle konfliktfrei ab. Auf den folgenden rund 100 Meter Strecke konnte allerdings pro Stunde nur rund ein Überholvorgang registriert werden. Dies lässt den Schluss zu, dass ein Überholvorgang zwischen zwei Radfahrenden beim Verkehrsaufkommen von weniger als 100 Radfahrenden pro Stunde ein sehr seltenes Ereignis ist.

Erkenntnisse: Die untersuchte Anlage eines eigenständigen, nahezu ebenen Zweirichtungsrادweges zeigte, dass Geschwindigkeiten im Bereich von 10 – 50 km/h möglich sind. Üblich sind zwischen 20 km/h – 35 km/h. Die Breite scheint unter Berücksichtigung der bestehenden Veloverkehrsmengen ein akzeptables Mass für einen Einrichtungsrادweg zu sein. Zur Gewährleistung eines hohen Fahrkomforts sollten entsprechende Anlagen tendenziell breiter sein, vor allem bei höheren Verkehrsmengen bzw. besonderen örtlichen Gegebenheiten (z.B. Abgrenzung des Fahrbahnrandes oder starke Steigung resp. Gefälle). Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Anlage umso komfortabler wird, je grosszügiger die Anlage dimensioniert ist.

Beispiel 2: Zweirichtungsrادweg Gasbahn, Wabern

Anlage: Beim untersuchten Fallbeispiel handelt es sich um einen im Normalfall 2.75 Meter breiten Zweirichtungsrادweg, grösstenteils mit Leitlinienmarkierung in Fahrbahnmitte. Der Radweg wird zum parallel geführten Fussweg mittels Grünstreifen, teilweise mit einer Hecke bzw. im Bereich der Kurve (Standort 2) mittels Leitschranke abgegrenzt. Im Bereich der Kurve ist die Fahrbahn bis zu 11cm breiter. Die als Rad- und Fussweg mit getrennten Verkehrsflächen (2.63) und Verbot für Motorwagen, Motorräder und Motorfahrräder (2.14) signalisierte Anlage weist durchschnittlich eine Steigung bzw. ein Gefälle von gut 3.5 % auf.



Abb. 24 Kamerastandorte Zweirichtungsradweg Bern Wabern, Gasbahn



Abb. 25 Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 1

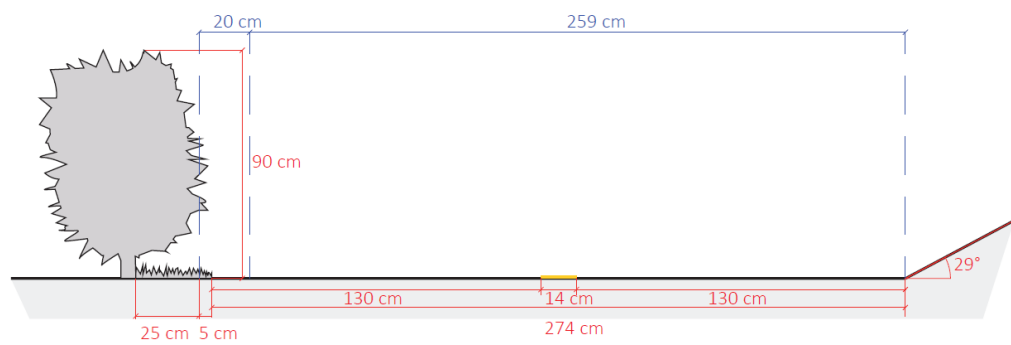


Abb. 26 Querschnitt Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 1



Abb. 27 Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 2

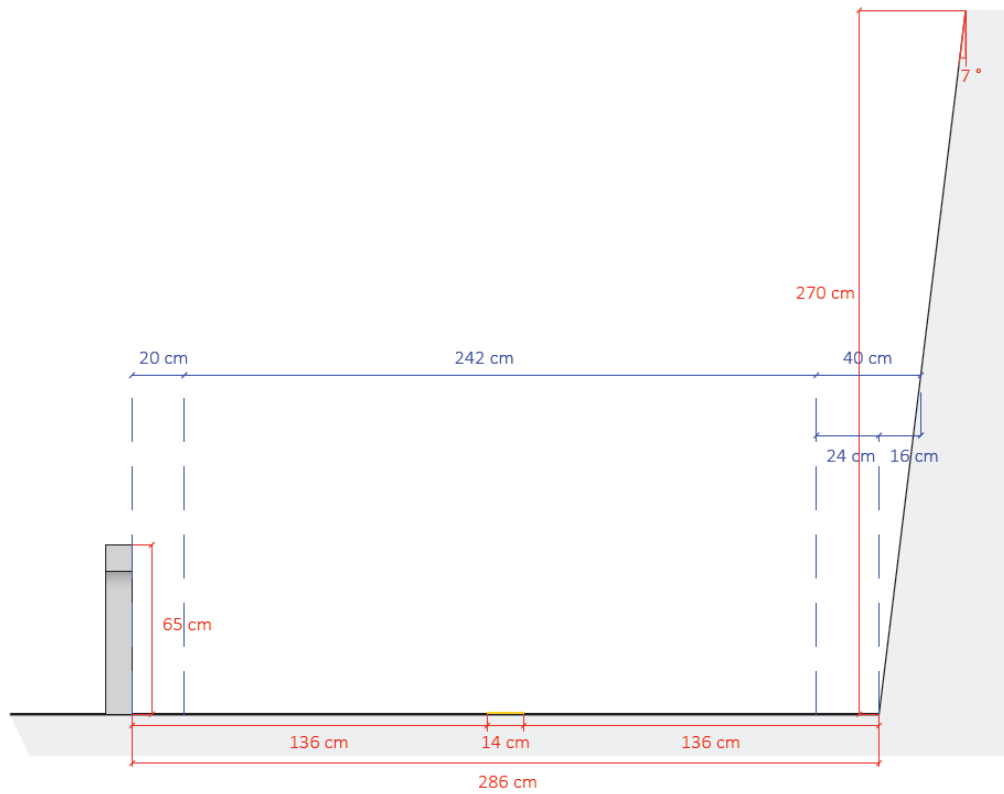


Abb. 28 Querschnitt Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 2



Abb. 29 Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 3

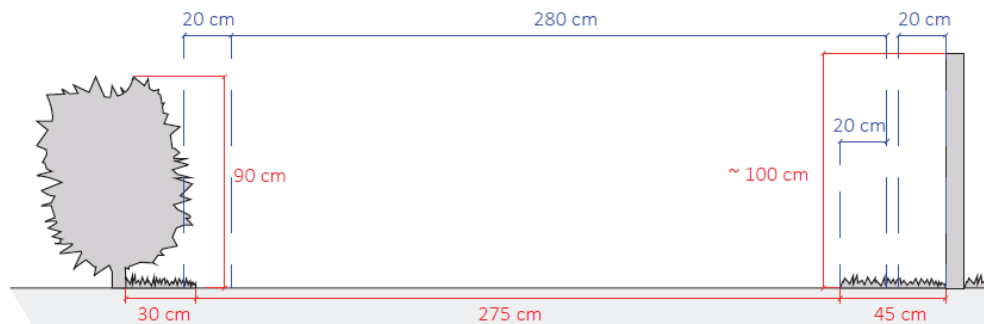


Abb. 30 Querschnitt Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 3

Nutzbare Breite: Unter Beachtung der seitlichen Hindernisse ergeben sich folgende nutzbare Breiten des Radwegs: Standort 1: ca. 2.60 m, Standort 2: ca. 2.40 m, Standort 3: ca. 2.80 m.

Verkehrsaufkommen: Am Standort 1 im südöstlichen Teil des Untersuchungsperimeters wurde an einem Werktag (23.7.2015), von 6:00 bis 23:00 das gesamte Veloaufkommen sowohl ab- wie aufwärts erhoben. Das Verkehrsaufkommen ist identisch mit jenem von Standort 2, da dazwischen keine Zu- und Wegfahrten möglich sind. Am Standort 3 wurde ein geringeres Verkehrsaufkommen beobachtet. Die Anzahl wurde allerdings nicht quantitativ erhoben. Insgesamt wurden am untersuchten Standort zwischen 6:00 bis um 23:00 Uhr 862 Velos gezählt. 386 davon waren abwärts (in Fahrtrichtung Nordwesten) unterwegs. Die restlichen 476 wurden aufwärts (in Fahrtrichtung Südosten) gezählt. Während der Abendspitzenstunde (17:30 – 18:30) sind 52 Velofahrende abwärts gefahren und 87 aufwärts. Aufgrund der Anzahl Velos kommt es vor allem zu den Spitzenstunden zu etliche Begegnungen zwischen Velofahrenden.

Geschwindigkeiten: An zwei Standorten wurden die Geschwindigkeiten von insgesamt 124 Radfahrenden (davon 64 am Standort 1 und 60 am Standort 3) gemessen. Die Ergebnisse sind in den beiden nachfolgenden Grafiken dargestellt. Entsprechend der topographischen Verhältnisse ist das Geschwindigkeitsniveau jeweils aufwärts tiefer als abwärts. Der Unterschied zwischen den beiden Messstandorten ist wahrscheinlich ebenfalls auf die Topographie (lokal etwas höhere Steigung am Standort 1 gegenüber 3) zurückzuführen. Schnelle aufwärts fahrende Velos waren in erster Linie E-Bikes. Eines

davon war das mit 37.1 km/h schnellste gemessene Velo (Standort 3). Insgesamt variieren die Geschwindigkeiten aufwärts auch deutlicher als abwärts.

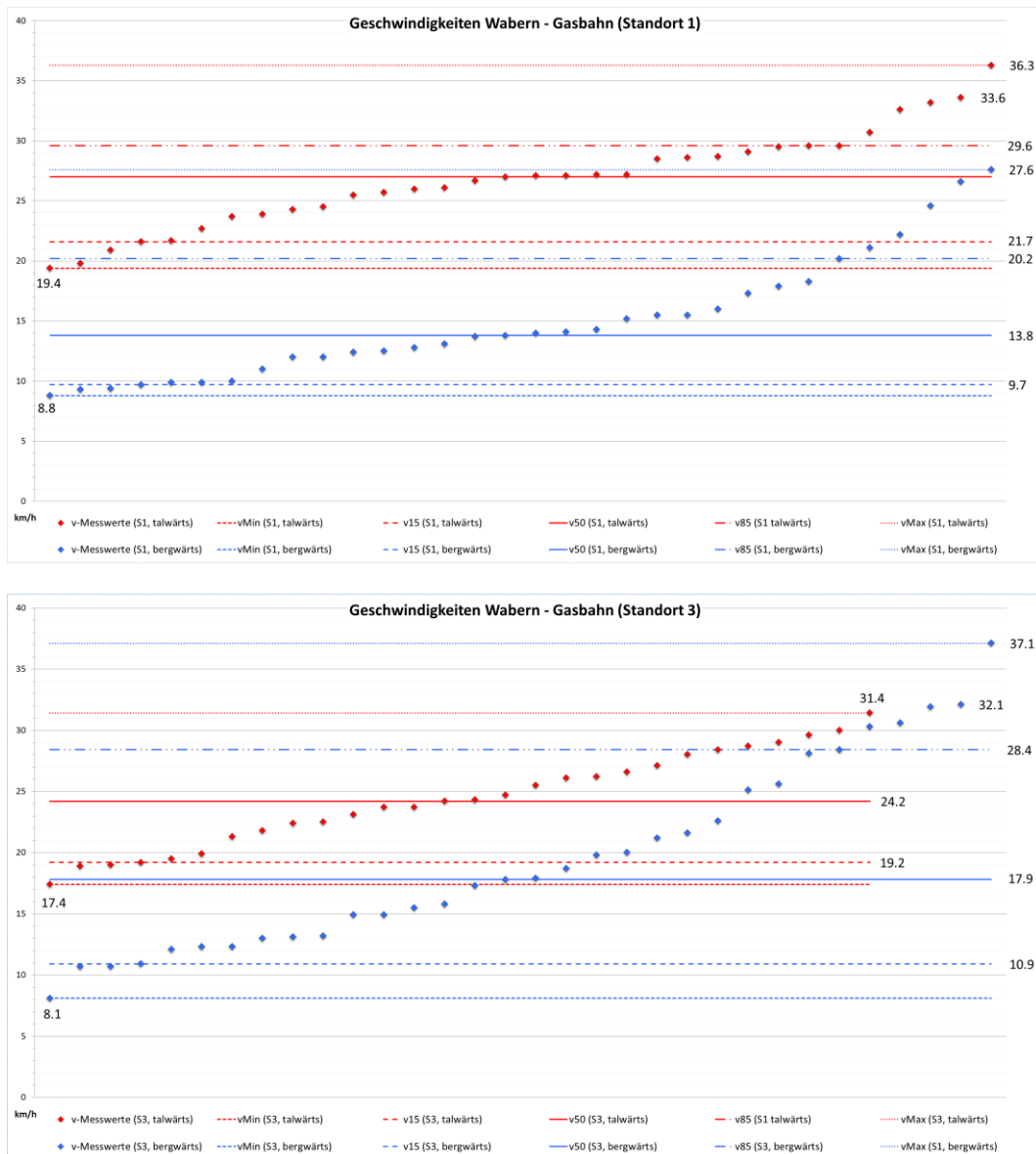


Abb. 31 Geschwindigkeitsverteilung Gasbahn Wabern, Standorte 1 und 3

Fahrlinien, Begegnungen und Überholvorgänge: In Bezug auf die Fahrlinien unabhängig einer Begegnung respektive einem Überholvorgang war festzustellen, dass Velos überwiegend in der Mitte der jeweiligen Richtungsfahrspur fahren bzw. sich teilweise in Richtung der Leitlinienmarkierung in der Radwegmitte orientieren. Die Fahrbahnränder werden hingegen tendenziell eher gemieden. Ähnlich sieht das Fahrlinienverhalten am Standort 3 aus, wobei hier keine Leitlinienmarkierung in der Mitte die Fahrbahn in Richtungsspuren teilt und somit tendenziell auch häufiger in der Fahrbahnmitte gefahren wird. An Standort 2 wurden ausgewählte Situationen mit Begegnungen, Überholvorgänge und nebeneinanderfahrenden Velos untersucht. Der untersuchte Standort befindet sich in einer eher unübersichtlichen Kurvensituation. Allgemein konnten die folgenden Beobachtungen in Bezug auf die Fahrlinien am untersuchten Standort gemacht werden.

- Aufwärts fahrende Velos fahren eher im Bereich der Mitte der Richtungsfahrspur und orientieren sich eher am äusseren Fahrbahnrand

- Abwärts fahrende Velos hingegen nähern sich wegen der Kurvensituation eher der Leitlinienmarkierung und halten einen „Respektabstand“ zur Leitschranke ein, welche den Radweg vom Fussweg abgrenzt

Die beobachteten Begegnungen liefen überwiegend konfliktfrei ab. Problematisch stellte sich ein Fall dar, bei dem die Begegnung in Zusammenhang mit einem Überholmanöver erfolgte.

Im Begegnungsfall wird dabei in der Regel mit einem Abstand von etwa 1.25 – 1.50 m aneinander vorbeigefahren und die Fahrlinien, wenn erforderlich, dementsprechend angepasst. Die Geschwindigkeiten werden dabei nicht bzw. nur geringfügig verringert.



Abb. 32 Typischer Begegnungsfall Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 2



Abb. 33 Problematischer Begegnungsfall Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 2

Es konnten ausschliesslich Überholvorgänge aufwärts fahrender Velos beobachtet werden. Überholabstände liegen normalerweise im Bereich von 1.25 m und sind damit (nur geringfügig) geringer als die bei Begegnungen gemessenen Abstände. Noch geringer, meist unter 1 m, sind die Abstände zwischen nebeneinanderfahrenden Velos. Aufgrund der wenigen Fälle, welche beobachtet werden konnten, sind die beiden Aussagen als exemplarische Beispiele zu verstehen.



Abb. 34 Typischer Überholvorgang Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 2



Abb. 35 Beispiel Nebeneinanderfahrt Radweg Wabern, Gasbahn, Standort 2

Erkenntnisse: Die untersuchte Anlage des von anderem Verkehr unbeeinflussten eigenständigen Zweirichtungsradweges zeigte, dass unter Berücksichtigung der Topografie aufwärts Geschwindigkeiten im Bereich von 10 – 30 km/h, abwärts eher zwischen 20 – 40 km/h üblich sind. Die nutzbare Breite von 2.00 bis 2.40 m scheint unter Berücksichtigung der bestehenden Veloverkehrsmengen ein knapp akzeptables Mass für einen Zweirichtungsradweg zu sein. Geringere Breiten sind in Hinblick auf Begegnungen und Überholvorgänge kaum sinnvoll. Zur Gewährleistung eines hohen Fahrkomforts sollten entsprechende Anlagen eher breiter sein, vor allem bei höheren Verkehrsmengen bzw. besonderen örtlichen Gegebenheiten (z.B. Abgrenzung des Fahrbahnrandes).

Die Markierung einer Leitlinie in der Fahrbahnmitte scheint ein hilfreiches Element zu sein, um die Fahrlinien der Velofahrer zu beeinflussen, insbesondere in Kurvenbereichen, bei seitlichen Hindernissen oder bei topographisch bedingten Unterschieden im Geschwindigkeitsniveau. In Kurven und unübersichtlichen Stellen können Konfliktsituationen reduziert werden, wenn eine Kurvenverbreiterung vorgesehen wird.

6.1.3 Fazit

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass ein Radweg für den Velofahrenden die komfortabelste und in der Regel sicherste Lösung ist. Dies unter der Bedingung, dass die verkehrlichen Randbedingungen (Querungsmöglichkeiten, Einfluss von vortrittsbelasteten Knoten, optimale Rückführung in den Mischverkehr, etc.) sich nicht negativ auf Komfort und Sicherheit auswirken.

Radwege innerorts sind heute in der Schweiz wenig verbreitet. Sie können aber z.B. dort zum Einsatz kommen, wo im Strassenraum durch die Reduktion von Fahrspuren mehr Platz gewonnen werden kann, um die seitliche Fläche zwischen Fussgängern und Velofahrenden aufteilen zu können. Dabei ist der durchschnittliche Abstand von täglich mindestens mehrmals benutzten Querungsstellen des Radweges durch Motorfahrzeuge zu berücksichtigen: Beträgt dieser 200 bis 300 m, bestehen aus dieser Sicht keine weiteren Vorbehalte. Liegt dieser Abstand unter 50 bis 100 m, überwiegen die Nachteile und es soll in der Regel kein Radweg angeordnet werden. Auch die Querungen des Radweges durch Fussgänger sollte sich auf wenige, klar definierte Stellen konzentrieren. Folgende Bedingungen sprechen tendenziell für die Anlage von Radwegen innerorts: Radroute mit einem hohen Anteil an Schülern, Radroute mit einem hohen Anteil an Schülern bei sehr hoher Verkehrsstärke der angrenzenden Fahrbahn, Radroute mit häufiger Benutzung durch Familien. Unter anderen Voraussetzungen ist eine fallweise Abklärung unter sorgfältiger Abwägung der Vor- und Nachteile notwendig.

Damit Radwege als sinnvoll zu taxieren sind, müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Es besteht ein kohärentes Gesamtsystem
- Es gibt genügend Platz im Strassenraum (Einrichtungsradswege beanspruchen mehr Platz als Radstreifen und Mischverkehrslösungen)
- Zufahrten über den Radweg sind nicht sehr häufig
- Der DTV beträgt mehr als 5'000 Mfz/Tag oder es bestehen spezielle Rahmenbedingungen
- Der Beginn und insbesondere das Ende des Radweges müssen gut lösbar sein

Zu unterscheiden sind Einrichtungsradswege und Zweirichtungsradswege. Beide Arten der Radwege können einseitig oder beidseitig der Strasse angeordnet sein. Entscheidend sind hierbei Anzahl Quellen und Ziele entlang der Strecke in Abhängigkeit von Querungsmöglichkeiten. Auf getrennte Normvorschläge analog der ERA 2010 wird jedoch verzichtet. Die durch Aufteilung auf zwei Radwege resultierende geringere Verkehrsbelastung wird im Rahmen dieses Kriteriums berücksichtigt.

In Anlehnung an die Empfehlungen in Österreich und Deutschland sowie unter Berücksichtigung unserer Erfahrungen bei Analysen verschiedenster Radverkehrsanlagen postulieren wir im Ausserortsbereich immer einen Trennstreifen zwischen Strassenfahrbahn und Radweg. Der Trennstreifen soll wenn immer möglich begrünt sein, da er nur so seine angestrebte optische Trennwirkung entfalten kann. Ausserdem soll er auch baulich in Erscheinung treten, sei es mit Hilfe von Strassenpfosten oder durch einen fahrbahnseitigen Randstein. Auch innerorts soll ein parallel zur Strasse geführter Radweg mit einem minimalen Abstand zur Fahrbahn angelegt werden (siehe Tab. 17 und Tab. 18).

Ausschlaggebend für die erforderlichen Abmessungen der Radwege ist die Häufigkeit von Überholvorgängen bzw. Überholvorgängen bei gleichzeitigem Gegenverkehr. Aus den Beobachtungen von Verkehrsabläufen sowie aus darauf basierenden Simulationen musste abgeleitet werden, in welchen Fällen solche potenziell konflikträchtigen Situationen "selten" sind und damit geringere Abmessungen rechtfertigen und wann sie so häufig auftreten, dass die ganze Anlage darauf auszulegen ist. Die Zahl der zu erwartenden Überholvorgänge (ÜV) zwischen Velos hängt von zwei Parametern ab: Der Verkehrsbelastung in Velos/h und der Geschwindigkeitsverteilung.

Im Falle des Radstreifens auf der Schanzenbrücke konnte die Zahl der Überholvorgänge Velo/Velo direkt in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung in Velos/h ausgewertet und der

Simulation gegenübergestellt werden (siehe Abschnitt 7.2.2). Dabei zeigte sich eine tendenziell recht gute Übereinstimmung.

Beim Einrichtungsradweg Tiefenaustrasse (siehe erstes Beispiel Abschnitt 6.1.2) in ebenem Gelände wurde die Geschwindigkeitsverteilung gemessen. Mit Hilfe einer Simulation mit der statistischen Software R konnte für diese Geschwindigkeitsverteilung für unterschiedliche Verkehrsbelastungen die Anzahl der ÜV Velo/Velo berechnet werden. Die Details der Simulation sind im Anhang II beschrieben.

Tab. 14: Einrichtungsradwege: Überholvorgänge in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung

Belastung	Anzahl Überholvorgänge pro Stunde und 100 m	Belastung	Anzahl Überholvorgänge pro Stunde und 100 m
50 Velos/h	0.9	250 Velos/h	23.8
100 Velos/h	3.7	300 Velos/h	34.1
150 Velos/h	8.5	400 Velos/h	60.8
200 Velos/h	15.3	500 Velos/h	95.4

Die Gegenüberstellung mit der beobachteten Zahl von "rund einem ÜV pro Stunde" auf einer Strecke von rund 100 m Länge bei einer durchschnittlichen Belastung von rund 40 Velos/h stimmt mit dem berechneten Wert für 50 Velos/h überein. Für die Dimensionierung des Einrichtungsradweges ist es nun ausschlaggebend, ob die Zahl der zu erwartenden ÜV als selten, gelegentlich oder häufig zu bezeichnen ist.

Aus der Beobachtung, "dass ein ÜV zwischen zwei Radfahrenden beim Verkehrsaufkommen von weniger als 100 Radfahrenden pro Stunde ein sehr seltenes Ereignis ist", wurde die Annahme abgeleitet, dass auf ebenen Einrichtungsradwegen die Zahl der ÜV dann als selten qualifiziert werden kann, wenn sie unter 3 bis 4 pro Stunde auf einer Strecke von 100 m Länge liegt bzw. 30 bis 40 ÜV pro Stunde auf einem Kilometer Länge. Dies bedeutet für einen Velofahrenden, der die Strecke mit der Durchschnittsgeschwindigkeit von 28 km/h befährt, dass er auf der Strecke von 1 km innerhalb der rund 129 Sekunden, die er dafür braucht, mit 1 bis 1,4 ÜV rechnen muss. Dies entspricht einer Verkehrsbelastung von ungefähr 90 bis 105 Velos/h (in einer Richtung). Das Forschungsteam war sich unter Berücksichtigung der durchgeführten Videobeobachtungen einig, dass dieses Niveau als selten bezeichnet werden darf. Zur Abgrenzung zwischen gelegentlich und häufig hat das Forschungsteam die Anzahl der ÜV, die der Velofahrende mit Durchschnittsgeschwindigkeit auf der 1 km langen Strecke miterlebt, auf 8, also im Schnitt alle 125 m, festgelegt. Dies ergibt zurückgerechnet eine Häufigkeit von rund 22 ÜV pro Stunde und 100 m, was einer Verkehrsbelastung von ungefähr 240 Velos/h entspricht.

Bei anderen Geschwindigkeitsverteilungen sieht es etwas anders aus: Legt man bei der gleichen Simulation die Geschwindigkeitsverteilung des Gasbahnweges - einmal aufwärts, einmal abwärts - zugrunde, so ergeben sich folgende Änderungen: Abwärts ändert sich die Zahl der ÜV kaum, aufwärts jedoch vergrößert sie sich um mehr als einen Faktor 3. Dies bedeutet, dass die gleiche Bedingung, dass die Zahl der ÜV, die ein Velofahrender mit einer in der Steigung spürbar tieferen Durchschnittsgeschwindigkeit auf einer 1 km langen Strecke miterlebt, unter 1 bis 1.4 liegen soll, bei Velofahrenden aufwärts schon bei einer Verkehrsbelastung von 35 bis 45 Velos/h erfüllt wird. Die Grenze von 8 ÜV, die ein Velofahrender in der Steigung auf einer 1 km langen Strecke miterlebt, wird bei einer Veloverkehrsdichte von 100 Velos/h erreicht.

Etwas komplizierter ist die Analyse von Zweirichtungsradwegen. Die Zahl der zu erwartenden ÜV in der stärker belasteten Richtung (Annahme: Verteilung auf die Richtungen im Verhältnis 3:2) kann wie oben abgeschätzt werden. Die Länge des Weges, die der ÜV beansprucht, hängt von der Geschwindigkeitsdifferenz der beiden Velos ab. Diese für den ÜV beanspruchte Strecke muss anschliessend mit der entsprechenden Anzahl von entgegengerichteten Velos überlagert werden, um daraus die Häufigkeit der ÜV mit

gleichzeitigem Gegenverkehr abzuleiten. Der Einfluss der Topographie wurde mit Hilfe der unterschiedlichen gemessenen Geschwindigkeitsverteilungen berücksichtigt.

Tab. 15: Zweirichtungsradwege: Überholvorgänge bei Gegenverkehr in ebenem Gelände

Gesamtbelastung	Belastung Richtung 1	Belastung Richtung 2	Anzahl Überholvorgänge bei Gegenverkehr pro 100 m
100 Velos/h	60 Velos/h	40 Velos/h	0.3
150 Velos/h	90 Velos/h	60 Velos/h	1.0
200 Velos/h	120 Velos/h	80 Velos/h	2.4
300 Velos/h	180 Velos/h	120 Velos/h	8.1
400 Velos/h	240 Velos/h	160 Velos/h	19
500 Velos/h	300 Velos/h	200 Velos/h	38

Tab. 16: Zweirichtungsradwege: Überholvorgänge bei Gegenverkehr (Steigungen ca. 4%)

Gesamtbelastung	Belastung Richtung 1	Belastung Richtung 2	Anzahl Überholvorgänge bei Gegenverkehr pro 100 m
100 Velos/h	60 Velos/h	40 Velos/h	0.8
150 Velos/h	90 Velos/h	60 Velos/h	2.7
200 Velos/h	120 Velos/h	80 Velos/h	6.6
300 Velos/h	180 Velos/h	120 Velos/h	22
400 Velos/h	240 Velos/h	160 Velos/h	52
500 Velos/h	300 Velos/h	200 Velos/h	103

Ausgehend von der Tatsache, dass die Geschwindigkeitsdifferenzen bei Überholvorgängen bei Gegenverkehr (ÜV/GV) deutlich grösser ist als bei ÜV in der gleichen Richtung, wurde vom Forschungsteam festgelegt, dass ein solcher Vorgang für einen mit Durchschnittsgeschwindigkeit Velofahrenden weniger als ein Mal pro 2 km vorkommen soll, um noch von einem seltenen Ereignis zu sprechen. Dies bedeutet, dass bei flachen Verhältnissen wird dieser Wert bei rund 170 Velos/h (beide Richtungen), bei Steigungen bei rund 110 Velos/h erreicht. Als häufig wurde ein Wert von über 4 bis 5 ÜV/GV festgelegt, was bedeutet, dass die Grenze zwischen gelegentlich und häufig bei rund 350 Velos/h in ebenem Gelände und bei rund 210 Velos/h in Steigungen um 4% erreicht wird. Basierend auf den bestehenden Normen und Empfehlungen sowie den Erkenntnissen aus unseren Beobachtungen werden in Abhängigkeit der Veloverkehrsbelastung in der Spitzenstunde folgende Richtwerte empfohlen (P.M: Breitenangaben geben die nutzbare Breite wieder, je nach Situation sind Zuschläge bzw. Abzüge gemäss Abschnitt 5.7 erforderlich).

Tab. 17: Vorschlag Abmessungen Radwege ohne Fussverkehr in ebenem Gelände

	Belastung Spitzenstunde	Stufe A	Stufe B
Einrichtungsrادweg (Breite)	< 100 Velos/h	2.00 m	1.50 m
Einrichtungsrادweg (Breite)	ca. 100 - 240 Velos/h	2.25 m	1.75 m
Einrichtungsrادweg (Breite)	> 240 Velos/h	2.50 m	2.00 m
Zweirichtungsrادweg (Breite)	< 170 Velos/h	2.50 m	2.00 m
Zweirichtungsrادweg (Breite)	ca. 170 - 350 Velos/h	2.75 m	2.25 m
Zweirichtungsrادweg (Breite)	> 350 Velos/h	3.00 m	2.50 m
Abstand zur Fahrbahn ausserorts		1.50 m	1.00 m
Abstand zur Fahrbahn innerorts		1.00 m	0.50 m

Tab. 18: Vorschlag Abmessungen Radwege ohne Fussverkehr bei Steigungen > 4%

	Belastung	Stufe A	Stufe B
Einrichtungsrادweg (Breite)<	< 40 Velos/h	2.00 m	1.50 m
Einrichtungsrادweg (Breite)<	ca. 40 - 100 Velos/h	2.25 m	1.75 m
Einrichtungsrادweg (Breite)<	> 100 Velos/h	2.50 m	2.00 m
Zweirichtungsrادweg (Breite)	< 110 Velos/h	2.50 m	2.00 m
Zweirichtungsrادweg (Breite)	ca. 110 - 210 Velos/h	2.75 m	2.25 m
Zweirichtungsrادweg (Breite)	> 210 Velos/h	3.00 m	2.50 m
Abstand zur Fahrbahn ausserorts		1.50 m	1.00 m
Abstand zur Fahrbahn innerorts		1.00 m	0.50 m

6.2 Radwege mit Fussverkehr

6.2.1 Bestehende Normen und Empfehlungen

Der Vergleich verschiedener Empfehlungen zu den Radwegbreiten zeigt folgendes:

Tab. 19: Abmessungen von Radwegen mit Fussverkehr in Normen und Empfehlungen

Radweg	Deutsch. ERA 2010 1)	Österr. RVS 2)	Niederl. CROW	Belgien F. Techn.	Kant. ZH Anlagen	Kant. AG Merkblatt	Kant. BE Anlagen 3)
Normalbreite [m] Einrichtungsr- /Fussweg	...	...		2.00 / 2.80	...	2.50	...
Normalbreite [m] Zweirichtungsr- /Fussweg	> 2.50	...	3.50 - 4.50	3.00 / 3.70	2.75 - 3.00	3.00 - 4.00	...
Minimalmass [m] Zweirichtungsr- /Fussweg	2.50	...	3.00	2.50	2.50	2.50	...

- Keine Unterscheidung zwischen Einrichtungs- und Zweirichtungsrwegen, die hier aufgeführten Werte sind deshalb tendenziell zu tief.
- Keine Unterscheidung zwischen Einrichtungs- und Zweirichtungsrwegen, Bei Neuanlagen von gemischt genutzten Wegen sind Normalbreiten von 3 m und eine Mindestbreiten von 2.5 m anzustreben.
- Keine Unterscheidung zwischen Radwegen mit und ohne Fussgänger

Im Allgemeinen sind die Anforderungen an die Radwegbreite international ähnlich und vergleichbar. Je nach Situation bestehen jedoch teilweise beträchtliche Unterschiede.

Für **Einrichtungsrwege mit Fussverkehr** werden Breitenmasse eher selten definiert. In Belgien unterscheiden sich die Werte, falls Geh- und Radwegbereiche voneinander getrennt sind ($b = 2.80$ m) oder nicht ($b = 2.00$ m). Im ersten Fall kann die Trennung durch eine durchgehende weisse Linie, einen Belagwechsel oder eine physische Trennung vorgenommen werden. Man empfiehlt gegebenenfalls einen zusätzlichen seitlichen Abstand („Zone tampon“, auf Deutsch „Pufferzone“) von 0.80 m z.B. gegenüber parkierten Fahrzeugen.

Bei der **Normalbreite von Zweirichtungsrwegen mit Fussverkehr** sind sich die verschiedenen Quellen ziemlich einig und gehen von 3.00 m aus. Die Abweichungen in Deutschland entstehen aus dem Unterschied zwischen den empfohlenen Breitenmassen gemeinsamer Geh- und Radwege innerorts oder ausserorts. Im ersten Fall sind diese grösser als 2.50 m, abhängig von Fussgänger- und Radverkehrsstärke und die Anwendung der Sicherheitstrennstreifen entspricht der an Einrichtungsrwegen (siehe Kapitel 6.1.1). Eine Trennung durch Markierung oder durch andere Elemente wird nicht vorgenommen. Im zweiten Fall ist eine Breite von 2.50 m empfohlen und die Sicherheitstrennstreifen betragen auf Landstrassen 1.75 m.

Für die getrennte Führung von Geh- und Radwegen werden in Belgien 3.70 m (2.20 m Rad- und 1.50 m Gehweg) empfohlen, ansonsten sind Breiten von 3.00 m vorgesehen.

Bei der **Minimalbreite von Zweirichtungsrwegen mit Fussverkehr** gibt es praktisch keine Unterschiede zwischen den Ländern (2.50 m), einzig in den Niederlanden beträgt dieser Wert 3.00 m. Das Mass von 2.50 m entspricht auch ungefähr den Vorgaben der SN 640 247a (Überführungen für Fuss- und Veloverkehr), in der für stündliche Belastungen zwischen 100 und 500 Verkehrsteilnehmenden eine Verkehrsfläche von 2.70 m Breite gefordert wird.

6.2.2 Erkenntnisse aus Videobeobachtung

Beispiel: Radweg mit Fussverkehr Hasle b.B - Lützelflüh

Anlage: Die Anlage ist mit einem Verbot für Motorwagen und Motorräder (Signal 2.13 gemäss SSV) signalisiert. Rein rechtlich entspricht die Anlage folglich einer unter Kapitel 6.4 beschriebenen Strasse mit Teilfahrverbot. Über die Anlage wird eine Veloroute geführt, zudem wird sie auch von Fussgehenden genutzt. Vom Benutzungsverhalten her entspricht die Anlage daher folglich einem Radweg mit Fussverkehr. Die untersuchte Anlage weist dabei im Normalfall eine Breite von 3.00 Meter auf. Über weite Strecken des Untersuchungsperimeters sind beidseitig keine Hindernisse vorhanden. An einzelnen Stellen bestehen ein- oder beidseitig über kurze Strecken ca. 1.00 Meter hohe Zäune. Zusätzlich ist bei der Brücke Biglenbach zu Beginn des Radwegs bei Hasle b.B. die Fahrbahn durch die Brückenbrüstung seitlich begrenzt. Auf einer Seite der Brücke Biglenbach ist eine markierte Trennlinie vorhanden. Ansonsten gibt es keine Markierungen. Der Weg weist eine minimale Steigung von unter 0.3% auf.

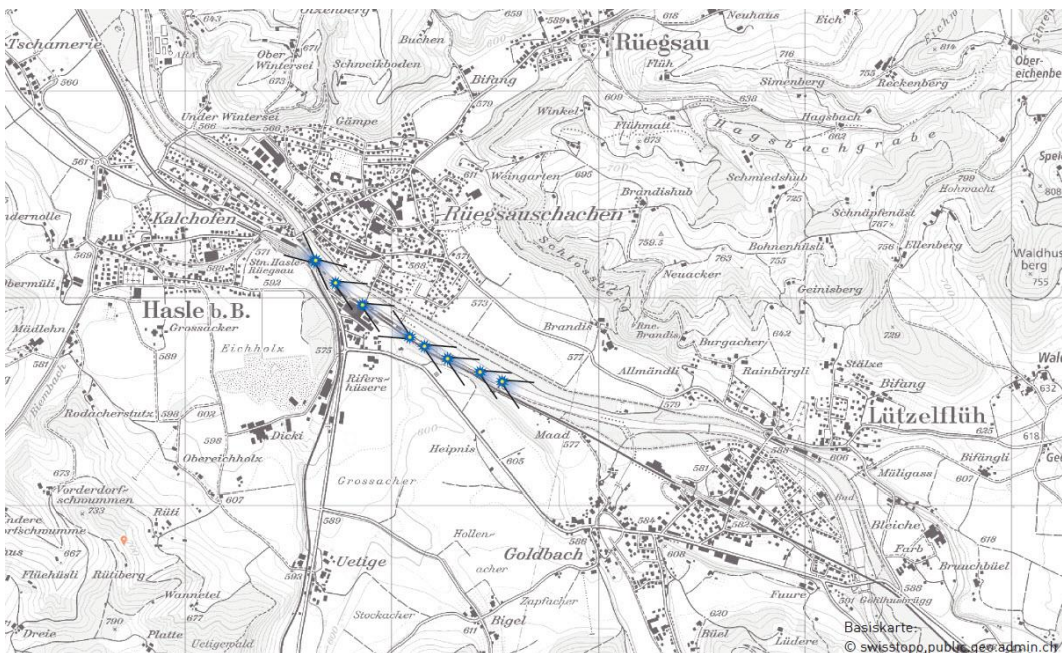


Abb. 36 Kamerastandorte Radweg Hasle b.B. - Lützelflüh



Abb. 37 3.00 Meter breiter Radweg zwischen Hasle b. B. und Lützelflüh

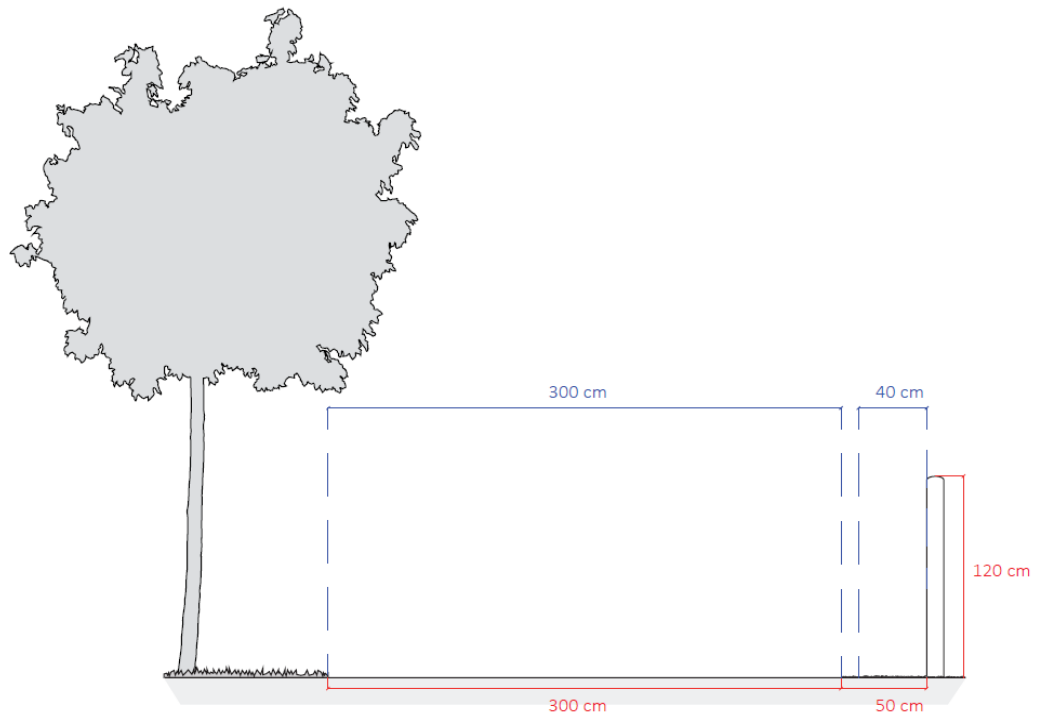


Abb. 38 Querschnitt auf der freien Strecke Radweg zwischen Hasle b. B. und Lützelflüh



Abb. 39 Brücke Biglenbach am nordwestlichen Ende des Radwegs zwischen Hasle b. B. und Lützelflüh

Nutzbare Breite: Im Normalfall sind keine seitlichen Hindernisse vorhanden. Damit beträgt die nutzbare Breite rund 3.20 Meter und liegt damit über der effektiven Breite des Radwegs. Bei zwei vorhandenen Engstellen (Brücke Biglenbach und etwa in der Mitte der Strecke wird die nutzbare Breite durch beidseitige Hindernisse auf rund 2.20 m reduziert.

Verkehrsaufkommen: Am Standort Brücke Biglenbach wurden vom Mittwoch, 3.6.15 bis am Sonntag, 7.6.15 während jeweils 24 Stunden sämtliche Radfahrende erfasst. Die Strecke wurde täglich von 460 bis zu 600 Fahrradfahrenden befahren, der Spitzenstundenwert betrug 53 Velos/h. Zusätzlich waren pro Tag im Schnitt 150 Zufussgehende unterwegs.

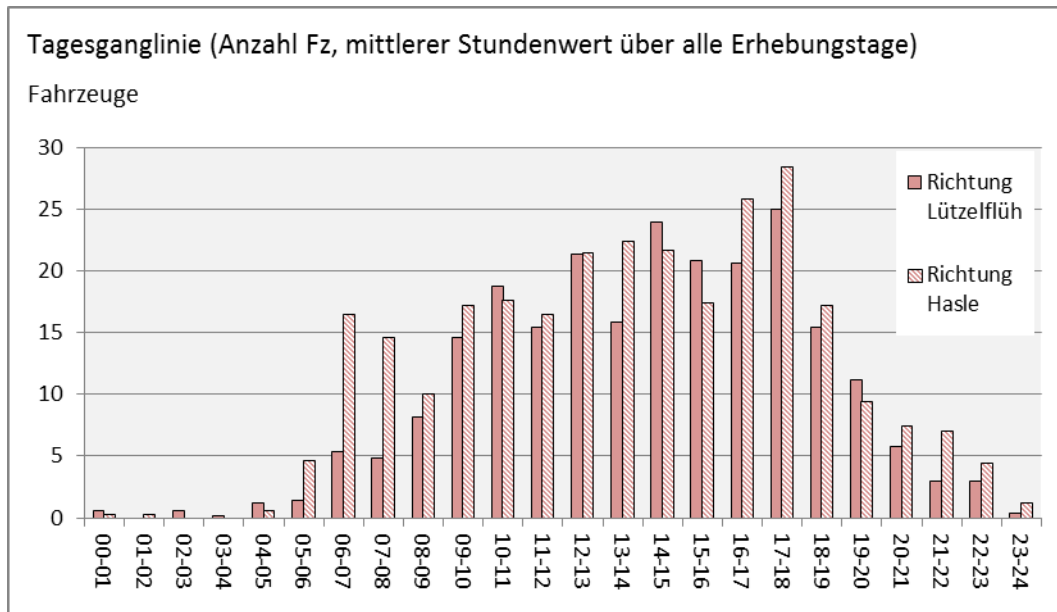


Abb. 40 Verkehrsaufkommen Radweg Hasle b. B. – Lützelflüh

Fahrlinien, Begegnungen und Überholvorgänge: Die beschriebene Frequentierung führt zu zahlreichen Begegnungen zwischen Radfahrenden und Zufussgehende. Allgemein herrscht ein respektvoller Umgang der Verkehrsteilnehmenden miteinander. Die beobachteten Begegnungen liefen dabei alle nahezu konfliktfrei ab. Selbst in dem seltenen Fall, dass während eines Überholvorgangs noch ein weiterer Verkehrsteilnehmer entgegen kommt, ist ein sicheres Überholen möglich. Die Breite von 3.00 Meter ermöglicht auf der freien Strecke ein sicheres Miteinander von Radfahrenden und Zufussgehenden. Der Weg kommt ohne markierte Trennlinie aus. Die Anlage ist so nicht explizit für den Radverkehr markiert, was aus Sicht der Zufussgehenden zu einem Gefühl der Gleichberechtigung führen kann. Einzig dort, wo der Weg seitlich begrenzt ist, wie dies auf der Brücke Biglenbach oder in der Mitte der Strecke der Fall ist, verlagert sich die Fahrlinie in die Mitte der Fahrbahn und es kann zu unkomfortablen Überholvorgängen kommen. Ausserdem konnten bei der Einmündung eines seitlichen Fussweges einige leichte Konflikte beobachtet werden.



Abb. 41 Begegnungsfall zweier Radfahrender und Zufussgehender Radweg Hasle b. B. - Lützelflüh

Erkenntnisse: Die beschriebene Radweganlage, die gleichzeitig von Zufussgehenden genutzt wird, scheint beim beobachteten Verkehrsaufkommen grundsätzlich gut zu funktionieren. Beim beobachteten Fallbeispiel konnten einzig die seitlichen Einflüsse wie die Einmündung eines Weges oder seitliche Hindernisse (Zäune und Brückenbrüstung) die Koexistenz negativ beeinflussen. Allerdings wurden keine schweren Konflikte beobachtet. Die Auswirkungen der seitlichen Einflüsse beeinträchtigten in erster Linie den Komfort, da sie Anpassungen der Geschwindigkeit oder Fahrlinien notwendig machten.

6.2.3 Fazit

Grundsätzlich sollte im Ausserortsbereich - wo ja der primäre Anwendungsbereich von Radwegen liegt - eine Mischung von Velofahrenden und Zufussgehenden (FG) möglich sein. Problematisch kann es bei Massierungen von Spaziergängerinnen und Wanderern - allenfalls noch Skatern - werden. Kriterien für die Abklärung der Eignung einer Anlage für die Mischung von Velofahrenden und Zufussgehenden sind ein sparsamer Umgang mit der beschränkten Ressource Fläche und die Minimierung von Konflikten. Es muss aber angemerkt werden, dass besondere Verhältnisse besondere Massnahmen erfordern (Beispiel Bodenseeradweg mit zeitweise extrem hohem Veloverkehrsaufkommen). Im Innerortsbereich sind kombinierte Rad- und Fusswege in ihrer reinen Form sehr viel seltener. Oft bieten sich als Alternativen Strassen mit Teilfahrverbot oder die Mitbenutzung des Trottoirs an, die in den entsprechenden Abschnitten beschrieben sind. Für alle gemeinsam von Velofahrenden und Zufussgehenden genutzten Flächen sind die möglichen Konflikte zu beachten. Zu diesem Thema bietet die Broschüre von Pro Velo und Fussverkehr zum Thema Fuss- und Veloverkehr auf gemeinsamen Flächen [18] eine Übersicht über geeignete Lösungsansätze.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Verkehrsbelastungen im Veloverkehr sind in Analogie zu den Ausführungen im Abschnitt 6.1.3 zu berücksichtigen. Auf Grund der grossen mit der Simulation gezeigten Auswirkungen der unterschiedlichen Veloverkehrsbelastungen und der Topografie schlagen wir eine Differenzierung nach drei Stufen der Belastung beim Veloverkehr, nach zwei Stufen bei der Fussverkehrsbelastung und für ebene Verhältnisse gegenüber Anlagen in grösseren Steigungen vor. Dabei bedeutet die Qualifikation "selten" bei der Häufigkeit des Fussverkehrs, dass die Frequenz der zu Fuss Gehenden in Längsrichtung unter ca. 40 bis 60 Fussgängern pro Stunde liegt. Da Untersuchungen gezeigt haben, dass rund die Hälfte der Fussgänger alleine geht, die anderen in Gruppen, bedeutet dies, dass etwas weniger als 30 bis 45 Mal pro Stunde Fussgänger auftauchen. (P.M: Breitenangaben geben die nutzbare Breite wieder, je nach Situation sind Zuschläge bzw. Abzüge gemäss Abschnitt 5.7 erforderlich).

Tab. 20: Vorschlag für die Breite von Einrichtungsradwegen mit Fussverkehr in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung

Topografie	Veloverkehrsbelastung Spitzenstunde	Häufigkeit Fussverkehr	Stufe A	Stufe B
Eben	< 100 Velos/h	selten	2.25 m	2.00 m
		nicht selten	2.75 m	2.00 m
	ca. 100 - 240 Velos/h	selten	2.50 m	2.00 m
		nicht selten	3.00 m	2.25 m
	> 240 Velos/h	selten	2.75 m	2.00 m
		nicht selten	Alternativen prüfen	
Steigung > 4%	< 40 Velos/h	selten	2.25 m	2.00 m
		nicht selten	2.75 m	2.00 m
	ca. 40 - 100 Velos/h	selten	2.50 m	2.00 m
		nicht selten	3.00 m	2.25 m
	> 100 Velos/h	selten	2.75 m	2.00 m
		nicht selten	Alternativen prüfen	

Tab. 21: Vorschlag für die Breite von Zweirichtungsrادwegen mit Fussverkehr in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung

Topografie	Veloverkehrsbelastung Spitzenstunde	Häufigkeit Fussverkehr	Stufe A	Stufe B
Eben	< 170 Velos/h	selten	2.75 m	2.50 m
		nicht selten	3.25 m	2.50 m
	ca. 170 - 350 Velos/h	selten	3.00 m	2.25 m
		nicht selten	3.50 m	2.75 m
	> 350 Velos/h	selten	3.25 m	2.50 m
		nicht selten	Alternativen prüfen	
Steigung > 4%	< 110 Velos/h	selten	2.75 m	2.50 m
		nicht selten	3.25 m	2.50 m
	ca. 110 - 210 Velos/h	selten	3.00 m	2.25 m
		nicht selten	3.50 m	2.75 m
	> 210 Velos/h	selten	3.25 m	2.50 m
		nicht selten	Alternativen prüfen	

Der Vergleich der Vorschläge für Radwege mit Fussgängern (Tab. 20 und 21) mit jenen für Radwege ohne Fussverkehr (Tab. 17 und 18) zeigt, dass die Abgrenzungen zwischen geringer, mittlerer und starker Belastung nicht geändert wurden (gleiche Charakteristiken bezüglich Überholvorgänge und allfälligem gleichzeitigen Kreuzen). Die Werte der Stufe B für Einrichtungsrادwege betragen im Minimum 2.00 m, für Zweirichtungsrادwege minimal 2.50 m. Die entsprechenden Werte der Stufe A sind mit wenig Fussverkehr grundsätzlich 25 cm höher als ohne. Sobald die Häufigkeit des Fussverkehrs zunimmt, wird generell ein Zuschlag von 50 cm empfohlen, während bei gleichzeitiger hoher Belastung im Fuss- wie im Veloverkehr die Prüfung von Alternativen empfohlen wird. Ebenso ist zu beachten, dass im Falle von höheren Geschwindigkeiten - sei es wegen grösserer Anteile von schnellen Velos oder wegen Gefällssituationen bei Einrichtungsrادwegen - Zuschläge zur Breite zu prüfen sind.

In Spezialfällen mit sehr hohen Belastungen sind die massgebenden Begegnungsfälle zu ermitteln und die Radwege auf diese Situationen zu dimensionieren.

6.3 Gehwege mit zugelassenem Radverkehr

6.3.1 Bestehende Normen und Empfehlungen

Die Anwendungsbereiche der Zulassung von Velos auf Gehwege sind in einer Broschüre der Schweizerischen Velokonferenz SVK und des Fonds für Verkehrssicherheit FVS [14] anhand von Praxisbeispielen erläutert.

Gehwege für Velos sind nicht freizugeben, wenn die Benutzung der Fahrbahn für Velofahrende grundsätzlich zumutbar ist oder eine gleichwertige alternative Route oder Massnahme zur Verbesserung der Bedingungen besteht (z.B. Radstreifenmarkierung). In einem ersten Schritt soll die Gefährdung für Velofahrende durch den Motorfahrzeugverkehr beurteilt werden. In einem zweiten Schritt sollen die Konflikte auf dem Gehweg aufgezeigt werden. Für die Zulassung von Velos bietet die Broschüre eine Liste von Voraussetzungen bezüglich Fuss- und Veloverkehr. Die letzten zwei Schritte betrachten die Festlegung und Anordnung der erforderlichen flankierenden Massnahmen.

Laut der Richtlinie "Anlagen für den leichten Zweiradverkehr des Kantons Zürich" [11] und die Arbeitshilfe "Anlagen für den Veloverkehr" des Kantons Bern [8], können in begründeten Ausnahmefällen Trottoirs für Velos freigegeben werden, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Massnahme dient primär der Schulwegsicherung.
- Das Trottoir weist wenig Fussgängerverkehr auf.
- Die Sichtverhältnisse bei Ein- und Ausfahrten sind gewährleistet.
- Es ist keine Häufung von Konflikten zu verzeichnen.

Ausserdem ist nach der Broschüre der SVK davon auszugehen, dass Trottoirs mit Zulassung von Velos auf flachen Strecken in beiden Richtungen befahren werden. Ab einer Längsneigung über 2% ist demnach sicherzustellen, dass das Trottoir nur in der ansteigenden Richtung befahren wird. Gemäss Auskunft des Bundesamtes für Strassen darf grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass sich die Signalisation an die auf die Tafel zufahrenden Personen richtet, dass sie also richtungsbezogen ist. In der Praxis wird es sich allerdings nicht vermeiden lassen, dass ortskundige Velofahrende auch in der Gegenrichtung - also allenfalls in der unerwünschten Abwärtsrichtung - das Trottoir benutzen und sich im Recht glauben.

In Deutschland werden gemäss ERA 2010 Gehwege für den Radverkehr mit Zusatzzeichen 1022-10 "Radfahrer frei" freigegeben. Der Radverkehr hat hier die Wahlmöglichkeit zwischen Gehweg- und Fahrbahnbenutzung und hat in besondere Weise auf den Fussgängerverkehr Rücksicht zu nehmen und die Geschwindigkeit an den Fussgängerverkehr anzupassen.

6.3.2 Erkenntnisse aus Videobeobachtung

Als Fallbeispiel konnte die Hardbrücke in Zürich herangezogen werden, welche im Rahmen eines konkreten Projektes im Jahr 2014 untersucht wurde. Schwerpunkt dieser Analyse war das Zusammenspiel zwischen Fuss- und Veloverkehr auf den beidseits der Brücke angeordneten Wegen. Für die Brückenostseite liegen neben qualitativen auch quantitative Aussagen zum Fuss- und Veloverkehr vor. Es bleibt anzumerken, dass dieses Beispiel die oben erwähnten Voraussetzungen nicht erfüllt. Die Resultate der Videobeobachtung können deshalb nur mit Vorbehalt für die Beurteilung des Lösungsansatzes "Gehweg mit zugelassenem Radverkehr" verwendet werden. Das zweite, nicht so ausführlich dokumentierte Beispiel Guisanquai in Zürich kann Hinweise für die Auswirkungen von sinnvoll angebrachten Piktogrammen liefern.

Beispiel 1: Gehweg mit zugelassenem Radverkehr: Hardbrücke, Zürich

Anlage: Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um einen Abschnitt der Hardbrücke in Zürich. Die Hardbrücke ist die wichtigste innerstädtische Nord-Süd-Verbindung. Neben ihrer Bedeutung für den MIV stellt sie im untersuchten Abschnitt auch für den Veloverkehr eine wichtige Achse dar. Bedingt durch den ÖV-Kontenpunkt Bahnhof Hardbrücke wird dieser auch vom Fussverkehr entsprechend stark frequentiert. Die nur in diesem Abschnitt bestehende Anlage des Fuss- und Veloverkehrs ist baulich von der Fahrbahn abgetrennt und als Gehweg mit zugelassenem Radverkehr signalisiert. Zur Verdeutlichung der Führung auf gemeinsamer Fläche sind in regelmässigen Abstand sowohl Fuss- als auch Velopiktogramme markiert. Auf beiden Brückenseiten besteht ein vergleichbares Angebot.

Die Anlage ist in drei Teilabschnitte zu unterteilen, welche jeweils spezifische Eigenschaften aufweisen (die Angaben sowie alle weiteren Aussagen aus der Videobeobachtung beziehen sich auf die Anlage auf der östlichen Brückenseite):

- freie Strecke auf der Brücke (Breite 4.00m, kaum Gefälle, Länge des Abschnitts ca. 180m)
- Rampe (Breite 4.00m, Gefälle 6%, Länge des Abschnitts ca. 90m)
- unmittelbarer Bushaltestellenbereich (Breite bis ca. 6.00m - inkl. Wartebereich Haltestelle, kaum Gefälle, Länge des Abschnitts ca. 30m)



Abb. 42 Zürich, Hardbrücke „freie Strecke“



Abb. 43 Zürich, Hardbrücke "Rampe"

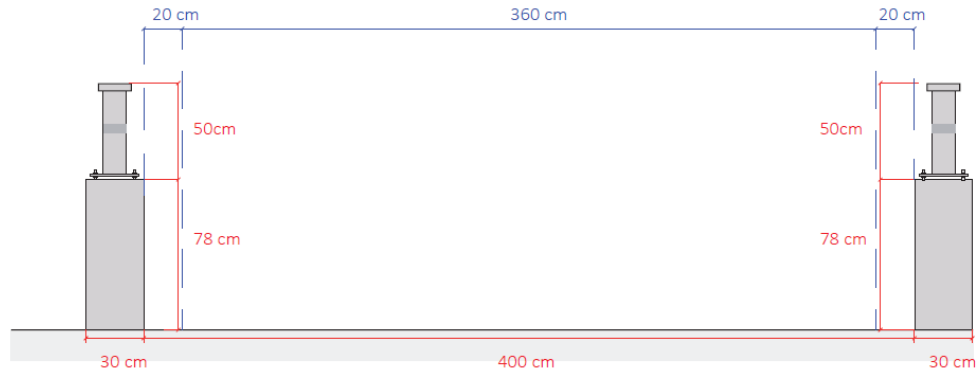


Abb. 44 Querschnitt Zürich, Hardbrücke "Rampe"



Abb. 45 Zürich, Hardbrücke "Haltestellenbereich"

Nutzbare Breite: Die Breite der Anlage beträgt mehrheitlich 4 Meter. Sie wird seitlich zur Straße hin durch ein Trennelement begrenzt, während auf der anderen Seite Velos abgestellt werden. Im Bereich der Rampe wird die Anlage beidseitig durch eine Mauer begrenzt. Dadurch beträgt die nutzbare Breite in diesen Streckenabschnitten jeweils 3,60 m. Auch im Bereich der Haltestelle steht den Velofahrenden gemeinsam mit den zu Fuß Gehenden eine nutzbare Breite von ca. 3,60 m zur Verfügung.

Verkehrsaufkommen: Das Verkehrsaufkommen ist sowohl im Velo- als auch im Fußverkehr relativ hoch und weist insbesondere beim Fußverkehr wegen des Bahnhof Hardbrücke ausgeprägte kurze Spitzen auf. Auf der Brückenseite waren am Erhebungstag während der Spitzenstunde am Morgen über 200 Velos und fast ebenso viele Zufussgehende unterwegs. Aufgrund der hohen Frequentierung kommt es zwangsläufig zu einer Vielzahl von Begegnungen zwischen Velofahrenden und Zufussgehenden.

Geschwindigkeiten: Die Geschwindigkeiten des Veloverkehrs wurden nicht gemessen. Basierend auf der qualitativen Videoanalyse kann von einem insgesamt eher tiefen Geschwindigkeitsniveau ausgegangen werden. Für die Durchfahrt des Haltestellenbereichs müssen Velofahrende ihre Geschwindigkeit zum Teil erheblich reduzieren. Aufgrund der Steigung werden Velos auf der Rampe zum Teil geschoben. Abwärts fahrende Velos sind hingegen vereinzelt schneller als der Situation angemessen unterwegs.

Fahrlinien, Begegnungen und Überholvorgänge: Die Velofahrenden fahren in den Teilabschnitten „freie Strecke“ und „Rampe“ überwiegend in der Mitte der Anlage und passen ihre Fahrlinie bei Begegnungen mit Zufussgehenden oder anderen Velofahren-

den bzw. Überholmanövern entsprechend an. Zufussgehende halten sich in diesen Abschnitten wiederum vorwiegend an den Seiten auf, um den Fahrweg für den Veloverkehr in der Mitte freizuhalten. Im Teilabschnitt „Bushaltestelle“ orientieren sich Velofahrende tendenziell eher am Rand zur Haltekante, um mögliche Konflikte mit wartenden ÖV-Fahrgästen vermeiden zu können. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn sich viele Personen im Haltestellenbereich aufhalten und dabei nur noch ein schmaler Streifen unmittelbar an der Haltekante zur Durchfahrt für Velos freibleibt. Auch in diesem Abschnitt passen Velofahrende ihre Fahrlinie entsprechend an, wenn die Situation dies erfordert. Während des ÖV-Fahrgastwechsels wählen Velofahrende zur Durchfahrt häufig auch den hinteren Wartebereich der Haltestelle.

Im Abschnitten „freie Strecke“ verhalten sich sowohl Velofahrende als auch Fussgänger sehr aufmerksam. Im Falle von Begegnungen weichen Fussgänger den Velofahrenden bewusst aus bzw. fahren Velofahrende überwiegend vorrausschauend und mit angepasster Geschwindigkeit. Somit scheinen auch Begegnungen und Überholmanöver mit geringem Abstand zueinander möglich zu sein. Ähnlich verlaufen zwar auch die Begegnungen und Überholmanöver im Abschnitt „Rampe“. Im Unterschied zum Abschnitt „freie Strecke“ kommt es auf der Rampe aber - bedingt durch die abwärts zum Teil höhere Geschwindigkeit des Veloverkehrs - zu mehr Konflikten zwischen Zufussgehenden und Velofahrenden. Der Bereich der Haltestelle ist gekennzeichnet von zahlreichen Begegnungen zwischen Velofahrenden und ÖV-Fahrgästen. Im Gegensatz zu den anderen Teilabschnitten sind die Zufussgehenden (hier überwiegend wartende sowie ein-/aussteigende Fahrgäste) weniger aufmerksam auf den Veloverkehr, da das Erreichen von Bus bzw. Zug im Vordergrund steht. Hinzu kommt, dass deren Bewegungsrichtung quer zu jener des Veloverkehrs verläuft. Viele Velofahrende verringern bei der Durchfahrt durch den Haltestellenbereich die Geschwindigkeit, aber nur wenige halten an, um den Fahrgastwechsel abzuwarten.

Erkenntnisse: Das Fallbeispiel zeigt, dass Gehwege mit zugelassenem Radverkehr sogar bei hohen Belastungen einigermaßen funktionieren können. Das Zusammenspiel zwischen Zufussgehenden und Velofahrenden auf der freien Strecke ohne seitliche Einflüsse und parallel verlaufender Bewegungslinien funktioniert hier den Umständen entsprechend akzeptabel. Es konnte beobachtet werden, dass Zufussgehende bewusst an den Seiten gehen, um einen Fahrweg für den Veloverkehr freizuhalten. Gleichzeitig führen die Velos überwiegend mit angepasster Geschwindigkeit. Trotz oder gerade wegen des sehr hohen Aufkommens von Zufussgehenden und Velofahrenden (in beiden Richtungen) funktioniert das Miteinander ganz passabel und Konflikte sind selten respektive nicht schwerwiegend. Im Bereich der Rampe traten vor allem bei abwärtsfahrenden Velofahrenden vereinzelt heiklere Konfliktsituationen auf. Das starke Gefälle von 6% und die damit verbundenen teilweise höheren Geschwindigkeiten können problematisch sein.

Mit zunehmenden Quereinflüssen, wie dies im Bereich der Bushaltestelle der Fall ist, treten Konflikte häufiger auf, wobei im konkreten Beispiel das Zusammenspiel trotzdem weitgehend funktioniert. Beeinträchtigt wird die Koexistenz insbesondere während den Zeiten des Fahrgastwechsels. Die Führung von Veloverkehr über den unmittelbaren Wartebereich einer ÖV-Haltestelle ist demzufolge eher zu vermeiden und sollte nur in Ausnahmefällen Anwendung finden.

Beispiel 2: Quaianlage für Fussgänger mit zugelassenem Radverkehr: Guisanquai, Zürich

Am Guisanquai in Zürich waren auf einer breiten, eigentlich für Fussgänger vorgesehenen Quaianlage im Bereich der mit Schwarzbelag versehenen Fläche Velopiktogramme mit Pfeilen angebracht und Zusatztafeln "Velofahrer erlaubt". am Anfang und Ende der Anlage. Dies führte dazu, dass die Velofahrenden, die entlang der Piktogramme mit erheblicher Geschwindigkeit unterwegs waren, die Fussgänger buchstäblich „an den Rand drängten“, wie eine Videoanalyse im Rahmen eines Forschungsprojekts zur Anwendung von Velopiktogrammen [17] zeigte. Deshalb wurde bei jedem Velopiktogramm zusätzlich auf der gleichen Axe ein Fussgängerpiktogramm ergänzt, obschon dies

eigentlich auf einer Fussgängeranlage unnötig scheint. Die erneute Videoanalyse zeigte, dass sich nun ein deutlich besseres „Miteinander“ von Fuss- und Veloverkehr einstellte. Seither werden in der Stadt Zürich bei analogen Situationen grundsätzlich beide Piktogramme hintereinander angebracht.



Abb. 46 Guisanquai, Zürich: Fotos der Anlage im Vorher- und Nachher-Zustand

6.3.3 Fazit

Wie bereits erwähnt, stellt das ausführlich beschriebene Beispiel der Hardbrücke keinen Normalfall eines Trottoirs mit zugelassenem Veloverkehr dar. Es zeigt aber, wie flexibel Fuss- und Radverkehr im Extremfall sein können und dass mit entsprechender gegenseitiger Rücksichtnahme der Ablauf weitgehend konfliktfrei gehalten werden kann. Als Beispiel für den Lösungsansatz "Gehweg mit zugelassenem Radverkehr" ist es aber nicht repräsentativ. Es stellt sich die Frage, ob diese Anlage nicht besser als gemeinsamer Fuss- und Radweg signalisiert werden sollte. Das Beispiel Guisanquai illustriert, wie der Einsatz von Piktogrammen einen Einfluss auf das Miteinander im Verkehr haben kann.

Das Forschungsteam hält die Regelungen in der Broschüre der Schweizerischen Velokonferenz SVK und des Fonds für Verkehrssicherheit FVS [14] für sinnvoll und ausreichend. Es beurteilt die Freigabe des Trottoirs für Velos für die verschiedenen Geschwindigkeitskategorien folgendermassen:

- Tempo 30-Zonen: Grundsätzlich nicht nötig
- Signalisierte Geschwindigkeit 50 (ev. 60) km/h: Geeignet bei hohem Schulverkehr und wenig Veloverkehr; die Detailgestaltung ist an die jeweiligen Verhältnisse anzupassen
- Ausserorts (bis 80 km/h): In Anbetracht der Seltenheit von Trottoirs ausserorts kaum nötig, in Ausnahmefällen ist eine solche Lösung aber nicht ausgeschlossen.

Grundsätzlich sollte ein Trottoir nur in begründeten Fällen für den Veloverkehr freigegeben werden und dies auch nur, wenn dadurch keine erheblichen zusätzlichen Gefahren entstehen. Dies betrifft insbesondere schlecht einsehbare Zufahrten für den motorisierten Verkehr. Falls die Sicht auf diese beispielsweise durch Hecken, die bis an das Trottoir heranreichen, behindert ist oder sie hinter Hausecken verborgen sind, ist die Führung des Veloverkehrs auf dem Trottoir nur vermeintlich sicherer, da insbesondere Schüler oft noch nicht über das nötige Gefahrenbewusstsein verfügen.

6.4 Strassen mit Teilfahrverbot

6.4.1 Bestehende Normen und Empfehlungen

Wie im Kapitel 4.1.4 bereits erläutert, sind Strassen mit Teilfahrverboten in der Regel Strassen und Wege, die vom motorisierten Verkehr nicht oder nur sehr eingeschränkt befahren werden dürfen. Häufig ist die Nutzung der Strasse durch motorisierte Fahrzeuge auf einen sehr überschaubaren Nutzerkreis (z.B. landwirtschaftliche Fahrzeuge, Anwohner, Lieferdienste etc.) beschränkt. Somit steht dem Veloverkehr praktisch eine eigene Anlage zur Verfügung, welche zumeist auch grosszügiger ausgebaut ist als ein üblicher Radweg.

Für dieses spezifische Thema bestehen keinen expliziten Normen oder Empfehlungen.

6.4.2 Erkenntnisse aus Videobeobachtung

Aufgrund der geringen zu erwartenden Erkenntnisse in Bezug auf die Forschungsfragen, erfolgte keine gezielte Untersuchung einer Strasse mit Teilfahrverbot mittels Videobeobachtung.

Das nachfolgende Fallbeispiel einer Strasse mit Teilfahrverbot, für das Videoaufnahmen aus einem konkreten Projekt vorlagen, stellt einen Sonderfall dar. Die Aussagen lassen sich deshalb nicht direkt auf andere Strassen mit Teilfahrverbot übertragen. Das Beispiel ist weniger aufgrund der Signalisation (Verbot für motorisierte Fahrzeuge), sondern wegen der für die Forschung relevanten Erkenntnisse bezüglich des Zusammenspiels zwischen Fuss- und Veloverkehr von Interesse (siehe auch Kapitel 6.2 und 6.3). Es liegen sowohl qualitative als auch quantitative Aussagen zum Fuss- und Veloverkehr vor.

Beispiel: Strasse mit Teilfahrverbot: Scheuchzerstrasse, Zürich

Anlage: Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um eine Kreuzung zweier städtischer Quartierstrassen (Rösli- und Scheuchzerstrasse) in Zürich Oberstrass. Die Durchfahrt der umgestalteten Kreuzung mit Aufenthaltsbereich in der Mitte ist für den motorisierten Verkehr unterbunden. Neben der Signalisation (Verbot für motorisierte Fahrzeuge) wird dies mittels Gestaltung (Randabschlüsse, Poller etc.) verdeutlicht und durchgesetzt. Dem Veloverkehr, für den besonders die Scheuchzerstrasse eine wichtige Alltagsroute darstellt, ist die Durchfahrt hingegen möglich und auch entsprechend stark frequentiert. Im Umfeld der Kreuzung befinden sich zwei Schulhäuser sowie ein Kindergarten. Zu den Zeiten des Schulverkehrs (insbesondere zu Schulbeginn am Morgen) sind deshalb neben vielen Velofahrenden auch zahlreiche Zufussgehende (Kinder) unterwegs.

Der vom Veloverkehr entlang der Route Scheuchzerstrasse zu durchzufahrende Abschnitt der Platzfläche (mit Fahrverbot für motorisierte Fahrzeuge) ist ca. 25m lang und weist im Verlauf der Scheuchzerstrasse kaum Gefälle auf. Die Veloführung wird durch die Platzelemente (Poller, Bepflanzung, etc.) bestimmt, wodurch sich ein Kernbereich für die Velodurchfahrt mit einer Breite von 3.70 m (unterteilt durch einen 10cm breiten Poller in 2x1.80m) definieren lässt.



Abb. 47 Zürich, Rösli-/Scheuchzerstrasse

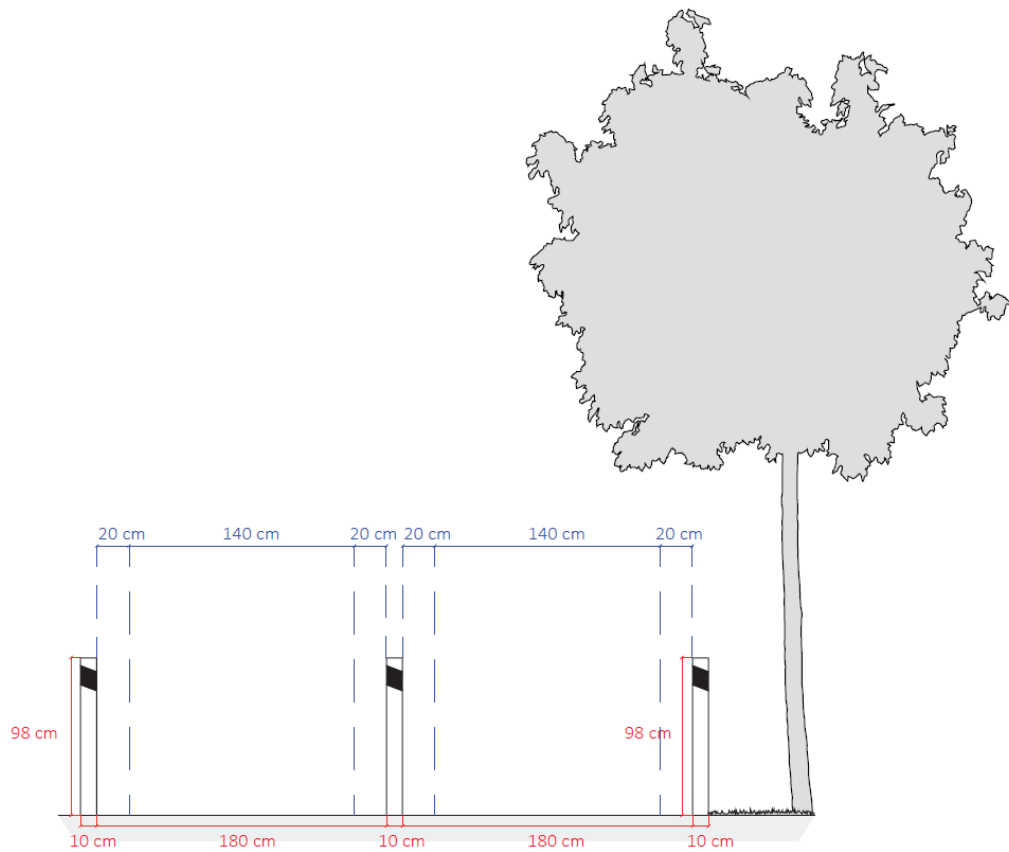


Abb. 48 Querschnitt Zürich, Rösli-/Scheuchzerstrasse

Nutzbare Breite: Durch die regelmässigen Poller mit einem Achsabstand von 1.90 m wird der Veloverkehr im zentralen Bereich auf klaren Linien geführt. Die nutzbare Breite zwischen den einzelnen Pollern beträgt dabei jeweils 1.40 m.

Verkehrsaufkommen: Das Verkehrsaufkommen ist vor allem während der Morgenspitze sowohl im Velo- als auch im Fussverkehr relativ hoch. Zwischen 8 und 9 Uhr am Morgen waren am Erhebungstag ca. 350 Velos und etwa 150 Zufussgehende (hauptsächlich Schulkinder) unterwegs. Aufgrund der hohen Frequentierung kommt es während der Spitzenzeiten zwangsläufig zu zahlreichen Begegnungen zwischen Velofahrenden und Zufussgehenden.

Geschwindigkeiten: Die Geschwindigkeit des Veloverkehrs wurde für 20 Velos stichprobenhaft gemessen. Das Spektrum reichte von 10 km/h bis knapp über 30 km/h.

Fahrlinien, Begegnungen und Überholvorgänge: Die Velofahrenden entlang der Route Scheuchzerstrasse orientieren sich an den vorgegebenen Platzelementen. Sie fahren überwiegend geradlinig über den Platzbereich und passen ihre Fahrlinie bei Begegnungen mit Zufussgehenden oder anderen Velofahrenden bzw. Überholmanövern wenn notwendig an. Zufussgehende, die entlang der Scheuchzerstrasse unterwegs sind, halten sich vorwiegend an den Seiten auf, um nicht die Veloroute queren zu müssen. Einige Zufussgehende (vor allem jene, die entlang der Röslistrasse unterwegs sind), müssen auf dem Platz auch die Veloroute queren.

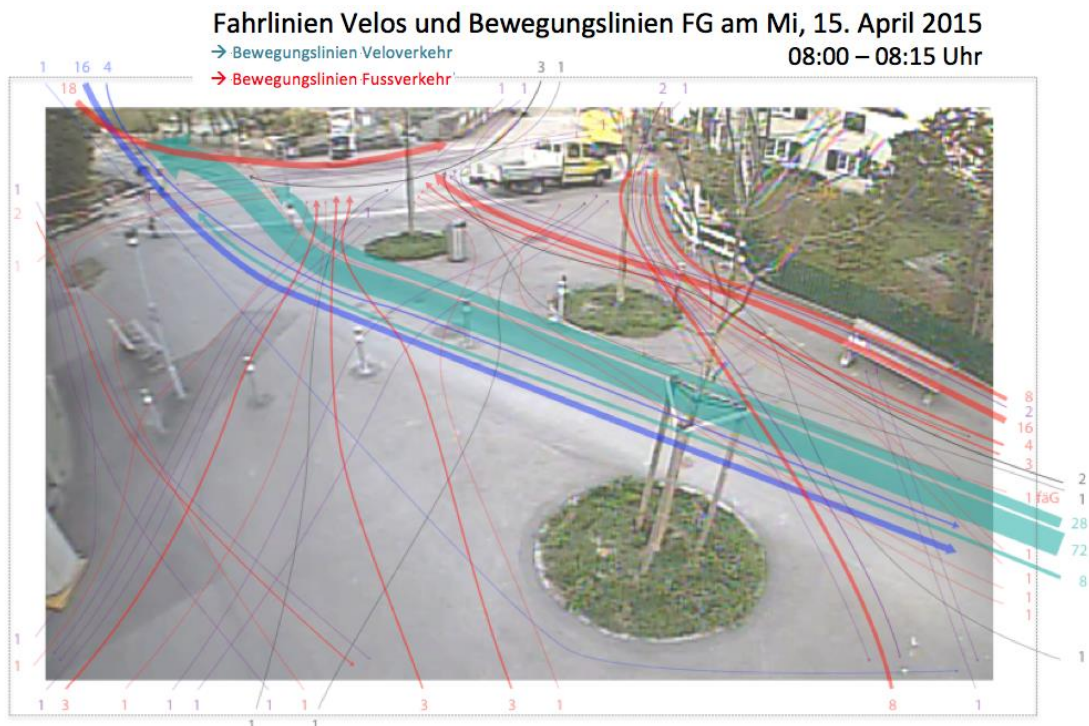


Abb. 49 Fahrlinien Velos und Bewegungslinien Zufussgehende Zürich, Rösli-/Scheuchzerstrasse



Abb. 50 Typische Fahrlinie eines Velos Zürich, Rösli-/Scheuchzerstrasse

Begegnungen und Überholvorgänge von Velofahrenden erfolgen zumeist auf Höhe der Pollerreihe in der Platzmitte und verlaufen auch bedingt durch die Poller in der Regel konfliktfrei. Begegnungen zwischen Zufussgehenden und Velofahrenden sind mehrheitlich ca. 5 m abseits der Pollerreihe zu lokalisieren. Aufgrund der gegenläufigen Bewegungslinien sind Konflikte zwischen Zufussgehenden und Velofahrenden keine Seltenheit, wobei es sich überwiegend um leichte Konflikte handelt.



Abb. 51 Begegnungsfall Velo-Schulkind Zürich, Röslistrasse / Scheuchzerstrasse

Erkenntnisse: Das Fallbeispiel verdeutlicht, dass Veloführungen mit Quereinflüssen ein gewisses Konfliktpotential in sich bergen. Wenn das Veloverkehrsgeschehen, wie im konkreten Fall, gegenüber dem Fussverkehr dominiert, ist das für die Koexistenz eher nachteilig. Auch wenn sich der Grossteil der Velofahrenden überwiegend rücksichtsvoll verhält, nehmen Zufussgehende das Konfliktpotential wahr, was wiederum ihr Sicherheitsempfinden negativ beeinflusst. In so einem Fall erscheint die Hervorhebung der Veloroute eher kontraproduktiv, da dies eine Erhöhung der Geschwindigkeit des Veloverkehrs zur Folge haben könnte. Eher sollte dem Veloverkehr verdeutlicht werden, dass ein von Zufussgehenden frequentierter Bereich durchfahren wird und ein entsprechend rücksichtsvolleres Verhalten geboten ist.

6.4.3 Fazit

Im Gegensatz zum Radweg besteht auf einer Strasse mit Teilfahrverbot keine Benutzungspflicht. Dies erlaubt es, parallel zu einer vom allgemeinen Verkehr benutzten Strasse eine Strasse mit Teilfahrverbot anzulegen, die dem Veloverkehr zur Verfügung steht, die aber nicht obligatorisch von allen Velofahrenden benützt werden muss. Damit können Velofahrende, die sich auf der parallelen Strasse mit Teilfahrverbot vom übrigen dort zugelassenen Verkehr gestört fühlen, auf die vom allgemeinen Verkehr benutzte Strasse ausweichen. Je nach Dichte der zu erwartenden Störungen auf der Strasse mit Teilfahrverbot könnte es sogar angebracht sein, auf der eigentlichen Strasse einen Velostreifen anzuordnen.

Für die Ausgestaltung der Strasse mit Teilfahrverbot ist ausschlaggebend, für wen dieses Verbot gilt. Im Falle eines Fahrverbots für jeglichen motorisierten Verkehr (Signal 2.14) gelten die gleichen Prinzipien wie für Radwege. Da hier theoretisch E-Bikes ausgeschlossen sind, wird die Geschwindigkeitsverteilung homogener sein, was bei gleichbleibender Verkehrsbelastung die Wahrscheinlichkeit von Überholvorgängen bei Gegenverkehr reduziert. Falls andere Benutzer auf der Strasse zugelassen sind (z.B. Anwohner, landwirtschaftlicher Verkehr), sind Art und Häufigkeit der zugelassenen Fahrzeuge in die Überlegungen einzubeziehen. Dabei geht es nicht darum, sehr seltene Fälle für die Dimensionierung zu berücksichtigen (z.B. Benutzung der Strasse durch Mährescher wenige Male pro Jahr), sondern es sind regelmässig auftretende Fälle zu beachten: Wenn beispielsweise auf einem Strassenabschnitt häufig mit Personenwagen zu rechnen ist (z.B. Erschliessungsstrasse für mehr als 5 bis 10 Wohneinheiten), ist der Begegnungsfall PW/Velo massgebend. Wenn häufiger mit Traktoren auf dem Strassenabschnitt zu rechnen ist (mehrmals pro Stunde), ist die Strasse auf den Begegnungsfall Velo/Traktor auszurichten (vgl. auch Wahrscheinlichkeitsabschätzungen zu Einbahnstrassen, Abschnitt 7.3.3).

7 Projektierungselemente Fahrbahnen mit Radverkehr

7.1 Fahrbahnen ohne Radstreifen

7.1.1 Bestehende Normen und Empfehlungen

Die Anforderungen an Gemischtverkehrstrassen aus der Sicht der Velofahrenden wurde im Rahmen der Forschungsarbeit SVI 1999/135 von WAM Partner, Planer und Ingenieure [21] untersucht.

Für Strassen innerorts werden enge Profile bis 6.00 m bei geringen Verkehrsstärken bis 5000 Mfz/Tag und weite Profile von 7.00 – 7.50 m bis zu mittleren Verkehrsstärken von 10000 Mfz/Tag und einen Schwerverkehrsanteil von 6% als grundsätzlich geeignet bezeichnet. In Bezug auf die Begegnung Velo/PW bzw. Velo/LW werden folgende Profile als kritisch beurteilt:

- Fahrbahnbreite zwischen 6 und 7 m
- Fahrbahnbreite zwischen 7.50 und 8.50 m

Im Innerortsbereich kann die Anlage einer Kernfahrbahn geprüft werden. Der entsprechende Anwendungsbereich wurde von uns nicht untersucht, da dazu Empfehlungen existieren. Diese weisen allerdings Streubereiche auf: Im Kanton Bern wird die Anlage von Kernfahrbahnen bei Fahrbahnbreiten zwischen 7.50 und 8.40 m als prüfenswert bezeichnet, im Kanton Zürich bei Fahrbahnbreiten von 7.00 bis 8.00 m, während die Beratungsstelle für Unfallverhütung dies für Fahrbahnbreiten von 7.50 - 8.10 m empfiehlt.

7.1.2 Erkenntnisse aus Videobeobachtung

Beispiel: Fahrbahn ohne Radstreifen: Passwangstrasse, Zwingen BL

Im Rahmen der Sanierung der Passwangstrasse zwischen Zwingen und Brislach wurde die Fahrbahn durchgehend auf 9.00 Meter ausgebaut. Anschliessend wurde beidseitig ein Velostreifen markiert. Nach dem Ausbau der Strasse wurden vor und nach Markierung eines Radstreifens Videodaten erhoben. Anhand dieses Fallbeispiels sollte überprüft werden, wie sich bei genügender Fahrbahnbreite die Überholabstände Motorfahrzeug - Fahrrad mit oder ohne Radstreifen unterscheiden. Die Analyse nach der Markierung des Radstreifens und dem Vergleich zur Vorher-Situation sollen einen Vergleich erlauben (siehe Abschnitt 7.2.2).

Anlage: Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um eine Strasse mit einem Querschnitt von 9.00 Meter. Der Querschnitt ist in zwei 4.50 Meter breite Fahrbahnen, getrennt durch eine Leitlinie, unterteilt. Die Strasse wird beidseitig durch einen 6 cm hohen Randstein abgeschlossen. Es handelt sich um eine Kantonsstrasse, welche mit Tempo 60 signalisiert ist. Im untersuchten Bereich weist die Strasse in Fahrrichtung Süden eine durchschnittliche Steigung von rund 1.5% auf.

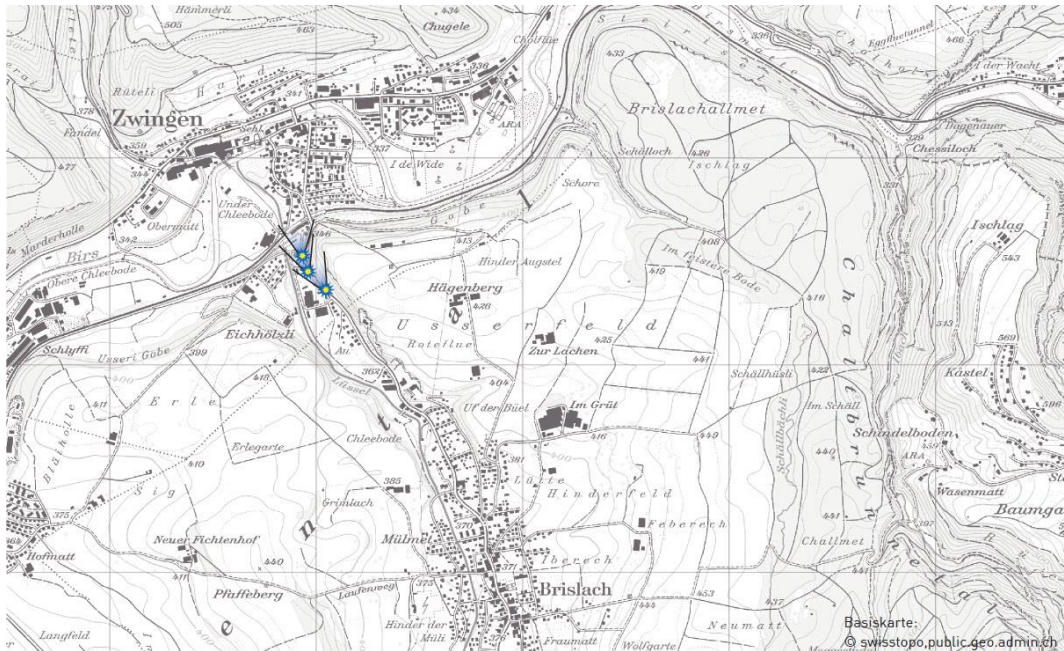


Abb. 52 Kamerastandorte Zwingen, Passwangstrasse

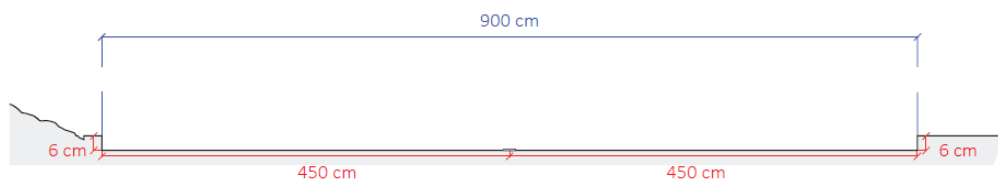


Abb. 53 Querschnitt Zwingen, Passwangstrasse ohne Radstreifen

Nutzbare Breite: Seitlich der Strasse befinden sich keine grösseren Hindernisse welche die nutzbare Breite beeinflussen. Die Randsteine von 6 cm Anschlag führen nicht zu einer Reduktion der nutzbaren Breite.

Verkehrsaufkommen: An einem Werktag (Donnerstag, 28.05.2015) von 7:00 bis 21:00 Uhr befuhren in beide Richtungen insgesamt gut 8000 Motorfahrzeuge die Strasse. Im selben Zeitraum wurden 132 Fahrräder beobachtet. 70 davon fuhren Richtung Süden, 62 Richtung Norden.

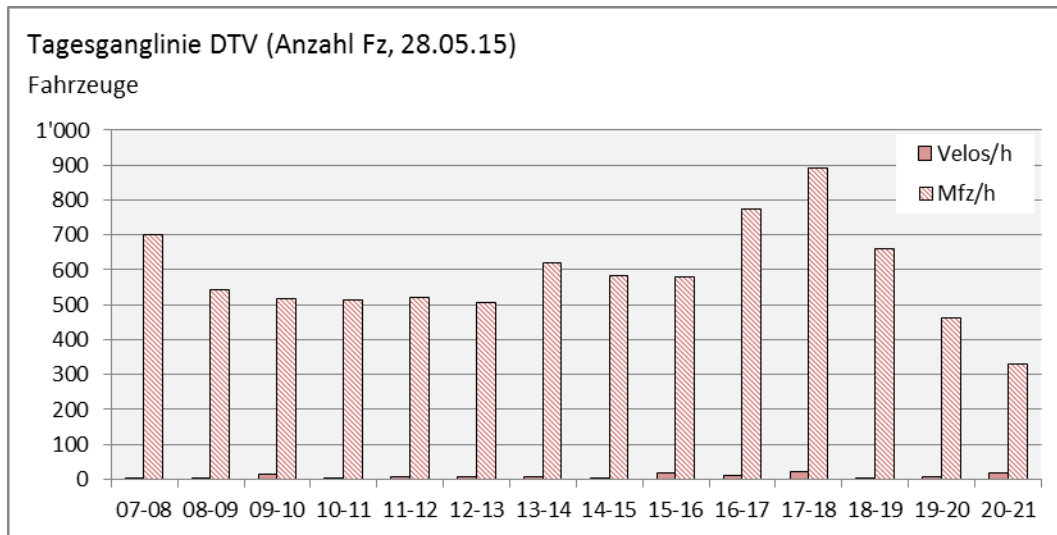


Abb. 54 Verkehrsaufkommen Zwingen, Passwangstrasse

Geschwindigkeiten: Die gefahrenen Geschwindigkeiten wurden nicht gemessen.

Fahrlinien und Überholvorgänge: Vor der Markierung des Radstreifens fuhren Motorfahrzeuge - solange sich keine Velos auf der Strasse befanden - tendenziell zwischen Fahrbahnrand und Mittelstreifen, also in Fahrbahnmitte. Die Fahrlinie der Velos orientierte sich am Fahrbahnrand.

Die beobachteten Überholmanöver von Motorfahrzeugen gegenüber Radfahrenden wurden alle als ungefährlich eingestuft. Es konnte fast ausnahmslos ein sehr bewusster Überholvorgang festgestellt werden. Die Fahrlinie der Motorfahrzeuge beschreibt dabei immer einen beachtlichen Bogen um die Radfahrenden. Ohne Gegenverkehr wurde dabei die Leitlinie oft überfahren. Bei Gegenverkehr orientierten sich die Motorfahrzeuglenkenden normalerweise am Mittelstreifen. Allerdings konnte vereinzelt beobachtet werden, dass die Motorfahrzeuglenkenden relativ spät vor dem Überholvorgang zur Mitte auswichen und/oder kurz nach dem Überholvorgang wieder nach rechts hielten. Das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden kann dadurch beeinträchtigt werden. Einzelne Überholabstände wurden gemessen. Gemessen wurde der Abstand zwischen der Achse der Velos und dem Aussenrand der Kfz- Fahrgastzelle, da diese Bezugspunkte in der Videoanalyse optisch erkannt und ausgewertet werden können. Die gemessenen Abstände während des Überholvorgangs zwischen Autos und Velos lagen zwischen 154 und 286 cm.



Abb. 55 Typische Fahrlinie von Motorfahrzeugen ohne Radstreifen ohne Überholvorgang Zwingen, Passwangstrasse



Abb. 56 Überholvorgang ohne Radstreifen Zwingen, Passwangstrasse

Erkenntnisse: Die untersuchte Anlage mit einer Fahrbahn von 4.50 m Breite hat gezeigt, dass bei einer Anlage dieser Ausmasse Radfahrende auch ohne Radstreifen meist in einem angemessenen Abstand überholt werden. Die beobachteten Überholabstände waren ohne Radstreifen sogar leicht höher als die späteren Beobachtungen mit Radstreifen. Allerdings scheint die Markierung eines Radstreifens, wie im nachfolgenden Kapitel beschrieben, dennoch sinnvoll, da dieser zumindest für die Erhöhung des subjektiven Sicherheitsempfindens beiträgt.

7.1.3 Fazit

Es gibt keinen Grund, der es nahelegen würde, die Erkenntnisse aus der Forschungsarbeit SVI 1999/135 in Frage zu stellen. Die oben beschriebene Videobeobachtung hat dies für eine Gesamtstrassenbreite von 8.80 m belegt. Es stellt sich allerdings die Frage, ob die grösseren Abmessungen der Fahrzeuge (breitere Autos gemäss Entwurf SN 640 201 [2]: 1.85 m statt 1.80 m, breitere Velos gemäss Abschnitt 5.2 dieses Berichtes) einen Einfluss auf die konkreten Masse aus dem erwähnten Bericht haben. Dies kann ohne weitergehende detaillierte Untersuchungen weder bestätigt noch verneint werden. In dieser Beziehung besteht weiterer Forschungsbedarf.

7.2 Fahrbahnen mit Radstreifen

7.2.1 Bestehende Normen und Empfehlungen

Der Vergleich verschiedener Empfehlungen zu den Radstreifenbreiten zeigt folgendes:

Tab. 22: Abmessungen von Radstreifen in Normen und Empfehlungen

Radstreifen	Deutsch. ERA 2010	Österr. RVS	Niederl. CROW	Belgien F. Techn.	Kant. ZH Anlagen	Kant. AG Merkblatt	Kant. BE Anlagen
Normalbreite [m]	1.85 *	1.50 (V85< 50km/h)	1.85*	1.50*	1.50	1.50	1.50 – 1.80
		1.75 (V85> 50km/h)					
Minimalmass [m]		1.25 (V85< 50km/h)		1.30*	1.25	1.25	1.20-1.75
		1.50 (V85> 50km/h)					
Normalbreite [m] bei Längsparkierung	2.35 - 2.60*	1.75 (V85< 50km/h)	2.10*	2.10*	2.25	> 1.70	2.00
		2.25 (V85> 50km/h)					
Minimalmass [m] bei Längsparkierung		1.50 (V85< 50km/h)		1.70*	2.00	> 1.70	1.80
		2.00 (V85> 50km/h)					

*einschliesslich Markierung

Die Anforderungen an die Radstreifenbreite sind international ähnlich und vergleichbar. Am differenziertesten sind die Werte aus Österreich, weil hier die Radstreifenbreite von der Geschwindigkeit des Motorfahrzeugverkehrs abhängig ist.

Die Arbeitshilfe "Anlagen für den Veloverkehr" des Kantons Bern gibt für die Dimensionierung von Radstreifen "Normal-, Über- und Minderbreiten" an und unterscheidet zusätzlich nach innerorts, ausserorts und zwischen Fahrstreifen für den motorisierten Verkehr. Im Kanton Aargau werden die Abmessungen in Abhängigkeit der gesamten Fahrbahnbreite und der Steigung abgestuft.

7.2.2 Erkenntnisse aus Videobeobachtung

Es wurden insgesamt vier Fallbeispiele von Fahrbahnen mit Radstreifen untersucht. An den einzelnen Fallbeispielen wurde nebst qualitativen Analysen jeweils versucht, pro Anlage spezifische Fragestellungen zu beantworten. Am Fallbeispiel Zwingen, Passwangstrasse sollten mit dem Vergleich zur Vorhersituation ohne Radstreifen die Effekte der Markierung eines Radstreifen überprüft werden. Am Fallbeispiel Bern, Schanzenstrasse war ein besonders hohes Verkehrsaufkommen von Radfahrenden zu erwarten. Hier interessierten insbesondere die gefahrenen Geschwindigkeiten, sowie die Überholmanöver zwischen Fahrradfahrenden. Das Fallbeispiel Bern, Tiefenaustrasse repräsentiert eine Anlage ohne Steigung. Am Fallbeispiel Ittigen, Papiermühlestrasse wurde zusätzlich untersucht, mit welcher Anzahl von Überholvorgängen gerechnet werden muss.

Beispiel 1: Fahrbahn mit Radstreifen: Passwangstrasse, Zwingen BL

Anlage: Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um den gleichen Strassenabschnitt wie in Kapitel 7.1.2. Der Gesamtquerschnitt von 9.00 m wurde nun aber durch die Markierung von beidseitigen Radstreifen in zwei 3.00 m breite Fahrspuren für den motorisierten Verkehr, getrennt durch eine Leitlinie und je einen 1.50 m breiten Radstreifen unterteilt. Es gilt weiterhin Tempo 60.

Die Aufnahmestandorte sind die selben, wie während der Aufnahmen der Anlage ohne markierte Radstreifen (siehe Abb. 52).

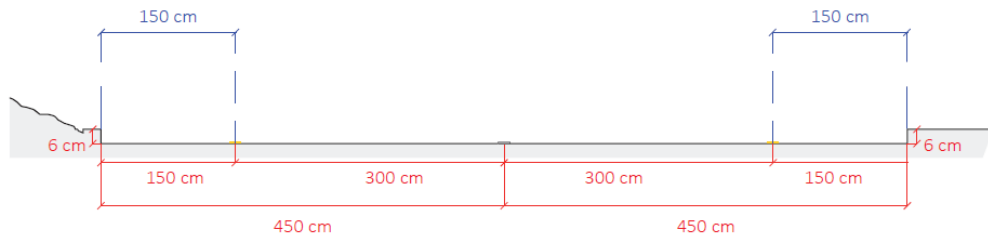


Abb. 57 Querschnitt Zwingen, Passwangstrasse mit Radstreifen

Nutzbare Breite: Der Randstein von 6 cm Anschlag führt nicht zu einer Reduktion der nutzbaren Breite des Radstreifens von 1.50 Meter.

Verkehrsaufkommen: Das Verkehrsaufkommen wurde nach der Markierung des Radstreifens nicht erneut erhoben. Es ist anzunehmen, dass sich das Verkehrsaufkommen gegenüber den früher erhobenen Daten nicht wesentlich verändert hat (siehe Abb. 54).

Geschwindigkeiten: Die gefahrenen Geschwindigkeiten von Radfahrenden oder Motorfahrzeugen wurden nicht ermittelt.

Fahrlinien und Überholvorgänge: Mit markiertem Radstreifen fahren Motorfahrzeuge ohne Veloverkehr in der Regel zwischen Radstreifen und Mittelstreifen, folglich weiter entfernt vom Fahrbahnrand als ohne Markierung (siehe Abb. 58). Die Fahrlinie der Fahrradfahrenden hat sich hingegen nicht verändert. Diese fahren im Normalfall in einem vergleichbaren Abstand zum Fahrbahnrand wie ohne Markierung des Radstreifens.



Abb. 58 Typische Fahrlinie von Motorfahrzeugen mit Radstreifen ohne Überholvorgang Zwingen, Passwangstrasse

Die beobachteten Überholmanöver von Motorfahrzeugen gegenüber Radfahrenden wurden alle als ungefährlich eingestuft. Obwohl beide Verkehrsteilnehmende eine zugewiesene Fahrspur befahren, konnte nach wie vor meistens ein bewusster Überholvorgang festgestellt werden. Die beobachtete Veränderung der Fahrlinien von Motorfahrzeugen führte bei Überholvorgängen zu einem kleineren Bogen als bei den Überholvorgängen ohne Radstreifen. Es wurden einzelne Überholabstände gemessen (Abstand zwischen der Achse der Velos und dem Aussenrand der Kfz- Fahrgastzelle). Die gemessenen Abstände während des Überholvorgangs zwischen Motorfahrzeugen und Fahrrädern waren mit markiertem Radstreifen tendenziell ein wenig kleiner. Es wurden Überholabstände zwischen 127 – 202 cm beobachtet.



Abb. 59 Überholvorgang mit Radstreifen Zwingen, Passwangstrasse

Erkenntnisse: Eine Anlage mit einem 1.50 m breiten Radstreifen und einer angrenzenden Fahrbahn für den motorisierten Verkehr von 3.00 m scheint bei einem geringen Veloaufkommen ausreichend zu sein. Als Effekte des markierten Radstreifens konnte eine Verlagerung der Fahrlinien von Motorfahrzeugen weiter in Richtung Leitlinie festgestellt werden. Dadurch entstehen während eines Überholvorgangs „sanftere“ Überholkurven gegenüber der Anlage ohne Radstreifen. Das subjektive Sicherheitsgefühl der Radfahrenden scheint dadurch zu steigen.

Beispiel 2: Fahrbahn mit Radstreifen: Schanzenstrasse, Bern

Anlage: Die untersuchte Anlage Schanzenstrasse in Bern verbindet den Hirschengraben und das Quartier Länggasse mit einer Brücke über die Gleisanlagen. Es wurden Videoaufnahmen an insgesamt 9 Standorten durchgeführt. Die Anlage lässt sich dabei in drei verschiedenen Abschnitte unterteilen. Im unteren Bereich der Schanzenstrasse wurden aufwärts Überholmanöver zwischen Fahrrädern sowie zwischen Motorfahrzeugen und Fahrrädern untersucht. In diesem Bereich (siehe Abb. 61) beträgt die Gesamtbreite der aufwärts führenden Fahrbahn 4.55 m. Diese wird gegenüber der abwärts führenden Fahrbahn durch eine Sicherheitslinie abgegrenzt. Die aufwärts führende Fahrbahn wird unterteilt in einen 1.60 m breiten Radstreifen und eine 2.95 m breite Spur für den Motorfahrzeugverkehr. Im oberen Bereich der Schanzenstrasse wurden sowohl aufwärts wie abwärts die gefahrenen Geschwindigkeiten von Radfahrern ermittelt. Die Abmessungen der Anlage in diesem Bereich sind in Abb. 62 dargestellt.

Die Schanzenstrasse weist im gesamten untersuchten Bereich eine Steigung respektive ein Gefälle von etwa 5.6% auf. Signalisiert ist Tempo 50.

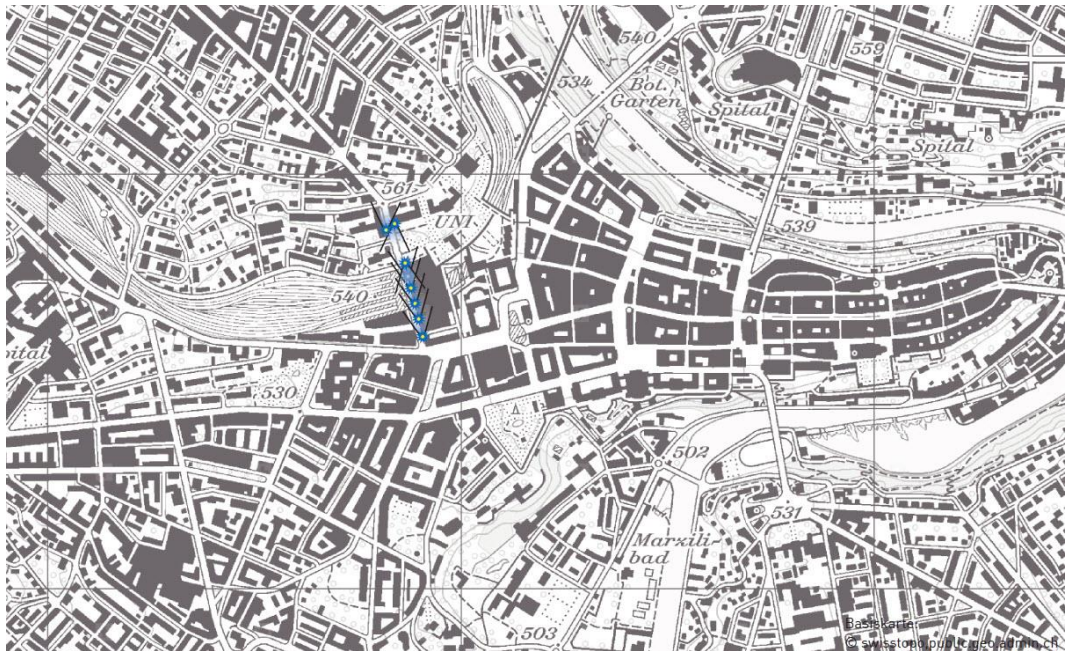


Abb. 60 Kamerastandorte Bern, Schanzenstrasse

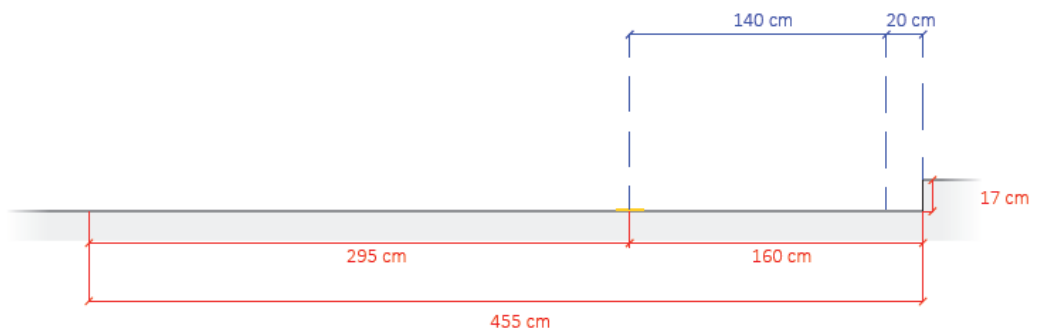


Abb. 61 Querschnitt Bern, Schanzenstrasse unterer Bereich, aufwärts

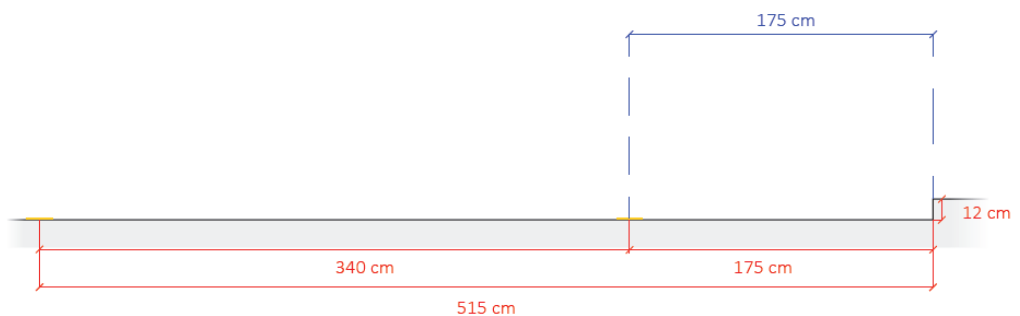


Abb. 62 Querschnitt Bern, Schanzenstrasse oberer Bereich, aufwärts

Nutzbare Breite: Für den aufwärts führenden Radstreifen beträgt die nutzbare Breite im unteren Bereich der Schanzenstrasse 1.40 m (Reduktion wegen des hohen Randabchlusses) und im oberen Bereich 1.75 m. Abwärts werden die Velofahrenden gemeinsam mit dem Bus auf einem Fahrstreifen von 3.20 m Breite geführt.

Verkehrsaufkommen: Auf der Schanzenstrasse herrscht sehr reger Veloverkehr. Das Verkehrsaufkommen wurde allerdings quantitativ nur in Zusammenhang mit der Beobachtung der Überholvorgänge in 10-Minuten-Perioden erhoben (siehe Abschnitt 7.2.3).

Geschwindigkeiten: Am oberen Abschnitt der Schanzenstrasse wurden die Geschwindigkeiten von insgesamt 200 Fahrradfahrenden (davon 100 aufwärts und 100 abwärts) ermittelt. Die Ergebnisse sind in den folgenden Grafiken (Abb. 63 und Abb. 64) dargestellt. Das Geschwindigkeitsniveau ist aufwärts massiv tiefer als abwärts: Die mittleren Geschwindigkeiten liegen abwärts mehr als doppelt so hoch wie aufwärts. Schnellere, aufwärts fahrende Velos waren in erster Linie E-Bikes. Der höchste Wert lag bei 42.6 km/h und wurde abwärts bei einem E-Bike gemessen. Insgesamt variieren die Geschwindigkeiten aufwärts deutlicher als abwärts. Das Verhältnis zwischen v_{85} und v_{15} liegt aufwärts bei 1.8, abwärts bei 1.4, die Extremwerte streuen noch viel stärker.

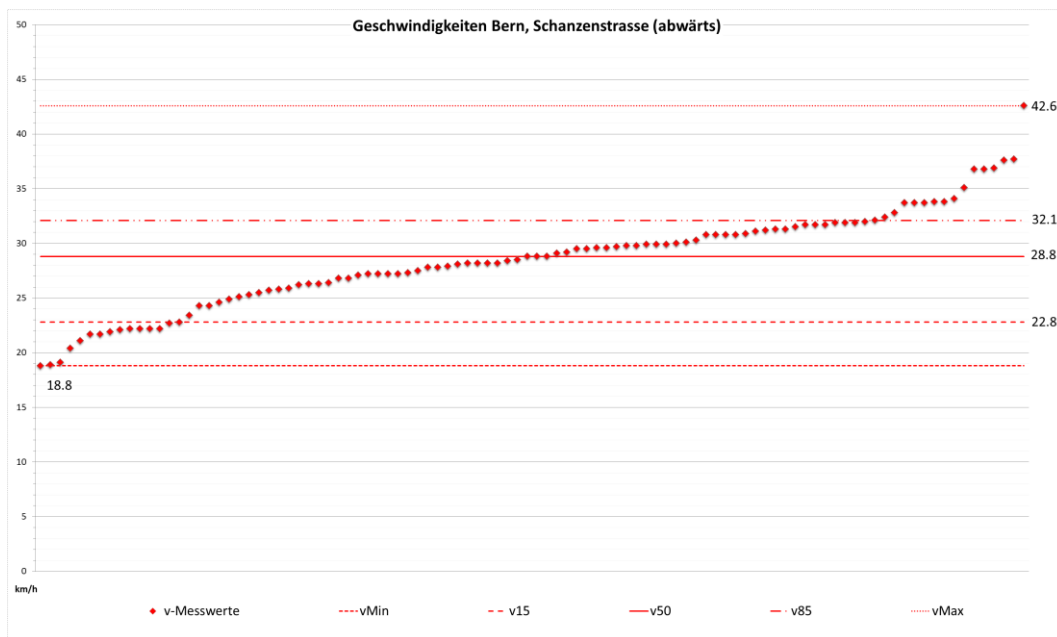


Abb. 63 Geschwindigkeiten Radfahrende (Bern, Schanzenstrasse) abwärts

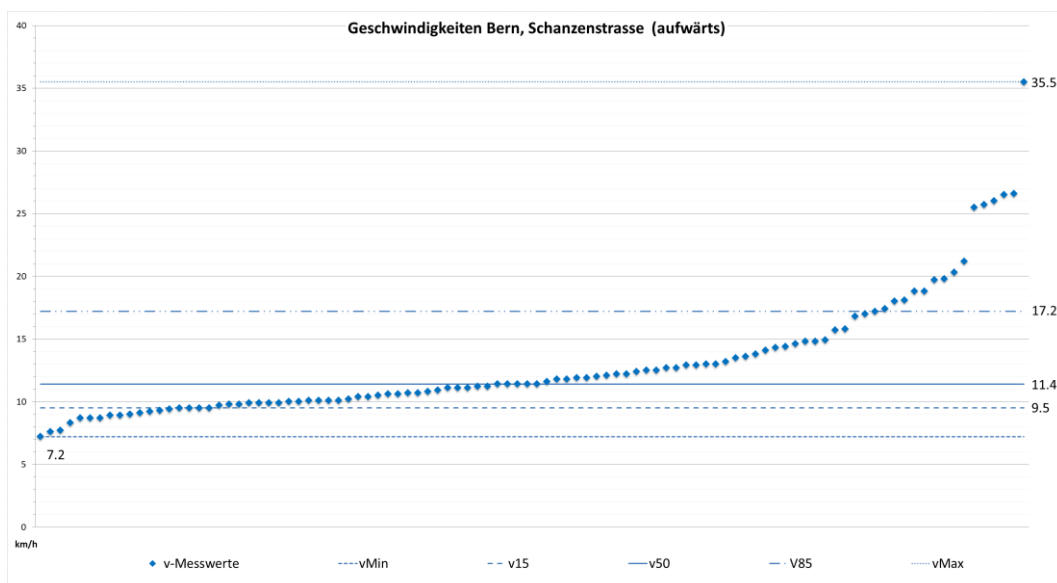


Abb. 64 Geschwindigkeiten Radfahrende (Bern, Schanzenstrasse) aufwärts

Fahrlinien und Überholvorgänge: Die aufwärts beobachteten Überholvorgänge sowohl zwischen Motorfahrzeugen und Fahrrädern wie zwischen zwei Fahrrädern verliefen weitgehend konfliktfrei. Konflikte konnten allerdings festgestellt werden, wenn gleichzeitig mit einem Überholvorgang zwischen zwei Radfahrenden ein Motorfahrzeug überholen möchte. Dies kann zu kritischen Situationen mit zum Teil knappen, unkomfortablen Überholabständen führen, weil das überholende Fahrrad während des Überholvorgangs den Radstreifen normalerweise verlassen muss. Insbesondere durch die topographischen Verhältnisse ist die Bereitschaft der Radfahrenden gering, die Fahrt zu verlangsamen und für das Überholen den geeigneten Moment abzuwarten. Die wahrscheinlich zum Teil unerwartet hohe Geschwindigkeit einiger E-Bikes aufwärts kann ausserdem zum Teil zu Fehleinschätzungen anderer Verkehrsteilnehmenden führen.

Es wurde festgestellt, dass der Abstand des Radfahrenden zum Trottoir Auswirkungen auf die beobachtbaren Reaktionen hat. Ist der Abstand klein, vermag auch ein sonst angemessener Abstand des überholenden Fahrzeugs für den Radfahrenden als knapp wirken. Es konnten mehrmals entsprechende Reaktionen in Form von Lenkbewegungen oder Kopfdrehen festgestellt werden. Ist hingegen der Abstand Radfahrende-Trottoir gross, kann das Fahrzeug auch mit kleinerem Abstand passieren, ohne dass der Radfahrende merklich reagiert. Allerdings wäre noch zu prüfen, ob dies die direkte Auswirkung des Abstands ist, oder ob ungeübte Radfahrende grundsätzlich näher am Trottoir fahren.

Nebst der qualitativen Analyse wurden insgesamt 50 Überholvorgänge von Radfahrenden sowie 50 Überholvorgänge von Motorfahrzeugen gegenüber Radfahrenden ausgemessen. Bei der Abstandsmessung wurde sowohl der Abstand der zwei Fahrzeuge (zwischen Achse Fahrrad und Aussenrand des Motorfahrzeugs bzw. zwischen den Achsen der beiden Fahrräder) gemessen als auch der Abstand vom Fahrrad zum Fahrbahnrand. Zwischen Fahrrädern wurde ein durchschnittlicher Überholabstand von 133 cm gemessen, wobei der kleinste Abstand 73 cm und der grösste 208 cm betrug. Zwischen Motorfahrzeugen und Fahrrädern wurde ein durchschnittlicher Überholabstand von 168 cm gemessen, wobei der kleinste Abstand 114 cm und der grösste 227 cm betrug. Das zu überholende Fahrrad fährt dabei während des Überholvorgangs im Mittel 78 cm vom Fahrbahnrand entfernt. Der Abstand variiert allerdings beträchtlich zwischen minimal 26 cm und maximal 203 cm.



Abb. 65 Überholvorgang zwischen Radfahrenden Bern, Schanzenstrasse



Abb. 66 Überholvorgang zwischen Motorfahrzeug und Fahrrad Bern, Schanzenstrasse



Abb. 67 Überholvorgang zwischen Radfahrenden mit gleichzeitigem Überholvorgang eines Motorfahrzeugs Bern, Schanzenstrasse

Erkenntnisse: Aufgrund der Topographie kommt es zu grossen Differenzen bei den Geschwindigkeiten vor allem aufwärts fahrender Fahrräder. In Verbindung mit dem hohen Aufkommen von Fahrrädern kommt es zu zahlreichen Überholvorgängen zwischen Radfahrenden. Ein Überholvorgang zwischen zwei Fahrrädern ist im Normalfall bei der gegebenen Breite nicht innerhalb des Radstreifens möglich. Viele Radfahrende überholen andere Radfahrende ohne ausreichende Beachtung des nachfolgenden Verkehrs. Dadurch führt im konkreten Fall praktisch jeder Überholvorgang zwischen zwei Fahrrädern, falls zusätzlich ein Motorfahrzeug folgt, zu einer Konfliktsituation, die in der Regel ein zusätzliches Ausweichen des nachfolgenden Autos beim Überholen oder ein Verlangsamten bedingt.

Beispiel 3: Fahrbahn mit Radstreifen: Tiefenaustrasse, Bern

Anlage: Die untersuchte Anlage befindet sich unmittelbar im Anschluss an den in Abschnitt 6.1.2 beschriebenen Radweg Bern, Tiefenaustrasse, wo die Radfahrenden gut 100 m vorher wieder zurück auf die Fahrbahn geführt werden. Der Gesamtquerschnitt für die Anlage beträgt pro Richtung 5.00 m, wobei der Radstreifen 1.50 m und die Fahrbahn 3.50 m misst. Die Fahrbahn für die Gegenrichtung ist durch einen begrünten Mittelbereich abgetrennt. Beidseitig wird der Querschnitt durch einen 3 cm hohen Randabschluss abgeschlossen. Die zugelassene Höchstgeschwindigkeit beträgt 60km/h. Die Strasse weist im untersuchten Bereich kein nennenswertes Gefälle auf.

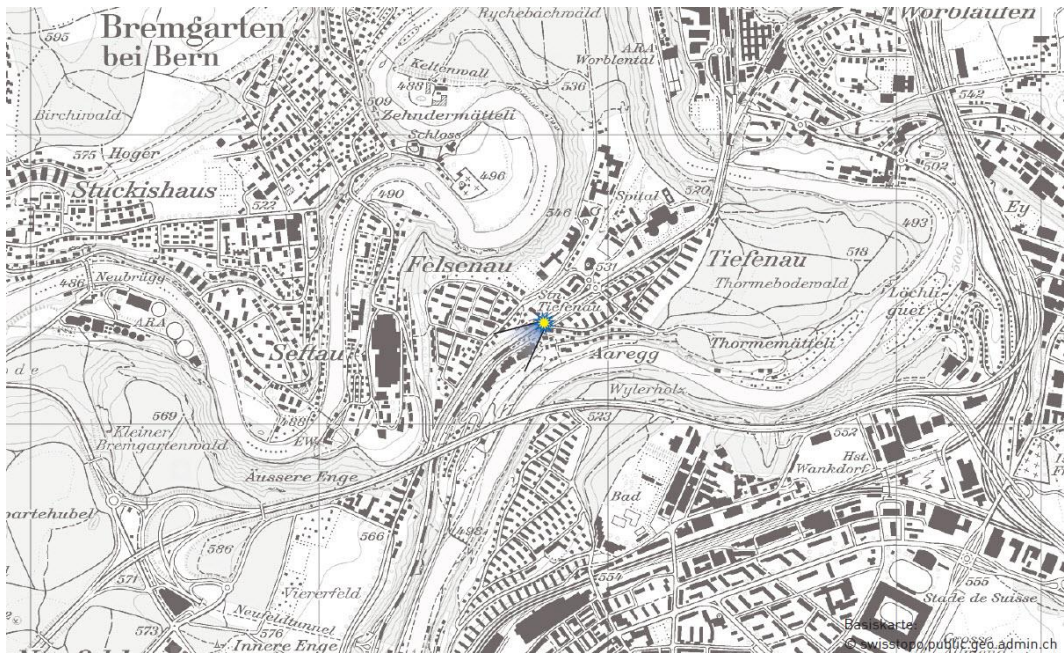


Abb. 68 Kamerastandort Bern, Tiefenauestrasse Radstreifen

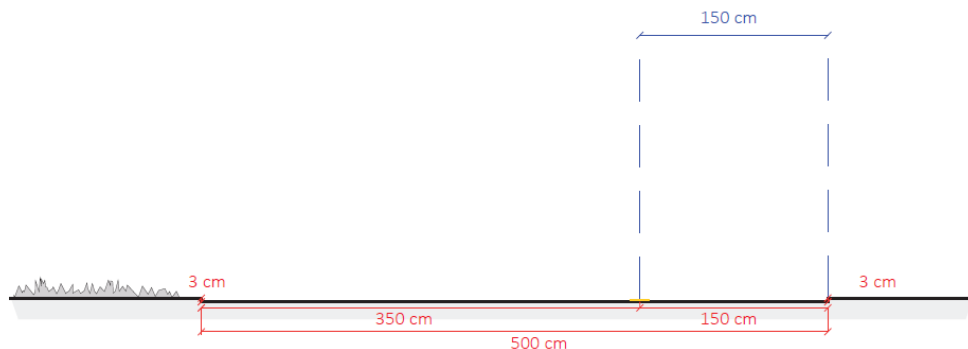


Abb. 69 Querschnitt Bern, Tiefenauestrasse mit Radstreifen

Nutzbare Breite: Durch die geringe Randsteinhöhe von 3 cm ist kein Abzug nötig und die nutzbare Breite entspricht der tatsächlichen Radstreifenbreite von 1.50 m.

Verkehrsaufkommen: In eine Richtung sind pro Tag rund 8'000 Motorfahrzeuge und 600 Fahrräder unterwegs.

Geschwindigkeiten: Am untersuchten Standort wurden die Geschwindigkeiten von insgesamt 120 Fahrrädern gemessen. Es konnte ein grosser Anteil Elektrowelos festgestellt werden. Dadurch erklären sich auch die zum Teil sehr hohen Geschwindigkeiten. Die Mediangeschwindigkeit v_{50} auf dem Radstreifen beträgt 28.4 km/h. Die höchste gemessene Geschwindigkeit lag dabei bei 49.3 km/h, die geringste bei 13.1 km/h.

Fahrlinien und Überholvorgänge: Die Motorfahrzeuglenkenden orientieren sich während des Überholens eines Velos weitgehend am linken Fahrbahnrand. Sie passen ihre Fahrlinie sehr frühzeitig an und fahren üblicherweise mit dem maximal möglichen Abstand am Radfahrenden vorbei. Die Radfahrenden fahren eher in der Mitte des Radstreifens, tendenziell etwas näher am Fahrbahnrand. Es wurden exemplarisch 30 Überholvorgänge ausgemessen. Die 30 Radfahrenden befanden sich im Mittel während der

Überholvorgänge 53 cm vom Randstein entfernt, wobei der kleinste Abstand mit 27 cm und der grösste mit 80 cm gemessen wurde (Abstand Randstein - Achse des Fahrrads).

Durch die beobachteten Fahrlinien ergeben sich Überholvorgänge mit relativ grossen Überholabständen zwischen Motorfahrzeugen und Fahrrädern. Die 30 exemplarisch ausgemessenen Überholvorgänge ergaben einen durchschnittlichen Überholabstand (Achse Fahrrad - Aussenrand Motorfahrzeug ohne Spiegel) von 204 cm, wobei der kleinste Abstand 162 cm und der grösste Abstand 262 cm betrug. Die Überholvorgänge wurden dabei alle als akzeptabel bis komfortabel bewertet.

Auf der beobachteten Strecke von rund 100 Meter konnten vereinzelt auch Überholvorgänge zwischen Fahrradfahrenden beobachtet werden. Zu der Spitzenstunde mit knapp 120 Fahrrädern konnten 6 Überholvorgänge registriert werden. Während Zeiten geringerer Belastung kam es zu ein bis zwei Überholvorgängen pro Stunde. Der überholende Radfahrer musste zum Überholen jeweils den Radstreifen verlassen. Die nachkommenden Motorfahrzeuge passten jeweils ihre Geschwindigkeit an und überholten erst, nachdem die Radfahrenden wieder hintereinander fuhren.



Abb. 70 Überholvorgang mit Radstreifen Bern, Tiefenaustrasse

Erkenntnisse: Auf dem Radstreifen in ebenem Gelände sind Geschwindigkeiten von Velos im Bereich von 10 – 50 km/h gemessen worden, meistens liegen die Geschwindigkeiten zwischen 20 und 45 km/h. Das Fahrverhalten und das Geschwindigkeitsniveau ändern sich beim Übergang von Radweg zu Radstreifen nicht merklich. Die Anlage scheint für Überholvorgänge zwischen Motorfahrzeugen und Fahrradfahrenden ausreichend dimensioniert zu sein. Motorfahrzeuge passen ihre Fahrlinien so an, dass die Überholmanöver mit einem respektablen Abstand erfolgen. Sobald ein Überholvorgang zwischen zwei Radfahrenden stattfindet, muss der Überholende den Radstreifen verlassen. Damit kommt es zu einer potentiellen Konfliktsituation, welche beim nachfolgenden Verkehr eine Anpassung der Geschwindigkeit bedingt. In den wenigen beobachteten Fällen erfolgte diese Anpassung durch die Motorfahrzeuglenkenden jeweils frühzeitig.

Beispiel 4: Fahrbahn mit Radstreifen: Papiermühlestrasse, Ittigen

Anlage: Auf der Papiermühlestrasse zwischen der Gemeindegrenze Bern und dem Bahnhof Papiermühle in Ittigen wurde an zwei Standorten jeweils beide Fahrtrichtungen untersucht. Am nördlichen Standort sind die Fahrbahnen durch eine begrünte Mittelzone richtungsgetreunt baulich abgegrenzt. Der Gesamtquerschnitt pro Richtung beträgt dabei 4.50 m, wobei der Radstreifen 1.50 m misst. Die Steigung beträgt in diesem Abschnitt gut 7.5% in Fahrtrichtung Süden. Rund 250 Meter südlich davon befindet sich der zweite

Untersuchungsstandort. In diesem Abschnitt beträgt der Gesamtquerschnitt 8.10m. In der Mitte ist eine Sicherheitslinie markiert, welche den Querschnitt für beide Fahrrichtungen jeweils in eine 3.00 m breite Fahrbahn und einem 1.05 m schmalen Radstreifen aufgeteilt. In diesem Abschnitt weist die Strasse ein leichtes Gefälle in Richtung Süden von knapp 1% auf. Es gilt an beiden Standorten generell Tempo 50.

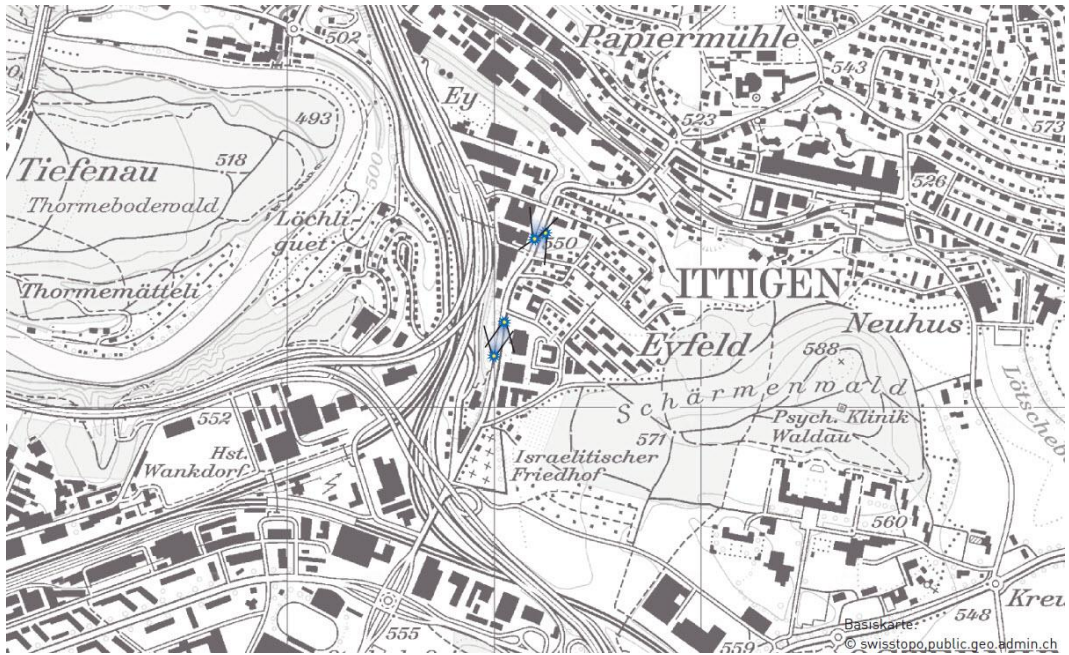


Abb. 71 Kamerastandorte Ittigen, Papiermühlestrasse

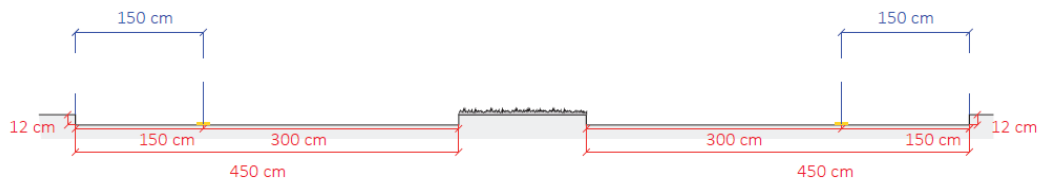


Abb. 72 Querschnitt Ittigen, Papiermühlestrasse, nördlicher Standort

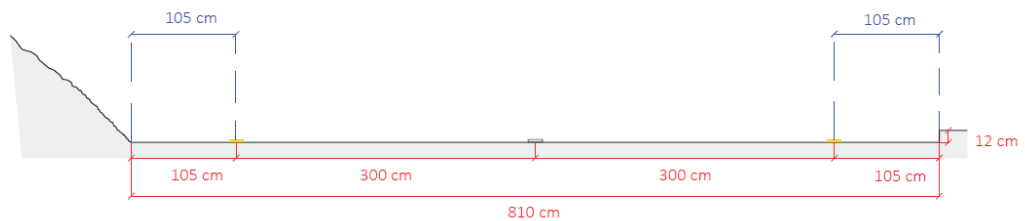


Abb. 73 Querschnitt Ittigen, Papiermühlestrasse, südlicher Standort

Nutzbare Breite: Am nördlichen Standort beträgt die nutzbare Breite beidseitig 1.50 m. Am südlichen Standort ist der Radstreifen schmaler. Die nutzbare Breite beträgt hier nur 1.05 m.

Verkehrsaufkommen: An einem Werktag (Donnerstag, 18.06.2015) von 6:00 bis 21:00 Uhr befuhren knapp 10'000 Motorfahrzeuge die Strasse in beide Richtungen. Im selben Zeitraum wurden mehr als 1'500 Fahrräder beobachtet, mit einer Morgenspitze (7:00-

8:00 Uhr) von knapp 250 Fahrrädern und einer Abendspitze (17:00-18:00 Uhr) von knapp 240 Fahrrädern.

Geschwindigkeiten: An den einzelnen Standorten wurden exemplarisch die Geschwindigkeiten von Fahrradfahrenden erhoben. Am nördlichen Standort wurden in der Steigung Werte zwischen 7,4 km/h und 28,5 km/h gemessen. Im südlichen Bereich wurden Geschwindigkeiten zwischen 16,5 km/h und 43,5 km/h registriert. Geschwindigkeiten von Motorfahrzeugen wurden nicht erhoben.

Fahrlinien und Überholvorgänge: Die Fahrlinien der Radfahrenden im nördlichen Abschnitt sind jeweils mittig der Radstreifen. Im südlichen Abschnitt wird aufgrund der geringen Radstreifenbreite näher an der Markierung gefahren. Dadurch sind auch die Überholabstände von Motorfahrzeugen zu den Radfahrenden tendenziell kleiner. Die Motorfahrzeuglenkenden mitten sich im Normalfall an allen 4 Standorten innerhalb des Fahrstreifens ein. Während eines Überholvorgangs orientieren sich die Motorfahrzeuglenkenden zur Sicherheitslinie, respektive zum Mittelbereich hin. Am südlichen Standort wird die Sicherheitslinie ohne Gegenverkehr während eines Überholvorgangs auch hin und wieder überfahren.

Die Überholvorgänge, welche am nördlichen Standort beobachtet werden konnten, wurden alle als unkritisch beurteilt. Am südlichen Standort ist der Radstreifen deutlich schmaler. Hier wurden einige Überholmanöver durch einen geringen Überholabstand als unangenehm eingestuft.



Abb. 74 Überholvorgang mit Radstreifen Ittigen, Papiermühlestrasse



Abb. 75 Überholvorgang zwischen Radfahrenden Ittigen, Papiermühlestrasse

Ergänzungen Fahrlinien und Überholvorgänge: Ergänzend wurde auf einem Abschnitt von 250 Meter in Fahrtrichtung Süden erhoben, wie oft und von welchen Fahrzeugen ein Fahrrad auf diesem Abschnitt überholt wird. Erhoben wurden dabei während drei Stunden alle Fahrräder, welche den gesamten Abschnitt durchfuhren. Im Durchschnitt wurden die Fahrradfahrenden von 4 Motorfahrzeugen überholt. Überholvorgänge zwischen Radfahrenden wurden nur wenige beobachtet: Zwischen 15:00 und 16:00 Uhr kam es bei gesamthaft 18 Velos zu zwei Überholvorgängen Velo/Velo, zwischen 16:00 und 17:00 Uhr bei 32 beobachteten Velos nur zu einem. Zwischen 17:00 und 18:00 Uhr waren deutlich mehr Fahrradfahrende unterwegs: Zwischen den gesamthaft 64 Velos kam es zu 7 Überholvorgängen, wobei ein E-Bike auf dem Abschnitt gleich zwei andere Fahrräder überholte.

Erkenntnisse: Die beobachteten Überholvorgänge von Motorfahrzeugen gegenüber Fahrrädern sind im nördlichen Bereich sowohl in der Steigung, wie auch im Gefälle als unproblematisch zu beurteilen. Der 1.50 m breite Radstreifen scheint hier angesichts der 3.00 m breiten angrenzenden Fahrspur ausreichend zu sein. Da diese allerdings nach links durch den Mittelbereich abgetrennt ist (siehe Abb. 72), kann es im Falle eines Überholvorgangs durch einen Lastwagen knapp werden, da dieser mit dem rechten Aussenspiegel in den Radstreifen hineinragen könnte. Ein Radstreifen von nur gut 1.00 m, wie dies im südlichen Teil der Fall ist, ist eindeutig zu knapp. Die Verkehrsbelastung lässt es zwar häufig zu, dass die Motorfahrzeuglenkenden während des Überholvorgangs die Sicherheitslinie überfahren, ist dies allerdings nicht möglich, werden die Fahrradfahrenden zum Teil sehr knapp überholt.

Zu Überholvorgängen zwischen Fahrradfahrenden kommt es im Normalfall eher selten. Bei geringer Belastung von Fahrrädern kommt es pro Stunde nur zu vereinzelten Überholvorgängen. Erst wenn die Anzahl Fahrräder zunimmt, nimmt auch die Anzahl Überholvorgänge zu. In der Abendspitze konnte in eine Richtung auf dem untersuchten Abschnitt von 250 Metern bei den 64 Fahrrädern, welche den gesamten Abschnitt befahren haben, 7 Überholvorgänge zwischen diesen festgestellt werden.

7.2.3 Fazit

Im Falle von Radstreifen spielt die zu erwartende Zahl der Überholvorgänge (ÜV) eine gegenüber den Radwegen viel wichtigere Rolle: Je nach Breite des Radstreifens werden die Radfahrenden beim ÜV gezwungen, den Radstreifen teilweise oder ganz zu verlassen. Da sie sich dabei dem potenziellen Fahrbereich eines Motorfahrzeuges annähern oder sogar in diesen hineingeraten können, sind diese Situationen sehr viel sicherheitsrelevanter als bei Manövern und Begegnungen von Velos unter sich.

Am Beispiel der Schanzenbrücke in Bern konnte die Zahl der ÜV Velo/Velo auf einer Strecke von 100 m Länge direkt in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung in Velos/h ausgewertet und einer Simulation gegenübergestellt werden. Die direkte Auswertung der Beobachtungen zeigt eine positive Korrelation zwischen Veloverkehrsbelastung und Anzahl der ÜV, die Simulation zeigt, dass es sich um eine Exponentialfunktion handelt. Im Vergleich fällt auf, dass die Simulation insbesondere bei hohen Verkehrsdichten die Zahl der ÜV tendenziell überschätzt. Dies ist aber nachvollziehbar: Während sich die "simulierten Radfahrenden" stur an ihre Geschwindigkeit halten (müssen), wächst in der Realität die Bereitschaft der Velofahrenden, je nach Situation auf ein Überholen zu verzichten oder dies auf später zu verschieben, mit steigender Verkehrsbelastung an.

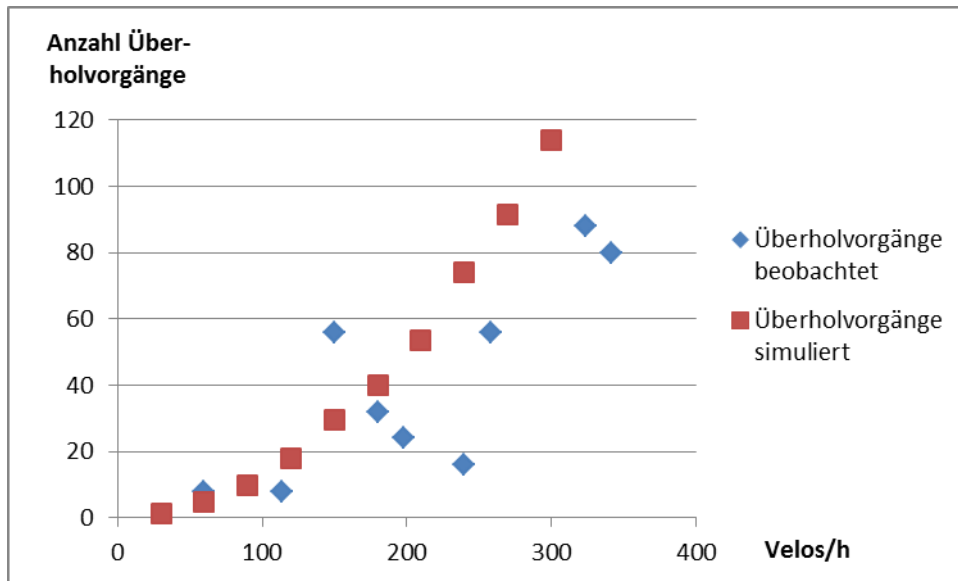


Abb. 76 Verkehrsbelastung und Anzahl ÜV auf der Schanzenbrücke aufwärts

Weitere Simulationen auf der Basis der beobachteten Geschwindigkeitsverteilungen zeigten, dass neben der Menge des Veloverkehrs auch die Topographie einen starken Einfluss hat: Bei Strecken mit Steigungen über 4% lag die Zahl der Überholvorgänge Velo/Velo bei gleichen Verkehrsbelastungen erheblich höher, die Kurven für ebene Strecken und Strecken mit Gefälle unterschieden sich kaum.

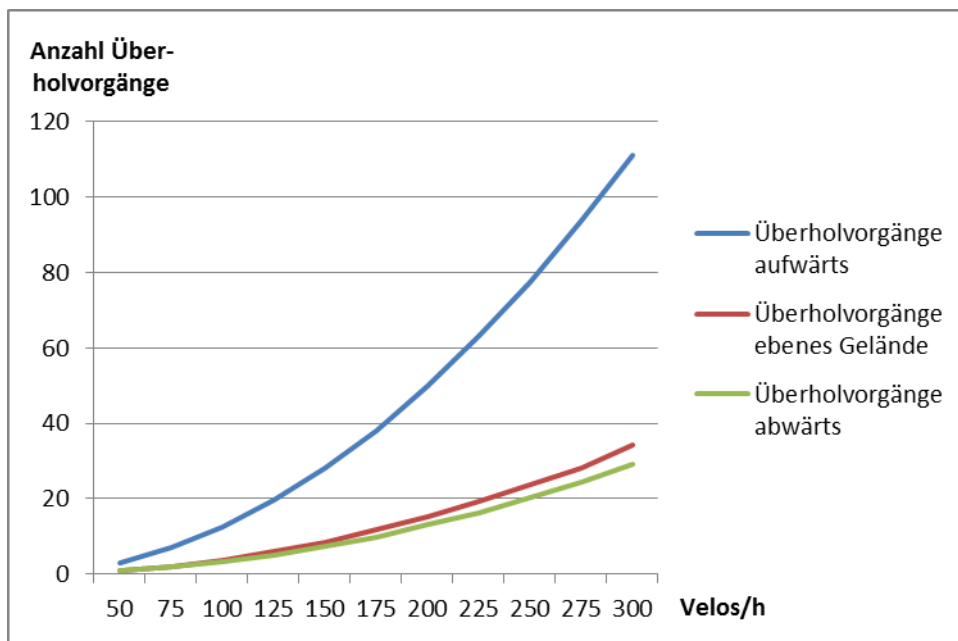


Abb. 77 Verkehrsbelastung und Anzahl Überholvorgänge nach Topographie (Simulation)

Da Überholvorgänge zwischen Velofahrenden fast zwangsläufig dazu führen, dass das überholende Velo den Radstreifen zumindest teilweise verlässt, spielen einerseits die Breite des angrenzenden Fahrstreifens und andererseits die Häufigkeit des Schwerverkehrs auf diesem Streifen eine grosse Rolle. Bezüglich der Breite des Fahrstreifens kann auf den Abschnitt 7.1.1 verwiesen werden: Für den gemeinsamen Verkehr von Velos und Personenwagen sind Fahrbahnbreiten unter 7.00 m ungünstig. In solchen Fällen wird aber auch kaum je ein Radstreifen in Erwägung gezogen.

Für den gemeinsamen Verkehr von Velos und Lastwagen sind Fahrbahnbreiten zwischen 7.50 und 8.50 m ungünstig. Dies bedeutet für Strassen, auf denen der Schwerverkehr nicht sehr selten ist, dass neben dem Radstreifen eine Fahrspur von mindestens 3.00 m

Breite zur Verfügung stehen muss. Dies ist allerdings auch nur dann ausreichend, wenn Überholvorgänge zwischen Velofahrenden und Schwerverkehrsfahrzeuge selten sind. Abb. 78 illustriert auf der Basis des Vernehmlassungsentwurfes der Normen zum geometrischen Normalprofil [2] die beiden Situationen Vorbeifahren eines Lastwagens an einem Velofahrenden auf dem Radstreifen bzw. an zwei sich überholenden Velofahrenden. Die Skizzen zeigen, dass bei Abmessungen von 1.50 m für den Radstreifen und 3.00 m für den angrenzenden Fahrstreifen das erste Manöver nur dann funktioniert, wenn das Velo so fährt, dass der Trottoirrand ins Lichtraumprofil hineinragt und auch dann nur, wenn der Lastwagen mit seinem Aussenspiegel in den Radstreifenbereich hineinragt und mit seinem Lichtraumprofil noch leicht die Gegenfahrbahn beansprucht. Dies kann bei Gegenverkehr kritisch werden. Ein Überholen von zwei sich mit Minimalabstand (!) überholenden Velos ist jedoch nur möglich, wenn der Lastwagen auf die Gegenfahrbahn ausweicht.

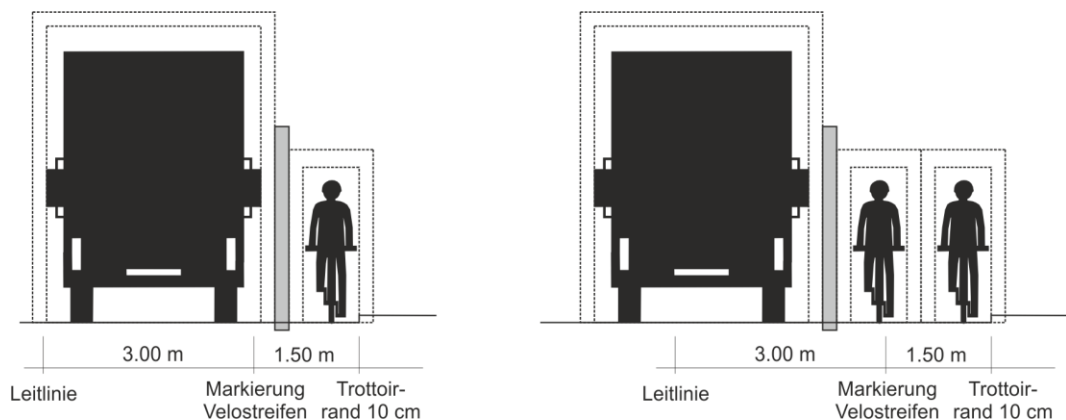


Abb. 78 Überholsituationen Lastwagen/Velo und Lastwagen/Velo/Velo

Es muss also postuliert werden, dass auf Strassen mit Radstreifen im Normalfall für den motorisierten Verkehr zwei Fahrspuren à 3 m Breite zur Verfügung stehen sollen. Die Breite der Radstreifen hängt anschliessend davon ab, wie häufig mit Schwerverkehr und wie häufig mit Überholvorgängen zwischen Velos gerechnet werden muss. Die quantifizierten Werte für die Häufigkeit der Überholvorgänge zwischen Velos in Abhängigkeit von der Topografie sind in Abschnitt 6.1.3 hergeleitet worden. Für die Grenze zwischen der Einstufung des Schwerverkehrs als "selten" bzw. "nicht selten" können folgende Überlegungen dienen: Ausschlaggebend ist die Beeinträchtigung des Spielraums eines einzelnen Velofahrenden durch vorbeifahrende Güterfahrzeuge (Gfz) oder Busse. Einflussfaktoren sind die jeweiligen Geschwindigkeiten (Annahme Durchschnittsgeschwindigkeit Velo $v_{\text{Velo}} = 22 \text{ km/h}$ und Durchschnittsgeschwindigkeit Lastwagen $v_{\text{LW}} = 45 \text{ km/h}$, vgl. Abschnitt 7.3.3) sowie die Länge der "Beeinflussungsstrecke" (Länge des Velos plus Länge des Güterfahrzeugs (Lastenzug, Sattelzug oder Gelenkbus) plus zweimal eine Sicherheitsdistanz von 6 m, gibt total 32 m, siehe Abb. 79). Daraus ergibt sich die Dauer des Überholvorgangs von ziemlich genau 5 Sekunden.

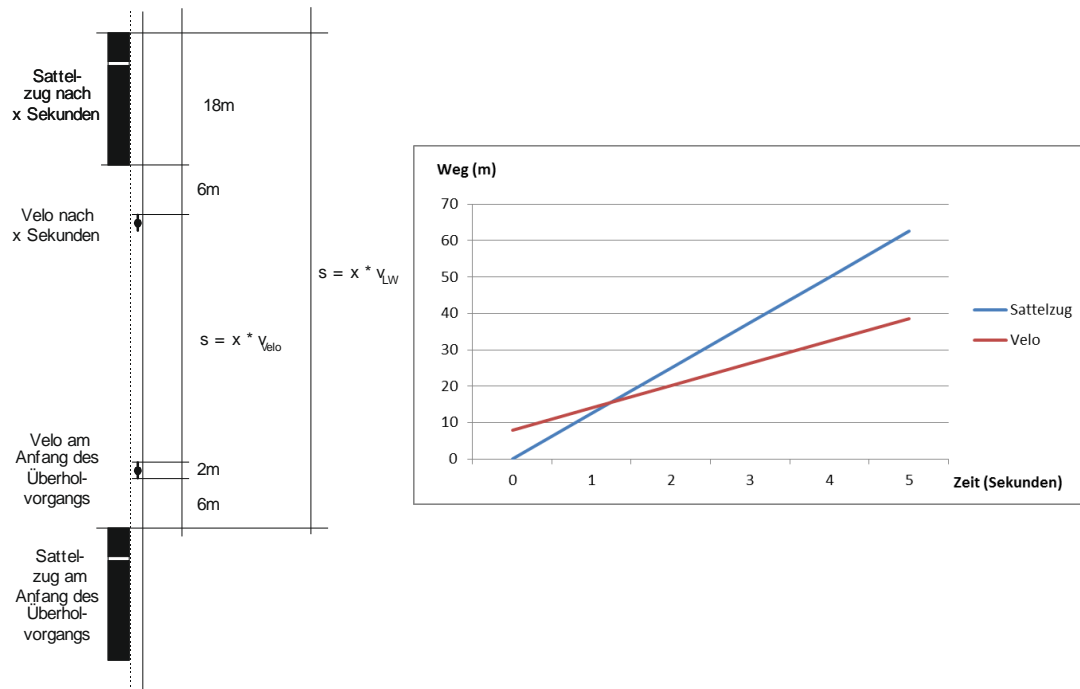


Abb. 79 Überholen Lastwagen/Velo: Skizze und Weg - Zeit - Diagramm

Zur Festlegung einer Grenze der Zumutbarkeit sind zwei Herleitungen denkbar: Wenn ein Überholvorgang 5 Sekunden dauert und dieser Zustand des "Überholtwerdens" höchstens 5% der Fahrzeit des Velos ausmachen soll, so sind maximal 1 LW pro 100 Sekunden bzw. 36 LW pro Stunde zulässig. Die zweite mögliche Betrachtung ist eine Analogie zu den Überlegungen zu den Zweirichtungsradwegen, auf denen die kritische Situation Überholen bei Gegenverkehr für einen mit Durchschnittsgeschwindigkeit Velofahrenden weniger als ein Mal pro 2 km vorkommen soll. Übertragen auf die Überholssituation Velo/LW würde dies bedeuten: In den rund 330 Sekunden, die Velofahrende durchschnittlich für 2 km brauchen, sollen sie höchstens ein Mal von Lastwagen überholt werden, was unter Berücksichtigung der vom Velo zurückgelegten Strecke einer Frequenz von 22 LW/h entspricht. Da beide Überlegungen ein Resultat in der gleichen Größenordnung ergeben, ist es zulässig, die Grenze zwischen "selten" und "nicht selten" bei rund 30 Gfz/h pro Richtung festzulegen. Zur Grobabschätzung: Dies entspricht bei einem Schwerverkehrsanteil von 6% einer stündlichen Belastung von 1000 Mfz/h in beiden Richtungen. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich die folgenden Empfehlungen für die Breite von Radstreifen formulieren: (P.M: Breitenangaben geben die nutzbare Breite wieder, je nach Situation sind Zuschläge bzw. Abzüge gemäss Abschnitt 5.7 erforderlich).

Tab. 23: Vorschlag für die Breite von Radstreifen in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung

Topografie	Veloverkehrsbelastung Spitzenstunde	Schwerverkehr	Stufe A	Stufe B
Eben oder Gefälle	< 100 Velos/h	selten	1.50 m	1.50 m
		nicht selten	1.75 m	1.50 m
	ca. 100 - 240 Velos/h	selten	1.75 m	1.50 m
		nicht selten	2.00 m	1.75 m
	> 240 Velos/h	selten	2.00 m	2.00 m
		nicht selten	2.25 m	2.00 m
Steigung > 4%	< 40 Velos/h	selten	1.50 m	1.50 m
		nicht selten	1.75 m	1.50 m
	ca. 40 - 100 Velos/h	selten	1.75 m	1.50 m
		nicht selten	2.00 m	1.75 m
	> 100 Velos/h	selten	2.00 m	2.00 m
		nicht selten	2.25 m	2.00 m

Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass es bei sehr hohen Veloverkehrsbelastungen besser sein kann, ganz auf einen Radstreifen zu verzichten als einen (zu) schmalen Streifen anzubieten. Der Grund ist der, dass sich die Automobilistinnen und Automobilisten tendenziell eher darauf verlassen, dass Velofahrer nicht nach links ausscheren, wenn ein Radstreifen markiert ist. Das Verlassen des markierten Radstreifens stellt deshalb für die Velofahrenden immer ein Sicherheitsrisiko dar, auch wenn sie sich dessen nicht bewusst sind.

Werden streckenweise Radwege und Radstreifen parallel angeboten, so kommt neben der Reduktion der Veloverkehrsbelastung (Verteilung auf zwei Angebote) ein weiterer Faktor ins Spiel: Die Geschwindigkeitsdifferenzen werden für jedes Element im Vergleich zu einer Infrastruktur, die von allen Velofahrenden benutzt wird, reduziert (schnellere Velos benutzen tendenziell eher den Radstreifen, langsamere den Radweg - insbesondere wenn dieser auch von Fussgängern benützt wird), was allenfalls eine leichte Reduktion der Breite erlaubt.

Radfahrstreifen

Im Gegensatz zum mit einer unterbrochenen Linie abgetrennten Radstreifen ist es beim "Radfahrstreifen" (mit ununterbrochener Linie abgetrennt) so, dass die Velofahrenden diesen nicht verlassen dürfen. Deshalb muss die Bewegungsfreiheit der Velofahrenden inklusive Überholvorgänge innerhalb des Streifens gewährleistet sein. Daraus folgt, dass für die Dimensionierung des Radfahrstreifens die gleichen Regeln gelten müssen, wie für einen Einrichtungsweg ohne Fussgänger (siehe Abschnitt 6.1).

7.3 Fahrbahnen im Richtungsverkehr mit Velo im Gegenverkehr

7.3.1 Bestehende Normen und Empfehlungen

Für die Einrichtung von Einbahnstrassen mit Velofahrenden im Gegenverkehr sind verschiedene Empfehlungen vorhanden:

Kanton Zürich: Anlagen für den leichten Zweiradverkehr des Kanton Zürich, 2012 [11], S.38

- Radstreifenbreite: min. 1.5 m
- Fahrbahnbreite: min. 3.0 m
- Beginn und Ende der Einbahnstrasse mit beschränktem Gegenverkehr können baulich mittels Verkehrsinseln verdeutlicht werden
- Es sollte mindestens ein einseitiges Trottoir vorhanden sein

Kanton Bern: Anlagen für den Veloverkehr, 2014 [8], S.16

- Radstreifenbreite: 1.7 m (min. 1.5)
- Fahrbahnbreite: min. 3.0 m
- Beginn und Ende der Einbahnstrasse sollen baulich mittels Verkehrsinseln verdeutlicht werden

Deutschland: ERA, 2010 [23], S.62-64

- Einbahnstrassen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von $\leq 30\text{km/h}$
- Fahrbahnbreite: min. 3.0 m (min. 3.5 bei BUS/SGF Verkehr)
- Falls $> 400\text{ Fz/h}$: Schutzstreifen (min. 1.25m) entgegen Einbahnrichtung, von parkende Fz. frei zu haltende Fahrbahnbreite min. 3.75 m
- Fahrbahnbreite $< 3.0\text{ m}$ NUR wenn:
- Begegnungswahrscheinlichkeit aufgrund der Verkehrsstärken oder der Länge der Einbahnstrasse sehr gering ist
- Ausweichmöglichkeiten bestehen (z.B. regelmässige Lücken im Parkstreifen, Grundstückzufahrten, usw.)
- Einseitiges Parken soll auf der in Einbahnrichtung linken Seite angeordnet werden (Ausweichmöglichkeiten durch Grundstückseinfahrten und unbesetzte Parkplätze und geringer Gefahr öffnende Türen durch den direkten Sichtkontakt)

7.3.2 Erkenntnisse aus Videobeobachtung

Im Rahmen eines früheren VSS Forschungsprojekts zur Anwendung von Velopiktogrammen wurden unter anderem in Biel am unteren Quai Videobeobachtungen durchgeführt. Dabei zeigte es sich, dass es sinnvoll ist, bei der Ein- und Ausfahrt für den Veloverkehr im Gegenverkehr zur Einbahnstrasse mittels Piktogramm und kurzem Radstreifen die entgegenkommenden Motorfahrzeuglenkenden auf Velos im Gegenverkehr aufmerksam zu machen. Zudem erwies es sich auch als sinnvoll, auf der Zwischenstrecke mittels Piktogrammen darauf hinzuweisen, dass mit Velos im Gegenverkehr zu rechnen ist (Abb. 80). In der Vorhersituation ohne Piktogramme kam es vor, dass Autolenker entgegenkommende Velofahrer an der Trottoirrand „drückten“, offenbar in der Meinung, die entgegenkommenden Velofahrer befinden sich im Unrecht.



Abb. 80 Biel, unterer Quai, Piktogramme weisen auf Velos im Gegenverkehr hin

7.3.3 Fazit

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, um in Einbahnstrassen Velogegenverkehr zulassen zu können:

- Am Beginn und am Ende der Einbahnstrasse ist zu verdeutlichen, dass mit Velogegenverkehr zu rechnen ist (nicht unbedingt baulich mittels Verkehrsinseln, eher durch farbliche Bodenmarkierung). Wichtig sind für den Veloverkehr taugliche Randabschlüsse und die Beachtung von Sicherheitszuschlägen (Lichtraumprofil).
- Markierung der Radverkehrsfläche: Falls sich auf der Seite des Velogegenverkehrs kein Trottoir befindet und zahlreiche seitliche, nicht vortrittsberechtigzte Zufahrten vorliegen, kann es sinnvoll sein, den Velogegenverkehr mittels Radstreifen und roter Einfärbung bei den Einfahrten zu kennzeichnen. Im Normalfall mit beidseitigem Trottoir oder ohne Einfahrten ist die Anordnung von Piktogrammen ausreichend.
- Um ein „Revierdenken“ oder ein falsches Sicherheitsempfinden der Radfahrenden zu verhindern, empfehlen wir, die Ein- und Ausgänge von Strecken mit Velo im Gegenverkehr mit roter Einfärbung und kurzem Radstreifen zu kennzeichnen und bei Bedarf unterwegs mit Piktogrammen daran zu erinnern, dass mit Velos im Gegenverkehr zu rechnen und dies erlaubt ist. Eine durchgehende Markierung eines Radstreifens ist nicht nötig und im Falle von Strassen in der Tempo 30-Zone eher unerwünscht, da sie die Fahrgeschwindigkeit erhöhen könnte.
- Die Wahrscheinlichkeit des Begegnungsfalls LW/Velo ist ausschlaggebend dafür, ob eine Strasse für die Öffnung für den Radverkehr in Gegenrichtung geeignet ist bzw. ob Zuschläge bei den Abmessungen nötig sind. Das Berechnungsverfahren ist unten (und ausführlich im Anhang II) erläutert und führt zu den Resultaten von Tab. 24 und Abb. 81.

Auf einer Einbahnstrassenstrecke S mit Velos im Gegenverkehr muss ein Velo mit denjenigen Lastwagen (oder Bussen) kreuzen, die entweder schon auf S sind, wenn das Velo auf S einfährt oder auf S einfahren, während das Velo S befährt. Die erwartete Anzahl Lastwagen, die ein Velo kreuzt, entspricht der Summe der erwarteten Anzahlen in den beiden Kategorien. Diese sind abhängig von der jeweiligen Geschwindigkeit und Verkehrsbelastung der Strecke S durch die beiden Fahrzeugkategorien).

Für die Geschwindigkeiten von Velos bzw. Schwerverkehr darf mit folgenden Annahmen gerechnet werden:

- Fall A: Quartierstrasse (ev. Tempo 30-Zone): $v_{\text{Velo}} = 20 \text{ km/h}$, $v_{\text{LW}} = 30 \text{ km/h}$
- Fall B: Andere Strasse (nicht T 30): $v_{\text{Velo}} = 22 \text{ km/h}$, $v_{\text{LW}} = 45 \text{ km/h}$

Für eine Strecke der Länge s mit einer Velofrequenz f_1 und einer Lastwagenfrequenz f_2 beträgt die Anzahl der Kreuzungsvorgänge (KV) pro Zeiteinheit

$$KV = s * (1/v_{\text{Velo}} + 1/v_{\text{LW}}) * f_1 * f_2 = s * A * f_1 * f_2$$

mit $A = 0.30$ für den Fall A und $A = 0.24364$ für den Fall B. Wenn es nur darum geht, die Wahrscheinlichkeit eines Kreuzungsvorgangs mit einem LW pro Velofahrenden zu berechnen, muss die Zahl der KV durch die Velofrequenz geteilt werden, d.h. sie wird aus der Gleichung herausgekürzt.

Tab. 24: Kreuzungswahrscheinlichkeit nach Streckenlänge und Frequenzen

Streckenlänge	Lastwagenfrequenz	Velofrequenz	Kreuzungsvorgänge (Anzahl)	Wahrscheinlichkeit Kreuzung Velo/LW
100 m	10 LW/h	100 Velos/h	8.33	8.3 %
100 m	5 LW/h	100 Velos/h	4.17	4.2 %
150 m	5 LW/h	100 Velos/h	6.25	6.3 %
150 m	4 LW/h	100 Velos/h	5.00	5.0 %
200 m	4 LW/h	100 Velos/h	6.67	6.7 %
200 m	3 LW/h	100 Velos/h	5.00	5.0 %
250 m	3 LW/h	100 Velos/h	6.25	6.3 %
250 m	2 LW/h	100 Velos/h	4.17	4.2 %
300 m	3 LW/h	100 Velos/h	7.50	7.5 %
300 m	2 LW/h	100 Velos/h	5.00	5.0 %
400 m	2 LW/h	100 Velos/h	6.67	6.7 %
400 m	1 LW/h	100 Velos/h	3.33	3.3 %

Abb. 81 zeigt auf, welche maximalen Lastwagenfrequenzen in Abhängigkeit der Streckenlänge zulässig sind, wenn postuliert wird, dass die Wahrscheinlichkeit für Velofahrende, einen solchen Kreuzungsvorgang zu erleben, ohne Verbreiterung maximal 5% betragen darf.

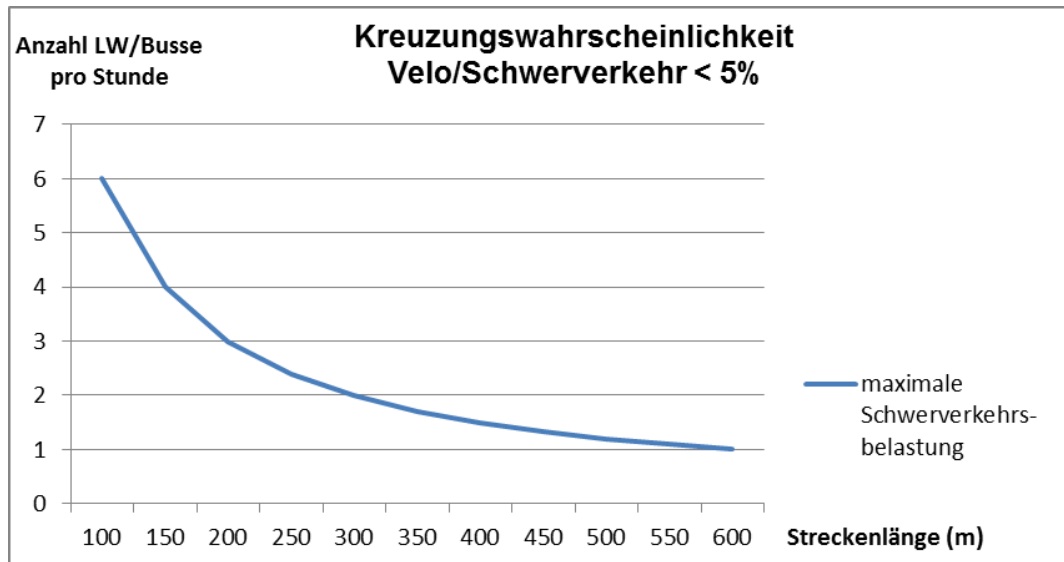


Abb. 81 Maximale LW-Frequenz in Funktion der Streckenlänge ohne Ausweichmöglichkeit

Wir empfehlen die folgenden Abmessungen für Einbahnstrassen mit zugelassenem Gegenverkehr:

- Gesamtfahrbahnbreite bei LW-Kreuzungswahrscheinlichkeit < 5%, Stufe A: 4.70 m
- Gesamtfahrbahnbreite bei LW-Kreuzungswahrscheinlichkeit < 5%, Stufe B: 4.20 m
- Gesamtfahrbahnbreite bei LW-Kreuzungswahrscheinlichkeit > 5%, Stufe A: 5.40 m
- Gesamtfahrbahnbreite bei LW-Kreuzungswahrscheinlichkeit > 5%, Stufe B: 4.90 m

Die Stufe B kann bei geringen Verkehrsdichten angewendet werden oder wenn keine akzeptablen Alternativen in der Nähe existieren.

8 Sonderfälle

8.1 Baustellen

Radfahrende mögen es nicht, wenn sie auf ihrer Fahrverbindung in irgendeiner Form behindert werden. Vor allem dann nicht, wenn sie dafür bremsen oder sogar absteigen müssen. Zudem fahren sie nicht gerne Umwege. Darum sollte man sich auch bei temporären Verkehrsregelungen infolge von Bauarbeiten um eine möglichst reibungslose Verkehrsabwicklung bemühen.

Auf und entlang der Fahrbahn können viele Arten von Bauarbeiten stattfinden: Arbeiten in oder auf der Strasse (in Quer- und/oder Längsrichtung) sowie Bauaktivitäten entlang der Strasse, die den Verkehr an der betroffenen Stelle mehr oder weniger stark behindern.

Das Aufstellen von allgemeinen Richtlinien für temporäre Massnahmen zugunsten des Fahrradverkehrs ist nicht einfach, denn keine Baustelle gleicht der anderen. Trotzdem braucht es eine gewisse Systematik, um die Qualität des Verkehrsflusses und die Sicherheit, speziell für den Langsamverkehr, zu gewährleisten. Erfahrungsgemäss berücksichtigen die bereits existierenden Normen und Richtlinien den Motorfahrzeugverkehr ausreichend, während die Flexibilität der Radfahrenden ihnen selber hier eher zum Nachteil wird: Es wird davon ausgegangen, dass man doch absteigen und zu Fuss gehen, das Velo hochheben oder ein Stück Umweg fahren kann.

Bis zu einem gewissen Mass ist eine Behinderung durch temporäre Massnahmen unvermeidbar. Trotzdem sollte immer versucht werden, ungünstige Auswirkungen möglichst zu minimieren. Man sollte sich vergegenwärtigen, dass temporäre Massnahmen nicht nur Folgen für den betreffenden Streckenabschnitt haben, sondern auch Einfluss auf die gesamte Radverkehrsverbindung und den Netzzusammenhang bekommen können.

Abstriche bei der Sicherheit sind natürlich sehr kritisch. Sind zeitweise Qualitätseinbussen unvermeidbar, können sie am ehesten im Bereich der Attraktivität, dann beim Komfort und als drittes bei der Direktheit in Kauf genommen werden.

Die erste Frage, die sich zu Beginn stellt, ist: Kann eine Verbindung für den Radverkehr während der Dauer der Baustelle überhaupt aufrechterhalten werden? Bei der Beantwortung dieser Frage sollte man sich in erster Linie vom folgenden Prinzip leiten lassen: Falls der Motorfahrzeugverkehr entlang der Baustelle fahren kann, gilt dies auch für den Radverkehr.

Aspekte der Sicherheit bei Baustellen

Auch das Verkehrsaufkommen ist bei einer Baustellensituation eher geringer als sonst. Da die beiden MIV-Merkmale «Geschwindigkeit» und «Verkehrsaufkommen» die massgebenden Unfalltreiber sind, erstaunt es nicht, dass Baustellen ganz allgemein gesprochen für den Veloverkehr eine ziemlich «sichere Sache» sind.

Bei Baustellen ist im Zusammenhang mit der Sicherheit jedoch ein weiterer Aspekt von besonderer Bedeutung: Der zur Verfügung stehende Platz.

Die Schweizer Forschungsarbeit [21] hat ergeben: Die Verkehrssicherheit von Radfahrenden hängt stark von der zur Verfügung stehenden Platz ab. Nun könnte man denken «je mehr Platz desto besser», aber das stimmt nicht. Natürlich gelten Strassen mit grosszügigen Platzverhältnissen – bei Baustellen ein wohl sehr seltener Fall – als sicher. Jedoch auch ganz schmale Fahrbahnen bringen dem Velo Sicherheit, weil es dort keinem Motorfahrzeuglenker je einfällt, ein Velo zu überholen. Gefährlich sind die Zwischenmasse: Autofahrer setzen zum Überholen eines Velos an, obwohl dies eigentlich zu riskant ist. Als besonders heimtückisch gelten im Zweirichtungsverkehr Fahrbahnbreiten von 6.50m. In einer weiteren Forschungsarbeit [17] konnte mittels Videoaufnahmen

gezeigt werden, dass im Einrichtungsverkehr sowie auf Höhe von Schutzinseln Fahrstreifenbreiten zwischen 3.00 m und 3.50 m besonders gefährlich sind. Aus dem genannten Grund: Zwischenmass. Autofahrende setzen zum Überholen eines Velos an, sollten dies jedoch besser bleiben lassen.

Die vielerorts anzutreffenden Einbahnstrassen mit Velos im Gegenverkehr sind ungefährlich, denn die feindlichen Verkehrsteilnehmer sehen sich immer gegenseitig. Auch wenn nicht überall genug Platz zum Kreuzen zur Verfügung steht, können sie einander ausweichen.

Von «Umfahrern» und «Überwindern»

Es ist wichtig, sich bewusst zu werden, dass Motorfahrzeuglenkende und Radfahrende unterschiedliche Bedürfnisse haben. Wer mit dem Auto unterwegs ist, erlebt häufig, dass Ziele nicht auf direktem Weg erreicht werden können, es sind Umwege nötig. Das macht niemandem etwas aus, Autofahrende sind das gewohnt und zudem motorisiert unterwegs, also ohne den Einsatz eigener Körperkraft.

Ganz anders mit dem Velo: Hindernisse (stehende Autokolonnen, Randsteine, ja sogar Treppen) lassen sich überwinden. Und da man auf dem Velo mit eigener Muskelkraft unterwegs ist, ist die Umwegempfindlichkeit sehr hoch; es wird jeder erdenkliche Versuch unternommen, einen Umweg zu vermeiden. Das geschieht entweder auf legalem Weg (z.B. Absteigen und Velo schieben) oder auf illegalem (Fahrverbot missachten, Trottoir befahren).

Dieses velotypische Verhalten zeigt sich auch bei Baustellen. Gemeinsame Beobachtungen sowie ein fachlicher Austausch mit Behördenvertretern in Zürich, die für temporäre Verkehrsanordnungen zuständig sind, haben bestätigt: Radfahrende möchten Baustellen überwinden, nicht umfahren. Wichtig dabei: Komfortansprüche werden keine gestellt. Denn die Baustelle als solche wird als Sachzwang hingenommen, ihre Umfahrung jedoch nicht. Deshalb: Radfahrende wenn immer möglich durch die Baustelle führen und Veloumfahrungen vermeiden.

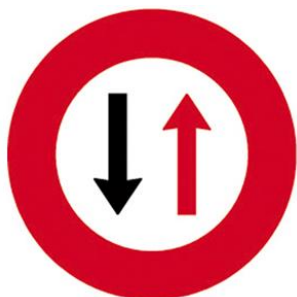
Als Lösung bietet sich etwa ein Fahrverbot für Motorfahrzeuge an (Velos und Fussgänger sind zugelassen), oder ein Einbahnregime mit Velos im Gegenverkehr. Bei Baustellen sind Lösungen mit minimalen Querschnitten möglich und zulässig:

10. Ausserordentliche Betriebszustände

Im Fall ausserordentlicher Betriebszustände (Baustellen, Unterhalts- oder Pannenfahrzeuge etc.) können die Bewegungsspielräume entsprechend den dann möglicherweise tieferen Geschwindigkeiten reduziert werden.

SN 640 201 Art. 10

Bei längeren Baustellen sind Ausweichstellen nötig. Denn Velos und Motorfahrzeuge müssen nicht überall und jederzeit kreuzen können. Unter Umständen ist der Einsatz von Signal 3.09 «dem Gegenverkehr Vortritt lassen» denkbar, wobei immer dem Velo der Vortritt entzogen werden sollte.



Unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit sind solche Lösungen völlig harmlos, es geschehen keine Unfälle (tiefe Geschwindigkeiten, jederzeitige gegenseitige Sichtbarkeit, Abwarten ist möglich, es besteht von niemandem ein Interesse an einer Kollision).

Falls allerdings bei einer Baustelle keine Fussgänger zugelassen sind, weil die Begehbarkeit nicht gewährleistet werden kann, dann müssen selbstverständlich auch Velos ferngehalten werden. Ebenfalls ausgeschlossen ist das Zulassen von Velos auf Fahrverbots-Abschnitten mit regem Baumaschinenverkehr.

Wenn Velos trotz allem umgeleitet werden müssen

Es kann vorkommen, dass Velos trotz allem um eine Baustelle herumgeführt werden müssen. Zum Beispiel, wenn die Bauarbeiten über eine weite Strecke stattfinden und die Verkehrsbelastung gross ist. In diesem Fall sollte eine sich ergebende eventuelle Umweglänge in die Überlegungen einbezogen werden.

Die Umweglänge ergibt sich aus der Differenz zwischen der Entfernung, die als Folge temporärer Massnahmen über eine Alternativroute zurückgelegt werden muss und der üblichen Strecke ohne Baustelle. Eine Relation «Umweglänge zu Baustellenlänge» lässt sich schwer herstellen, gerade auch, weil sich eine Baustelle laufend verändert. Deshalb empfiehlt CROW [26], mit Rücksicht auf Komfort und Fahrgeschwindigkeit sowohl für den Rad- als auch für den Motorfahrzeugverkehr Obergrenzen festzusetzen. Diese Grenzen sind:

- Für den MIV eine Umweglänge von maximal 3 km (entspricht ca. 6 Minuten Zeitverlust).
- Für den Veloverkehr eine Umweglänge von maximal 600 m (entspricht ca. 2 Minuten Zeitverlust).

Die Überlegung hinter diesen Grenzwerten: Oft ist es möglich, dass nur der Motorfahrzeugverkehr umgeleitet wird und der Radverkehr nicht. Eine Umleitung für den Radverkehr ist dann gerechtfertigt, wenn für den MIV keine Umleitungsrouten mit einer Länge von weniger als 3 km gefunden werden kann, jedoch für den Radverkehr eine Umleitungsrouten kürzer als 600m zur Verfügung steht.

Wenn für den Radverkehr keine Umleitungsrouten mit einer Umweglänge von weniger als 600m gefunden werden kann, sind nach niederländischem Verständnis Umwegrouten für den Motorfahrzeugverkehr von mehr als 3 km akzeptabel. Derartige Situationen können zum Beispiel bei Bauarbeiten an Brücken auftreten.

Minimale Abmessungen

Gemäss CROW [26] beträgt die Mindestbreite an Baustellen im Zweirichtungsverkehr mit vielen Lastwagen und/oder Bussen 5.80 m. Wenn die Belastung durch den Schwerverkehr gering ist, kann eine Fahrbahnbreite von 5.40m unter Umständen ausreichen. Wenn sich bei dieser Breite ein Radfahrer und zwei Autos aus verschiedenen Richtungen begegnen, wird ein Auto hinter dem Radfahrer bleiben müssen, bis sich eine Gelegenheit zum Überholen des Radfahrers bietet.

Bei geringeren Fahrbahnbreiten während den Bauarbeiten zwischen 3.85m und 5.40m können Radfahrende in zwei Richtungen durchgelassen werden, der Motorfahrzeugverkehr jedoch nur in einer Richtung, gegebenenfalls durch eine Baustellenampel geregelt. Ist der verfügbare Raum schmaler als 3.85m, soll der Motorfahrzeugverkehr ganz umgeleitet werden, dafür ist Velofahren entlang der Baustelle in beiden Richtungen möglich.

Manchmal kann es sinnvoll sein, bei Baustellen die Velos über das Trottoir zu führen. Dieses darf jedoch nicht vollständig dem Radverkehr zugewiesen werden. Es soll für Rollstühle und Kinderwagen benutzbar bleiben, was eine Breite von 1.50m voraussetzt. Bei Einengungen, die kürzer als 10m sind, reicht eine Breite von 1.20m, und bei punktuellen Einengungen 0.90m.

8.2 Engstellen

Gemäss ERA [23] handelt es sich bei Engstellen um "kurze Streckenabschnitte von bis zu 50m Länge mit deutlich eingeschränkten Strassenraumbreiten". Sie treten typischerweise an Unterführungen und Gebäudevorsprüngen auf.

Die Abgrenzung der Engstellen von den Baustellen ergibt sich dadurch, dass Baustellen einen temporären Charakter haben, während Engstellen permanent sind. An Engstellen ist der Fussgänger- und Radverkehr besonders zu schützen. Engstellen sind in einer gewissen Weise tückisch. Es kann vorkommen, dass sie – speziell von Motorfahrzeuglenkenden – nicht als solche wahrgenommen werden, oder aber zu spät. Dies unterscheidet sie von den Baustellen, denn eine Baustelle kann man nicht übersehen. Der Visualisierung einer Engstelle kommt also eine hohe Bedeutung zu.

Notwendige Wechsel der Radverkehrsführung werden deshalb gut sichtbar frühzeitig vor einer Engstelle eingeleitet. Allfällige Übergänge von einem Radweg auf die Fahrbahn im Mischverkehr werden adäquat ausgestaltet. Eine Verengung der zur Verfügung stehenden Verkehrsfläche wird in der Regel alle Verkehrsarten tangieren. Gegebenenfalls kann bei Engstellen der Rad- und Fussverkehr gemeinsam geführt werden, zum Beispiel als Gehweg mit zugelassenem Radverkehr.

Falls notwendig, kann die erlaubte Höchstgeschwindigkeit für den Motorfahrzeugverkehr im Bereich der Engstelle gesenkt werden.

8.3 Längsparkierung

Ein besonderes Augenmerk gilt der Längsparkierung von Motorfahrzeugen entlang einer vom Radverkehr befahrenen Anlage. Die Motorfahrzeuge stellen dabei ein seitliches Hindernis (siehe Kapitel 5.2) dar, welches die nutzbare Breite der Anlage einschränkt. Existieren entlang einer Anlage über eine längere Strecke seitliche Längsparkierungen ist die Breite so anzupassen, dass die Sicherheit gewährleistet werden kann.

Problematisch sind Längsparkierungen insbesondere durch das Risiko von Radunfällen bedingt durch Kollisionen mit unvorsichtig geöffneten Motorfahrzeugtüren. Es konnten keine detaillierten Werte über die Häufigkeit dieses Unfalltyps in der Schweiz ermittelt werden. Es muss aber vermutet werden, dass dieser Unfalltyp regelmässig vorkommt. Sind Längsparkplätze vorgesehen ist dieser Gefährdung bei der Wahl der entsprechenden Anlage für den Radverkehr sowie bei der Markierung der Parkplätze Rechnung zu tragen. Ziel dabei ist es, dass die Radfahrenden mit einem genügend grossen Abstand an den parkierten Fahrzeugen vorbeifahren. Darren J. Torbic et al. (2014) [39] konnten zeigen, dass ein Radstreifen und eine Pufferzone effektiver sind, als ein insgesamt breiterer Radstreifen. Dies, da der effektive Abstand vom Radfahrenden zum parkierten Fahrzeug mit einer Pufferzone grösser ist als mit breiterem Radstreifen.

Folgende grundsätzliche Lösungen sind für das Forschungsteam denkbar:

Markierung einer Abstandsfläche (Pufferzone)

Durch das markieren einer Pufferzone soll der Abstand der Radfahrenden zu den parkierten Fahrzeugen vergrössert werden und die Radfahrenden auf die Gefahr hinweisen. Die Abstandsfläche darf allerdings nicht als Sperrfläche markiert werden, da diese sonst nicht mehr legal befahrbar ist. Möglichkeiten von flächigen Markierungen wären zu prüfen.

Das Zurückversetzen der Längsparkplätze

Durch das Zurückversetzen der Parkplatzflächen vom Fahrbahnrand kann ohne Markierung einer Pufferzone eine Abstandsfläche geschaffen werden.



Abb. 82 Beispiel von zurückversetzten Längsparkplätzen – Bern, Seftigenstrasse

Schaffen einer Pufferzone durch einrücken des Radstreifens in den Strassenraum

Wird der Radstreifen mit grösserem Abstand zum Fahrbahnrand markiert, kann auch so eine nicht markierte Abstandsfläche geschaffen werden. Zwingend dabei ist allerdings, dass auch der rechte Rand des Radstreifens markiert wird, da sich die Radfahrenden innerhalb des Radstreifens einmitten. Wird der rechte Radstreifenrand nicht markiert, ist die Wirkung vergleichbar mit einem breiteren Radstreifen, welche wie vorgängig beschrieben, kleiner ist, als jene einer Abstandsfläche.



Abb. 83 Beispiel eines eingerückten Radstreifens – Zürich, Rotbuchstrasse

Markieren von Velosymbolen (Piktogramme) mit hinweisender Funktion

Durch das Markieren von Piktogrammen kann das Bewusstsein der Motorfahrzeuglenkenden für das Vorhandensein von Radfahrenden gesteigert werden. Die Markierungen können auch die Fahrlinienwahl der Radfahrenden beeinflussen. Aus diesem Grund müssen die Markierungen mit genügendem Abstand zu den Parkflächen markiert werden. Diese Massnahme ist aber eher ergänzend anzuwenden.

9 Empfehlung für die Normierung

Der Auftrag für die vorliegende Forschungsarbeit lautete, Vorschläge für eine Norm zu erarbeiten. Wie weit dies zu Anpassungen bestehender Normen führt oder ob eine eigenständige neue Norm zu entwerfen ist, wurde dabei offen gelassen. Die wichtigsten Beziehungen bestehen zur Normengruppe zu den geometrischen Normalprofilen (SN 640 200, SN 640 201 und SN 640 202), und natürlich zur Grundlagennorm zum "leichten Zweiradverkehr" SN 640 060. Da die Überarbeitung der Normengruppe zum geometrischen Normalprofil in der Abschlussphase steht (Vernehmlassung abgeschlossen), sind die entsprechenden Vorgaben zu übernehmen. Falls sich gegenüber dem Entwurf für die Vernehmlassung (zu dem sich auch das Forschungsteam dieses Auftrags geäußert hat) noch etwas ändert, sind die entsprechenden Konsequenzen auf die hier gemachten Aussagen zu analysieren und allenfalls entsprechende Anpassungen vorzunehmen.

Aussagen der vorliegenden Forschungsarbeit betreffen den Abschnitt B Grundlagen und Grundsätze der SN 640 060 und darin primär die Kapitel 7 (Projektierungsgeschwindigkeit und Kurvenradien) und 8 (Sichtweiten). Diese sind entsprechend anzupassen. Zur Netzbildung (Abschnitt C der SN 640 060) äussert sich die vorliegende Arbeit nicht. Die Empfehlungen zu den Abmessungen der einzelnen Elemente für eine sichere Veloinfrastruktur (Velostreifen, Velowege etc.) können entweder in einer eigenen Norm oder als Ergänzung zur SN 640 060 abgehandelt werden.

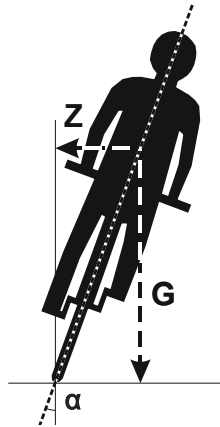
Das Forschungsteam geht davon aus, dass die NFK 2.4 - Langsamverkehr und Querungen über das weitere Vorgehen entscheiden wird.

Anhänge

I	Anhang I: Schräglage der Velos in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Kurvenradius	123
II	Anhang II: Dokumentation statistische Simulationen.....	125

I Anhang I: Berechnung Velo-Schräglage

Berechnungsgrundlagen



Gewicht $G = m \cdot g$

erforderliche
Zentrifugalkraft
 $Z = m \cdot v^2 / r$

Neigungswinkel α :
 $\text{tg } \alpha = v^2 / r \cdot g$

Schräglage in Grad (theoretisch, Werte über 45 Grad nicht angegeben)

Geschwindigkeit		Kurvenradius in m											
km/h	m/sec	5	10	15	20	22.5	25	27.5	30	32.5	35	37.5	40
5	1.39	2.3	1.1	0.8	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
10	2.78	8.9	4.5	3.0	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1
15	4.17	19.5	10.0	6.7	5.1	4.5	4.0	3.7	3.4	3.1	2.9	2.7	2.5
20	5.56	32.2	17.5	11.8	8.9	8.0	7.2	6.5	6.0	5.5	5.1	4.8	4.5
22	6.11	37.3	20.8	14.2	10.8	9.6	8.7	7.9	7.2	6.7	6.2	5.8	5.4
24	6.67	42.2	24.4	16.8	12.8	11.4	10.3	9.4	8.6	7.9	7.4	6.9	6.5
25	6.94	44.5	26.2	18.1	13.8	12.3	11.1	10.1	9.3	8.6	8.0	7.5	7.0
30	8.33		35.3	25.3	19.5	17.5	15.8	14.4	13.3	12.3	11.4	10.7	10.0
33	9.17		40.6	29.7	23.2	20.8	18.9	17.3	15.9	14.8	13.8	12.9	12.1
34	9.44		42.3	31.2	24.4	22.0	20.0	18.3	16.9	15.6	14.6	13.6	12.8
35	9.72		43.9	32.7	25.7	23.2	21.1	19.3	17.8	16.5	15.4	14.4	13.5
38	10.56			37.1	29.6	26.8	24.4	22.4	20.7	19.3	18.0	16.9	15.9
40	11.11			40.0	32.2	29.2	26.7	24.6	22.8	21.2	19.8	18.6	17.5
45	12.50				38.5	35.3	32.5	30.1	28.0	26.1	24.5	23.0	21.7
50	13.89				44.5	41.2	38.2	35.6	33.2	31.2	29.3	27.7	26.2

Geschwindigkeit		Kurvenradius in m											
km/h	m/sec	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100	110	125
5	1.39	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10	2.78	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4
15	4.17	2.3	2.0	1.8	1.7	1.6	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8
20	5.56	4.0	3.6	3.3	3.0	2.8	2.6	2.4	2.3	2.0	1.8	1.6	1.4
22	6.11	4.8	4.4	4.0	3.6	3.4	3.1	2.9	2.7	2.4	2.2	2.0	1.7
24	6.67	5.7	5.2	4.7	4.3	4.0	3.7	3.5	3.2	2.9	2.6	2.4	2.1
25	6.94	6.2	5.6	5.1	4.7	4.3	4.0	3.8	3.5	3.1	2.8	2.6	2.3
30	8.33	8.9	8.1	7.3	6.7	6.2	5.8	5.4	5.1	4.5	4.0	3.7	3.2
33	9.17	10.8	9.7	8.9	8.1	7.5	7.0	6.5	6.1	5.4	4.9	4.5	3.9
34	9.44	11.4	10.3	9.4	8.6	8.0	7.4	6.9	6.5	5.8	5.2	4.7	4.2
35	9.72	12.1	10.9	9.9	9.1	8.4	7.8	7.3	6.9	6.1	5.5	5.0	4.4
38	10.56	14.2	12.8	11.7	10.7	9.9	9.2	8.6	8.1	7.2	6.5	5.9	5.2
40	11.11	15.6	14.1	12.9	11.8	11.0	10.2	9.5	8.9	8.0	7.2	6.5	5.7
45	12.50	19.5	17.7	16.2	14.9	13.8	12.8	12.0	11.3	10.0	9.0	8.2	7.3
50	13.89	23.6	21.5	19.7	18.1	16.8	15.7	14.7	13.8	12.3	11.1	10.1	8.9

- Schräglage < 5 Grad
- Schräglage 5 bis 11 Grad
- Schräglage 11 bis 17 Grad
- Schräglage 17 bis 23 Grad
- Schräglage 23 bis 30 Grad
- Schräglage >= 30 Grad

II Anhang II: Dokumentation statistische Simulationen

A: Simulation Überholvorgänge Velo - Velo

A1: Beschreibung der Simulation

Die Simulation wurde in R implementiert. Nachfolgende ist der verwendete Algorithmus aufgeführt.

```
# Wiederholte Simulationen
# =====
# Simulation dauert je nach Parametrisierung eine gew. Zeit -
# Programm ist nicht gerade auf Geschwindigkeit optimiert

bigSim <- replicate(nsim,
  nrow(VeloSim(simInput2, faktor = 2)$Ueberh)
```

Funktion VeloSim:

```
# Funktion VeloSim: Simulation von Fahrten in 1 Richtung
# =====
# Argumente:
# - input      eine Liste von Parametern
# - faktor     kann nötigenfalls erhöht werden, um sicherzustellen, dass n gross
genug
# - L.UeV      definiert den Überholvorgang [m] als das Zeitintervall, in dem
der Abstand zweier Fahrer <L.UeV ist
#             Default: 5 m
# - minVdiff   minimale Geschwindigkeitsdifferenz [km/h] beim Überholen (massge-
gend für die Länge des Überholvorgangs)
#             Default: 3 km/h
# Output:
# Eine Liste der Klasse "VeloSim" mit folgenden Elementen:
#   input      Liste der input-Parameter
#   sim        data.frame mit Angaben zu den simulierten Fahrten
#   Ueberh     data.frame mit Angaben zu den Ueberholvorgängen innerhalb des
simulierten Intervalls
VeloSim <- function(input, faktor = 2, L.UeV = 5, minVdiff = 3){
  simType <- "notdefiniert"
  if (exists("V", input)) simType <- "resampling"
  if (exists("Vmin", input) && exists("Vmax", input)) simType <- "interval"
  if (simType == "notdefiniert")
    stop("Entweder V oder (Vmin und Vmax) muss im Input definiert sein")
  for (nm in names(input)) assign(nm, input[[nm]])
  if (simType == "resampling") Vmin <- min(V)
  # 1. Fahrten simulieren
  lambda <- Int / 60 # erwartete Anzahl Velos pro
Sekunde
  n0 <- (t.int + s / Vmin * 3.6) * lambda # Erwartete Anzahl Fahrten
n0 <- n0 * faktor # Faktor: n0 erhöhen, damit
sicher genug Fahrten simuliert werden
  Abst <- rexp(n0, lambda) # Simulierte Abstände zwi-
schen Velos [s]
  t.start <- c(0, cumsum(Abst)) # Startzeiten
  if (simType == "interval"){
    Vsim <- runif(n0+1, Vmin, Vmax) / 3.6 # Simulierte Geschwindkgei-
ten [m/s] -> aus gleichverteilt auf Intervall
  } else {
    Vsim <- sample(V, n0+1, replace = TRUE) / 3.6 # Simulierte Geschwindkgei-
ten [m/s] -> gezogen aus Messungen
  }
  t.ende <- t.start + s / Vsim # Endzeiten
  shift <- min(t.ende)
  t.start <- t.start - shift
  t.ende <- t.ende - shift
  if (max(t.start) < s) warning("'Abgeschnittene' Simulation")
```

```

relevant <- t.ende >= 0 & t.start <= t.int          # Für betrachtetes Zeitinter-
vall relevante Fahrten
t.start <- t.start[relevant]
t.ende <- t.ende[relevant]
Vsim <- Vsim[relevant]
n <- sum(relevant)
# 2. Anzahl Ueberholvorgänge bestimmen
Ueberh <- matrix(nrow = choose(n, 2), ncol = 5)
colnames(Ueberh) <- c("t.ueberh", "s.ueberh", "Dauer.UeberhVorg", "V1", "V2")
row <- 0L
# Fkt. ueberh: bestimmt den Kreuzungspunkt von zwei Geraden (entspr. Fahrten)
in der Zeit/Strecke-Ebene,
# die Geschwindigkeitsdifferenz der beiden Fahrer sowie die Dauer des Überhol-
vorgangs [s]
# -> zu beachten: die Dauer des Überholvorgangs hängt ab von den Parametern
L.UeV und minVdiff
ueberh <- function(i, j){
  Vdiff <- Vsim[j] - Vsim[i]
  dt.Ueberh <- (t.start[j] - t.start[i]) * Vsim[j] / Vdiff # Zeitpunkt des
Ueberholens ins sec ab Start von i
  Vdiff <- pmax(Vdiff, minVdiff / 3.6)
  s.Ueberh <- dt.Ueberh * Vsim[i]
  c(t.start[i] + dt.Ueberh,
    s.Ueberh,
    2*L.UeV / abs(Vdiff), # Dauer des Ueberholvorgangs
    Vsim[i],
    Vsim[j]
  )
}
# Iteration über jedes Paar von Fahrten
for (i in 1:(n-1)){
  for (j in (i+1):n){
    row <- row+1L
    Ueberh[row, ] <- ueberh(i, j)
  }
}
Ueberh <- as.data.frame(Ueberh)
Ueberh <- cbind(t(combn(n, 2)), Ueberh)
colnames(Ueberh)[1:2] <- c("id1", "id2")
# Zählen der Ueberholvorgänge im Intervall
Ueberh <- subset(Ueberh,
  t.ueberh > 0 & t.ueberh <= t.int & s.ueberh > 0 & s.ueberh <= s)
# 3. Rückgabe
structure(list(input = input,
              sim = data.frame(t.start, t.ende, Vsim),
              Ueberh = Ueberh),
          class = "VeloSim")
}

```

Funktion Uerbeh.int:

```

# Uerbeh.int
# Berechnet ein paar notwendige Daten aus den Ueberholvorgängen einer "VeloSim"
Uerbeh.int <- function(x){
  stopifnot(inherits(x, "VeloSim"))
  # stopifnot(as.logical(with(out, mapply("<", V1, V2), SIMPLIFY = TRUE)))
  out <- x$Ueberh
  stopifnot(with(out, V1<V2))
  out$t.st <- x$sim$t.start[out$id2]
  out <- transform(out,
    a1 = - t.st * V2,
    b1 = V2,
    x1 = t.ueberh - Dauer.UeberhVorg / 2,
    xu = t.ueberh + Dauer.UeberhVorg / 2)
  out[c("a1", "b1", "x1", "xu")]
}

```

A2: Verwendete Messreihen zur Geschwindigkeitsverteilung

Messreihen zur Geschwindigkeitsverteilung							
Messreihe 1		Messreihe 2		Messreihe 3		Messreihe 4	
Geschwindigkeitsmessungen Schanzenbrücke abwärts 5.6% (100 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Schanzenbrücke aufwärts 5.6% (100 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Tiefenau Radweg eben (120 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Tiefenau Radstreifen eben (120 Werte, km/h)	
Messung	v	Messung	v	Messung	v	Messung	v
1	18.8	1	7.2	1	13.5	1	13.1
2	18.9	2	7.6	2	14.5	2	17.1
3	19.1	3	7.7	3	19.0	3	18.4
4	20.4	4	8.3	4	20.4	4	19.8
5	21.1	5	8.7	5	21.1	5	20.6
6	21.7	6	8.7	6	21.4	6	21.3
7	21.7	7	8.7	7	22.1	7	22.0
8	21.9	8	8.9	8	22.4	8	22.1
9	22.1	9	8.9	9	22.6	9	22.2
10	22.2	10	9.0	10	23.2	10	22.3
11	22.2	11	9.1	11	23.2	11	22.4
12	22.2	12	9.2	12	23.2	12	22.5
13	22.2	13	9.3	13	23.4	13	22.8
14	22.7	14	9.4	14	23.4	14	23.3
15	22.8	15	9.5	15	23.5	15	23.3
16	23.4	16	9.5	16	23.6	16	23.4
17	24.3	17	9.5	17	23.7	17	23.6
18	24.3	18	9.5	18	23.9	18	23.8
19	24.6	19	9.7	19	24.1	19	24.0
20	24.9	20	9.8	20	24.2	20	24.4
21	25.1	21	9.8	21	24.3	21	24.5
22	25.3	22	9.9	22	24.3	22	24.5
23	25.5	23	9.9	23	24.4	23	24.6
24	25.7	24	9.9	24	24.5	24	24.9
25	25.8	25	9.9	25	24.5	25	25.0
26	25.9	26	10.0	26	24.5	26	25.1
27	26.2	27	10.0	27	24.5	27	25.3
28	26.3	28	10.1	28	24.6	28	25.4
29	26.3	29	10.1	29	24.6	29	25.6
30	26.4	30	10.1	30	24.8	30	25.8
31	26.8	31	10.1	31	24.8	31	25.8
32	26.8	32	10.2	32	24.8	32	25.8
33	27.1	33	10.4	33	24.9	33	26.0
34	27.2	34	10.4	34	24.9	34	26.0
35	27.2	35	10.5	35	24.9	35	26.1
36	27.2	36	10.6	36	25.1	36	26.1
37	27.2	37	10.6	37	25.2	37	26.2
38	27.3	38	10.7	38	26.2	38	26.4
39	27.5	39	10.7	39	26.2	39	26.5
40	27.8	40	10.8	40	26.2	40	26.6
41	27.8	41	10.9	41	26.2	41	26.6
42	27.9	42	11.1	42	26.2	42	26.7

Messreihe 1		Messreihe 2		Messreihe 3		Messreihe 4	
Geschwindigkeitsmessungen Schanzenbrücke abwärts 5.6% (100 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Schanzenbrücke aufwärts 5.6% (100 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Tiefenau Radweg eben (120 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Tiefenau Radstreifen eben (120 Werte, km/h)	
Messung	v	Messung	v	Messung	v	Messung	v
43	28.1	43	11.1	43	26.3	43	26.7
44	28.2	44	11.1	44	26.3	44	26.8
45	28.2	45	11.2	45	26.4	45	26.9
46	28.2	46	11.2	46	26.4	46	26.9
47	28.2	47	11.4	47	26.4	47	27.0
48	28.4	48	11.4	48	26.5	48	27.2
49	28.5	49	11.4	49	26.6	49	27.4
50	28.8	50	11.4	50	26.7	50	27.5
51	28.8	51	11.4	51	26.8	51	27.6
52	28.8	52	11.6	52	27.1	52	27.7
53	29.1	53	11.8	53	27.1	53	27.9
54	29.2	54	11.8	54	27.2	54	27.9
55	29.5	55	11.9	55	27.2	55	27.9
56	29.5	56	11.9	56	27.4	56	28.0
57	29.6	57	12.0	57	27.5	57	28.0
58	29.6	58	12.1	58	27.5	58	28.1
59	29.7	59	12.2	59	27.6	59	28.2
60	29.8	60	12.2	60	27.6	60	28.4
61	29.8	61	12.4	61	27.7	61	28.4
62	29.9	62	12.5	62	27.8	62	28.5
63	29.9	63	12.5	63	27.8	63	28.7
64	29.9	64	12.7	64	27.9	64	28.7
65	30.0	65	12.7	65	28.0	65	28.9
66	30.1	66	12.9	66	28.1	66	29.1
67	30.3	67	12.9	67	28.2	67	29.2
68	30.8	68	13.0	68	28.2	68	29.3
69	30.8	69	13.0	69	28.2	69	29.3
70	30.8	70	13.2	70	28.6	70	29.7
71	30.8	71	13.5	71	28.8	71	29.8
72	30.9	72	13.6	72	28.8	72	29.9
73	31.1	73	13.8	73	28.8	73	30.0
74	31.2	74	14.1	74	29.0	74	30.0
75	31.3	75	14.3	75	29.1	75	30.1
76	31.3	76	14.4	76	29.2	76	30.3
77	31.5	77	14.6	77	29.3	77	30.3
78	31.7	78	14.8	78	29.3	78	30.3
79	31.7	79	14.8	79	29.7	79	30.6
80	31.7	80	14.9	80	29.8	80	30.6
81	31.9	81	15.7	81	30.2	81	30.7
82	31.9	82	15.8	82	30.3	82	31.0
83	31.9	83	16.8	83	30.3	83	31.2
84	32.0	84	17.0	84	30.4	84	31.4
85	32.1	85	17.2	85	30.8	85	31.5
86	32.4	86	17.4	86	30.8	86	31.6

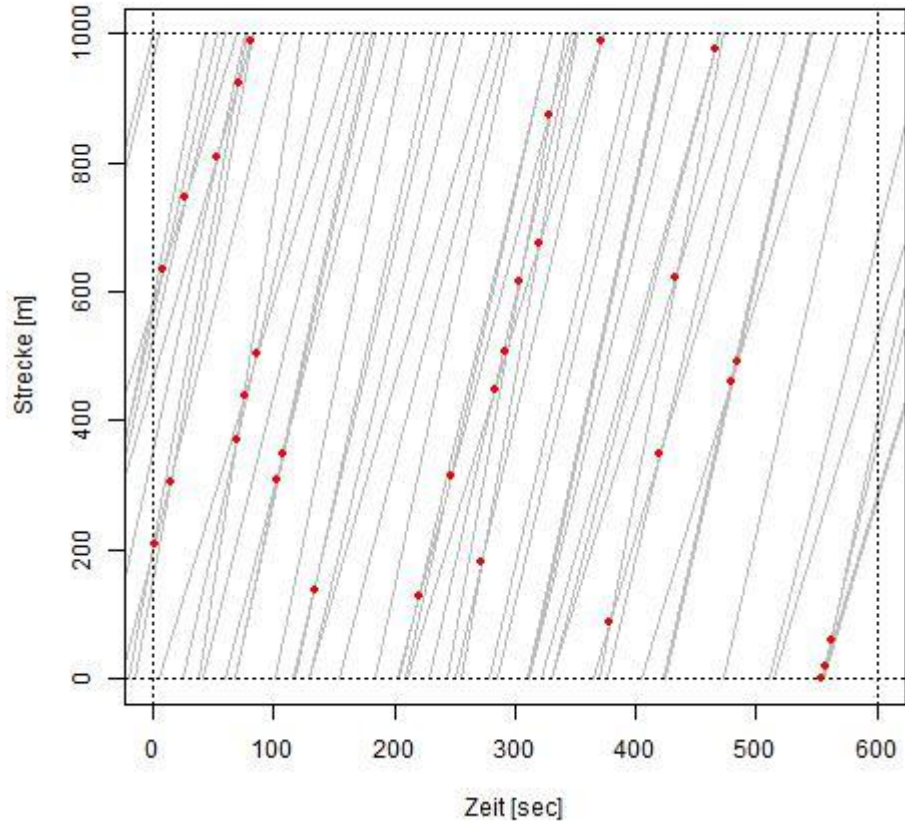
Messreihe 1		Messreihe 2		Messreihe 3		Messreihe 4	
Geschwindigkeitsmessungen Schanzenbrücke abwärts 5.6% (100 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Schanzenbrücke aufwärts 5.6% (100 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Tiefenau Radweg eben (120 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Tiefenau Radstreifen eben (120 Werte, km/h)	
Messung	v	Messung	v	Messung	v	Messung	v
87	32.8	87	18.0	87	30.8	87	31.6
88	33.7	88	18.1	88	30.9	88	31.7
89	33.7	89	18.8	89	31.0	89	32.6
90	33.7	90	18.8	90	31.2	90	32.8
91	33.8	91	19.7	91	31.8	91	32.9
92	33.8	92	19.8	92	31.9	92	33.0
93	34.1	93	20.3	93	32.1	93	33.2
94	35.1	94	21.2	94	32.1	94	33.2
95	36.8	95	25.5	95	32.1	95	33.4
96	36.8	96	25.7	96	32.3	96	33.5
97	36.9	97	26.0	97	32.4	97	33.5
98	37.6	98	26.5	98	32.8	98	33.6
99	37.7	99	26.6	99	32.9	99	33.6
100	42.6	100	35.5	100	33.2	100	34.0
	28.5		13.1	101	33.2	101	34.2
	2.2			102	33.3	102	34.4
				103	33.3	103	34.5
				104	33.3	104	34.8
				105	33.5	105	35.2
				106	33.5	106	35.5
				107	33.5	107	35.6
				108	34.5	108	35.6
				109	34.6	109	36.4
				110	35.3	110	37.1
				111	36.4	111	37.6
				112	36.8	112	37.7
				113	38.1	113	38.2
				114	40.3	114	40.2
				115	40.3	115	41.3
				116	41.1	116	42.2
				117	43.0	117	42.3
				118	43.8	118	43.2
				119	45.0	119	43.3
				120	50.0	120	49.3

Messreihe 5		Messreihe 6		Messreihe 7		Messreihe 8	
Geschwindigkeitsmessungen Gasbahn Stao 1, aufwärts 3.5% (32 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Gasbahn Stao 1, abwärts 3.5% (32 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Gasbahn Stao 3, aufwärts 3.5% (32 Werte, km/h)		Geschwindigkeitsmessungen Gasbahn Stao 3, abwärts 3.5% (28 Werte, km/h)	
Messung	v	Messung	v	Messung	v	Messung	v
1	8.8	1	19.4	1	8.1	1	17.4
2	9.3	2	19.8	2	10.7	2	18.9
3	9.4	3	20.9	3	10.7	3	19.0
4	9.7	4	21.6	4	10.9	4	19.2
5	9.9	5	21.7	5	12.1	5	19.5
6	9.9	6	22.7	6	12.3	6	19.9
7	10.0	7	23.7	7	12.3	7	21.3
8	11.0	8	23.9	8	13.0	8	21.8
9	12.0	9	24.3	9	13.1	9	22.4
10	12.0	10	24.5	10	13.2	10	22.5
11	12.4	11	25.5	11	14.9	11	23.1
12	12.5	12	25.7	12	14.9	12	23.7
13	12.8	13	26.0	13	15.5	13	23.7
14	13.1	14	26.1	14	15.8	14	24.2
15	13.7	15	26.7	15	17.3	15	24.3
16	13.8	16	27.0	16	17.8	16	24.7
17	14.0	17	27.1	17	17.9	17	25.5
18	14.1	18	27.1	18	18.7	18	26.1
19	14.3	19	27.2	19	19.8	19	26.2
20	15.2	20	27.2	20	20.0	20	26.6
21	15.5	21	28.5	21	21.2	21	27.1
22	15.5	22	28.6	22	21.6	22	28.0
23	16.0	23	28.7	23	22.6	23	28.4
24	17.3	24	29.1	24	25.1	24	28.7
25	17.9	25	29.5	25	25.6	25	29.0
26	18.3	26	29.6	26	28.1	26	29.6
27	20.2	27	29.6	27	28.4	27	30.0
28	21.1	28	30.7	28	30.3	28	31.4
29	22.2	29	32.6	29	30.6		
30	24.6	30	33.2	30	31.9		
31	26.6	31	33.6	31	32.1		
32	27.6	32	36.3	32	37.1		

A3: Resultate der Simulation

Zahl der Überholvorgänge Velo/Velo in Abhängigkeit von Verkehrsbelastung und Geschwindigkeitsverteilung												
Velos/h	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	
Eingabegrößen:												
s	100											
t.int	3600											
Int	0.8333	1.25	1.6667	2.0833	2.5	2.9167	3.3333	3.75	4.1667	4.5833	5	
v-Muster	Mess3											
nsim	500	500	500	500	300	300	300	300	300	100	100	
Mean ÜV(1)	0.798	2.028	3.726	5.982	8.197	11.660	15.360	18.650	22.880	27.960	33.980	
Mean ÜV(2)	0.926	2.102	3.620	5.974	8.227	11.560	14.550	19.150	23.480	26.750	32.580	
Mean ÜV(3)	0.852	2.106	3.792	5.916	8.700	12.000	15.210	19.130	24.000	27.970	34.470	
v-Muster	Mess4											
nsim	500	500	500	500	300	300	300	300	300	100	100	
Mean ÜV(1)	1.028	2.062	3.726	6.118	8.803	11.570	15.970	19.680	23.950	28.790	35.270	
Mean ÜV(2)	1.070	2.136	3.804	6.210	8.433	11.640	15.070	19.590	24.040	29.080	34.170	
Mean ÜV(3)	0.968	1.990	3.784	6.128	8.533	11.870	15.530	19.460	24.200	28.500	34.190	
Durchschnitt eben	0.94	2.07	3.74	6.05	8.48	11.72	15.28	19.28	23.76	28.18	34.11	
v-Muster	Mess2											
nsim	500	500	500	500	300	300	300	300	300	100	100	
Mean ÜV(1)	3.090	7.122	12.690	19.980	29.140	38.080	51.100	64.250	78.250	94.450	114.90	
Mean ÜV(2)	3.020	7.232	12.910	20.070	28.680	39.330	51.250	65.190	78.820	96.030	113.80	
Mean ÜV(3)	3.136	7.242	12.650	19.860	29.020	39.770	51.060	62.960	78.290	98.220	113.40	
v-Muster	Mess5											
nsim	500	500	500	500	300	300	300	300	300	100	100	
Mean ÜV(1)	3.156	7.120	12.310	18.870	27.330	37.290	49.400	61.340	76.490	93.440	109.10	
Mean ÜV(2)	3.140	6.704	12.550	19.320	28.040	36.720	48.330	62.220	77.460	91.760	109.50	
Mean ÜV(3)	2.958	6.764	12.170	19.120	27.160	37.070	48.780	62.190	76.010	89.790	106.30	
Durchschnitt aufwärts	3.08	7.03	12.55	19.54	28.23	38.04	49.99	63.03	77.55	93.95	111.17	
v-Muster	Mess1											
nsim	500	500	500	500	300	300	300	300	300	100	100	
Mean ÜV(1)	0.810	1.794	3.172	5.280	7.357	10.080	13.460	16.490	20.470	25.260	29.780	
Mean ÜV(2)	0.784	1.868	3.282	4.986	7.500	9.817	12.580	15.850	20.000	24.710	28.980	
Mean ÜV(3)	0.850	1.868	3.256	5.318	7.193	9.653	12.970	16.230	19.810	23.940	28.670	
v-Muster	Mess6											
nsim	500	500	500	500	300	300	300	300	300	100	100	
Mean ÜV(1)	0.844	1.834	3.168	5.112	7.293	9.867	12.990	16.240	20.110	24.310	28.710	
Mean ÜV(2)	0.814	1.752	3.242	4.842	7.120	9.950	12.930	16.130	20.590	24.220	29.080	
Mean ÜV(3)	0.850	1.926	3.344	5.144	7.257	9.900	13.080	16.230	20.660	24.850	29.030	
Durchschnitt abwärts	0.83	1.84	3.24	5.11	7.29	9.88	13.00	16.20	20.27	24.55	29.04	

A4: Illustration der Resultate



B: Simulation Überholvorgänge Velo - Velo bei Gegenverkehr

B1: Beschreibung der Simulation

Die Simulation wurde in R implementiert. Nachfolgende ist der verwendete Algorithmus aufgeführt.

```
# Ausführlicheres Beispiel: Gegenverkehr mit den beiden Messungssätzen der Schanzenbrücke
simInput1 <- list(
  s = s,
  t.int = t.int,
  Int = Int,
  V = Mess3)
simInput2 <- list(
  s = s,
  t.int = t.int,
  Int = Int*2/3,
  V = Mess3)

# -----

# Wiederholte Simulationen
# =====

conflSim <- replicate(nsim, {
  vs1 <- VeloSim(simInput1, L.UeV = L.UeV, minVdiff = minVdiff)
  vs2 <- VeloSim(simInput2, L.UeV = L.UeV, minVdiff = minVdiff)
  nrow(VeloConfl(vs1, vs2)) + nrow(VeloConfl(vs2, vs1))
})
```

Die Funktion VeloSim ist unter A1 in diesem Anhang zu finden.

Funktion VeloConfl:

```
# Funktion VeloConfl:
# -----
# Ermittelt die "Konflikte" = Kreuzen zwischen einer Fahrt und einem Überholvorgang
# Genauer: die Koordinaten (Zeit, Strecke) des Kreuzens mit dem Überholenden werden extrahiert
# (das Kreuzen mit dem Überholten wird nicht gezählt)
# Input sind zwei "VeloSim" Objekte x1 und x2
# -> Zeitintervall und Strecke der beiden Simulationen müssen identisch sein!
# Die Richtung von x2 wird dabei umgekehrt
# Es werden nur Konflikte von Überholvg. aus x1 mit Fahrten aus x2 ermittelt
# Die Gegenrichtung (Überholvg. aus x2 kreuzt Fahrt aus x1) muss mit einem separaten Aufruf untersucht werden
VeloConfl <- function(x1, x2){
  stopifnot(inherits(x1, "VeloSim"), inherits(x2, "VeloSim"),
    all.equal(x1$input[c("s", "t.int")], x2$input[c("s", "t.int")]))
  in1 <- Ueberh.int(x1)
  in2 <- with(x2$sim, data.frame(
    a2 = t.ende * Vsim,
    b2 = -Vsim))
  in1$id1 <- rownames(in1)
  in2$id2 <- rownames(in2)
  in12 <- merge(in1, in2)
  in12$xcr <- with(in12, (a1 - a2) / (b2 - b1))
  in12$ycr <- with(in12, a1 + b1 * xcr) # (xcr, ycr) sind die ermittelten Koordinaten
  structure(subset(in12, x1 <= xcr & xcr <= xu & ycr > 0 & ycr < x1$input$s),
    class = c("VeloConfl", "data.frame"))
}
```

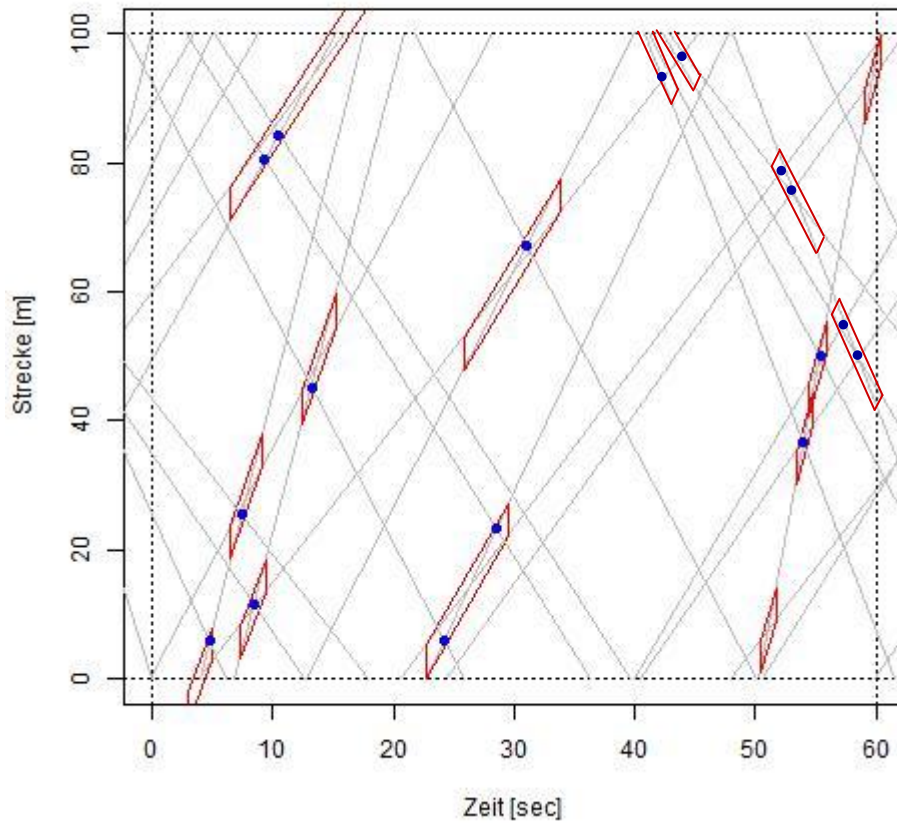
B2: Verwendete Messreihen zur Geschwindigkeitsverteilung

Es wurden die gleichen Messreihen verwendet wie für die Simulation der Überholvorgänge

B3: Resultate der Simulation

Zahl der Überholvorgänge bei Gegenverkehr in Abhängigkeit von Verkehrsbelastung und Geschwindigkeitsverteilung														
Fall 1: keine Steigungen														
Input: Velos/min	100	150	200	250	300	350	400	450	500					
Eingabegrößen:														
s	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
t.int	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600				
Int		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5				
nsim		500	500	500	300	300	300	100	100	100				
L.UeV	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7				
minVdiff	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
simInput1:														
Int		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5				
V		Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3				
simInput2:														
Int		Int*2/3	0.6667	1.0000	1.3333	1.6667	2.0000	2.3333	2.6667	3.0000	3.3333			
V		Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3	Mess3			
Mean ÜVconfl. (1)		0.322	0.934	2.462	4.822	8.432	12.670	19.330	26.920	36.810				
Mean ÜVconfl. (2)		0.324	1.116	2.472	4.733	8.097	13.040	19.550	26.950	39.780				
Mean ÜVconfl. (3)		0.326	0.926	2.352	4.587	7.897	13.440	18.780	26.880	37.850				
Durchschnitt		0.324	0.992	2.429	4.714	8.142	13.050	19.220	26.917	38.147				
Fall 2: Steigung ca. 4%														
Input: Velos/min	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	400	450	500
Eingabegrößen A:														
s	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t.int	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
Int		1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	4	4.5
nsim		500	500	500	500	300	300	300	300	100	100	100	100	100
L.UeV	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
minVdiff	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
simInput1:														
Int		1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	4	4.5
V		Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5	Mess5
simInput2:														
Int		Int*2/3	0.6667	0.8333	1.0000	1.1667	1.3333	1.5000	1.6667	1.8333	2.0000	2.1667	2.3333	2.6667
V		Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6	Mess6
Mean ÜVconfl. (1)		0.828	1.608	2.542	4.086	6.513	9.140	12.770	16.430	21.040	27.780	33.990	49.120	70.190
Mean ÜVconfl. (2)		0.864	1.460	2.530	4.238	6.307	8.817	12.680	15.900	21.140	26.610	34.380	51.110	72.740
Mean ÜVconfl. (3)		0.726	1.448	2.688	4.038	6.413	8.843	11.950	16.630	20.690	27.080	33.690		
Durchschnitt		0.806	1.505	2.587	4.121	6.411	8.933	12.467	16.320	20.957	27.157	34.020	50.115	71.465
Eingabegrößen B:														
s	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
t.int	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
Int		1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	4	4.5
nsim		500	500	500	500	300	300	300	300	100	100	100	100	100
L.UeV	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
minVdiff	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
simInput1:														
Int		1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	3.5	4	4.5
V		Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2	Mess2
simInput2:														
Int		Int*2/3	0.6667	0.8333	1.0000	1.1667	1.3333	1.5000	1.6667	1.8333	2.0000	2.1667	2.3333	2.6667
V		Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1	Mess1
Mean ÜVconfl. (1)		0.820	1.596	2.836	4.384	6.953	9.910	12.960	17.400	23.830	29.270	35.100	51.260	76.910
Mean ÜVconfl. (2)		0.772	1.562	2.810	4.616	6.850	9.390	13.490	17.410	24.570	27.350	35.340	55.230	77.620
Mean ÜVconfl. (3)		0.870	1.642	2.962	4.446	6.590	9.463	13.290	17.740	22.620	29.060	36.000		
Durchschnitt		0.821	1.600	2.869	4.482	6.798	9.588	13.247	17.517	23.673	28.560	35.480	53.245	77.265
Durchschnitt A+B		0.813	1.553	2.728	4.301	6.604	9.261	12.857	16.918	22.315	27.858	34.750	51.680	74.365

B4: Illustration der Resultate



Glossar

Begriff	Bedeutung
Veloverkehr	Der Veloverkehr (Fahrradverkehr) umfasst Velo (inkl. solche mit elektrischer Unterstützung) und Motorfahräder
Strecke	Verschiedene Möglichkeiten der Führung des Veloverkehrs in Bezug auf den Motorfahrzeugverkehr
Führungsart	Verschiedene Möglichkeiten der Führung des Veloverkehrs in Bezug auf den Motorfahrzeugverkehr
Getrennte Führung	<p>Unter getrennter Führung wird immer die Trennung von Veloverkehr und mIV verstanden. Bei getrennter Führung verlaufen Veloanlagen entweder mit einer baulichen Trennung parallel zur Fahrbahn oder als eigenständige Strassen oder Wege. Es gibt folgende Typen von Veloanlagen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Radweg • Gemeinsamer Rad- und Fussweg • Rad- und Fussweg mit getrennten Verkehrsflächen • Fussweg mit Zusatz „Radfahrer gestattet“ • Verkehrsfläche mit Teilfahrverbot
Führung auf Radstreifen	Bei Radstreifen wird der Veloverkehr auf eigenen Fahrstreifen geführt. Ein Radstreifen ist der für den Veloverkehr bestimmte Fahrstreifen, welcher durch eine unterbrochene gelbe Linie oder durch eine ununterbrochene gelbe Linie gekennzeichnet ist
Gemischte Führung	Bei gemischter Führung wird der Veloverkehr auf denselben Fahrstreifen wie der übrige fahrende Verkehr geführt. Diese Bezeichnung gilt ebenfalls für Busstreifen, welche für den Veloverkehr freigegeben sind
Betriebsform	Verschiedene Möglichkeiten der Organisation des Velo-, Fuss- und Motorfahrzeugverkehrs bei gegebener Führungsart
Projektierungselemente	Übergeordnete Grössen, welche für die Projektierung von Veloanlagen wie Radwegen und Radstreifen von Bedeutung sind wie z.B. Breite, Längsneigung, Kurven-Radius, Sichtweiten
SVG LCR	Strassenverkehrsgesetz <i>Loi sur la circulation routière</i>
VRV OCR	Verkehrsregelnverordnung <i>Ordonnance sur les règles de la circulation routière</i>
SSV OSR	Signalisationsverordnung <i>Ordonnance sur la signalisation routière</i>
VTS OETV	Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge <i>Ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers</i>

Literaturverzeichnis

Normen und Richtlinien Schweiz

-
- [1] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1994), „**Leichter Zweiradverkehr, Grundlagen**“, SN 640 060
-
- [2] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (Vernehmlassungsentwurf 2015), „**Geometrisches Normalprofil, Begriffe und Elemente**“, SN 640 200, „**Geometrisches Normalprofil, Grundabmessungen und Lichtraumprofil**“, SN 640 201, „**Geometrisches Normalprofil, Erarbeitung**“, SN 640 202
-
- [3] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1999), „**Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Grundlagennorm**“, SN 640 017a
-
- [4] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2014), „**Hindernisfreier Verkehrsraum**“, SN 640 075
-
- [5] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2016), „**Knoten; Führung des leichten Zweiradverkehrs**“, SN 640 252a
-
- [6] Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau (2010), „**Merkblatt Zweiradverkehr**“
-
- [7] Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau (2008), „**Kernfahrbahn**“
-
- [8] Tiefbauamt des Kantons Bern (2014), „**Anlagen für den Veloverkehr**“, Arbeitshilfe
-
- [9] Tiefbauamt Kanton Zürich und Kantonspolizei Zürich (2012), „**Anlagen für den leichten Zweiradverkehr des Kantons Zürich**“
-
- [10] Velokonferenz Schweiz, Biel (2012), „**Veloverkehr im Einflussbereich von Hochleistungsstrassen (HLS)**“
-
- [11] Bundesamt für Strassen, Bern (2008), „**Planung von Velorouten - Handbuch**“, Vollzugshilfe Langsamverkehr Nr. 5.
-
- [12] Velokonferenz Schweiz (2007), „**Velomassnahmen mit ungenügender rechtlicher Abstützung**“
-
- [13] Baudirektion des Kantons Bern, Bern (1989), „**Zweiradanlagen, Empfehlungen für Massnahmen**“
-
- [14] Schweizerische Velo Konferenz SVK und Fonds für Verkehrssicherheit FVS (2005), „**Velos auf Trottoirs**“
-

Forschungsarbeiten Schweiz

-
- [15] ETH Zürich, Pestalozzi & Stäheli Bern (2013), „**Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs**“, Forschungsauftrag VSS 2007/306
-
- [16] ZHAW, verkehrsteiner, Dipl. Ing. Frossard Bern (2012), „**Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?**“, Forschungsauftrag SVI 2004/053
-
- [17] Dipl. Ing. Frossard, Ingenieurbüro Ghielmetti, verkehrsteiner, Bern (2009), „**Forschungsauftrag Velomarkierungen**“, Materialien Langsamverkehr Nr. 116, Bundesamt für Strassen
-
- [18] Fussverkehr Schweiz und Pro Velo Schweiz, Zürich und Bern (2007), „**Gemeinsame Flächen für den Fuss- und Veloverkehr**“
-
- [19] Sigmaplan, Bern (2007), „**Konfliktanalyse beim Mischverkehr**“, Forschungsauftrag SVI 20017/542
-
- [20] Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern (2004), „**Sicherheitsdossier Fahrradverkehr – Unfallgeschehen, Risikofaktoren und Prävention**“
-
- [21] WAM Partner, Planer und Ingenieure, Solothurn (2003), „**Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer**“, Forschungsauftrag SVI 1999/135
-
- [22] Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich (2009), „**Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie**“, Forschungsauftrag SVI 2007/005
-

Normen und Richtlinien Ausland

-
- [23] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln (2010), „**Empfehlungen für Radverkehrsanlagen ERA**“
-
- [24] Österreichische Forschungsgesellschaft Schiene Strasse Verkehr, Wien (2009), „**Radverkehr RVS 03.02, Anlagen für den nichtmotorisierten Verkehr**“
-
- [25] CERTU, Lyon (2008), „**Recommendations pour les aménagements cyclables**“
-
- [26] CROW, Ede (2007), „**Design manual for bicycle traffic**“
-

-
- [27] Centre de recherches routières, Bruxelles (2010), "**Fiches techniques: Les aménagements cyclables en section courante**", Fiche 1
-
- [28] Department for transport, London (2008), "**Cycle infrastructure design**", Local transport note 2/08
-
- [29] Federal highway administration, Washington (2015), "**Separated bike lane planning and design guide**"
-
- [30] Transportation research board, Washington (2014), "**Recommended bicycle lane widths for various roadway characteristics**", NCHRP report 766
-
- [31] Centre de recherches routières, Bruxelles (2010), "**Le vélo – un mode de déplacement durable, nécessitant des solutions techniques appropriées**", Dossier 7
-
- [32] Road Directorate, Copenhagen (2000), "**Collection of Cycle Concepts**"
-
- [33] Road Directorate, Copenhagen (2005), "**Collection of Cycle Concepts**"
-
- [34] Road Directorate, Copenhagen (2005), "**Collection of Cycle Concepts**"
-

Forschungsarbeiten Ausland

-
- [35] Pröbstl S. et al., Wien (2011), "**Verkehrssichere Lösungen für den Radverkehr in Österreich**" Kuratorium für Verkehrssicherheit
-
- [36] Stuart R., Adams S., London (2010) "**Infrastructure and cyclist safety**", PPR 580
-
- [37] Institute of Transport Economics, Elvik R., Oslo (2009) "**The handbook of road safety measures**"
-
- [38] Trafitec, Jensen S.U. et al., Copenhagen (undated) "**Road safety and perceived risk of cycle facilities in Copenhagen**"
-
- [39] Darren J. Torbic et al. (2014): **Recommended Bicycle Lane Widths for Various Roadway Characteristics**, NCHRP REPORT 766
-

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: 5.7.2016

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2010/207

Projekttitel: Grundlagen für die Dimensionierung von sicheren Veloverkehrsanlagen

Enddatum: 27.05.2016

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Der vorliegende Bericht formuliert Empfehlungen zu folgenden Bereichen:

Aufgrund verschiedener Kriterien wurden schematisch 24 Anwendungsfälle gebildet, für die die empfohlenen (ein bis maximal drei) Führungsarten angegeben wurden.

Die nötigen Abstände gegenüber seitlichen Hindernissen liessen sich aus vorhandenen Normen und Videobeobachtungen ableiten. Dabei wurde je nach Höhe der Hindernisse differenziert. Angesichts der geänderten Rahmenbedingungen und insbesondere im Hinblick auf die rasante Zunahme der E-Bikes wird empfohlen, die Projektierungsgeschwindigkeit auf 35 bzw. 45 km/h heraufzusetzen. Die nötigen Minimalradien auf der Strecke können aus der Projektierungsgeschwindigkeit und physikalischen Gegebenheiten abgeleitet werden. Auch die notwendigen Breitenzuschläge sowie die Zuschläge zu Hindernisabständen in Kurven liessen sich aus physikalischen und geometrischen Überlegungen ableiten und differenzieren.

Vor der Festlegung der erforderlichen Abmessungen von Veloinfrastrukturen in der Form von nutzbaren Breiten musste festgehalten werden, wie diese Breiten gemessen werden. Um den Handlungsspielraum nicht zu stark zu beschränken und auf spezielle Situationen eingehen zu können, wurden die formulierten Empfehlungen nach "Stufe A" und "Stufe B" differenziert und deren jeweiliger Anwendungsbereich definiert.

Alle erarbeiteten Empfehlungen haben das Ziel, dem vorhandenen bzw. zu erwartenden Veloverkehr eine komfortable Benützung der Anlagen zu erlauben bzw. die Häufigkeit von kritischen Situationen (Überholvorgänge auf Einrichtungsradwegen, Überholvorgänge bei Gegenverkehr auf Zweirichtungsradwegen, Begegnungen mit Fussgängern auf Fuss- und Radwegen, Überholvorgänge von Velofahrenden untereinander auf Radstreifen und das gleichzeitige Überholen durch Schwerverkehrsfahrzeuge) auf einem akzeptablen Niveau zu halten. Dazu wurden die mit Video beobachteten Situationen auf ihre Attraktivität bewertet und mit Hilfe von Simulationen die zu erwartende Häufigkeit von kritischen Situationen - nach Verkehrsdichte differenziert - bestimmt. Als Basis dafür dienten real gemessene Geschwindigkeitsverteilungen. Analog wurde auch im Falle von Einbahnstrassen mit Velo im Gegenverkehr die erträgliche Schwelle von kritischen Situationen der Dimensionierung zugrunde gelegt.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Das Ziel, für alle wichtigen Elemente der Veloinfrastruktur Empfehlungen für die Dimensionierung zu formulieren, konnte erreicht werden. Dabei wurde die Sicherheit des Veloverkehrs als wichtigstes Kriterium verwendet.

Es zeigte sich, dass zu verschiedenen Themen wie Anhaltstrecke und Längsneigung, Gehwege mit zugelassenem Radverkehr und zu Fahrbahnen im Mischverkehr ohne Radstreifen auf bestehende Hilfsmittel verwiesen konnte und keine neuen Empfehlungen formuliert werden mussten.

Folgerungen und Empfehlungen:

Wir empfehlen, die Resultate der vorliegenden Forschungsarbeit als Grundlage für die Formulierung von Normen für die Dimensionierung von Radverkehrsanlagen zu verwenden. Dabei könnten weitere Resultate von momentan noch laufenden Forschungen der SVI beigezogen werden (Auswirkungen von E-Bikes, Anforderungen an Veloschnellverbindungen).

Publikationen:

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Dörnenburg

Vorname: Klaus

Amt, Firma, Institut: Sigmaplan AG

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 vorliegende Forschungsarbeit beinhaltet gute Grundlagen und Empfehlungen für die Dimensionierung von Veloinfrastrukturen. Wertvoll sind insbesondere die Betrachtungen zum Platzbedarf von Velos z. B. in Schräglagen oder gegenüber Hindernissen. Die sinnvolle Unterteilung der Standards in die Stufen A und B betonen auf der einen Seite die Abmessungen, die für eine sichere und qualitativ hochstehende Infrastruktur nötig sind, zeigen aber auch den Spielraum auf für pragmatischere Lösungen in Situationen mit tieferen Verkehrsfrequenzen oder beschränktem Platzbedarf. Der Bericht ist eine gute Grundlage für die Normierung und weitergehende Forschungsarbeiten.

Umsetzung:

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit dienen der Begleitkommission (NFK 2.4) für die inhaltliche Revision der Velo-Grundnorm SN 640 060. Für die Normierung müssen die Begrifflichkeiten und rechtliche Bedeutung der verschiedenen Führungsformen geklärt werden (z. B. Definition Radwege oder gemeinsame Fuss-/Radwege). Mittelfristig sind hier auch Präzisierungen im Strassenverkehrsrecht nötig.

weitergehender Forschungsbedarf:

Im Hinblick auf eine sicherere und qualitativere Veloinfrastruktur werden getrennte Führungsformen (Radwege) künftig in bestimmten Bereichen an Bedeutung gewinnen. Der Bericht gibt Empfehlungen für die Dimensionierung solcher Anlagen, deren bauliche Gestaltung muss aber noch genauer geklärt werden. Wofür muss das Zusammenspiel mit entsprechenden (neuen) Knotenlösungen untersucht werden. Vgl. dazu auch den Abschluss zum Projekt VSS 2010/204 Veloverkehr im Bereich von Knoten. Die Dimensionierung und Gestaltung von Engstellen, die keine eigene Infrastruktur für den Veloverkehr zulassen, muss vertiefter untersucht werden. Welches sind die geeigneten Querschnittsmasse für eine objektiv und subjektiv sichere Veloführung? Wie müssen Engstellen gestaltet und signalisiert werden, damit die Verflechtung möglichst sicher erfolgen kann?

Einfluss auf Normenwerk:

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit dienen der inhaltlichen Revision der SN 640 060 und weiterer Normen zum Veloverkehr.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Walter

Vorname: Urs

Amt, Firma, Institut: ASTRA, Bereich Langsamverkehr

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

5.7.16 *Urs Walter*

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (*Dienstleistung --> Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.