

Einsatzbereiche und Entwurfselemente von Radschnellverbindungen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 320

bast

Einsatzbereiche und Entwurfselemente von Radschnellverbindungen

von

Jan Malik
Peter Lange
PTV Transport Consult GmbH, Düsseldorf

Rico Andriesse
Goudappel Coffeng BV, Deventer

Peter Gwiasda
Lena Erler
Dirk Stein
Planungsbüro VIA eG, Köln

Jörg Thiemann-Linden

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 320

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 82.0680/2016/:
Einsatzbereiche und Entwurfselemente von Radschnellverbindungen

Fachbetreuung:
Benjamin Schreck-von Below

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 – 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 – 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-477-7

Bergisch Gladbach, September 2019

Kurzfassung – Abstract

Einsatzbereiche und Entwurfselemente von Radschnellverbindungen

Unter Radschnellverbindungen (RSV), oft als Radschnellwege bezeichnet, werden Radverkehrsverbindungen verstanden, die vorrangig auf den Alltagsradverkehr ausgerichtete Zielbereiche des Radverkehrs mit hohen Potenzialen über größere Distanzen verknüpfen und ein sicheres und attraktives Befahren mit hohen Fahrtgeschwindigkeiten ermöglichen.

RSV kamen bisher vor allem in europäischen Nachbarländern zur Ausführung, insbesondere in den Niederlanden. Die Entwicklungen in Deutschland sind sehr dynamisch: In zahlreichen Bundesländern bzw. (Metropol-)Regionen und Ballungsräumen werden derzeit Machbarkeitsstudien und Potenzialanalysen erarbeitet, sind in der planerischen oder ersten baulichen Umsetzung.

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt werden zwei Schwerpunktthemen betrachtet: Im Schwerpunkt 1 erfolgt die Erarbeitung eines praxisorientierten Verfahrens zur Potenzialanalyse bzw. -abschätzung von RSV sowie hierauf aufbauend die Erarbeitung einer Nutzen-Kosten-Analyse. Schwerpunkt 2 umfasst die Untersuchung sicherheitsrelevanter Elemente von RSV. Auf Basis einer Bestandsaufnahme einschließlich Verkehrsbeobachtung vor Ort erfolgt die Erarbeitung von inner- und außerörtlichen Entwurfselementen von Strecken und Knotenpunkten.

Schwerpunkt 1

Zur Erarbeitung der Potenzialanalyse wurden zunächst bestehende Ansätze deutscher und europäischer Studien untersucht. Das Hauptaugenmerk, insbesondere in Verknüpfung mit der Nutzen-Kosten-Analyse, liegt hier in der Bestimmung der Verlagerungspotenziale.

Je nach Datenverfügbarkeit der zu untersuchenden Region wurden zwei verschiedene Verfahren entwickelt, die sich im Detaillierungsgrad unterscheiden. Ein detailliertes Verfahren setzt auf bestehende Verkehrsmodelle auf und berechnet mithilfe eines definierten Berechnungsverfahrens die Verlagerungspotenziale. Mit einem überschlägigen Verfahren zu Projektbeginn werden das Verkehrsaufkom-

men im Untersuchungsgebiet grob berechnet und Verlagerungspotenziale überschlägig abgeleitet.

Für die Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) wurden u.a. die Verfahren des Bundesverkehrswegeplans (BVWP) 2030, die NKA zur Bewertung der Effizienz von Radverkehrsmaßnahmen (NKA-Rad) und die standardisierte Bewertung von SPNV-Maßnahmen als Grundlagen verwendet. Die für RSV relevanten Komponenten wurden geprüft und hinsichtlich ihrer Anwendung auf RSV gegebenenfalls angepasst.

Schwerpunkt 2

Eine Sicherheitsbewertung an Streckenabschnitten wurde mit dem Ziel durchgeführt, das Konfliktniveau auf RSV zu untersuchen und die Wirksamkeit unterschiedlicher Arten der Trennung zum Gehweg hin zu prüfen. Dazu wurden an sieben Untersuchungsstrecken in Deutschland und den Niederlanden eine Verhaltensbeobachtung und eine Unfallanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Breite einer RSV von mindestens 4,00 m zuzüglich eines separat geführten Gehwegs grundsätzlich geeignet ist, um hohe Radverkehrsmengen aufzunehmen, da die Interaktionen zwischen den Radfahrern untereinander, welche auf der freien Strecke dominieren, ab dieser Breite reduziert werden können.

Der Kenntnisstand zur Sicherheit an Querungsstellen mit Bevorrechtigung für den Radverkehr ist derzeit noch gering, so dass zehn innerörtlicher Knotenpunkte dieser Art Gegenstand der hier vorliegenden Untersuchung waren. Neben einer Verhaltensbeobachtung wurde eine Unfallanalyse durchgeführt. Tendenziell lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass die bevorrechtigte Querung grundsätzlich als sicher zu bewerten ist und bei einer Verkehrsstärke von bis zu 2.000 Kfz/Tag auf der untergeordneten Straße eingesetzt werden kann. Die Erkennbarkeit der Querungsstelle sollte durch zusätzliche Ausstattungselemente verstärkt werden.

Weiterhin wurden im Rahmen der Untersuchung rechnerische Verlustzeiten und Einsatzbereiche für typische Knotenpunktformen im Zuge von RSV ermittelt.

Application areas and design elements of cycle highways

A bicycle highway (also called cycling superhighway) is a bicycle path which connects the most important destinations of cycling with high potential for long distance routes. It is designed for high velocity and a safe and attractive use.

Bicycle highways used to exist mostly in European neighbouring countries, especially in the Netherlands. The development in Germany in this area is very dynamic. A high number of regions and conurbations (e.g. Duesseldorf, Leipzig, Köln, Mannheim, Ruhr-Region) are analyzing feasibility and potential, first sections are in realisation.

The focus of this project is set on two main subjects. Subject 1 is the development of a practical method to estimate the potential of bicycle highway and related to that, a cost-benefit-analysis. Subject 2 contains the investigation of safety related elements of bicycle highways. Based on a local survey and observation, standardized design elements for roads and intersections in urban and rural areas have been developed.

Subject 1

In a first step to develop a method for a potential analysis, existing studies and guidelines in Germany and neighbouring countries have been studied. The focus, especially for the cost-benefit-analysis, is set on the calculation of the modal shift.

Depending on data availability of the investigated region two different methods were developed. A detailed method is based on already existing transport models and calculates modal shift potentials with a defined calculation method. An approximate method bases on a roughly estimation of the total traffic volume in a defined region and only derives modal shift potentials.

For the development of the cost-benefit-analysis the BVWP 2030 (Federal Transport Infrastructure Plan), NKA-Rad (existing guideline for cost-benefit-analysis for bicycle infrastructure) and Standardisierte Bewertung (standardized tool for measuring public transport) were evaluated. Those benefit components which were relevant for bicycle highways were checked and adjusted if necessary.

Subject 2

Regarding the safety on the open track of bicycle highways, this study will examine the level of conflict

and the effect of different approaches to the separation of the cycle highway and the footpath. Behavioural observations and accident analyses have been conducted on seven test sections in Germany and the Netherlands. Results show that a width of at least 4 metres is basically suitable to accommodate a high volume of cycle traffic, as the number of conflicts among cyclists can be reduced from this width on.

As the level of evidence concerning the safety at intersections between roads and independent bicycle highways having the right of way is low, ten test intersections of this type were subject of this investigation. In addition to accident analyses, behavioural observations on each test intersection have been conducted. Results show that intersections of roads and independent bicycle highways having the right of way tend to have a low level of conflict and can be applied to streets with a traffic volume up to 2000 vehicles per day. The perceptibility of these intersections should be increased by additional fitting elements.

Furthermore, time losses and ranges of application for common types of intersections on bicycle highways were calculated this study

Application areas and design elements of cycle highways

1 Definition of task

The advancement of cycling should deliver essential contributions for aims in transport and environmental policy like lowering the CO₂ values and avoiding congestions. While the number of cyclists in cities has risen, the private motor vehicle transport still dominates the surrounding countryside and so transport problems focus on this field. A solution should be the shift of commuter routes on to bicycle highways. The term bicycle highway defines a bicycle infrastructure that connects important origins and destinations with high number of bicycles even for longer distances. In addition, the design is made for a high velocity and an attractive and safe use. Bicycle highways are mainly planned for everyday trips. In combination with a rising number of electric bicycles, the bicycle as a transport mode should be established in new user groups and for longer distances.

With the FGSV-working paper "Application and design of bicycle highways" (2014) there is an already existing documentation. The paper arose with the upcoming development of bicycle highways in Germany in order to give a framework at an early stage. Thus, there were hardly no best practice experiences existing. Unclear aspects have therefore been left out or were described unspecific. Also, upper-level papers or guidelines have no or just little specifications (guideline for integrated network-design (2008), guideline for design of urban roads (2006), recommendation for design of bicycle infrastructure (2010). That leads to a wide spread of ideas, how a precise recommendation should look like. This area of discretion is filled differently by currently executed feasibility studies.

Given the current situation, it is sensible to make use of local and foreign experiences. The task for the project contains two focal points for this context:

- Developing a method for potential analysis and cost-benefit-analysis which can be used for usual planning scenarios and which illustrates the effect of a bicycle highway based on detailed input data.
- Developing and optimization of design elements, especially for nodal points in terms of safety re-

lated elements and with the use of already existing investigations.

2 Methodology

The methodical procedure for the potential analysis and the cost-benefit-analysis exists of three essential successive steps:

- Literature analysis in terms of local and foreign experience with the aim of typing and evaluating existing procedures in terms of accuracy, reliability, comparability and traceability.
- Developing a process potential analysis which delivers robust and reliable results while ensuring applicability to the planners. In detail, the procedure is divided into following aspects:
 - Route Choice: Which factors can and must be deposited in the model to get a realistic picture of bicycle traffic?
 - Mode Choice: Which shift effect on bicycle traffic is possible, based on the demand of motor vehicle transport?
 - Development of a practicable procedure for the derivation of bicycle traffic from demand matrices of motorized individual transport or public transport.
 - Application of the calculation methods on three exemplary regions and comparison with results of existing studies
 - Evaluation of the Calculation Method: The calculation method is applied on three concrete studies in order to examine the applicability and the results.
- Development of a cost-benefit-analysis based on an evaluation of already existing approaches to enable a compilation of relevant cost and benefit components.

Due to their reciprocal interactions of potential analysis and cost benefit analysis, they are closely linked to each other. With the development of the potential analysis, different calculation approaches and methods were accounted. Procedures used abroad and procedures which are fitted to other modes of transport have been included. As a result, two methods have been developed which differ in terms of input data and detail. The availability of

transport models is an essential aspect. Both methods calculate all results which are required for the cost-benefit-analysis as well.

- A detailed procedure is based on already existing transport models and uses a defined calculation method to calculate the potentials of modal shift.
- An approximate method is based on the approximated calculation of the traffic volume and derives modal shift potentials.

The calculation of the potential analysis pursued two goals:

- Determination of the total and section related bicycle traffic on the potential bicycle highway in order to prove that the new path will have a sufficiently large number of users and to justify the high constructional standards.
- Assessment of the modal shift effect from other modes of transport (especially motor vehicle) to the bicycle, as a result of the increased bicycle infrastructure

For the assessment of traffic safety on road sections, behavioral observations were carried out on five German and two Dutch bicycle highways. If possible, an accident analysis was also executed. The aims of the study were to evaluate the interactions between cyclists and pedestrians and between cyclists among themselves. Different types of separation between the areas of bicycle and pedestrian traffic as well as the determination of cycling speeds were fundamental for the analysis.

In the course of bicycle highways different intersection types occur. Findings from research on traffic safety in cycling traffic already exist for most of these intersections. With the help of literature search, the crossing point with prioritization for the bicycle highways was identified as a form of intersections, for which the lowest level of knowledge about traffic safety currently exists. In the empirical part of the study, behavioral observations and accident analysis were carried out at 10 such crossing points.

In practice currently often estimated values are used. Therefore, the present study should provide information on the delay times and the fields of application of typical intersections on bicycle highways. With this aim, traffic flow calculations were carried out for the typical intersections

according to HBS (2015). These results were compared with those from the empirical part of the study and the appropriate technical regulations.

3 Investigation results

3.1 Potential analysis

The purpose of the potential analysis is to determine the expected cycling traffic for a defined route considering the area structure. This method therefore differs from a preliminary study, often referred as a "potential study", where corridors get identified as bicycle highways.

Based on literary research, it can be stated there is not much experience in modelling and assignment of bicycle traffic in consideration of aspects of route choice. For this reason and in consideration of the general availability of transport models, two independent methods for determination of potentials were created in order to obtain reliable results in relation to the respective data availability. It is important to have a clear differentiation of possibilities and limitation of use of the two methods.

3.1.1 Detailed method

The detailed method is based on the modal split function of the standardized assessment in public transport. A comparison with existing transport models shows a sufficient accuracy without systematic deviations. Due to a little number of parameters, the calculations and results can be retraced.

The process steps are shown in figure 3-1. All inputs and results that change in the scenario case are highlighted.

The comparison of the results of the potential analysis would be carried out by comparing with the counted amount of bicycles. By now there are hardly no completely realised bicycle highways. Thus, the results are compared to calculations of regional macroscopic transport models in three exemplary regions. It shows that the results lie slightly above the reference values. At the same time, it shows, that a calibration of the modal-split-function to the local circumstances is sensible in order to represent the local bicycle share and travel distances in bicycle traffic.

3.1.2 Approximate method

The approximate method is based on existing structural data and the estimation of car and bicycle traffic volume. There are simple calculation steps and it requires no additional data apart from generally available data (e.g. population, school locations). Basically, this provides a simplified and

spatially limited model, which can be calculated with a spreadsheet. This method is recommended for a first rough estimation before conducting a feasibility study. In addition it can be used in case that the detailed method cannot be realised. In this context, it is intended for small study areas with a small amount of trip relations.

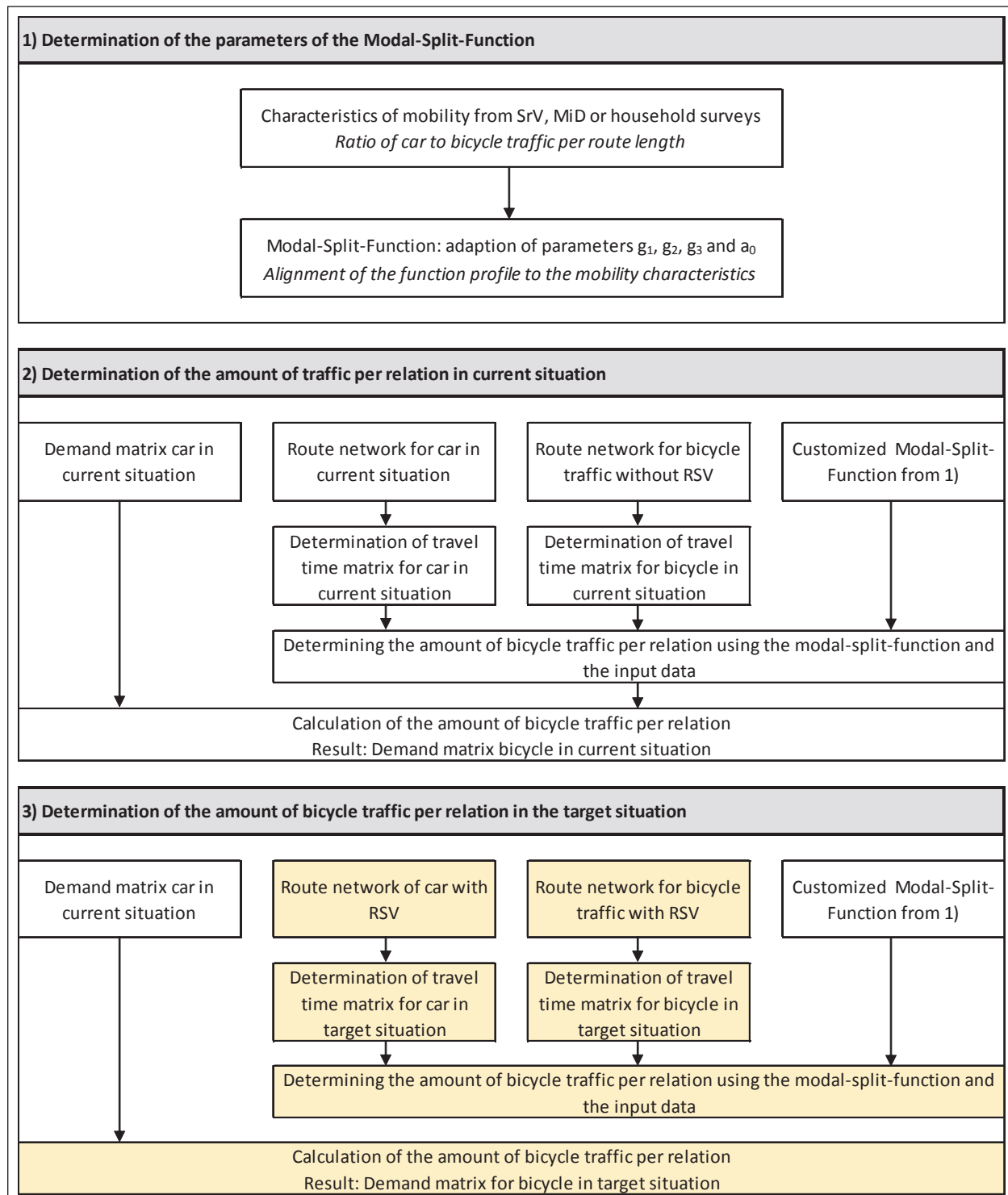


Fig. 3-1: Calculation Process of the Detailed Method

3.2 Cost-Benefit-Analysis

Based on an analysis of already existing national and international approaches for the evaluation of general cycling measures, the following benefit components will be used and adapted to the assessment of a bicycle highway:

- operating costs of the infrastructure (e.g. measures for maintaining the construction)
- vehicle operation costs (as savings in the shift from car to bicycle)
- health effects due to increased activity (based on health costs) for all users who change to the bicycle and regularly cover a certain distance
- reduction of the mortality rate
- travel time (as a benefit for those who already used the bicycle before or as a possible loss for those who previously preferred other modes of transport)
- environmental costs (e.g. noise, pollution, construction and disposal of motor vehicles)

In addition, some descriptive benefit components will be developed to consider complementary aspects, which do not require quantification:

- reduction of land usage
- improvement of quality of life and residence (e.g. increased attractiveness of an area due to lower car traffic)
- improving the participation of non-motorized people in urban life (e.g. by using new or shorter paths to central facilities)
- third party benefits (e.g. indirect benefits for other modes of transport)
- benefits for pedestrians

These aspects are compared with the corresponding investment in order to calculate a cost-benefit-ratio. They are composed of planning costs and marketing, land acquisition, driving ways, engineering structures and industrial engineering and, due to their different life expectancies, are formed with annuity factors.

3.3 Traffic safety

3.3.1 Traffic safety on road sections

The analysis of the behavioral observation clearly shows that only very few conflicts were recorded on all test sections. On none of the routes were more than 2 conflicts observed, although there were at least 50 chases. Furthermore, it can be determined that the interactions on bicycle highways are mainly characterized by encounters with other cyclists on the open track. Interactions with pedestrians occur when pedestrians walk on the bicycle highway and is less common than interactions with other cyclists. While at sections with widths below 4.00 m the interactions are mainly due to the encounters of several cyclists, in widths from 4.00 m the overtaking processes predominate. Initially, the number of conflicts that occur is not subject to the direct influence of traffic volume on the bicycle highway. Rather, the results indicate that the average number of interactions a cyclist experiences is related to the observed conflicts. This finding suggests that cross sections can also contain high traffic volumes and deal with them without conflict if the infrastructure reduces the occurrence of interactions between road users. This includes in particular the reduction of interactions in intersecting traffic through widths from 4.00 m. The observations tended to show a positive influence of the middle lane marking to avoid interactions between cyclists.

The average cycling speeds were on road sections without intersections between 20 and 24 km/h (12.4 – 15 mph). The highest average speed was recorded at 23.4 km/h (14.5 mph) on the Nordbahntrasse in Wuppertal. In Zwolle an average speed of 21.6 km/h (13.4 mph) was measured. In Enschede and Leverkusen, the average speed is around 20 km/h (12.4 mph).

The type of separation between the pedestrian and bicycle paths seems to play an important role on the open road when foot traffic is comparatively high. Overall, there was a low level of conflict on all routes, which confirmed the accident analysis. The separation in the form of a broad greenbelt or strip of gravel as well as adjacent areas for pedestrians and cyclists with a clear separation strip are suitable for bicycle highways. At intersections with other bicycle and pedestrian facilities, no particular abnormalities were noted.

The number of bicycle highways implemented in Germany has so far been low. Most of the routes

studied are no bicycle highways in the narrow sense and have been realized in recent years. At present it is not possible to carry out the examination with a considerably larger sample size. Extensive before-and-after analysis as part of the accident analysis is currently also not possible. The study notes that many routes are being tested for their feasibility. It is therefore to be expected that the number of bicycle highways implemented in Germany will increase in the next few years. Thus, a more detailed investigation of these routes will be possible.

3.3.2 Traffic safety at intersections

The examined intersections with priority for the bicycle highway show neither an abnormality in the conflict nor accident frequency. The results suggest that the prioritization of the bicycle highway is possible if there are constructional or operational deficits and good visibility conditions up to a traffic intensity of 2,000 vehicles / 24h on the subordinate road considering the following conditions. The present study was carried out on intersections in the network of residential roads and streets with a maximum of 30 km/h (18.6 mph). Therefore, all derived recommendations are limited to these conditions of use. The conflict level at intersections with traffic intensities of 2,000 to 3,500 vehicles / 24h on the subordinate road is also low, but show an increased conflict level in comparison to the intersections with a lower traffic intensity. For the intersections with more than 3,500 vehicles / 24 h on the subordinate road, no findings can be derived from the present investigation.

Moreover, the present study does not allow any conclusions to be drawn on the use of intersections outside urban areas and preferential crossing points outside the network of residential roads. Conflicts due to high speeds are to be expected at intersections outside urban areas, which requires further research.

Looking at individual intersections shows the tendency that additional equipment features can have a positive impact on traffic safety. The combination of limited visibility and low recognizability of the intersection seems to affect the conflict level in a negative way.

In addition, after the implementation of the numerous planned bicycle highways, an evaluation should be carried out with regard to the design of intersections and the implemented equipment features. This will be possible in a few years on a broader statistical base.

Inhalt

Abkürzungen	13	3.4.5	Berechnung des Mitfalls und Ableitung der Verlagerung	44
1 Einleitung	15	3.5	Überschlägiges Verfahren	45
1.1 Entwicklung von Radschnellverbindungen in Europa.....	15	3.5.1	Berechnungsablauf.....	45
1.2 Überblick erste Wirkungskontrollen von Radschnellverbindungen.....	17	3.5.2	Untersuchungsgebiet und Bezirkseinteilung.....	45
1.3 Stand der Planung und Umsetzung in Deutschland.....	19	3.5.3	Ermittlung des Quellverkehrsaufkommens	45
2 Auswertung von Studien und Regelwerke	21	3.5.4	Abbildung der Reisezeiten und Berechnung der Zielwahl.....	47
2.1 Potenzialanalyse	21	3.5.5	Ableitung des Radverkehrsaufkommens	47
2.1.1 Empfehlungen und Hinweispapiere	21	3.5.6	Berechnung des Mitfalls und Ableitung der Verlagerungswirkung.....	48
2.1.2 Bestehende Verfahren der Potenzialanalyse	21	3.6	Vergleich und Anwendung der Berechnungsverfahren	48
2.2 Nutzen-Kosten-Analyse.....	24	3.6.1	Detailliertes Verfahren	48
2.3 Elemente von RSV	25	3.6.2	Überschlägiges Verfahren	50
2.3.1 Definition und Begriffe	25	3.6.3	Berechnung der Verlagerungswirkung.....	52
2.3.2 Vergleich der Anforderungen.....	28	3.7	Zukünftige Auswirkungen von Pedelecs	53
2.3.3 Kenntnisstand zur Sicherheitsbewertung auf Streckenabschnitten von RSV	33	3.8	Zukünftige Auswirkungen auf den öffentlichen Verkehr	54
2.3.4 Kenntnisstand zur Sicherheitsbewertung an Knotenpunkten im Zuge von RSV	34	3.9	Zwischenfazit	54
2.3.5 Verkehrsablauf an Knotenpunkten.....	36	4 Nutzen-Kosten-Analyse		55
2.4 Fazit und Folgerungen für die Untersuchung	36	4.1	Berücksichtigte Nutzen-Komponenten	55
3 Verfahren zur Potenzialanalyse	37	4.1.1	Betriebskosten der Infrastruktur	55
3.1 Expertenbefragung.....	38	4.1.2	Fahrzeugbetriebskosten.....	56
3.2 Ablauf und Ziel	38	4.1.3	Gesundheitliche Auswirkungen erhöhter Aktivität.....	56
3.3 Einsatz von makroskopischen Verkehrsmodellen.....	39	4.1.4	Reduzierung der Sterblichkeitsrate	57
3.4 Detailliertes Verfahren	41	4.1.5	Reisezeit	58
3.4.1 Berechnungsablauf.....	41	4.1.6	Umweltkosten	58
3.4.2 Ermittlung der Radverkehrsnachfrage	41	4.2	Berücksichtigte deskriptive Nutzen-Komponenten	60
3.4.3 Abbildung des Radverkehrsnetzes	42	4.2.1	Senkung des Flächenverbrauchs	60
3.4.4 Parametrierung der Modal-Split-Funktion... 43		4.2.2	Verbesserung der Lebens- und Aufenthaltsqualität	61

4.2.3	Verbesserung der Teilhabe nichtmotorisierter Personen am städtischen Leben	61	6.1.3	Unfallanalyse	77
4.2.4	Nutzen im Bereich Dritter	61	6.2	Auswertung	78
4.2.5	Verbesserungen für den Fußgängerverkehr	61	6.3	Einordnung der Ergebnisse und Empfehlung	81
4.3	Nicht berücksichtigte Nutzen-Komponenten	62	7	Einsatzbereiche typischer Knotenpunktformen	81
4.3.1	Verkehrssicherheit / Unfallkosten	62	7.1	Methodisches Vorgehen	81
4.3.2	Veränderung der Kosten im ruhenden und fließenden Verkehr	62	7.2	Ergebnisse und Empfehlungen zum Einsatz	84
4.3.3	Induzierter Verkehr	62	8	Zusammenfassung	86
4.3.4	Fahrkomfort	62	8.1	Hintergrund und Ziele	86
4.3.5	Zuverlässigkeit (BVWP) / Zuverlässigkeit der Infrastruktur	62	8.2	Ergebnisse	87
4.3.6	Innerörtliche Trennwirkung (BVWP)	63	8.3	Offene Fragen und Forschungsbedarf	88
4.3.7	Transportzeit Güter (BVWP)	63	Literatur	88	
4.3.8	Implizite Nutzendifferenz	63	Tabellen	91	
4.4	Kosten-Komponenten	63	Bilder	92	
4.5	Verknüpfung der Potenzialanalyse und der Nutzen-Kosten-Analyse	64			
4.6	Komponenten der Nutzen-Kosten-Analyse	65			
4.7	Beispielanwendung der Nutzen-Kosten-Analyse	66			
4.8	Zwischenfazit	68			
5	Sicherheitsbewertung von Streckenabschnitten	68			
5.1	Methodisches Vorgehen	68			
5.1.1	Auswahl der Untersuchungsstrecken	68			
5.1.2	Verhaltensbeobachtung	69			
5.1.3	Unfallanalyse	70			
5.2	Auswertung	71			
5.3	Zwischenfazit	74			
6	Sicherheitsbewertung an Knotenpunkten	74			
6.1	Methodisches Vorgehen	74			
6.1.1	Auswahl der Untersuchungsknotenpunkte	74			
6.1.2	Verhaltensbeobachtung	76			

Der Anlagenband zum Bericht ist im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar

Abkürzungen

AGFS	Arbeitsgemeinschaft fußgänger- und fahrradfreundlicher Städte
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
CROW	Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wagenbouw en de Verkeerstechniek
Destatis	Statistisches Bundesamt
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DTVw	Durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärke
ERA	Empfehlungen für Radverkehrsanlagen
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V.
GIS	Geoinformationssystem
Kfz	Kraftfahrzeug
MiD	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NRVP	Nationaler Radverkehrsplan
NKA	Nutzen-Kosten-Analyse
NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
ÖV/ÖPNV/SPNV	Öffentlicher Verkehr / Öffentlicher Personennahverkehr / Schienengebundener Personennahverkehr
POI	Point of Interest (Ort mit besonderer Bedeutung)
RASt	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen
RIN	Richtlinien für integrierte Netzgestaltung
RSV	Radschnellverbindung
RS 1	Radschnellweg Ruhr
RVR	Regionalverband Ruhr
SenUVK	Senatsverwaltung für Verkehr, Umwelt und Klimaschutz
SrV	System repräsentativer Verkehrsbefragung, durchgeführt von der TU Dresden

1 Einleitung

Unter Radschnellverbindungen (RSV), oft als Radschnellwege bezeichnet, werden Radverkehrsverbindungen verstanden, die vorrangig auf den Alltagsradverkehr ausgerichtete Zielbereiche des Radverkehrs mit entsprechenden Potenzialen über größere Distanzen verknüpfen und ein sicheres und attraktives Befahren mit hohen Fahrtgeschwindigkeiten ermöglichen. RSV weisen (z. B. nach dem FGSV-Arbeitspapier „Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen“) eine Mindestlänge von fünf Kilometern auf. Sie sind vorrangig auf den Alltagsradverkehr ausgerichtet und haben zum Ziel, auch vor dem Hintergrund einer deutlichen Steigerung des Anteils von Elektrofahrrädern, neue Nutzerpotenziale für das Radfahren über vergleichsweise längere Distanzen zu erschließen. Nach den Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN) 2008 entsprechen sie den Kategorien AR II (überregionale Radverkehrsverbindung) und IR II (innergemeindliche RSV).

Derzeit gibt es von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) mit dem Arbeitspapier zum Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen (2014) ein Wissensdokument zur Thematik. Das Papier ist zu Beginn der Entwicklung von RSV in Deutschland entstanden, um frühzeitig seitens der FGSV einen Rahmen vorzugeben. Erfahrungen aus der Praxis lagen im Aufstellungszeitraum des FGSV-Arbeitspapiers allerdings nur in begrenztem Maße vor. Themen, zu denen noch nicht hinreichend Klarheit bestand, wurden daher zunächst ausgeklammert oder angerissen. Höherrangige Regelwerke der FGSV wie die Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN 2008), Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 2006), Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 2010) enthalten bisher keine oder nur knappe Angaben. Dementsprechend bestehen über die genauen Vorgaben zum Teil noch sehr unterschiedliche Vorstellungen. Insbesondere gibt es nur geringen Kenntnisstand über erfolgversprechende Einsatzmöglichkeiten und Verlagerungspotenziale, die durch attraktive Strecken tatsächlich erreicht werden können. Die im Rahmen des Forschungsprojekts bearbeiteten Schwerpunkte

- Verfahren zur Potenzialermittlung,
- Nutzen-Kosten-Analyse,
- Sicherheitsbewertung von Streckenabschnitten und Knotenpunkten und

- Einsatzbereiche typischer Knotenpunktformen

ergeben sich somit aus dem Optimierungs- und Ergänzungsbedarf des bisherigen Arbeitspapiers.

1.1 Entwicklung von Radschnellverbindungen in Europa

Ursprung und aktuelle Entwicklung in den Niederlanden

Erste Demonstrationsvorhaben von RSV für den Alltagsverkehr, mit neuen Netzelementen und dem Ziel einer Radverkehrsbeschleunigung, gab es schon Ende der 1970er Jahre in den niederländischen Städten Tilburg und Den Haag [SPAPÉ et al. 2015]. Aufgrund der begrenzten Korridorwirkung in diesen Projekten entwickelte man jedoch in der Folgezeit wieder ein flächiges, hierarchisch gestuftes Radnetz fort. Das entsprechende Pilotvorhaben eines flächigen Radverkehrsnetz-Ansatzes am Beispiel der Stadt Delft war erfolgreich und wurde Ausgangspunkt für die Radverkehrsplanung über mehr als ein Jahrzehnt – mit Förderung des Nationalen Masterplans Fiets [LIGTERMOET 2011].

Mit Aufkommen der ersten Elektrofahrräder und angesichts der Suche nach Alternativen zur stauanfälligen regionalen Autonutzung bekam in den Niederlanden der routenbezogene Planungsansatz wieder neues Gewicht. Dieser Ansatz ging anfangs von zwei unterschiedlichen Zielstellungen aus: Für den Ansatz hoch qualitativer „Fahrrad-Schnellstraßen“ (niederländisch: Fietssnelwegen) stehen die Provinzen Twente mit dem F35-Projekt von Almelo nach Enschede sowie die Städteregion um Arnheim und Nimwegen mit dem „Rijn-Waal-Pad“. Ein weiterer Ansatz ging pragmatischer an die Aufwertung vorhandener Radverkehrsrouten – im teilweise staatlich finanzierten Programm „Fietsfilevrij“ (Fahrtaufrei Fahrrad). Entsprechend beider Ansätze entwickelten Städte und regionale Institutionen gleichzeitig ihre überörtlichen Radroutenprojekte [SPAPÉ et al. 2015]. Die Erfahrungen aus den Projekten wurden in Empfehlungen zusammengefasst in der Veröffentlichung „Inspirationsbuch für schnelle Radrouten“ (2014) der CROW (Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek), jedoch nicht mit dem technischen Richtlinien- und Regelwerk der FGSV vergleichbar.

Spezifische Weiterentwicklungen in Deutschland und weiteren europäischen Stadtregionen

Inspiziert durch gute Praxiserfahrungen in den Niederlanden wurde der Gedanke von Radschnellverbindungen in Neukonzeptionen stadtreionaler Radverkehrsnetze integriert. In Deutschland wurden in den 2010er Jahren die ersten Studien zu Radschnellverbindungen entwickelt. Als Schrittmacher sind an dieser Stelle das Land Nordrhein-Westfalen und die Metropolregion Hannover zu nennen. Die Metropolregion Hannover hat 2011 die erste regionale Studie zu Radschnellwegen vorgelegt [Metropolregion – Kommunen in der Metropolregion e.V. 2012]. Von den untersuchten Korridoren wurde der „eRadschnellweg Göttingen“ als Pilotmaßnahme ausgewählt und mittlerweile realisiert. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) hat eine Förderung von RSV auch auf nationaler Ebene umgesetzt.

In Nordrhein-Westfalen wurde im Koalitionsvertrag für die Legislaturperiode 2012 bis 2017 die Förderung von RSV als Ziel genannt. Darauf folgte die Auslobung eines Kommunalwettbewerbs in allen Regierungsbezirken, der Stadtregionen und kommunalen Zusammenschlüssen die Gelegenheit bot, Projekte zu definieren und als Wettbewerbsbeitrag einzureichen. Vor dem Hintergrund dieses Wettbewerbs in Nordrhein-Westfalen war die Definition von Anforderungen erforderlich, um den Wettbewerbsteilnehmern Rahmenbedingungen für ihre Studien vorzugeben. Daher wurden die „Kriterien für Radschnellwege“, die 2012/13 durch ein Expertengremium erarbeitet wurden, die ersten Vorgaben zum Thema [AGFS 2013]. Dieses Papier war die Grundlage für alle folgenden Definitionen der Qualitätskriterien.

Der konzeptionelle Ansatz aus den Niederlanden mit neuartigen Radverbindungen wurde international zunächst konkret in London und Kopenhagen unter völlig differenten Voraussetzungen umgesetzt, bei ähnlicher Bezeichnung (Cycle Superhighways, Cykelsuperstier).

In Kopenhagen waren schnelle übergemeindliche Routen der nächste Schritt einer Weiterentwicklung eines kapazitätsorientierten Radverkehrsnetzes, zu Beginn auch unter Nutzung einer stillgelegten Bahntrasse im Siedlungsgebiet [Capital Region of Denmark 2014]. RSV-Projekte waren auch Anlass für eine Neugründung eines entsprechenden Zweckverbands. Kennzeichnend für die Ambition waren ein einheitliches Informationsdesign und erste Ex-post-Evaluationen.

In London hatte die stadregionale Verkehrsbehörde TfL (Transport for London) den Anspruch alle Verkehrsmittel kommunenübergreifend zu verbinden. Motiv für die neuen Pendler-Radverkehrsbindungen bei gleichzeitigem Aufbau eines Bike-Sharing-Systems waren enorme Kapazitätsengpässe im U-Bahnsystem. Die RSV ermöglichten erste durchgängige Radrouten durch Stadtteile ohne zusammenhängendes Radverkehrsnetz [SPAPÉ et al. 2015]. Die ersten als „Cycle Superhighways“ bezeichneten und vermarkteten Projekte wurden unter den schwierigen Verkehrsbedingungen einer Metropole jedoch noch nicht als qualitativ hochwertig (super) empfunden. In neuerer Zeit wird eine bessere Qualität der Verbindungen mit aufwendiger, integrierter Straßenraumgestaltung verfolgt.

Thematische Überschneidung mit Bahntrassenradeln

Unter der internationalen Überschrift Greenways lassen sich regionale Verbindungen mit höherem Ausbaustand gegenüber lokalen Verbindungen zusammenfassen. Oft aus touristischer Intention realisiert werden diese in der Praxis aber auch im Alltagsverkehr genutzt. Internationale Vernetzung der Akteure und Projekte sind auch Gegenstand einer EU-Förderung als sog. Greenways (European Greenway Association, www.aevv-egwa.org). Greenways nutzen vorzugsweise stillgelegte Bahntrassen oder Kanaluferwege und finden sich daher besonders in industriell geprägten Regionen in England, Belgien und Spanien.

In Deutschland sind u. a. im Bergischen Land und im Ruhrgebiet inzwischen zusammenhängende Radroutennetze auf ehemaligen Bahntrassen realisiert und in Fahrradreiseleratur und Informationsportalen (wie z. B. www.bahntrassenradeln.de) aufgenommen. Sie können aufgrund der günstigen Trassierung mit Brücken und Unterführungen über weite Strecken eine attraktive Wegeführung gewährleisten, teilweise und abschnittsweise erreicht der Ausbaustand sogar die Anforderungen an RSV, z. B. das umgesetzte Projekt der Nordbahntrasse in Wuppertal. Bahntrassenradeln als besonderer Bereich der Radverkehrsinfrastruktur erfordert die Beschäftigung mit bahnrechtlichen Voraussetzungen und Trassensicherungsprogrammen.

Motive für RSV als Leuchtturmprojekte

Die mit RSV verbundenen Ziele wurden nach niederländischem Vorbild in verschiedenen europäischen Großstädten und Stadtregionen unter Berücksichtigung lokaler Besonderheiten und Modifi-

kationen aufgegriffen. Die Radverkehrspolitik und Infrastrukturentwicklung der letzten Jahre zeigt eine dynamische Entwicklung, die einhergeht mit der zunehmenden Verbreitung von Pedelecs oder der Weiterentwicklung von Bike-Sharing-Systemen.

Dabei wird heute eine Vielfalt von institutionellen Verantwortlichkeiten, Entwurfs-elementen bzw. Ausbaustandards und Marketingaktivitäten gesehen. Übergreifende Literatur und Ex-post-Evaluation für diese neuen Infrastrukturtypen sind auch international noch rar. Mit dem laufenden EU-Projekt CHIPS (Cycle Highways Innovation for smarter People Transport and Spatial Planning) in Nordwesteuropa werden internationale Erfahrungen zu RSV zusammengetragen [CHIPS-Consortium 2016].

Der Mehrwert von RSV als Leuchtturmprojekte für die jeweilige regionale oder Stadtentwicklung – wird z. B. beim Radschnellweg Ruhr RS1 deutlich [RVR 2014]. Bei zahlreichen RSV-Projekten sind nicht nur die verkehrliche Verbesserung Motive für Planung und Umsetzung, sondern auch der Erlebniswert, städtebauliche Integration und sozioökonomischen Mehrwert für die benachbarten Quartiere [BENDIX et al. 2013].

Das gilt im Zuge neuer RSV auch für aufwendige, aber reisezeitwirksame Maßnahmen, um topografische Hindernisse oder Verkehrswege niveaufrei zu queren. Brücken und Unterführungen wirken somit für den Fußgänger- und Radverkehr als exklusive Erreichbarkeitsverbesserung im intermodalen Vergleich. Sie verbinden gleichzeitig die stadregionale Verbindungsfunktion mit der kleinräumigen Anbindung neuer Quartiere. Damit stehen sie als Angelpunkt für die angebundenen Stadtentwicklungsprojekte, z. B. in den Niederlanden in Eindhoven (Hovenring-Kreuzung) oder in Utrecht als direkte Anbindung der Neustadt Leidse Rijn über den Amsterdam-Rijn-Kanal. Zahlreiche Brücken werden anspruchsvoll gestaltet und stehen für Baukultur und als Symbole für den Übergang in eine neuorientierte Verkehrsentwicklung (z. B. in Kopenhagen die Fahrradschlange über ein Hafenbecken (Bild 1-1) als inzwischen eine von mehreren neuen Fahrradbrücken im Stadtgebiet) [BENDIX et al. 2013].

1.2 Überblick erste Wirkungskontrollen von Radschnellverbindungen

Ausgeprägte stadregionale Konzepte mit ersten umgesetzten Projekten nach niederländischem Vor-



Bild 1-1: Fahrradschlange-Brücke in Kopenhagen [Foto: Thiemann-Linden]

bild finden sich in den Provinzen im belgischen Flandern als Fietssnelwegen (in der Provinz Antwerpen als Fiets-o-strades), sowie in einigen deutschen Bundesländern. Hinzu kommen eine Reihe einzelner Radschnellverbindungsprojekte zwischen Nachbarstädten (z. B. Malmö - Lund in Schweden), im Rahmen von Stadterweiterungen (z. B. in Helsinki), zur Erschließung belebter großstädtischer Randbereiche (im polnischen Danzig) oder als Testfälle aus der Weiterentwicklung des nationalen technischen Regelwerks der Schweiz zu sog. Velobahnen (z. B. in Winterthur). Es finden sich RSV-ähnliche Projekte quer durch die Innenstadtbezirke in den neuen Radverkehrskonzepten: u. a. in Paris (als REVe - Réseau Express Vélo) und in Wien (Rad-Langstrecken).

Im Folgenden werden – ohne Anspruch auf thematische Vollständigkeit - einige besondere Aspekte wie Anforderungen und landesspezifische Ansätze in kurzer Form zusammengetragen. Wie in Deutschland konnten auch in anderen europäischen Ländern vor dem Hintergrund der wenigen umgesetzten RSV und weniger Dauerzählstellen u.ä. nur wenige Erfahrungen mit der Evaluation und Wirkungskontrolle gesammelt werden.

Niederlande

Typisch für die Niederlande ist die Vielfalt der Einzelprojekte – noch bevor eine Art technisches Regelwerk die gesammelten Erfahrungen im CROW-Inspirationsbuch von 2014 ausgewertet und beschrieben hat. Bereits zuvor hatten einzelne Provinzen als Kofinanzierungsvoraussetzung Standards definiert gehabt. So hat die Provinz Twente nach den ersten Erfahrungen in einem überarbeiteten Masterplan F 35 Regel- und Mindestmaße für die weiteren Bauabschnitte als Rahmenvorgaben

definiert. Hervorzuheben ist in den Niederlanden die durchgängige Roteinfärbung und das breite Spektrum der Führungsformen, nicht selten auch mit Fahrradstraßen und eine Führung in belebten Hauptsammelstraßen, schließlich die niveaufreien Querungen von Straßen [CROW 2014]. In der FGSV werden bei der Weiterentwicklung des RSV-Arbeitspapiers von 2014 zu einem Hinweispapier Punkte aus dem CROW-Inspirationsbuch und der niederländischen Praxis diskutiert.

Eine einfache Abfolge von drei Schritten für die Einrichtung der radialen Radschnellverbindungen in die Innenstädte größerer Städte wird wie folgt vorgeschlagen [VAN DER VOET 2012]:

1. erschwerte Durchfahrt durch die Innenstadt für Motorfahrzeuge auf einigen Radialstraßen,
2. auf diesen ruhigeren Radialstraßen die Radrouten, abseits der Hauptstraßen und
3. großzügige Unterführungen an den zu querenden, hoch belasteten Ringstraßen.

Das Spektrum bereits umgesetzter Projekte mit ersten Ansätzen eines Monitoring wird an den folgenden drei Beispielen deutlich:

Amsterdam-Zaanstad

Die schnelle Radroute Amsterdam-Zaanstad wurde zum Jahresende 2016 fertiggestellt. Durch eine direktere Führung, bessere Beleuchtung und ebene Oberflächen konnte die Verbindungsqualität deutlich verbessert werden. Auf Zaandamer Seite des Wasserwegs Ij hat sich auf der schnellen Radroute die Nutzerzahl im Vergleich zu 2014 verdoppelt. Auf der „alten Route“ nach Amsterdam (in Richtung der Straße Verlengde Stellingweg) wurde eine Abnahme um 40 % beobachtet. Von den Befragten, deren Angaben auf der schnellen Radroute auswertbar waren (n = 182), waren 31 % neue Fahrradnutzer und 16 % Wechsler vom motorisierten Individualverkehr (MIV) genutzt.

Acht Abschnitte des F35 der Städtekette in der Provinz Twente

Auf acht Abschnitten fand für den schnellen Radweg F35 in Twente (z. B. Bild 1-2) ein Monitoring statt. Die Ergebnisse zeigen eine gute Nutzerbewertung sowie eine Zunahme des Radverkehrs um 10 % an der Hengelosestraat in Enschede auf jährlicher Basis. Außerdem nutzte die Bevölkerung öfter das Rad anstelle des Pkw (ein Effekt zur Verlagerung der Fahrten mit dem Pkw auf das Fahrrad).



Bild 1-2: Radschnellverbindung F35 bei Hengelo, hier bahnp parallel geführt [Foto: Thiemann-Linden]



Bild 1-3: Radschnellverbindung Rijn-Waal-Pad in Lent bei Nimwegen [Foto: Thiemann-Linden]

RijnWaalPad zwischen Nimwegen und Arnheim

Der sogenannte RijnWaalPad (Bild 1-3) ist einer der ersten schnellen Radrouten, die in der „Stadtregion Arnheim Nijmegen“ umgesetzt wurde. Es wurde hier auch einmal erhoben, wie Radfahrer den RijnWaal-Pad wahrnehmen. Das Projekt hat zu höherer Nutzung von Elektrofahrrädern und zu längeren Fahrtweiten mit dem Fahrrad beigetragen [Provincie Gelderland 2018].

London

Inzwischen sind sechs der 12 geplanten Routen umgesetzt – mit zunehmend besserem Ausbaustandard (z. B. Bild 1-4). Nach langer Diskussion um „London Cycle Design Standards“ hat man entschieden, dass für Cycle Superhighways keine einheitlichen Standards definiert werden können. Stattdessen wird situativ eine größtmögliche Ausbaustufe in Anlehnung an allgemeine Londoner Standards für Radverkehrsanlagen umgesetzt. Das erklärt die flexibel gehandhabten, sehr unterschiedlichen Ausbauformen mit unterschiedlichen Zielerreichungsgraden in der sog. Cycling Level of Service assessment matrix. Unterschieden nach Superhighways und Quietways werden die Knotenpunktformen und das verträgliche Kfz-Aufkommen bestimmt.



Bild 1-4: Cycle Superhighway Nr. 6 in London [Foto: Thiemann-Linden]

In London gab es in der Frühzeit der Radschnellverbindungen intensive ex-ante-Untersuchungen der Radverkehrspotenziale zur Bestimmung der Dringlichkeit für den Ausbau der verschiedenen Routen. Aktuell wird die Nutzung für die neue Generation von Radschnellverbindungen (CS3, CS5, CS6, CS7) u. a. an den Themsebrücken und -uferstraßen durch Dauerzählstellen gemessen. Demnach entfallen zwei Drittel der täglichen Fahrradkilometer auf die morgendliche und abendliche Hauptverkehrszeit. An den vier stärksten befahrenen Messstellen wurden jeweils mehr als 8.000 Fahrradfahrer pro Tag im Querschnitt gemessen.

Region Kopenhagen

Für Kopenhagen wurde für RSV eine Regelbreite von 2,50 - 3,50 m in Abhängigkeit des Radverkehrsaufkommens angesetzt (vgl. Bild 1-5). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Stadt Kopenhagen auch außerhalb der schnellen Routen die Beschleunigung des Radverkehrs und eine starke Kapazitätsorientierung weiter vorantreibt: Regelbreite 2,50 m (Minimum 2,20 m) für Richtungsradwege, im sog. PLUS-Netz Standard sogar 3,00 m (Minimum 2,80 m). Die Breite richtet sich im aktuellen Ausbauprogramm also nicht zuerst nach einer Hierarchie der Radverkehrsinfrastruktur, sondern nach dem örtlichen Radverkehrsaufkommen – in der Innenstadt breiter als in den Außenbezirken. Die Bemessung geschieht nach aktuellem Radverkehr plus 50 % für Zukunftsentwicklung; Lastenräder gehen mit dem Faktor drei ein [Capital Region of Denmark 2014, vgl. SPAPÉ et al. 2015].

Die ersten beiden Kopenhagener Radschnellverbindungen nach Farum und Albertslund wurden durch Befragungen u. a. zur Nutzerzufriedenheit



Bild 1-5: Radschnellverbindung in der Kopenhagener Stadtregion [Foto: Thiemann-Linden]

evaluiert – einer der seltenen Fälle für Monitoring und Evaluation in Europa, auf die auch nach mehreren Jahren immer wieder zurückgegriffen wird. Erst spät wurden so die Befragungsergebnisse von 2012 statistisch ausgewertet [SKOV-PETERSEN et al. 2017].

Ergebnisse: der Radpendlerverkehr auf der Farum-Route hat nach der Eröffnung 2012 nach einem Jahr (2013) werktags um insgesamt 52 % zugenommen. Unter den Radpendlern sind 21 % neue Nutzer auf der Strecke, während 14 % die Route häufiger nutzen. 25 % der neuen Radpendler waren vormalige Pkw-Pendler [Capital Region of Denmark 2014, vgl. SPAPÉ et al. 2015]. Die subjektive Sicherheit hat sich von 7,3 auf 8,1 auf einer Skala von 1 bis 10 verbessert. Als weitere Vorteile der neuen Route benennen 74 % der Befragten die kurze Reisezeit, 90 % gaben eine kontinuierliche Fahrgeschwindigkeit an (im Vergleich zur Eröffnung 2012 von nur 74 %) und 90 % die wegfallenden Wartezeiten.

Eine gemeinsame Studie der Universitäten von Delft, Kgs. Lynby und Aalborg vergleicht die beiden Kopenhagener Radschnellverbindungen mit (meist älteren) niederländischen Fällen und kommt zu dem Ergebnis, dass die Modal-Split-Änderung (von der Pkw-Nutzung zum Radverkehr) in der Größenordnung von 2,5 % (Albertslund-Route) bzw. von 5 % (Farum-Route) liegen dürfte. Dagegen wird die Verlagerung im Modal Split vom ÖPNV zum Radverkehr mit 6 % (Farum-Routen) bilanziert [VAN GOUVERDEN et al. 2015].

1.3 Stand der Planung und Umsetzung in Deutschland

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt 42 projektbezogene Studien zu RSV

ausgewertet. Ein Projektbezug liegt dann vor, wenn Potenzial oder Umsetzbarkeit einer oder mehrerer Relationen innerhalb eines definierten Gebietes geprüft wurden. Die Größe des Untersuchungsraumes variiert dabei zwischen einzelnen Korridoren mit mehreren Kilometern Breite und ganzen Regionen oder Bundesländern.

Grundsätzlich lassen sich die projektbezogenen Studien in zwei Arten unterscheiden:

- **Korridorstudie:** Im Rahmen einer Korridorstudie sollen ein oder mehrere Korridore innerhalb eines definierten Gebietes identifiziert werden, in welchen das Potenzial einer RSV potenziell gegeben ist. Sie werden meist der Machbarkeitsstudie vorangestellt (Beispiele: Potenzialstudien in Berlin, Hamburg, München, Baden-Württemberg)
- **Machbarkeitsstudie:** Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wird die Umsetzbarkeit einer RSV trassenscharf untersucht. Dabei wird mindestens die bauliche Machbarkeit der geforderten Anforderungen untersucht. Weiterhin werden i.d.R. Flächenverfügbarkeit, Potenziale der untersuchten Trasse, Wirtschaftlichkeit (Nutzen-Kosten-Analyse), Trägerschaft und Finanzierung sowie weitere Themen betrachtet werden (Beispiele: Machbarkeitsstudie für den Radschnellweg Ruhr)

Zum Zeitpunkt der Auswertung (Februar 2018) wurden sechs Korridorstudien und 36 Machbarkeitsstudien betrachtet. Die Zahl der Korridor- und Machbarkeitsstudien stieg dabei innerhalb der letzten Jahre kontinuierlich. Etwa die Hälfte der betrachteten Studien wurden bis zum Jahr 2017 abgeschlossen. Veränderungen der Rahmenbedingungen auf Bundes- und Länderebene führen zu einer hohen Anzahl noch laufender Untersuchungen.

Die Auswertung der inhaltlichen Schwerpunktsetzung zeigt, dass neben der Maßnahmen- und Machbarkeitsprüfung auch die Potenzialanalyse und zusammen mit der Nutzen-Kosten-Analyse eine steigende Bedeutung erhält. In 21 Studien wurde weiterhin ein Kommunikations- bzw. Beteiligungskonzept für die Umsetzungsphase entwickelt. In den ersten Machbarkeitsuntersuchungen wurden außerdem häufig Anforderungen für die zu planende RSV entwickelt, wie z. B. in Nordrhein-Westfalen. In den Ländern Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen wurden der Nachweis des Potenzials der untersuchten Trassen, die Nutzen-Kos-

ten-Analyse sowie ein Kommunikations- bzw. Beteiligungskonzept zum obligatorischen Bestandteil für Machbarkeitsstudien gemacht.

Die Zahl der abgeschlossenen und laufenden Studien variiert zwischen den einzelnen Bundesländern. Nordrhein-Westfalen, welchem mit der Entwicklung der ersten Qualitätskriterien, dem landesweitem Planungswettbewerb im Jahr 2013 und der Realisierung des „Radschnellweges Ruhr“ eine Vorreiterrolle zukommt, kann inzwischen 5 abgeschlossenen Machbarkeitsstudien vorweisen. Die höchste Anzahl an projektbezogenen Studien ist in Baden-Württemberg zu verzeichnen, größtenteils noch nicht abgeschlossen, da die Durchführung von Machbarkeitsstudien seit 2017 durch das Land gefördert wird. Weiterhin wurden und werden in Bayern in den Regionen München, Nürnberg und Rosenheim Studien durchgeführt. Niedersachsen kann mit den Studien in der Metropolregion Hannover, dem Großraum Braunschweig und in Osnabrück drei abgeschlossene Machbarkeitsstudien vorweisen. In Hessen werden in der Region Frankfurt sowie in Kassel Trassen auf ihre Machbarkeit geprüft. Auch in den Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen werden RSV oder ähnliche Verbindungen untersucht.

Die Auftraggeber der Machbarkeitsuntersuchungen und Potenzialstudien sind in vielen Fällen Regional- oder Zweckverbände, die in den meisten Fällen mit den betroffenen Kommunen kooperieren. RSV werden demnach als regionale Herausforderungen verstanden. Etwa ein Viertel der betrachteten Studien wurde durch einzelne Landkreise in Auftrag gegeben. Weitere Initiatoren für derartige Studien sind einzelne oder mehrere Städte sowie die Bundesländer.

Von den betrachteten Machbarkeitsstudien sind 16 Studien abgeschlossen, daher stellt sich die Frage der Umsetzungsperspektive der untersuchten RSV. In sechs Fällen wird eine weitere Planung (Planung nach den Leistungsphasen der Verordnung über die Honorare für Architekten- und Ingenieurleistungen (HOAI) beabsichtigt, in fünf weiteren Fällen hat dieser Teil der Planung bereits begonnen. Da die Untersuchung zu einer RSV auf der Potsdamer Stammbahn in Berlin [SenUVK 2017] die Wirtschaftlichkeit dieser Trasse nicht nachweisen konnte, wird in einem Fall die weitere Planung nicht in Betracht gezogen. Die Umsetzung der RSV Ruhr, Osnabrück – Belm und Göttingen hat bereits begonnen bzw. ist bereits in Abschnitten fertiggestellt.

Zwischenfazit

In den meisten Ländern wurden die ersten RSV in den Anforderungen unterschiedlich (oft entsprechend der vorhandenen Platzmöglichkeiten) realisiert. Dabei spielt neben der Beschleunigung des Radverkehrs offensichtlich auch der Werbeeffekt fürs Radfahren oder als Stadtentwicklungsprojekt eine große Rolle. Es ist zu berücksichtigen, dass parallel zu nationalen auch Vorgaben einzelner Provinzen oder Städte (Kopenhagen, Wien) bestehen. Eine Evaluation oder Wirkungskontrolle sind bisher nur vereinzelt vorhanden; die Zunahme des Radverkehrsaufkommens wird auf sehr unterschiedliche Weise erhoben, die Verlagerung von parallelen Radrouten oder vom ÖPNV bzw. die geplanten Verlagerungen im Kfz-Verkehr wird fast nie erhoben.

2 Auswertung von Studien und Regelwerke

2.1 Potenzialanalyse

Bestehende Studien und Regelwerke sind hinsichtlich der Fragestellung insbesondere dahingehend von Bedeutung, bereits angewendete Vorgehensweisen und Ansätze festzuhalten und hierauf aufbauend Vor- und Nachteile der jeweiligen Ansätze auszuarbeiten. Auf dieser Grundlage wird ein einheitliches Verfahren erarbeitet, das mögliche Nachteile bestehender Verfahren reduziert oder im besten Fall vollständig eliminiert.

2.1.1 Empfehlungen und Hinweispapiere

Aus dem Arbeitspapier „Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen“ [FGSV 2014] geht hinsichtlich Potenzialanalysen hervor, dass derzeit kein systematisiertes Verfahren vorliegt. Es besteht jedoch der Hinweis auf die Nutzung von Verkehrsmodellen unter Abbildung einer verkürzten Reisezeit sowie der Bündelungsfunktion.

Ein Vergleich mit dem methodischen Vorgehen bei anderen Verkehrsträgern zeigt, dass der Einsatz von Verkehrsmodellen bei größeren Vorhaben im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) [FGSV 2015a] sowie in der Standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des SPNV der übliche Weg ist, im Fall des SPNV auch unter Berücksichtigung der Verlagerungswirkung von anderen Verkehrsmitteln.

Das niederländische „Inspirationsbuch für schnelle Radrouten“ [CROW 2014] fasst Empfehlungen zur Anlage von RSV zusammen, zeigt jedoch keinen Weg zur Ermittlung der zu erwartenden Potenziale auf.

Das Schweizer Hinweispapier „Hinweise für die Planung von Veloschnellrouten“ [ASTRA 2017] geht hingegen konkreter auf bestehende Ansätze ein und verweist dabei auch auf die Berechnungen des „Radschnellweg Ruhr“ (RS1). Letztlich werden drei Verfahren als mögliche Ansätze angegeben, die in der Schweiz bereits umgesetzt wurden:

- Erweitertes Verkehrsmodell,
- GIS-Analyse von maßgebenden Verkehrserzeugern unter Berechnung von Potenzialklassen ohne Angabe von streckenfeinen Belastungen und
- GIS-Analyse mit Routing, Verwendung des vorgenannten Ansatzes unter Ergänzung der Umlegung des Radverkehrs.

2.1.2 Bestehende Verfahren der Potenzialanalyse

Die Auswertung vorhandener Studien in Bezug auf Potenzialanalysen hat gezeigt, dass die Frage nach dem tatsächlich zu erwartenden Radverkehrsaufkommen eine zentrale Bedeutung hat. Dies gründet sich zum einen auf einer generellen Bedarfsüberprüfung und zum anderen auf der Trassenfindung. Auf Deutschland bezogen bestehen bislang keine Vorgaben zur Umsetzung einer Potenzialanalyse. Dementsprechend bestehen je nach Bearbeiter der Untersuchung unterschiedliche Herangehensweisen. Aufgrund der umfassenden Bearbeitung wird die Machbarkeitsstudie zum RS1 häufig als Referenz herangezogen. Die für den RS1 erstellte Nutzen-Kosten-Analyse, die auf dem Forschungsprojekt Nutzen-Kosten-Analyse zur Bewertung der Effizienz von Radverkehrsmaßnahmen (NKA-Rad) (FE 70.785/2006) [RÖHLING et al. 2008] basiert, erforderte eine breite Datenbasis in Bezug auf verlagerte Radfahrten, eingesparte Pkw-km u. ä. Hieraus bildet sich eine vereinfachte Rechnung unter Abbildung der Ergebnisse in einem Verkehrsmodell, die ebenfalls in weiteren Untersuchungen Anwendung findet [vgl. VIA 2017].

Über die vorhandenen Untersuchungen hinweg ist festzustellen, dass der Einsatz von Verkehrsmodellen unterschiedlich behandelt wird: Während einige

Potenzialanalysen bis hin zur Verschiebung in der Verkehrsmittelwahl rein modellbasierte Ansätze verfolgen [vgl. PTV 2017], werden andere Untersuchungen anhand überschlägiger Berechnungen basierend auf verfügbaren Strukturdaten erstellt, beispielsweise im Rahmen eines Korridorvergleichs [SHP 2017].

Anhand bestehender Untersuchungen zeigt sich, dass bei Planungen in der Schweiz ein ähnliches Spannungsfeld unterschiedlicher Methoden besteht. Hier wurden einerseits modellbasierte Berechnungen [ACKERMANN 2015] und andererseits GIS-basierte Auswertung von Strukturgrößen sowie Höhenprofilen durchgeführt [BAKER 2013].

Berechnungsverfahren

Bestehende Verfahren zur Potenzialanalyse unterscheiden sich grundsätzlich nach dem Umfang und der Art der Eingangsdaten. Dabei spielt der Einsatz von makroskopischen Verkehrsmodellen eine besondere Rolle.

In vielen untersuchten bestehenden Studien werden händische Berechnungsverfahren genutzt, bei denen Strukturdaten im Einzugsbereich des Korridors (in der Regel ca. 1km) einbezogen werden. Zu den Strukturdaten gehören beispielsweise

- Anzahl der Einwohner,
- Gewerbeflächen,
- Schulen bzw. Schülerzahlen,
- Universitäten bzw. Studentenzahlen,
- Strukturgrößen sonstiger Einrichtungen (Freizeit, Einkauf, Dienstleistungen).

Darüber hinaus werden häufig ergänzend Pendlerverflechtungen, Mobilitätskenngrößen wie der lokale Modal-Split und ähnliches verwendet.

Je nach Bearbeiter der Studie unterscheiden sich das Vorgehen oder die verwendeten Strukturdaten.

Bei entsprechender Aufbereitung der Daten bieten händische Berechnungsverfahren eine gute Transparenz. Eine rechnerische Bestimmung der Verlagerungswirkung und der konkret zu erwartenden Radaufkommen je Streckenabschnitt ist jedoch kaum möglich. Hier sind Abschätzungen zur Veränderung des Modal-Split erforderlich.

Verfahren unter Nutzung von Verkehrsmodellen

Der Einsatz eines Verkehrsmodells zur Potenzialanalyse ist vom Aufbau und der Art des Verkehrsmodells abhängig. Eine nähere Erläuterung dazu folgt in Abschnitt 3.4.

Um die Berechnungsschritte eines Verkehrsmodells, auf die in den folgenden Abschreibungen verwiesen wird, deutlich zu machen, werden diese nachfolgend erläutert.

Modellberechnungen basieren in der Regel auf einem vierstufigen Ablauf:

- Verkehrserzeugung: Berechnung des Verkehrsaufkommens für alle Verkehrsbezirke innerhalb eines Untersuchungsgebiets unabhängig des Verkehrsmittels
- Verkehrsverteilung / Zielwahl: Berechnung der räumlichen Verteilung des Verkehrsaufkommens auf die Zielbezirke
- Verkehrsaufteilung / Verkehrsmittelwahl / Moduswahl: Aufteilung der berechneten Verkehrsströme auf zur Verfügung stehende Verkehrsmittel
- Umlegung / Routensuche und Routenwahl: Das bestehende Streckennetz (Angebotsnetz) wird mit der berechneten Verkehrsnachfrage belastet. Für die Routenwahl können verschiedene Aspekte wie Distanz, Reisezeit aber auch Kosten berücksichtigt werden; diese ergeben sich aus den Streckeneigenschaften

vgl. [SCHNABEL 1997]

Häufig werden die Rechenschritte der Erzeugung, Verteilung und Aufteilung nicht übergeben, so dass nur die Ergebnismatrix zur Umlegung zur Verfügung steht. Ebenfalls ist die Abbildung des Radverkehrs im Rahmen der Verkehrsmittelwahlberechnung nicht immer gegeben.

Unter diesen Umständen ist ein Einsatz eines Verkehrsmodells zur Abbildung des Radverkehrs nur mit Aufwand oder unter Hilfe zusätzlicher Berechnungsschritte möglich. Auch Zählzeiten für den Radverkehr, die für eine Kalibrierung des Modells zumindest punktuell erforderlich sind, sind in der Regel kaum vorhanden.

Nachfolgend werden verschiedene Ansätze vorgestellt, mit den gegebenen Einschränkungen umzu-

gehen. Diese wurden zum Teil bereits im Rahmen von Studien zum Radverkehr genutzt, zum Teil stammen sie aus den Arbeitsabläufen, die im Zusammenhang mit anderen Verkehrsmitteln angewendet werden. Dazu wurden das HBS 2015 [FGSV 2015a] und die Standardisierte Bewertung von Verkehrsweginvestitionen im schienengebundenen öffentlichen Personennahverkehr (SPNV) [ITP 2017] herangezogen.

Einfache Modellrechnung

Für die einfache Modellrechnung ebenso wie für die folgenden weiteren Verfahren ist zunächst die Abbildung der Bestandssituation ohne RSV relevant. Für die Bestandssituation wird eine Umlegung des Radverkehrs durchgeführt. Anhand von gegebenenfalls vorhandenen Radverkehrszählungen kann eine Kalibrierung durchgeführt werden.

Im Sinne einer Planfallbetrachtung wird anschließend die geplante RSV eingefügt. Auf diesem Weg kann die Reduzierung der Reisezeit durch die geplante RSV ermittelt werden. Es wird die Reisezeit verwendet, um die verschiedenen Elemente eines Weges einschließlich Verlustzeiten z. B. an Knotenpunkten zu berücksichtigen.

Kann die Verkehrsmittelwahl, wie oben beschrieben, nicht erneut berechnet werden, muss die Anpassung der Nachfrage auf anderem Weg erfolgen. Mit der einfachen Modellrechnung werden die Relationen, die von der Umsetzung der RSV durch eine verkürzte Reisezeit profitieren, gefiltert und über vordefinierte Faktoren erhöht.

Für dieses Verfahren sind die folgenden Eingangsdaten erforderlich:

- Verkehrsmodell mit Radverkehrsmatrix
- Angebotsmodell mit Radverkehrsanlagen
- Abschätzung der zu erwartenden Verkehrsverlagerung
- Radverkehrsdaten/Radverkehrszählung
- Korridor oder Linienführung

Nachbildung des Verkehrsmittelwahlmodells

Wie zuvor beschrieben, erfolgt zunächst die Abbildung und Kalibrierung der Bestandssituation. Im Rahmen der Planfallberechnung wird nachfolgend ein weiterer Ansatz beschrieben, auf welchem Weg die Verlagerungswirkung ermittelt werden kann.

Das Verkehrsmittelwahlmodell erzeugt aus der Gesamtverkehrsnachfrage das Aufkommen für jedes Verkehrsmittel. Mit veränderten Eingangswerten, zum Beispiel der Anpassung der Infrastruktur ergibt sich ein anderes Ergebnis der Verkehrsmittelwahl. Es liegt also nahe, dieses Berechnungsmodell nachzubilden, um es für die Berechnung der Verlagerungswirkung einzusetzen.

Im konkreten Fall wurden die Modellparameter so gewählt, dass die Berechnungsergebnisse den Ursprungswerten möglichst nahe kommen. Mit der Berechnung des Planfalls kann die Verlagerungswirkung durch die neue Infrastruktur bestimmt werden. Die Ergebnisse des neu erzeugten Verkehrsmittelwahlmodells werden nicht unmittelbar für die Umlegung genutzt, sondern anhand von Faktoren auf bestehende Matrizen angewendet. Damit sollen Abweichungen minimiert werden.

Für dieses Verfahren sind die folgenden Eingangsdaten erforderlich:

- Verkehrsmodell mit Radverkehrsmatrix
- Angebotsmodell mit Radverkehrsanlagen
- Abschätzung der zu erwartenden Verkehrsverlagerung
- Radverkehrszählung
- konkrete Linienführung oder Korridor

Es zeigt sich, dass der Datenbedarf geringer ist und keine konkrete Verlagerungswirkung festgelegt werden muss. Es besteht jedoch Mehraufwand durch die Neuerzeugung des Verkehrsmittelwahlmodells.

Modal-Split-Änderung nach standardisierter Bewertung im SPNV

Das Verfahren, das auch im Rahmen der standardisierten Bewertung genutzt wird, zeigt Ähnlichkeiten mit dem zuvor beschriebenen Verfahren der einfachen Modellrechnung (1) auf. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass für die Verlagerungswirkung eine konkrete Berechnungsvorschrift festgelegt wird.

In der Bewertung von Maßnahmen im SPNV ist die Verlagerung von Fahrgästen von anderen Verkehrsträgern auf den SPNV bereits ein übliches Verfahren und Teil der standardisierten Bewertung. Durch die Festlegung in der Standardisierten Bewertung [ITP 2017] besteht somit ein bereits be-

kanntes Verfahren, das für den Radverkehr abgewandelt werden muss.

Die Berechnungsvorschrift lautet:

$$a_{ij,\text{öV}} = \frac{1}{1,1 + e^{g_1 + g_2 \cdot \frac{W_{ij,\text{MIV}}}{W_{ij,\text{öV}}}}} - a_0 \quad \text{Gl.1}$$

$a_{ij,\text{öV}}$ Verhältnis des SPNV-Verkehrsaufkommens zum Pkw-Verkehrsaufkommen in Abhängigkeit der Aufwände (W) von MIV und SPNV für den Weg von i nach j

g_1, g_2, a_0 Parameter [3,5; -4,2; 0,03]

$W_{ij,\text{öV}}$ Aufwand des SPNV für den Weg von i nach j

$W_{ij,\text{MIV}}$ Aufwand des MIV für den Weg von i nach j

Verfahrensablauf nach HBS

Nach der Betrachtung der Herangehensweise bei Berechnungen für den öffentlichen Verkehr ist es erforderlich, auch die Verfahren im MIV zu betrachten. Maßgebendes Regelwerk ist hier das HBS 2015. Hierhin ist für Neuplanungen festgelegt, dass grundsätzlich Modellprognosen erforderlich sind. Bei wesentlicher Änderung der Struktur des Verkehrsangebots oder der -nachfrage ist weiterhin eine Nachfragematrix mit den Modellschritten Verkehrserzeugung, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl und Routenwahl neu zu berechnen [FGSV 2015a: 2-10f].

Das HBS 2015 lässt Interpretationsspielraum, wann eine strukturelle Änderung des Verkehrsangebots vorliegt. In der Annahme, dass die Umsetzung einer RSV zu einer Veränderung der Verkehrsnachfrage führt, ist eine wesentliche strukturelle Änderung gegeben und somit eine vollständige Modellrechnung erforderlich. Für den Fall, dass kein vollständiges Modell vorliegt, ist wiederum auf Alternativen zurückzugreifen.

Unter der Annahme, dass keine wesentliche strukturelle Änderung vorliegt, kann keine Verlagerung in der Verkehrsmittelwahl festgestellt werden. In diesem Fall läge keine Grundlage für die aufbauende Nutzen-Kosten-Analyse vor.

2.2 Nutzen-Kosten-Analyse

Für die Erarbeitung einer Nutzen-Kosten-Analyse wurden zunächst bestehende Literatur und Regelwerke, die NKA-Rad [RÖHLING et al. 2008], die standardisierte Bewertung für den SPNV [ITP 2017] und das BVWP Methodenhandbuch [BMVI 2017] gesammelt. Ergänzend werden nachfolgend Informationen dargestellt, die im Rahmen eines Austauschs mit niederländischen Experten gewonnen werden konnten.

NKA-Rad

Die NKA-Rad weist bereits einen großen Umfang teilweise messbarer Nutzenkomponenten aus, die für den Radverkehr nachfolgende Komponenten berücksichtigt:

- Treibhausgasemissionen,
- Schadstoffemissionen innerorts,
- Saldo der Unfallschäden,
- Saldo der (Fahrzeug-)Betriebskosten,
- Veränderung der Kosten im ruhenden und fließenden Verkehr,
- Krankheitskosten,
- Unterhaltung neue Infrastruktur und
- Investition.

Darüber hinaus werden anhand deskriptiver Komponenten, die i.d.R. nicht quantifiziert werden können, ergänzende Aspekte berücksichtigt:

- Flächenverbrauch,
- Verbesserung der Lebens- und Aufenthaltsqualität und
- Teilhabe von nicht-motorisierten Personen am städtischen Leben.

Die Auswahl stellt eine gute Grundlage für eine mögliche Erweiterung, Aktualisierung und ggf. auch Anpassung auf die Belange von RSV der Nutzen-Kosten-Analyse dar.

NKA BVWP

Die Nutzen-Kosten-Analyse zielt auf die Bewertung von Straßenbauprojekten ab, womit Aspekte wie Trennwirkung, Transportzeiten im Güterverkehr und auch Zuverlässigkeit eine andere Rolle einnehmen als bei RSV. Nachfolgend sind die Nutzenkomponenten aufgezeigt:

- Betriebskosten der Infrastruktur,
 - Trennwirkung,
 - Reisezeit,
 - Transportzeit Güter,
 - Lärm,
 - Erhaltung,
 - Zuverlässigkeit,
 - Flächen für Fußgänger,
 - Sicherheit,
 - Abgas,
 - Lebenszyklus CO₂ und
 - implizite Nutzendifferenz.
- Krankheitskosten (- 3–5 Cent/km),
 - Einnahmeausfälle durch Krankheit (- 2–12 Cent/km) und
 - Sterberisiko (- 4–10 Cent/km), sowie
 - Verkehrssicherheit,
 - Schadstoffemission,
 - Lärm und
 - Klimawirkung

Informationen aus Expertenaustausch

Nachfolgend werden Informationen zusammengefasst, die von der Firma Decisio Economic Research bereitgestellt wurden und international bei der ökonomischen Bewertung von infrastrukturellen Maßnahmen und sonstigen Radverkehrsmaßnahmen, z. B. in Form von Marketing, Anwendung finden.

Bei der Berechnung finanzieller Auswirkungen eines Radverkehrsprojektes wird ein finanzieller Nutzen auf drei verschiedenen Ebenen betrachtet:

- Soziale Nutzen-Kosten-Analyse, Betrachtung des volkswirtschaftlichen Nutzens,
- Ermittlung eines Projektnutzens, z. B. bezogen auf Beschäftigung, städtischer Nutzen, BIP, u. ä., sowie
- finanzielle Auswirkungen für Einzelpersonen, Firmen, u. ä.

Die Nutzen-Komponenten der Nutzen-Kosten-Analyse ähneln den bestehenden Ansätzen der NKA-Rad, gehen jedoch teilweise darüber hinaus. Nachfolgend sind die Nutzen-Komponenten dargestellt:

- Reisezeit,
- Reisezeitverlässlichkeit (ca. 25 % der Reisezeit),
- Reisekosten,
- Komfort (Komfortgewinn für Bestandsradfahrer),
- Gesundheitskosten:
 - Produktivität (4-8 Cent/km),

2.3 Elemente von RSV

2.3.1 Definition und Begriffe

Der Begriff RSV wurde erstmalig in den RIN 2008 in den Regelwerken verankert. Er bezieht sich hierbei auf Verbindungen der Kategorie IR II (innergemeindliche Radschnellverbindung) und soll insbesondere auf Stadt-Umland-Relationen, d. h. auf Entfernungen über 10,0 km, das mögliche Radverkehrspotenzial erschließen. Die angestrebte Fahrgeschwindigkeit in dieser Verbindungskategorie liegt bei 15,0 bis 25,0 km/h. Für die Kategorie AR II wird an dieser Stelle nicht der Begriff RSV, sondern die Bezeichnung „überregionale Radverkehrsverbindung“ verwendet.

Die ersten Planungen in Deutschland zu RSV, deren Ziel u. a. die spürbare Verkürzung der Fahrtzeiten und der damit verbundene Anstieg des Radverkehrsanteils war, wurden in der Metropolregion Hannover durchgeführt. In Anlehnung an den niederländischen Begriff Fietssnelweg fand hierzulande der Begriff Radschnellweg Anwendung. Dieser Begriff wurde anschließend in weiteren Machbarkeitsstudien verwendet, darunter auch der des „Radschnellwegs Ruhr“ als eines der bundesweit bekanntesten Beispiele, und fand schließlich eine größere Verbreitung im alltäglichen Sprachgebrauch als der verkehrsplanerische Begriff der Radschnellverbindung aus den RIN 2008.

Die FGSV griff mit der Veröffentlichung des Arbeitspapiers zu „Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen“ im Jahr 2014 den verkehrsplanerischen Begriff vor dem Hintergrund der führungsformübergreifenden Verbindungsfunktion dieser Infrastruktur wieder auf und erweitert zudem die Definition aus den RIN 2008:

„Radschnellverbindungen (RSV) sind Verbindungen im Radverkehrsnetz einer Kommune oder einer Stadt-Umland-Region, die wichtige Quell- und Zielbereiche mit entsprechend hohen Potenzialen über größere Entfernungen verknüpfen und durchgängig ein sicheres und attraktives Befahren mit hohen Reisegeschwindigkeiten ermöglichen. Radschnellverbindungen sind deshalb durch besonders hohe Qualitätsstandards in der Linienführung, der Ausgestaltung, der Netzverknüpfung und der begleitenden Ausstattung gekennzeichnet.“ [FGSV 2014: 3]

Der Charakter des Arbeitspapiers trägt der Situation Rechnung, dass zum Zeitpunkt seiner Erstellung kaum Erfahrungen aus der Praxis vorlagen und so wurden vielmehr allgemeine Qualitätskriterien und Einsatzmöglichkeiten festgelegt. Grundlegende Anforderungen an eine Radschnellverbindung sind darin:

- Unter Berücksichtigung der Zeitverluste an Knotenpunkten soll eine Fahrtgeschwindigkeit von mindestens 20 km/h erreicht werden können.
- Die Zeitverluste an Knotenpunkte sollten innerorts 30 Sekunden und außerorts 15 Sekunden je Kilometer nicht unterschreiten.
- Zweirichtungsführungen müssen den Begegnungsfall von zwei jeweils nebeneinander fahrenden Radfahrern berücksichtigen.

Aus diesen grundlegenden Qualitätskriterien resultieren Anforderungen an Linienführung, Oberflächen, Führungsformen und Knotenpunktgestaltung: Die Führung erfolgt i. d. R. vom Fußgängerverkehr getrennt. RSV sollen an Knotenpunkten in der Regel verkehrsrechtlich bevorrechtigt geführt werden oder planfrei queren. Signalisierte und wartepflichtige Knotenpunkte sind hinsichtlich ihrer Wartezeiten zu optimieren. Darüber hinaus sollen RSV mindestens 5,0 km lang sein.

Präzise Aussagen sind zu Mindestmaßen und Anforderungen bei der Ausprägung der Querschnitte in unterschiedlichen Situationen gemacht. Es werden folgende Führungsformen vorgestellt, aus denen sich eine RSV zusammensetzen kann:

- Selbstständig geführter Weg mit Trennung des Fußgängerverkehrs (4,00 m Radfahrbahn und 2,50 m Gehweg),
- fahrbahnbegleitende Führung einer Radschnellverbindung im Seitenraum als Zweirichtungsrad-

weg mit 4,00 m Breite zuzüglich 2,50 m Gehweg),

- fahrbahnbegleitende Führung einer RSV Richtungsführung (3,00 m Breite je Richtung 2,50 m Gehweg),
- Führung RSV im Zuge von Fahrradstraßen mit 4,00 m Breite zuzüglich Sicherheitsabstands von mind. 0,75 m zum ruhenden Verkehr und Gehweg,
- Wege mit zugelassenem land- und forstwirtschaftlichen Verkehr,
- Außerortsstraßen mit Tempo 50 und sehr geringem Kfz-Verkehr und
- in Ausnahmefällen innerörtliche Straßen mit Mischverkehr und Tempo 30.

Die Erarbeitung der Breitenmaße basiert auf der Anwendung der Verkehrsräume entsprechend des Regelwerkes. Der Anspruch von 4,00 im Zweirichtungsverkehr ist über den Begegnungsfall zweier sich begegnender Radfahrerpaare begründet. Als Mindestmaß resultiert daraus ein Wert von vier Metern. Der begleitende Gehweg ist in seiner Breite von mind. 2,50 m aus den RAST 2006 bzw. aus den Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen [FGSV 2002] abgeleitet.

Wesentlich geringer ist der Konkretisierungsgrad im Arbeitspapier zu Einsatz und Gestaltung von Knotenpunkten. Hier sollten die Erfahrungen der laufenden Umsetzung von RSV gesammelt und bewertet werden. An den Knotenpunkten werden Verlustzeiten angenommen, die auf begründeten Schätzungen basieren, jedoch empirisch noch genauer zu unterlegen sind. Daraus resultiert ein wesentlicher Teil des Forschungsbedarfes in der vorliegenden Untersuchung. Ebenso sind die Einsatzbereiche bestimmter Knotenpunktformen noch unzureichend untersucht. In den Musterlösungen für Radschnellverbindungen des Landes Baden-Württemberg wurden erste Einsatzbereiche erarbeitet. Eine Konkretisierung an dieser Stelle ist ein weiteres Ziel des Forschungsvorhabens.

Trotz der Einführung des Arbeitspapiers und der darin verwendeten Begrifflichkeit, fanden die Bezeichnungen Radschnellweg und Radschnellverbindung in den folgenden Jahren synonym ihre Anwendung. Der Begriff Radschnellverbindung wurde vor allem als Fachbegriff in verschiedenen Regelwerken und Machbarkeitsstudien verwendet. In der öffentlichen Kommunikation und im Rahmen der Vermarktung

breitete sich hingegen die Bezeichnung Radschnellweg weiter aus. Ein gutes Beispiel hierfür liefert das Bundesland Nordrhein-Westfalen: Mit der Änderung des Straßen- und Wegegesetzes im Oktober 2016 wurden die Radschnellverbindungen des Landes gesetzlich verankert. In § 3 Absatz 2 des Straßen- und Wegegesetzes des Landes Nordrhein-Westfalen werden sie wie folgt definiert:

„Radschnellverbindungen des Landes sind Wege, Straßen oder Teile von diesen, die dem Fahrradverkehr mit eigenständiger regionaler Verkehrsbedeutung zu dienen bestimmt sind; sie sollen untereinander oder mit anderen Radverkehrsverbindungen ein zusammenhängendes Netz bilden. Die Bestimmung von Wegen, Straßen oder Teilen von diesen zur Radschnellverbindung nimmt das für das Straßenwesen zuständige Ministerium im Einvernehmen mit den jeweils als Träger der Straßenbaulast betroffenen Kreisen, kreisfreien Städten und Gemeinden vor.“ [StrWG NRW 2016]

Parallel dazu läuft das Marketing für die aktuellen Projekte, wie dem Radschnellweg Ruhr, Radschnellweg Ostwestfalen-Lippe, dem Radschnellweg Euregio oder dem Radschnellweg Düsseldorf Süd unter anderer Bezeichnung.

Auch in Baden-Württemberg wurde der verkehrsplanerische Begriff in die „Qualitätsstandards für Radschnellverbindungen in Baden-Württemberg“ übernommen. Darüber hinaus wurde der Begriff im Januar 2019 in das Straßengesetz des Landes aufgenommen. RSV werden wie folgt definiert:

„RSV sollen den Radverkehr auch für längere Distanzen attraktiv machen und somit einen Beitrag zu Stauvermeidung, CO₂-Reduzierung und Gesundheitsförderung leisten. Mit folgenden Eigenschaften können Radschnellverbindungen definiert werden:

- Länge der Gesamtstrecke: mind. 5,0 km
- interkommunale Verbindung zwischen Quellen und Zielen des Alltagsradverkehrs (kein Ausschluss bebauter Gebiete)
- bedeutende Verbindung für den Alltagsradverkehr (DTVw \geq 2.000 Radfahrer/24h auf dem überwiegenden Teil der Gesamtstrecke nach Ausbau der Gesamtrelation als Radschnellverbindung)“ [VM BW (2017): 1]

In Bayern in einem Arbeitspapier des Bayerischen Ministeriums für Bauen, Wohnen und Verkehr wird der Begriff Radschnellweg verwendet.

Im Jahr 2016 erschien der Begriff Radschnellweg im Bundesverkehrswegeplan. Ein Jahr später wurden mit der Änderung des Bundesfernstraßengesetzes die Grundlagen für das übergeordnete Ziel, die Beteiligung des Bundes im Rahmen seiner verfassungsrechtlichen Möglichkeiten am Bau von Radschnellwegen, ermöglicht. Hierbei wird ebenfalls der Begriff Radschnellweg verwendet und eine Förderung von Radschnellwegen in Baulast der Länder, Gemeinden und Gemeindeverbände durch den Bund festlegt.

Im Oktober 2018 trat als Grundlage für die Gewährung dieser Finanzhilfen eine Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern in Kraft. Sie regelt u. a. die Verteilung der Mittel auf die Länder, die Förderquote des Bundes, den Eigenanteil der Länder und das Verfahren zur Durchführung. Radschnellwege werden als Radverkehrsanlagen, die das schnelle Fahrradfahren mit hoher Verkehrssicherheit ermöglichen sollen, und folglich besondere Anforderungen hinsichtlich ihrer Linienführung und der Knotenpunktgestaltung erfüllen sollen, definiert. Radschnellwege können Teil einer Radschnellverbindung sein.

Trotz Anwendung unterschiedlicher Begriffe können Radschnellwege und RSV grundsätzlich unter einem Verbindungstypen zusammengefasst werden, welcher mit folgenden Eigenschaften charakterisiert werden kann:

- Anlagen, die schnelles Radfahren über längere Distanzen ermöglichen,
- besondere Anforderungen an die Qualität der Strecken- und Knotenpunktgestaltung;
- Ziel ist die Erhöhung des Radverkehrsanteils am Verkehrsaufwand durch Verlagerung längerer Fahrten auf den Radverkehr.
- Radschnellverbindungen bzw. Radschnellwege sind in ein Radverkehrsnetz eingebettet.

In der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) ist weder der Begriff Radschnellverbindung noch Radschnellweg enthalten, da es kein Verkehrszeichen für solche Verbindungen gibt. Eine Anordnung erfolgt ggf. je nach Radverkehrsführungsform.

Derzeit werden bundesweit Verbindungen geplant und gebaut, welche ähnliche Ansprüche an die Fahrtzeitverkürzung und daraus resultierende Anforderungen an die Knotenpunktgestaltung stellen. Diese weisen meist geringere Elementanforderungen

gen auf und unterscheiden sich wesentlich bezüglich der Breiten und der gemeinsamen Führung mit anderen Verkehrsträgern. Diese Verbindungen werden unter anderen Bezeichnungen geführt, wie z. B. Radvorrangroute, Radpendler-Verbindung, Radhauptverbindung oder Velorouten.

2.3.2 Vergleich der Anforderungen

Während die Planung von Radschnellverbindungen die regionale Radverkehrsplanung auf konzeptioneller Ebene in den letzten Jahren deutlich prägten, zeichnet sich ein weiterer bundesweiter Trend ab: Länder bzw. Regionen in Deutschland entwickeln zunehmend eigene Anforderungen für RSV, die die Grundlagen des FGSV-Arbeitspapiers aufgreifen, konkretisieren und in Einzelfällen verändern. In dieser Hinsicht sind die nachfolgend genannten Bundesländer hervorzuheben. In Tabelle 2-1 stehen den genannten landesweiten Anforderungen und die Vorgaben des Arbeitspapiers zu Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen der FGSV gegenüber.

Baden-Württemberg

Das Land Baden-Württemberg veröffentlichte im August 2017 die „Qualitätsstandards für Radschnellverbindungen in Baden-Württemberg“ und die „Musterlösungen für Radschnellverbindungen in Baden-Württemberg“ als Planungsgrundlage für mehrere aktuelle Projekte. Die Anforderungen umfassen insgesamt drei Ausbaustufen: Neben den Vorgaben für Radschnellverbindungen, die sich weitgehend am FGSV-Arbeitspapier orientieren, werden weiterhin Vorgaben zu „Radschnellverbindungen reduziert“ und den Anforderungen für das landesweite „RadNetz“ getroffen.

Bayern

Für Bayern wurde im Februar 2019 das Arbeitspapier „Empfehlungen zu Planung und Bau von Radschnellwegen in Bayern“ veröffentlicht.

Berlin

Die Anforderungen für RSV in Berlin werden in der Potenzialanalyse für Radschnellverbindungen im Berliner Stadtgebiet benannt. Die Anforderungen orientieren sich überwiegend am Arbeitspapier der FGSV.

Hessen

Das Land Hessen ließ im Jahr 2018 ebenfalls ein differenziertes System an Anforderungen für Radschnell- und Raddirektverbindungen erarbeiten.

Nordrhein-Westfalen

Das Land veröffentlichte im Jahr 2013 die „Kriterien für Radschnellwege“. Derzeit wird ein umfangreicher Leitfaden für Planung, Bau und Betrieb von Radschnellverbindungen in Nordrhein-Westfalen erarbeitet. Die Angaben für Nordrhein-Westfalen aus der Tabelle 2-1 beziehen sich auf einen Entwurfsstand des Leitfadens aus Mai 2018.

Der Vergleich der Vorgaben erfolgt anhand der Angaben zu Einsatzbereichen, Führungsformen und Breiten, Zeitverlusten und Fahrgeschwindigkeiten sowie der Regelung zur Einhaltung der jeweiligen Anforderungen. Hinzu kommt eine Übersicht der jeweils anzuwendenden Markierungen und der Beschilderung.

Weitere Bundesländer zeigen ebenfalls Aktivitäten zum Thema Radschnellverbindungen. In Niedersachsen gibt es mit dem Radschnellweg Göttingen bereits eine realisierte Verbindung und für die Regionen Hannover und Braunschweig liegen Machbarkeitsstudien vor. Das Land förderte den Bau von RSV im Zeitraum von 2017 bis 2018 mit einer Summe von 12,35 Mio. Euro und verwies im Fördererlass auf das Arbeitspapier der FGSV. Diese Anforderungen mussten mindestens auf 50 % der Gesamtstreckenlänge erfüllt werden. Seit 2018 erfolgt die Förderung von RSV in Niedersachsen durch die Bundesmittel, deren Anforderungen in der Verwaltungsvereinbarung zwischen Bund und Ländern formuliert werden. Die Länder Bremen und Rheinland-Pfalz entwickelten jeweils eigene Anforderungen für Radverkehrsverbindungen, die über die Empfehlungen für Radverkehrsanlagen hinaus gehen, aber unterhalb der Anforderungen des Arbeitspapiers der FGSV oder vergleichbarer Anforderungen anderer Bundesländer liegen. Niedersachsen, Bremen und Rheinland-Pfalz werden aus diesem Grund nicht in die vergleichende Übersicht aufgenommen. Für Hamburg werden derzeit erste die Qualitätskriterien für RSV erarbeitet.

In allen der in Tabelle 2-1 dargestellten Vorgaben gilt eine Prognosebelastung von mindestens 2.000 Fahrradfahrten pro Tag im Querschnitt als Einsatzgrenze für eine RSV. In den Qualitätsanforderungen der Länder Baden-Württemberg und Hessen bezieht sich diese Querschnittsbelastung auf den „überwiegenden Teil der Gesamtstrecke.“ In den Vorgaben der FGSV und in Nordrhein-Westfalen wird keine Bezugsgröße genannt, d. h. es bleibt offen, ob die Einsatzgrenzen von 2.000 Fahrradfahrten

	FGSV- Arbeitspapier	Berlin	Baden- Württemberg	Bayern	NRW Entwurf	Hessen
Einsatzbereiche						
Verkehrsstärke (Prognose)	≥ 2.000 Radfahrer / Tag	≥ 2.000 Fahrradfahrten/ Tag im Querschnitt	≥ 2.000 Radfahrer / Werktag auf dem überwie- genden Teil der Gesamtstrecke	≥ 2.000 Radfahrer / Tag	≥ 2.000 Radfahrer / Tag	≥ 2.000 Radfahrer / Werktag auf dem überwie- genden Teil der Gesamtstrecke
Mindestlänge	5 km	5 km	5 km	10 km	5 km	10 km
Breiten, Oberfläche und Führung mit anderen Verkehrsarten						
Regelbreiten	Einrichtungsbetrieb: 3,00 m Zweirichtungsbetrieb: 4,00 m	Einrichtungsbetrieb: 3,00 m Zweirichtungsbetrieb: 4,00 m	Einrichtungsbetrieb: 3,00 m Zweirichtungsbetrieb: 4,00 m	Einrichtungsbetrieb: 3,00 m Zweirichtungsbetrieb: 4,00 m	Einrichtungsbetrieb: 3,00 m Zweirichtungsbetrieb: 4,00 m	Einrichtungsbetrieb: 3,00 m Zweirichtungsbetrieb: 4,00 m
Oberfläche	Asphalt, Beton	Asphalt, Beton	Asphalt, Beton	Asphalt oder Beton	Asphalt	Asphalt, Beton
Gemeinsame Führungen mit Fußgängern	Grundsätzlich Trennung vom Fußgängerverkehr Gemeinsame Führung auf kurzen Streckenabschnitten nur, wenn keine andere Führungsform realisierbar, die Fußgängerverkehrsstärke gering und keine Erholungsfunktion gegeben ist	Grundsätzlich Trennung vom Fußgängerverkehr	Zulässig bei geringer Fußgängerverkehrsstärke (≤ 25 Fußgänger in der Spitzenstunde des Radverkehrs) und ohne starke Längsneigung Breiten: ≥ 4,00 m im Einrichtungsbetrieb ≥ 5,00 m im Zweirichtungsbetrieb	Separation vom Fußgängerverkehr ist anzustreben	unzulässig	Nur auf kurzen Streckenabschnitten bei geringem Fußgängeraufkommen (≤ 25 Fußgänger in der Spitzenstunde) Breiten: ≥ 4,00 m im Einrichtungsbetrieb ≥ 5,00 m im Zweirichtungsbetrieb
Gemeinsame Führung mit dem Kfz-Verkehr innerorts	Zulässig: Fahrradstraßen mit geringen Kfz-Verkehr, Straßen mit Tempo 30 in Ausnahmefällen, max. 100 Kfz/Tag Unzulässig: Verkehrsberuhigte Bereiche, Verkehrsberuhigte Geschäftsbereiche, max. 100 Kfz/Tag	Zulässig: Fahrradstraße, k.A. zu sonstigen Führungen im Mischverkehr	Zulässig: Fahrradstraße, Tempo-20/30-Zonen mit Vorfahrt für die RSV, Verkehrsberuhigter Geschäftsbereich mit Vorfahrt für die RSV	Separation vom Fußgängerverkehr ist anzustreben Zulässig (wenn getrennte Radwege nicht möglich sind): Fahrradstraße, Tempo-20/30-Zonen mit Vorfahrt für die RSV, unzulässig: Verkehrsberuhigter (Geschäfts-)Bereich	Zulässig: Fahrradstraße Unzulässig: Verkehrsberuhigte Bereiche, Verkehrsberuhigte Geschäftsbereiche, Tempo-30-Zone	Zulässig: Fahrradstraße
Gemeinsame Führung mit dem Kfz-Verkehr außerorts	Zulässig: Fahrradstraßen mit geringen Kfz-Verkehr, Straßen mit Tempo 50 und sehr geringem Kfz-Verkehr	k.A.	Zulässig: Fahrradstraße, Tempo 50 bei sehr geringem Kfz-Verkehr	In der Regel kein Einsatz	k.A.	Zulässig: Fahrradstraße

Tab. 2-1: Vergleich der Vorgaben in ausgewählten Bundesländern

	FGSV- Arbeitspapier	Berlin	Baden- Württemberg	Bayern	NRW Entwurf	Hessen
Anforderungen an Zeitverluste und Geschwindigkeiten						
Max. Verlustzeiten an Knotenpunkten	≤ 15 Sek./km (innerorts) ≤ 30 Sek./km (außerorts)	≤ 30 Sek./km	≤ 15 Sek./km (innerorts) ≤ 30 Sek./km (außerorts)	≤ 15 Sek./km (innerorts) ≤ 30 Sek./km (außerorts)	≤ 15 Sek./km (innerorts) ≤ 30 Sek./km (außerorts)	≤ 15 Sek./km (innerorts) ≤ 30 Sek./km (außerorts)
Fahrgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Zeitverluste an Knotenpunkten	≥ 20 km/h	< 30 km/h	≥ 20 km/h	≥ 20 km/h	≥ 20 km/h	≥ 20 km/h
Befahrbarkeit bei einer Geschwindigkeit von	30 km/h	k.A.	30 km/h	≥ 30 km/h	30 km/h	30 km/h
Regelung zur Einhaltung der Anforderungen						
Einhaltung	≥ 90 %	≥ 80 %	≥ 80 %	Abweichungen nur auf kurzen Streckenabschnitten zulässig	≥ 90 %	≥ 90 %
Regelung für restliche Strecke	k.A.	k.A.	max. 10 % in der Qualität der Empfehlungen für Radverkehrsanlagen, sonst als „Radschnellverbindung reduziert“	k.A.	k.A.	k.A.
Markierungen						
Mittlere Leitlinie	Nur in Kurvenbereichen von Zweirichtungsradwegen	k.A.	Auf Anlagen mit Zweirichtungsbetrieb, nicht auf gemeinsamen Flächen mit zu Fuß Gehenden oder Kfz 1 m Länge + 5 m Lücke außerhalb von Konfliktbereichen; 1 m Länge + 2 m Lücke in Konfliktbereichen	k.A. zur Ausgestaltung, aber in Musterlösung dargestellt	Leitlinie nach RMS 1 im Strich-Lücke-Verhältnis von 1:2 Nicht in Fahrradstraßen einzusetzen	Einsatz an Gefahrenstellen
Randmarkierung	Grundsätzlich weiße Randmarkierung (durchgehender Schmalstrich) mit guter Nachsichtbarkeit (in der Regel beidseitig)	k.A.	Grundsätzlich weiße Randmarkierung (durchgehender Schmalstrich) mit > 5 cm Abstand zum Rand und guter Nachsichtbarkeit (beidseitig)	k.A. zur Ausgestaltung, aber in Musterlösung als weißer Schmalstrich dargestellt	Grundsätzlich weiße Randmarkierung als Fahrbahnbegrenzung, wenn keine Bordanlagen vorhanden sind (Schmalstrich, beidseitig, Typ-II-Markierung in Kaltplastik bzw. Kaltspritzplastik) Restbreite von 3,75 m soll nicht unterschritten werden.	Weißer Randmarkierung als Fahrbahnbegrenzung (Schmalstrich)

Tab. 2-1: Vergleich der Vorgaben in ausgewählten Bundesländern (Fortsetzung)

	FGSV- Arbeitspapier	Berlin	Baden- Württemberg	Bayern	NRW Entwurf	Hessen
Sonstige	Auffällige, retroreflektierende Markierung an unvermeidbaren Einbauten	k.A.	Warnmarkierungen an Pollern Furtmarkierung mit Einfärbung Kennzeichnung von Konfliktflächen Wartelinien Fußgängerüberwege	k.A.	Sperrflächen Fußgängerüberwege Wartelinien Einengungslinien	Warnmarkierungen an Pollern Furtmarkierung mit Einfärbung Kennzeichnung von Konfliktflächen
Beschilderung						
Streckenbezogene Beschilderung	Verkehrsrechtliche Ausschilde- rung erfolgt entsprechend der jeweiligen Radverkehrs- führung (z.B. Zeichen 237 oder 244 StVO ggf. in Kombination mit Zusatzschildern)	In Abhängigkeit von der Füh- rungsform An- wendung der entsprechenden Verkehrszeichen aus der StVO (z.B. Zeichen 237, 244 StVO)	In Abhängigkeit von der Füh- rungsform An- wendung der entsprechenden Verkehrszeichen aus der StVO (z.B. Zeichen 237, 241 und 244 StVO)	In Abhängigkeit von der Füh- rungsform An- wendung der entsprechenden Verkehrszeichen aus der StVO (z.B. Zeichen 237 und 244 StVO)	In Abhängigkeit von der Füh- rungsform An- wendung der entsprechenden Verkehrszeichen aus der StVO	k.A.
Beschilderung an Knotenpunkten mit Bevorrechtigung für den Radverkehr		k.A.	Vorfahrt durch Zeichen 301 oder 306 StVO Wartepflicht durch Zeichen 205 StVO	Vorfahrt durch Zeichen 301 StVO Wartepflicht durch Zeichen 205 StVO	Vorfahrt durch Zeichen 306 StVO Wartepflicht durch Zeichen 205 StVO	k.A.

Tab. 2-1: Vergleich der Vorgaben in ausgewählten Bundesländern (Fortsetzung)

an einzelnen Querschnitten oder auf der gesamten Streckenlänge erreicht werden sollen.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied besteht in der geforderten Mindestlänge der RSV. Im Arbeitspapier der FGSV wird mit der Begründung, dass das Verlagerungspotenzial zwischen der mittleren Wegelänge des Radverkehrs (3,2 km nach MID 2008) und der mittleren Wegelänge des motorisierten Individualverkehrs (ca. 10 km nach MID 2008) am höchsten sei, ein Wert von 5 km angesetzt. Die Länder Baden-Württemberg, Berlin und Nordrhein-Westfalen setzen ebenfalls die Mindestlänge von 5 km an. In den Anforderungen für RSV in Hessen und Bayern wird eine Mindestlänge von 10 km angesetzt.

Als ein wesentliches streckenbezogenes Qualitätskriterium für RSV gilt der störungsfreie Überholvorgang durch einen Radfahrer von zwei nebeneinander fahrenden Radfahrern im Einrichtungsverkehr bzw. das störungsfreie Begegnen von jeweils zwei nebeneinander fahrenden Radfahrern im Zweirichtungsverkehr. Daraus leiten sich die Breiten von 3,00 m für den Einrichtungsbetrieb und 4,00 m im

Zweirichtungsbetrieb ab, welche in allen aufgeführten Anforderungen übernommen wurden. Eine hohe Qualität des Oberflächenbelags (Asphalt oder Beton) wird in allen betrachteten Fällen vorausgesetzt. Ebenso finden sich die geschwindigkeitsrelevanten Anforderungen des FGSV-Arbeitspapiers in den landesweiten Anforderungen wieder: Auf RSV soll eine Fahrtgeschwindigkeit, die die Zeitverluste durch Anhalten und Warten an Knotenpunkten berücksichtigt, von mindestens 20 km/h ermöglicht werden. Dazu dürfen die Zeitverluste 15 Sekunden pro Kilometer innerorts und 30 Sekunden pro Kilometer außerorts nicht überschreiten. Die sichere Befahrbarkeit der RSV soll bis zu 30 km/h gewährleistet sein.

Unterschiede zwischen den aufgeführten Anforderungen werden bei der gemeinsamen Führung mit anderen Verkehrsarten, insbesondere mit dem Fußgängerverkehr und dem Kfz-Verkehr deutlich. Das Arbeitspapier der FGSV empfiehlt die grundsätzliche Trennung vom Fußgängerverkehr, erlaubt aber die Führung des Rad- und Fußgängerverkehrs auf gemeinsamen Flächen auf kurzen Abschnitten,

wenn keine Trennung möglich ist und bei geringer Fußgängerverkehrsstärke. Besteht die Wahrscheinlichkeit, dass die Radverkehrsfläche durch Fußgänger benutzt wird, besteht laut dem FGSV-Arbeitspapier eine Unterschreitung der Anforderungen. Insgesamt darf der Anteil der Gesamtstreckenlänge, auf denen die Anforderungen nicht eingehalten werden, 10 % nicht überschreiten. In den Anforderungen der Länder Baden-Württemberg und Hessen wird als Einsatzbedingung für die gemeinsame Führung von Rad- und Fußgängerverkehr auf RSV eine maximale Verkehrsstärke von 25 zu Fußgängern in der Spitzenstunde genannt. Die Mindestbreiten für diese Führungsform werden hier 4,00 m im Einrichtungsverkehr und 5,00 m im Zweirichtungsverkehr definiert. Werden die entsprechenden Rahmenbedingungen eingehalten, gelten die Anforderungen für RSV als erfüllt. In Nordrhein-Westfalen, Berlin und Bayern wird die gemeinsame Führung von Rad- und Fußgängerverkehr auf RSV grundsätzlich ausgeschlossen.

Bei der Betrachtung des Rad- und Kfz-Verkehrs auf gemeinsamen Flächen unterscheiden sich die dargestellten Anforderungen zwischen inner- und außerörtlichen Streckenabschnitten. Als bevorzugte Anordnung für die innerörtliche Führung im Mischverkehr wird im FGSV-Arbeitspapier und in den landesweiten Anforderungen die Fahrradstraße aufgeführt. Während in Nordrhein-Westfalen und Hessen Führungen im Mischverkehr bei Tempo 30 (oder höher) ausgeschlossen werden, ist deren Einsatz auf RSV in Baden-Württemberg möglich, wenn der Radverkehr an Knotenpunkten bevorrechtigt geführt werden kann. Laut FGSV-Arbeitspapier ist die Führung innerhalb von Tempo-30-Zonen ebenfalls zulässig. Die als Prüfkriterium genannte Einsatzgrenze von 100 Kfz/Tag für die Führung im Mischverkehr aus dem FGSV-Arbeitspapier wird in den Anforderungen der Länder nicht übernommen. Gilt die Fahrradstraße als bevorzugte Führungsform, findet die VwV-StVO zu Zeichen 244.1 und 244.2 (I) als Einsatzrahmen Anwendung und ist demnach im Einzelfall zu prüfen. Im konkreten Anwendungsfall könnte dies bedeuten, dass die durch die Einrichtung einer RSV erwartbare Querschnittsbelastung von mindestens 2.000 Radfahrer/Tag eine höhere Kfz-Belastung als die im FGSV-Arbeitspapier genannten 100 Kfz/Tag zulässt. Auf außerörtlichen Strecken wird in den Anforderungen der Länder Baden-Württemberg und Hessen ebenfalls die Fahrradstraße als bevorzugte Führungsform empfohlen. Laut FGSV-Arbeitspapier und den Vorgaben zu

RSV in Baden-Württemberg ist eine Führung im Mischverkehr bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 50 km/h und sehr geringer Kfz-Verkehrsstärke nicht ausgeschlossen.

Sowohl im Arbeitspapier der FGSV als auch in den Anforderungen der Länder wird ein Mindestanteil an der Gesamtstreckenlänge definiert, auf dem die zuvor genannten Qualitätskriterien eingehalten werden müssen. Das Arbeitspapier geht von 90 % der Streckenlänge aus, in den landesweiten Anforderungen von Nordrhein-Westfalen und Hessen wurde dieser Ansatz übernommen. Mindestanforderungen für den Streckenanteil, der nicht die geforderten Anforderungen erfüllt, werden in den genannten Papieren nicht aufgeführt. In Baden-Württemberg und Berlin sollen die Anforderungen von RSV auf mindestens 80 % der Gesamtstreckenlänge eingehalten werden. In Baden-Württemberg soll der Anteil der Streckenlänge, der lediglich den ERA 2010 entspricht, 10 % nicht überschreiten. Auf den verbleibenden Abschnitten, die die Anforderungen an RSV nicht halten können, soll eine Anforderung angewendet werden, die sich weitgehend an den Anforderungen einer Radvorrangroute orientiert. Dieser weist in der Regel geringere Breiten auf, stellt aber die gleichen Anforderungen an die Fahrtgeschwindigkeit. In Baden-Württemberg wird diese Anforderung durch die „Radschnellverbindung reduziert“ definiert. Das Arbeitspapier für Radschnellwege in Bayern gibt keine Quote zur Einhaltung der Anforderungen an, beschreibt aber, dass Ausnahmen nur auf kurzen Streckenabschnitten zulässig sind.

Markierungen stellen ein weiteres Ausstattungsmerkmal von RSV dar, das neben sicherheitsrelevanten Funktionen auch der Wiedererkennbarkeit für die potenziellen Nutzerinnen und Nutzer dienen soll. Grundsätzlich wird sowohl im FGSV-Arbeitspapier als auch in den Anforderungen der meisten Bundesländer eine Randmarkierung, ausgeführt als durchgehender, weißer Schmalstrich, empfohlen. Sie soll u. a. die Abkommenswahrscheinlichkeit, insbesondere bei Nacht, minimieren. Die genaue Positionierung (Abstand vom Fahrbahnrand) und die technische Ausführung variiert zwischen den einzelnen Anforderungen. Ein begleitender blauer Beistrich an der nach innen gewandten Seite der weißen Randmarkierung wurde langezeit in den Anforderungen der Länder und in verschiedenen Machbarkeitsstudien für Radschnellverbindungen empfohlen und bereits auf ersten Verbindungen umgesetzt. Ziel war es, ein für alle Radschnellver-

bindungen bzw. Radschnellwege einheitliches, führungsformübergreifendes und für den Nutzer wiedererkennbares Gestaltungselement einzuführen. Unter Berücksichtigung des Artikels 29 (2) des Gesetzes zu den Übereinkommen vom 8. November 1968 über den Straßenverkehr und über Straßenverkehrszeichen, welches blaue Markierungen für Stellen vorsieht, an denen das Parken erlaubt oder beschränkt ist, finden blaue Markierungen in den aktuellen Entwurfsständen der Anforderungen für RSV jedoch keine Anwendung mehr. Dennoch wird eine einheitliche Gestaltung, in Form eines Piktogramms und/oder einer Ergänzung mit einem Beistrich angestrebt. Die Diskussion um einen Beistrich in grüner Farbe läuft derzeit.

Für die Anwendung einer mittleren Leitlinie existieren in den Ländern unterschiedliche Anforderungen. Während die Mittelmarkierung nur im FGSV-Arbeitspapier für Kurvenbereiche von Zweirichtungsradwegen empfohlen wird, sehen die Anforderungen in Baden-Württemberg die grundsätzliche Markierung einer mittleren Leitlinie vor: Das Strich-Lücke-Verhältnis des unterbrochenen Schmalstrichs (auf freier Strecke: 1:5) wird im Knoten entsprechend verdichtet (1:2). Auf Flächen zur gemeinsamen Nutzung mit anderen Verkehrsarten soll keine mittlere Leitlinie markiert werden. In der Entwurfsfassung des Leitfadens für RSV in Nordrhein-Westfalen wird ebenfalls eine mittlere Leitlinie (weißer, unterbrochener Schmalstrich, Strich-Lücke-Verhältnis: 1:2) für Zweirichtungsradwege vorgesehen. Eine Anwendung in Fahrradstraßen mit zugelassenem Kfz-Verkehr ist ausgeschlossen. Inhalte weiterer Lösungen sind die Markierungen an Radverkehrsfurten und Konfliktflächen sowie an nur in Ausnahmefällen einzusetzenden Sperrpfosten.

Aufgrund der unterschiedlichen möglichen Führungsformen, gibt es derzeit kein spezifisches Verkehrszeichen für einen RSV. Im FGSV-Arbeitspapier und in den Ländern wird daher das ggf. führungsformspezifische Anordnung der entsprechenden StVO-Zeichen für Streckenabschnitte empfohlen. Dies umfasst zum Beispiel die Beschilderung mit den Zeichen 244.1 (Fahrradstraße), 237 (Radweg) und 241 (Getrennter Rad- und Gehweg) der StVO. Bei gemeinsamer Führung mit dem Kfz-Verkehr kann für Fahrradstraßen – unter der Erfüllung der in der VwV-StVO genannten Rahmenbedingungen – eine entsprechende Freigabe durch Zusatzschilder erfolgen (z. B. Zusatzzeichen 1024-10 oder 1020-30 StVO). Die Vorfahrtsberechtigung soll bei selbstständig geführten RSV in der Regel durch die

Zeichen 301 oder 306 StVO erfolgen. Anhand der verschiedenen Musterlösungen der Länder wird deutlich, dass das Zeichen 306 StVO vermehrt bevorzugt wird, da es, anders als das Zeichen 301, an mehr als drei Knotenpunkten in Folge eingesetzt werden kann (VwV-StVO zu Zeichen 301 StVO (IV)). Die Wartepflicht in der zu querenden Straße wird entsprechend durch die Zeichen 205 oder 206 StVO angeordnet. Bei Fahrradstraßen, die innerhalb von Tempo-30-Zonen liegen, muss zunächst die Zonenregelung durch das Zeichen 274.2-50 aufgehoben werden.

2.3.3 Kenntnisstand zur Sicherheitsbewertung auf Streckenabschnitten von RSV

Für die Ausgestaltung von Streckenabschnitten im Zuge von RSV lässt sich im Vergleich der landesweiten Anforderungen eine Gemeinsamkeit in Bezug auf die Breiten der Radwege (4,00 m im Zweirichtungsverkehr, 3,00 m im Einrichtungsverkehr). Für die Separation zwischen Fußgänger- und Radverkehr auf RSV werden hingegen verschiedene Arten der Trennung vorgesehen. Die durch die Regelwerke und Anforderungen der Länder bevorzugte Empfehlung ist eine deutliche Trennung mithilfe eines breiten Grün- oder Schotterstreifens. Ist diese Lösung aus Gründen der Flächenverfügbarkeit nicht realisierbar, kann die Separation mithilfe einer „weichen Trennung“ erfolgen. In diesem Fall liegen die Flächen der RSV und dem Gehweg direkt aneinander und können durch einen taktilen Trennstreifen bzw. oder durch den Einbau verschiedener Materialien oder eine Markierung voneinander abgegrenzt werden (vgl. Bild 2-1). Stellt die erste Art der Separation die planerisch scheinbar bessere Lösung zur Vermeidung von Konflikten zwischen Fußgängern und Radfahrern dar, kommt dennoch die weiche Trennung nicht nur verstärkt aus Platzverhältnissen zum Einsatz, sondern auch aus Gründen



Bild 2-1: Schotterstreifen als Trennung [Foto: Planungsbüro VIA eG]



Bild 2-2: Taktile Trennstreifen als Trennung [Foto: Planungsbüro VIA eG]

des Unterhalts: Die Durchführung des Winterdienstes lässt sich auf aneinanderlegenden Flächen für den Rad- und Fußgängerverkehr leichter realisieren. Die Pflege eines Grünstreifens erhöht weiterhin die Betriebskosten einer Strecke.

Einen weiteren denkbaren Ansatz stellt die Trennung durch einen Bord dar, welcher aber sowohl in Deutschland als auch in den Niederlanden zur Reduzierung der Sturzgefahr für Radfahrer und Fußgänger sowohl aus Gründen der Barrierefreiheit nicht verfolgt wird.

Zusätzlich zum vorangegangenen Punkt gibt es in der niederländischen Planungspraxis folgende Empfehlung: Wenn eine markierte Trennung verfolgt wird, muss die Radverkehrsführung kontinuierlich und leicht verständlich sein. Normalerweise ist dann eine einfache Markierung als Fahrradsymbol oder Piktogramm mit Richtungspfeil ausreichend. Die Trennung beider Bereiche sollte als ein weicher Übergang mit Bordanrampung, Materialwechsel und verschiedener Einfärbung gestaltet sein, gegebenenfalls mit zusätzlichem Fahrradsymbol.

Die Bevorzugung der Separation mithilfe eines Trennstreifens konnte bislang nicht durch empirische Erkenntnisse gesichert werden. In einem laufenden Forschungsprojekt des NRVP 2020 zu „Radfahrende und zu Fuß Gehende auf gemeinsamen und getrennten selbstständigen Wegen“ wird unter anderem der Aspekt der verschiedenen Trennungsarten untersucht. Während sich dieses Projekt dabei auf Geh-/Radwege im Allgemeinen bezieht, werden im vorliegenden Forschungsprojekt Radwege mit höheren Anforderungen betrachtet, um Rückschlüsse auf RSV ziehen zu können.

2.3.4 Kenntnisstand zur Sicherheitsbewertung an Knotenpunkten im Zuge von RSV

Die RSV ist keine separate Radverkehrsführungsform, sondern setzt sich aus bekannten Führungsformen, wie z. B. Radwegen, Radfahrstreifen zusammen. Gleiches gilt für Knotenpunkte im Zuge von Radschnellverbindungen, bei denen ebenfalls auf bekannte Formen aus der Praxis zurückgegriffen wird. Dementsprechend liegen zu mehreren Knotenpunktformen bereits Erkenntnisse aus Forschungen zur Bewertung der Verkehrssicherheit vor. Die Anforderungen von RSV entstehen nicht nur durch die vergleichsweise hohen spezifischen Anforderungen im Querschnitt, sondern auch durch die Erhöhung der durchschnittlichen Fahrtgeschwindigkeit und der daraus resultierenden Reisezeitverkürzung. Aus den Vorgaben des Arbeitspapiers der FGSV und der Länder geht hervor, dass diese Knotenpunkte im Zuge von Radschnellwegen bevorzugt planfrei ausgebildet oder mit einer Bevorzugung des RSV versehen werden sollen. Ist diese aufgrund der Verkehrsstärke oder anderer Rahmenbedingungen nicht möglich, kommen andere Knotenpunktformen zum Einsatz, die darauf ausgelegt sind, die Wartezeit für den Radverkehr zu minimieren. Einige Länder und Regionen veröffentlichen für die einheitliche Ausgestaltung der Knotenpunkte Musterlösungen für typische Knotenpunktformen. Die nachfolgende Übersicht bezieht sich auf die darin vorkommenden Musterlösungen.

Im Folgenden wird der Forschungsstand zu den für RSV typischen Knotenpunktformen zusammengestellt. Daraus kann anschließend abgeleitet werden, für welche Knotenpunktform ein weiterer Untersuchungsbedarf besteht.

Aus der niederländischen Forschung ist außerdem bekannt, dass bei außerörtlichen Knotenpunkten im Zuge von Hauptverkehrsstraßen die Unfalldichte mit Verletzten und Fußgänger-/Radverkehrsbeteiligung bei dreiarmligen Knoten mit Vorfahrtregelung (0,98) höher liegt als an Kreisverkehren (0,34), bei vierarmigen Knoten mit Vorfahrtregelung noch etwas höher (1,16). Die entsprechende Unfalldichte des Fuß-/Radverkehrs liegt an Knoten mit LSA (1,80) höher als an Knoten ohne LSA (0,93). Das betrifft übrigens auch die Gesamtzahl aller Unfälle mit Verletzten (6,5 mit LSA, 4,2 ohne LSA). Dabei ist die tägliche Verkehrsbelastung an Knoten ohne LSA gewöhnlich niedriger als an Knoten mit LSA – auch das könnte die Unfallkenngrößen beeinflussen. Auch an innerörtlichen Knotenpunkten im Zuge

Knotenpunktform	Kenntnisstand zur Verkehrssicherheit
Kreuzung einer selbstständig geführten RSV mit einer verkehrsrechtlich untergeordneten Straße	In SCHLÄGER et al. 2016 kann für die Knotenpunktform übertragen werden, dass die Gestaltung aufeinander folgender Knotenpunkte mit Bevorrechtigung möglichst einheitlich gestaltet werden sollen Empirisch gesicherte Erkenntnisse zum Sicherheitsniveau von Kreuzungen selbstständig geführter Radwege bzw. RSV sowie deren Gestaltungselemente liegen nicht vor.
Bevorrechtigte Kreuzung einer Fahrradstraße mit zugelassenem Kfz-Verkehr mit einer verkehrsrechtlich untergeordneten Straße (innerorts)	Aus einer Sicherheitsbewertung von Fahrradstraßen in SCHLÄGER et al. 2016 geht hervor, dass die bevorrechtigte Führung der Fahrradstraße keine nachteilige Auswirkung auf die Sicherheit von Knotenpunkten im Zuge von Fahrradstraßen hat. Es wird empfohlen die Vorfahrtsregelung im Zuge der Fahrradstraße einheitlich anzuordnen und durch entsprechende Gestaltungsmerkmale zu verdeutlichen. Die Studie liefert außerdem Empfehlungen zu den Breiten der Fahrbahn. Im Rahmen eines laufenden NRVP-Projekts zu „Rad- und Fußverkehr auf gemeinsamen und getrennten selbstständigen Wegen“ wird derzeit die Ausgestaltung von Fahrradstraßen untersucht.
Verkehrsrechtlich bevorrechtigte Kreuzung eines straßenbegleitenden Radweges (Einrichtungsverkehr) mit einer untergeordneten Straße (innerorts)	Um den Radverkehr zu sichern, sollen Furten innerorts fahrbahnnah geführt werden und durch entsprechende Markierungsmaßnahmen verdeutlicht werden. Die Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit, die durch regelwidrige Benutzung des Radweges in Gegenrichtung entsteht, ist durch geeignete Maßnahmen zu unterbinden [SCHNÜLL et al. 1992]. Neben der Erkennbarkeit der Radverkehrsanlagen selbst, sind die Sichtfelder im Umfeld der Einmündungen freizuhalten. Die Trassierung und Gestaltung soll das zügige Ein- bzw. Ausfahren des Kfz-Verkehrs verhindern [ALRUTZ et al. 2009].
Verkehrsrechtlich bevorrechtigte Kreuzung eines straßenbegleitenden Radfahrstreifens mit einer untergeordneten Straße (innerorts)	Die Führung auf Radfahrstreifen bietet gegenüber der Führung auf baulichen Radwegen den Vorteil, dass die Sichtbeziehungen zwischen abbiegenden Kraftfahrzeugen und Radfahrern verbessert sind. Die Markierung eines Radfahrstreifens sollte insbesondere dann der Anlage eines baulichen Radwegs vorgezogen werden, wenn entlang des Streckenabschnitts mehrere Einmündungen existieren. Die Unfallgefährdung für geradeausfahrende Radfahrer ist bei Führung auf Radfahrstreifen geringer als bei Führung auf baulichen Radwegen [SCHNÜLL et al. 1992].
Verkehrsrechtlich bevorrechtigte Kreuzung eines straßenbegleitenden Radfahrweges mit einer untergeordneten Straße (außerorts)	Aus einer Untersuchung zur Führung des Radverkehrs an Landstraßen [BAIER et al. 2017] kann abgeleitet werden, dass das Sicherheitsniveau der verkehrsrechtlich bevorrechtigten Führung des Radverkehrs von der Art der Verknüpfung bzw. der Verkehrsstärke abhängt. So zeigten sich in der Untersuchung doppelt so viele Unfälle bei Verknüpfung gleichrangiger Verbindungen als bei Verknüpfung mit einer nachrangigen Verbindung. Aus dieser Erkenntnis wird die Empfehlung abgeleitet, bei Knotenpunkten mit annähernd gleicher Verkehrsstärke keine verkehrsrechtliche Bevorrechtigung für den Radverkehr anzuordnen. In ANGENENDT et al. 2001 wird empfohlen, die bevorrechtigte Führung zügig und umwegfrei für den Nutzer zu gestalten, was bedeutet den Radweg an abgesetzten Furten im Vorfeld zu verziehen. Weiterhin wird empfohlen auf freie Rechtsabbiegefahrbahnen im Zuge der Radwege zu verzichten. Eine absolute Notwendigkeit stellt die Freihaltung der Sichtfelder dar.
Kreuzung einer selbstständig geführten RSV mit einer übergeordneten Straße (mit Mittelinsel)	In ANGENENDT et al. 2001 wird die Gestaltung von Querungsstellen für den Radverkehr auf freier Strecke in Bezug auf Verkehrssicherheit und Fahrdynamik erläutert. Bei der Gestaltung von Querungsanlagen im Zuge parallel geführte Radwege (Querung in Längsrichtung) gilt es zu beachten, dass Radfahrer eine möglichst direkte Fahrlinie zur Querung einer Straße wählen und die Infrastruktur durch geeignete Mittel daraufhin angepasst werden sollte, beispielsweise durch eine schräg ausgeführte Aufstellfläche. Bei Querungen selbstständig geführter Radwege ist die Querungslänge hingegen möglichst kurz zu halten, so dass die übergeordnete Fahrbahn senkrecht gequert wird.
Knotenpunkt mit Rechts-vor-Links-Regelung im Zuge einer Fahrradstraße	Für den Radverkehr in Erschließungsstraßen ist im Vergleich zu den Hauptverkehrsstraßen generell geringeres Unfallgeschehen festzuhalten [ALRUTZ et al. 1997]. Im Vergleich zu vorfahrtgeregelten und signalisierten Knotenpunkten haben die Rechts-vor-Links-Knoten sowohl eine geringere Unfallhäufigkeit als auch ein geringeres Niveau der Unfallschwere. Weiterhin ist festzuhalten, dass diese Knotenpunktform in Hinblick auf die einheitliche Gestaltung von Knotenpunkten im Zuge von Fahrradstraßen [SCHLÄGER et al. 2016] nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen sollte.
Minikreisverkehr	Gegenüber vorfahrtgeregelten und signalisierten erweist sich der Minikreisverkehr als grundsätzliche sichere Knotenpunktform [BAIER et al. 2014]. Die Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf der Kreisfahrbahn hat sich als eine für den Radverkehr sichere Führungsform erwiesen, wobei Details in der Gestaltung der baulichen Elemente berücksichtigt werden sollten [BONDZIO et al. 2012].
Kleiner Kreisverkehr mit Führung des Radverkehrs auf der Kreisfahrbahn im Mischverkehr	Die Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf der Kreisfahrbahn hat sich als eine für den Radverkehr sichere Führungsform erwiesen, wobei Details in der Gestaltung der baulichen Elemente berücksichtigt werden sollten [BONDZIO et al. 2012].
Kleiner Kreisverkehr mit Führung des Radverkehrs auf umlaufenden Radwegen und Bevorrechtigung an den Furten	Grundsätzlich zeigen Kreisverkehre mit kreisumlaufenden Radwegen und Bevorrechtigung des Radverkehrs an den Furten ein geringeres Sicherheitsniveau als andere regelkonforme Lösungen an Kreisverkehren [BONDZIO et al. 2012], doch insbesondere mit dem Ziel der Verlustzeitenreduzierung von RSV, sollten Hinweise in [BONDZIO et al. 2017] zur Bevorrechtigung des Radverkehrs an kreisumlaufenden Radwegen berücksichtigt werden.
Signalisierte Querungsstelle	Für die Sicherheit des Radverkehrs an signalisierten Knotenpunkten lassen sich aus [SCHNÜLL et al. 1992] verschiedene Hinweise zu Gestaltungselementen ableiten.
Komplexe signalisierte Knoten (in Folge)	Für die Sicherheit des Radverkehrs an signalisierten Knotenpunkten lassen sich aus [SCHNÜLL et al. 1992] verschiedene Hinweise zu Gestaltungselementen ableiten.

Tab. 2-2: Ausgewählter Kenntnisstand zur Verkehrssicherheit an typischen Knotenpunktformen

von Hauptverkehrsstraßen unterscheidet sich die Verkehrssicherheit des Fußgänger-/Radverkehrs (hier anders definiert: als Anteil der Unfälle mit Verletzten und Fußgänger-/Radverkehrsbeteiligung an allen Unfällen) nach den Knotenpunktformen: Knoten mit Vorfahrtregelung haben den höchsten Anteil, Kreisverkehre den niedrigsten. Dreiarmige LSA-Knoten haben einen geringeren Anteil als vierarmige [DIJKSTRA 2014: 8].

Die Zusammenstellung zeigt, dass der Kenntnisstand in Bezug auf die Verkehrssicherheit an unterschiedlichen Knotenpunktformen, die im Zuge von RSV auftreten können, im Allgemeinen bereits gut ist. Die Bevorrechtigung von selbstständigen Radwegen wird jedoch derzeit in der Praxis nur sehr selten angewendet und dem entsprechend gering ist auch der Kenntnisstand in Bezug auf die Verkehrssicherheit.

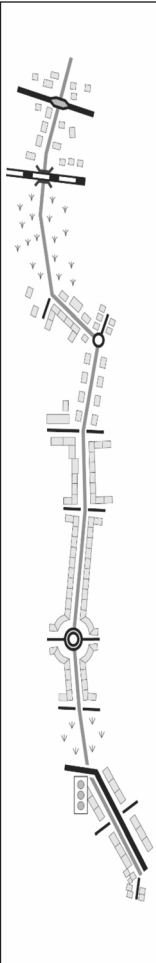
2.3.5 Verkehrsablauf an Knotenpunkten

Die Qualität einer RSV wird insbesondere über die Fahrtgeschwindigkeit und damit auch über die Verlustzeiten an Knotenpunkten abgebildet. Das Arbeitspapier der FGSV liefert dazu verschiedene Richtwerte, die vor dem Hintergrund mangelnder praktischer Erfahrung zumindest auf der Stufe der Machbarkeitsstudien angewendet werden.

Das in Bild 2-3 dargestellte Verfahren zur Ermittlung der durchschnittlichen Verlustzeiten pro Kilometer zeigt, dass die Summe der beispielhaften Regelwerte für Verlustzeiten typischer Knotenpunktformen durch die Länge des betrachteten Streckenabschnittes geteilt wird.

Da diese Beispielwerte nicht durch eine empirische Grundlage gesichert sind, besteht hier weiterer Untersuchungsbedarf.

In einer Untersuchung zur Beschleunigung des Radverkehrs im Zuge signalisierter Streckenabschnitte konnte festgestellt werden, dass in Folge der zahlreichen streckenbezogenen Randbedingungen keine standardisierten Lösungen ableitbar sind. Die Koordination des Radverkehrs muss im konkreten Anwendungsfall immer individuell geprüft werden [TU BERLIN 2014]. Derzeit wird außerdem im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen ein Forschungsprojekt zum Thema „Verkehrsablauf an signalisierten Knotenpunkten mit hohem Radverkehr“ erarbeitet. Anhand von Simulationen sollen



Umfeld	Führungsform	Länge	Knotenpunktform	Grundknotenpunktform	Verlustzeit
Wohnbebauung	selbständiger Radweg	300 m	Wartepflicht Mittelinsel	Hauptverkehrsstraße	20 s
Wohnbebauung	selbständiger Radweg	300 m	Unterführung	Eisenbahnstrecke	0 s
Flussaue	selbständiger Radweg	700 m			
Wohnbebauung	Fahrradstraße	150 m	Vorrang	Nebenstraße	0 s
Wohnbebauung	Fahrradstraße	200 m	Minikreis	Richtungsänderung	10 s
Wohnbebauung	Fahrradstraße	150 m	Vorrang	Nebenstraße	0 s
Wohnbebauung	Fahrradstraße	200 m	Vorrang	Nebenstraße	0 s
Wohnbebauung	Fahrradstraße	150 m	Kleiner Kreisverkehr	Hauptverkehrsstraße	15 s
Stadtpark	selbständiger Radweg	400 m	Vorrang	Nebenstraße	0 s
Wohnen/Läden	straßenbegleitender Zweirichtungsradweg oder Radfahrstreifen	200 m	Lichtsignalanlage	Hauptverkehrsstraße	30 s
Wohnen/Läden		150 m	Vorrang	Nebenstraße	0 s
			Ende RSV an Innenstadt		0 s
Summe Teilabschnitt		2.900 m			75 s
					entspricht 26 s je km

Bild 2-3: Beispielrechnung für die Verlustzeiten von Knotenpunkten [FGSV 2014: 16]

hier praxistaugliche Berechnungsverfahren für diese Art von Knoten erarbeitet werden.

2.4 Fazit und Folgerungen für die Untersuchung

Zur Berechnung der Potenzialanalyse wurden bei bisherigen Machbarkeitsuntersuchungen verschiedene Verfahren mit unterschiedlichem Ergebnisumfang und Detailtiefe angewendet. Regelwerke und Hinweispapiere definieren bislang keine Vorgaben zum Verfahren oder zu den notwendigen Ergebnissen. Dies gilt sowohl für das deutsche Hinweispapier als auch für Regelwerke aus der Schweiz und den Niederlanden.

Eine Verknüpfung von Nutzen-Kosten-Analyse und Potenzialanalyse fand bisher ebenfalls nur in einigen Anwendungsfällen jedoch nicht als Vorgabe aus Regelwerken statt. Dementsprechend bestehen keine Anforderungen an die Ergebnisse der Po-

tenzialanalyse zur Weiterverwendung in einer Nutzen-Kosten-Analyse. Die Erfassung bisheriger Ansätze zur Potenzialanalyse dient somit der weiteren Untersuchung der folgenden Aspekte:

- Welche Anforderungen an die Potenzialanalyse bestehen?
- Wie kann ein einheitliches Verfahren aussehen?
- Welcher Datenbedarf besteht für ein Verfahren?
- Welche Anforderungen hat die Nutzen-Kosten-Analyse an die Potenzialanalyse?

Für die Nutzen-Kosten-Analyse liegen bereits standardisierte Verfahren anderer Verkehrsträger als auch radspezifische Verfahren vor. Die Aktualität der Nutzen- und Kostenkomponenten sowie die Anwendbarkeit auf RSV sind zu prüfen. Weiterhin ist insbesondere im Abgleich mit den Verfahren anderer Verkehrsträger zu prüfen, welche Komponenten für die Bewertung einer RSV zu berücksichtigen sind. Es ergeben sich für die Bearbeitung also folgende Aspekte:

- Entsprechen vorhandene Berechnungsansätze dem aktuellen Kostenstand?
- Welche Nutzen- und Kostenkomponenten sind zur Bewertung von RSV erforderlich und wie können sie berechnet werden?
- Welche Datenbasis ist für die Verknüpfung mit der Potenzialanalyse erforderlich?

Für die Art der Trennung zwischen Fußgänger- und Radverkehr existieren in den Regelwerken für RSV unterschiedliche Empfehlungen. Daraus ergibt sich die Fragestellung in wie weit die Art der baulichen Trennung in Bezug auf die Verkehrssicherheit bzw. Konflikthäufigkeit und den Fahrkomfort des Radverkehrs Auswirkungen aufweist.

Die Erhebung dient der Untersuchung folgender Fragestellungen:

- Welchen Einfluss hat die Art der Trennung zwischen Gehweg und Radweg auf die Konflikthäufigkeit und -schwere zwischen Radfahrer und Fußgängern?
- Wie beeinflussen die Verkehrsmengen die Konflikthäufigkeit und -schwere zwischen Radfahrer und Fußgängern bzw. zwischen den Radfahrer?

Weiterhin ergibt sich die Möglichkeit, im Rahmen der empirischen Untersuchung die realen Fahrtgeschwindigkeiten auf den RSV zu ermitteln.

Für typische Knotenpunktformen im Zuge von RSV liegen aus verschiedenen Untersuchungen bereits grundlegende Erkenntnisse in Bezug auf die Verkehrssicherheit vor. Dennoch wird deutlich, dass der empirisch gesicherte Kenntnisstand in Bezug auf sicherheitsrelevante Aspekte bei der Querung eines selbstständig geführten Radweges und einer untergeordneten Kfz-Straße mit verkehrsrechtlicher Bevorrechtigung für den Radverkehr noch am geringsten ist. Die Sicherheitsbewertung an bevorrechtigten Querungsstellen für den Radverkehr soll das grundsätzliche Konfliktniveau an dieser Knotenpunktform prüfen. Außerdem sollen verschiedene bauliche Ausprägungen bewertet werden. Weiterhin wird untersucht, bis zu welcher Verkehrsstärke die Bevorrechtigung des Radverkehrs als sicher eingestuft werden kann.

Folgende Fragestellungen werden untersucht:

- Durch welches Verhalten werden Konflikte verursacht?
- Lassen sich Unterschiede im Verhalten bei Anlagen unterschiedlicher baulicher Ausprägung erkennen?
- Wie wirken sich unterschiedliche Verkehrsstärken auf die Häufigkeit von Interaktionen / Konflikten aus?

Weiterhin zeigt sich Untersuchungsbedarf in Bezug auf die Einsatzbereiche typischer Knotenpunktformen im Zuge von RSV. Die im FGSV-Arbeitspapier angegebenen Beispielwerte für Verlustzeiten sollen in der vorliegenden Untersuchung mithilfe von Berechnungen auf Grundlage des Handbuchs für die Bemessung von Straßen überprüft werden.

3 Verfahren zur Potenzialanalyse

Mit dem nachfolgend dargestellten Verfahren der Potenzialanalyse für eine RSV wird das Ziel verfolgt, für einen definierten Trassenverlauf eine Bestimmung des zu erwartenden Radverkehrsaufkommens durchzuführen. Die Grundlage bildet somit ein aus der Linienfindung hervorgehender Streckenverlauf sowie Eingangsgrößen zur Bestimmung der Nachfragepotenziale. Umfang und Detaillierungsgrad dieser Eingangsgrößen werden mit der Verfahrensbeschreibung konkretisiert. Dieses Verfahren grenzt sich somit von der häufig als „Potenzialstudie“ bezeichneten Voruntersuchung ab,

bei der mögliche Korridore für eine RSV identifiziert werden sollen.

3.1 Expertenbefragung

Um die bisher gesammelten Erkenntnisse mit bestehenden Ansätzen von Fachplanern zu vergleichen, erfolgte im Rahmen dieses Projekts in zwei Workshops bzw. Interviews der Austausch mit deutschen und niederländischen Experten aus den Bereichen Radverkehrsberechnung, Modellierung und ökonomischer Betrachtung des Radverkehrs:

- Firma PTV AG und PTV Transport Consult GmbH
- Firma Goudappel Coffeng
- Firma Move Mobility und Fachhochschule NHTV Breda
- Firma Decisio Economic Research

Im Rahmen des Workshops mit Experten aus Deutschland erfolgte eine Diskussion zu Kernthemen aus Potenzial- und Nutzen-Kosten-Analyse. Hinsichtlich Potenzialanalyse wurden mögliche „Stellschrauben“ der jeweiligen Verfahren und ihre möglichen Schwachstellen, der Einfluss einer zunehmenden Pedelec-Verbreitung oder auch die räumliche Abgrenzung bei beiden Verfahrensansätzen diskutiert.

Hinsichtlich Nutzen-Kosten-Analyse wurde die Übernahme und die Notwendigkeit von Komponenten aus BVWP-Methodik und standardisierter Bewertung von SPNV-Maßnahmen diskutiert. Die Ergebnisse der Diskussionen sind in die Erarbeitung der Verfahren und Komponenten eingeflossen.

Bei den Interviews mit niederländischen Kollegen konnten weiterhin Erfahrungen und Ansätze ausgetauscht werden, die nachfolgend dargestellt sind. Ergänzend wurden mithilfe niederländischer Partner dort geltende Studien und Regelwerke ausgewertet.

In den Niederlanden werden ebenfalls modellbasierte Verfahren genutzt, die häufig auf der Verkehrsnachfrage des Pkw-Verkehrs basieren und über Radverkehrsanteile, die relationsbasiert vorliegen oder ermittelt werden, das Radverkehrsaufkommen berechnet. Das Verfahren ähnelt somit stark den vorhergehend dargestellten modellbasierten Verfahren. Für eine Prognose und eine Abbil-

dung der Verlagerungswirkung wird die Reisezeitersparnis berücksichtigt. In Abhängigkeit der Reiseweite wird eine spezifische Verlagerungswirkung ermittelt. Bei Evaluierung bereits realisierter RSV zeigen Radverkehrszählungen nach Fertigstellung zum Teil deutliche Abweichungen vom prognostizierten Aufkommen, sowohl nach oben als auch nach unten (vgl. Kapitel 1.2). In den Niederlanden hat sich gezeigt, dass das Marketingkonzept einen weiteren maßgebenden Einfluss hat. Von Bedeutung ist, dass verschiedene Werbekanäle genutzt werden, um verschiedene Bevölkerungsgruppen erreichen zu können.

Generell besteht in den Niederlanden eine breite Datengrundlage in Bezug auf die lokale Wegewahl. Im Rahmen einer „Radzählwoche“ wurde mithilfe einer Tracking-App eine Vielzahl von Alltagswegen, die per Fahrrad durchgeführt wurden, aufgenommen. Hierbei wurden Informationen zu Haupttrouten, häufig genutzten Abkürzungen, Verlustzeiten oder Geschwindigkeiten ausgewertet und weiterverarbeitet. Ein weiteres Beispiel ist die Aufnahme des vorhandenen Radwegenetzes in den gesamten Niederlanden. Hierbei wurden viele verschiedene Kriterien zur Qualität der Wegeverbindung wie Oberflächenbeschaffenheit, Breite, Beleuchtung u.ä. aufgenommen. Mithilfe dieser Daten und Erkenntnisse können bestehende Verfahren exakter umgesetzt und verfeinert werden. Die Attribute einer Strecke können dazu genutzt werden, eine genauere Streckengeschwindigkeit zu berechnen, die letztendlich u. a. die Attraktivität einer Strecke widerspiegelt.

3.2 Ablauf und Ziel

Mit der Berechnung der Potenzialanalyse für einen konkreten Streckenverlauf werden zwei Ziele verfolgt:

- Zum einen soll das Radverkehrsaufkommen insgesamt auf der RSV abschnittsbezogen ermittelt werden. Damit soll der Nachweis erbracht werden, dass die neue Verbindung von einer ausreichend großen Nutzerzahl angenommen wird und die vergleichsweise hohen Anforderungen gerechtfertigt sind.
- Zum anderen ist eine wesentliche Erkenntnis die Verlagerungswirkung von anderen Verkehrsmitteln. Radfahrer, die durch die angestrebte attraktivere Verbindung von anderen Verkehrsmitteln,

insbesondere vom Pkw, auf das Fahrrad verlagert werden können, tragen zu einem erheblichen Nutzen, zum Beispiel durch Einsparungen von Emissionen, bei (vgl. Kapitel 4.1.6). Hier besteht somit ein wesentlicher Rechenschritt.

Im Rahmen der Bearbeitung wurden verschiedene Rechenansätze und Methoden betrachtet, auch unter Berücksichtigung der im Ausland angewendeten Verfahren (vgl. Kapitel 3.1) sowie Berechnungsgrundlagen anderer Verkehrsträger.

Mit dem Ziel, ein Verfahren zu erarbeiten, das anwendbar, überprüfbar und belastbar ist, wurden final zwei Verfahren mit unterschiedlichen Methoden parallel geführt, die sich in der Anforderung der Eingangsdaten sowie im Detaillierungsgrad der Berechnung unterscheiden. Wesentlicher Unterschied bei den zwei nachfolgend dargestellten Methoden ist der Einsatz eines makroskopischen Verkehrsmodells. Zur Abbildung von Radverkehrsbeziehungen ist in der Regel ein feinteiliges Modell erforderlich, das u. a. mit lokalen oder regionalen Verkehrsmodellen gegeben ist, die jedoch nicht in jedem Planungsfall verfügbar sind. Es ist somit mit einem zweiten Verfahren sicherzustellen, dass auch ohne verfügbares Verkehrsmodell eine näherungsweise Berechnung durchgeführt werden kann, die weiterhin die gewünschte Vergleichbarkeit und Verlässlichkeit bietet.

Beide Verfahren, das detaillierte Verfahren (siehe Kapitel 3.4) und das überschlägige Verfahren (siehe Kapitel 3.5) weisen Ergebnisse aus, die für die darauf aufbauende Nutzen-Kosten-Analyse (siehe Kapitel 4) erforderlich sind.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass das detaillierte Verfahren mit der Berechnung auf Grundlage eines Verkehrsmodells grundsätzlich vorzuziehen ist. Das überschlägige Verfahren bildet somit nur eine Alternative, mit der insbesondere zu Beginn einer Machbarkeitsstudie Potenziale grob abgeschätzt werden können und basiert grundlegend auf zu erfassende Strukturdaten.

3.3 Einsatz von makroskopischen Verkehrsmodellen

In der Berechnung der Potenzialanalyse stellt der Einsatz von Verkehrsmodellen und in diesem Zusammenhang auch dessen Detaillierungsgrad ein Spannungsfeld dar.

Mit RSV wird das Ziel verfolgt, eine Verlagerung der Verkehrsmittelwahl insbesondere vom MIV auf das Fahrrad herbeizuführen. Das Ausmaß der Verlagerung entscheidet maßgeblich mit darüber, ob eine Investition in eine RSV wirtschaftlich ist.

Eben diese Verlagerungsberechnung von anderen Verkehrsträgern auf das Fahrrad muss somit eine zentrale Fragestellung innerhalb der Potenzialanalyse sein. Modellbasierte Berechnungen zielen auf eine solche Fragestellung ab, schließlich bilden sie mit dem Verfahrensschritt der Verkehrsmittelwahl die Entscheidung für oder gegen ein Verkehrsmittel nach. Veränderte Rahmenbedingungen, wie etwa kürzere Reisezeiten im Radverkehr auf ausgewählten Relationen, führen somit zu einer Verlagerung hin zu höheren Radverkehrsanteilen.

Demgegenüber steht eine generelle Verfügbarkeit von Verkehrsmodellen und die Verfügbarkeit von Modellen mit vollständigem Nachfrageberechnungsmodell: Oft bestehen zwar lokale oder regionale Modelle, häufig jedoch lediglich mit Nachfragematrizen ohne vorgelagerte Berechnungsschritte und ebenfalls häufig lediglich für die MIV-Nachfrage.

Die Modellverfügbarkeit spiegelt das Hauptaugenmerk der Modellierung im MIV wider. In der Regel wird das Ziel verfolgt auf Basis der Umlegung Auswirkungen einzelner infrastruktureller Maßnahmen zu bestimmen, ohne dabei Verlagerungswirkung in der Verkehrsmittelwahl zu berücksichtigen.

Die Modellierung und Umlegung des Radverkehrs sowie die spezifischen Aspekte der Routenwahl im Radverkehr wurde bislang wenig beachtet, dementsprechend fehlen bisher Erfahrungswerte in diesem Bereich.

Für die Herleitung von Verfahren der Potenzialanalyse lassen sich damit folgende Eckpunkte festhalten:

- Falls ein Verkehrsmodell zur Verfügung steht, sollte es für die Potenzialberechnung herangezogen werden. Der Mehraufwand steht einem deutlichen Nutzen in der Verlässlichkeit sowie in der Datenverfügbarkeit für die anschließende Nutzen-Kosten-Analyse gegenüber.
- Für Fälle, in denen Nachfragematrizen aber kein Verkehrsmittelwahlmodell zur Verfügung stehen, kann ein alternatives Verfahren verwendet werden. Aufgrund der großen Relevanz dieses Be-

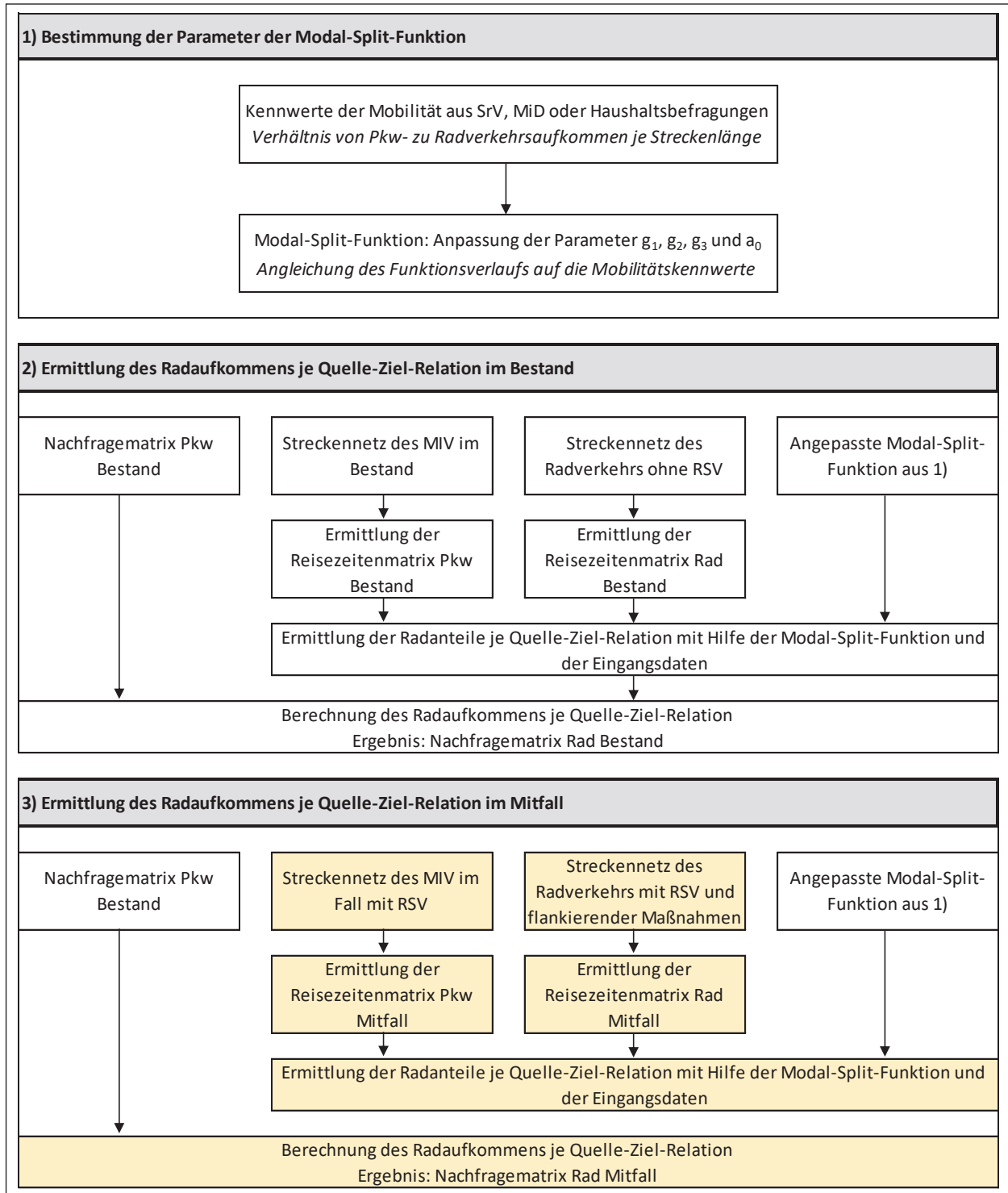


Bild 3-1: Berechnungsablauf des detaillierten Verfahrens

- rechnungsschritts muss das Verfahren verlässlich, verständlich und allgemein anerkannt sein.

 - Die Aspekte der Routenwahl von Fahrradfahrern müssen in der Umlegungsberechnung besondere Berücksichtigung finden.
- Für den Fall, dass kein Modell verfügbar ist, ist ein alternatives Verfahren erforderlich, das eine Abschätzung auf Basis vorhandener Daten ermöglicht. Wesentlich sind eine klare Abgrenzung der Möglichkeiten und Einsatzgrenzen eines solchen Verfahrens.

3.4 Detailliertes Verfahren

In Kapitel 2.1 wurden bestehende Ansätze zur Potenzialanalyse aus der Literatur sowie aus umgesetzten Machbarkeitsstudien zusammengetragen.

Es hat sich gezeigt, dass dabei unterschiedliche Datengrundlagen erforderlich sind. Die Auswertung des Regelwerks für die standardisierte Bewertung im SPNV [ITP 2017] weist eine Lösung dieses Problems aus. Nachfolgend wird der Ansatz für die Anwendung auf RSV angepasst.

Insbesondere aufgrund des Ziels, anwendbare und überprüfbare Verfahren zu entwickeln, wird der Ansatz der Nachbildung eines Verkehrsmittelwahlmodells verworfen. Für eine einfache Anwendung sind zu viele Arbeitsschritte erforderlich, die zudem nur mit hohem Aufwand durch Dritte geprüft werden können.

Aufgrund des Ziels, ein belastbares Verfahren zu entwickeln, wird der Ansatz einer einfachen Modellrechnung unter Festlegung einer bestimmten Verlagerungswirkung ebenfalls verworfen.

3.4.1 Berechnungsablauf

Für das detaillierte Verfahren sind mehrere Rechenschritte unter Verwendung verschiedener Datenquellen erforderlich. Weiterhin sind im Verlauf der Berechnung aufeinander aufbauende Schritte erforderlich, um die Verlagerungswirkung im Fall mit einer RSV (Mitfall) gegenüber der Bestandssituation zu erfassen. In Bild 3-1 ist der Verfahrensablauf in drei Teilschritten dargestellt.

Zunächst erfolgt die Parametrierung der Modal-Split-Funktion (vgl. dazu Kapitel 3.4.3). Anhand des Verhältnisses des Rad- zum Pkw-Aufkommen, unterteilt nach Distanzklassen, das in der Regel aus SrV-, MiD- oder örtlichen Mobilitätsbefragungen vorliegt, kann der Verlauf der Modal-Split-Funktion an örtliche Gegebenheiten angepasst werden. Für den Fall, dass keine Daten vorliegen, muss entweder eine Schätzung vorgenommen oder der Verlauf der Standard-Funktion genutzt werden.

Mithilfe der angepassten Modal-Split-Funktion kann für jede Quelle-Ziel-Relation im Untersuchungsgebiet das Verhältnis von Rad- zu Pkw-Aufkommen und darauf aufbauend eine Radverkehrsnachfrage für die Bestandssituation bestimmt werden. Eingangsgroßen dafür sind Aufwandskenngrößen des Rad- und Pkw-Verkehrs, die aus dem Angebotsnetz

der beiden Verkehrsmittel bestimmt werden können. Weitere Eingangsgroße ist das Pkw-Fahrtenaufkommen.

Der gleiche Rechenablauf wird im weiteren Verfahrensschritt genutzt, um den Mitfall zu betrachten. Farblich hervorgehoben sind unter Schritt 3) die Eingangsgroßen und Ergebnisse, die sich für die Berechnung des Mitfalls ändern. Dabei zeigt sich, dass durch Anpassung des Angebotsnetzes des Radverkehrs im Ergebnis das Radverkehrsaufkommen verändert wird.

In den folgenden Kapiteln 3.4.3 bis 3.4.5 werden die Arbeitsschritte erläutert und die Herleitung dargestellt.

3.4.2 Ermittlung der Radverkehrsnachfrage

Ausgehend von der Modal-Split-Funktion der standardisierten Bewertung im SPNV [ITP 2017] wird eine Funktion abgeleitet, die für den Radverkehr gilt. Der Vergleich mit der Ausgangsfunktion (vgl. Kapitel 2.1.2) zeigt, dass die Berechnungsvorschrift im Wesentlichen beibehalten wurde, der Parameter g_3 wurde ergänzt. Dieser ist in der standardisierten Bewertung mit dem Wert 1,1 festgelegt. Die übrigen Parameter g_1 , g_2 und a_0 werden beibehalten, jedoch mit anderen Werten versehen. Die Erläuterung zur Parametrierung folgt in Kapitel 3.4.3.

Die Modal-Split-Funktion dient dazu, ausgehend von der Verkehrsnachfrage des Pkw-Verkehrs das Radverkehrsaufkommen abzuleiten. Berechnet wird jedoch nicht unmittelbar das Aufkommen, sondern das Verhältnis des Radverkehrs- zum Pkw-Aufkommen.

$$a_{ij, Rad} = \frac{1}{g_3 + e^{g_1 + g_2 \cdot \frac{W_{ij, MIV}}{W_{ij, Rad}}}} - a_0 \quad \text{Gl. 2}$$

$a_{ij, Rad}$ Verhältnis des Radverkehrsaufkommens zum Pkw-Verkehrsaufkommen in Abhängigkeit der Aufwände (W) von MIV und Rad für den Weg von i nach j

g_1, g_2, g_3, a_0 Parameter

$W_{ij, Rad}$ Aufwand des Rads für den Weg von i nach j ; gemessen als Reisezeit

$W_{ij, MIV}$ Aufwand des MIV für den Weg von i nach j ; gemessen als Reisezeit

Die Modal-Split-Funktion ist für den Einsatz zusammen mit einem bestehenden Verkehrsmodell ge-

dacht, bei dem mindestens eine Pkw-Matrix und das Angebotsnetz des MIV vorhanden sind. Hieraus lässt sich die Reisezeit des MIV ermitteln. Es ist zu beachten, dass die Anbindungen für den MIV mit 2,5 Minuten Zu- und Abgangszeit versehen werden. Auf das Verfahren bezogen, kann erst mit diesem Grundwiderstand eine realistische Abbildung des Radverkehrsaufkommens gewährleistet werden. Inhaltlich ist dieser Grundwiderstand insbesondere in hochverdichteten Gebieten mit hohem Parkdruck gerechtfertigt. Im Vergleich zum Ansatz in der standardisierten Bewertung stellt dies eine Vereinfachung dar: Hier wird in Abhängigkeit der Streckenlänge und der Parksituation am Start- und Zielort eine Korrektur der Fahrzeit auf das bis zu 2,5-fache festgelegt.

Sofern das Verkehrsmodell noch kein Radverkehrsnetz im Angebotsnetz enthält, ist die Abbildung aller relevanten Strecken, die über das Bestandsnetz hinausgehen, erforderlich. Dies gilt insbesondere, wenn durch Nebenstrecken kürzere Fahrzeiten erreicht werden können. Auch Verlustzeiten an Knotenpunkten, die von denen des MIV abweichen, sollten berücksichtigt sein. Die Anforderungen werden im Detail im folgenden Kapitel 3.4.3 dargestellt.

Aus dem Angebotsnetz des Radverkehrs können anschließend die Reisezeiten des Radverkehrs ausgelesen werden.

3.4.3 Abbildung des Radverkehrsnetzes

Der Berechnung muss ein Verkehrsnetz zugrunde liegen, das nicht nur das Netz des Pkw, sondern auch das Streckennetz für den Radverkehr möglichst detailliert abbildet. Dazu gehören in erster Linie die Streckenlänge, die Geschwindigkeit sowie Knotenpunkte und Verlustzeiten.

Die Streckenlänge wird beim Anlegen des Netzes in der Regel automatisch berücksichtigt. Ein höheres Augenmerk sollte auf die Geschwindigkeit gelegt werden. Unter Verwendung von verschiedenen Geschwindigkeiten kann die Beschaffenheit der Radverkehrsanlagen und damit die Attraktivität für den Radfahrer abgebildet werden. Abgebildet werden die Fahrtgeschwindigkeiten und nicht die mittlere Fahrzeit. Die Fahrtgeschwindigkeit bei Radfahrern liegt bei freier Fahrt bei 15 - 20 km/h [ALRUTZ et al. 2009]. Dabei zeigt sich, dass die Durchschnittsgeschwindigkeit auf Radfahrstreifen geringfügig höher liegt als auf Radwegen und Schutzstreifen. Dieses Erkenntnis deckt sich mit der Auswertung ausge-

wählter Streckenabschnitte von RSV im Rahmen der Sicherheitsbewertung an Streckenabschnitten (vgl. Kapitel 6.3).

Als Streckengeschwindigkeit und als Abstufung der unterschiedlichen Beschaffenheit von Radverkehrsanlagen sind also Fahrtgeschwindigkeiten zwischen 15 und 20 km/h sinnvoll. 20 km/h stellt dabei die weitgehend unbeeinflusste Fahrt auf dem RSV dar.

Soll die Geschwindigkeitsverteilung darüber hinaus dazu dienen, die Streckenattraktivität, z. B. anhand der Art der Radverkehrsinfrastruktur, der Kfz-Belastung oder ähnlichem abzubilden, können weitere Zu- oder Abschläge berücksichtigt werden.

Verlustzeiten an Knotenpunkten sind insbesondere dann erforderlich, wenn eine konkrete Planung betrachtet wird und die Knotenpunkttypen der Varianten bzw. der Bestandsrouten bekannt sind. Auch in Fällen, bei denen durch Neuplanung eine deutliche Reduktion der zu befahrenden Knotenpunkte erreicht werden kann, ist die Abbildung sinnvoll.

Demgegenüber stellen bei einer groben Ersteinschätzung oder Korridorfindung Verlustzeiten keinen maßgebenden Mehrwert dar.

Insbesondere bei topografisch anspruchsvollem Gelände wird eine Abbildung von Steigungen und Gefällen durch Zu- oder Abschläge der Geschwindigkeit empfohlen. Nach GÖLZ 2007 bietet der folgende Verlauf die Möglichkeit, Gefälle und Steigungen abzubilden. Gleichzeitig tritt der Effekt ein, dass Steigungen und Gefälle grundsätzlich eher gemieden werden, wenn eine flache Alternative zur Verfügung steht, da der Geschwindigkeitsverlust bei Steigungen größer als der Geschwindigkeitsgewinn bei Gefällen ist.

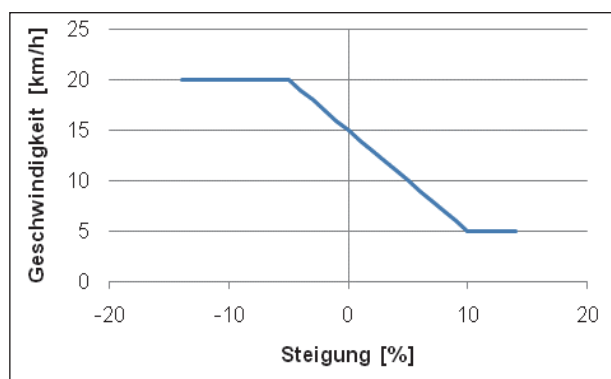


Bild 3-2: Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Steigung [GÖLZ 2007]

3.4.4 Parametrierung der Modal-Split-Funktion

Ein wesentlicher Arbeitsschritt für die Verwendung der Modal-Split-Funktion für den Radverkehr ist die Anpassung der Parameter. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Verhältnis des Rad- zum Pkw-Aufkommen je nach Region sehr unterschiedlich ausgeprägt ist. Das zeigt sich insbesondere bei den nachfolgend dargestellten Vergleichen unterschiedlicher Regionen. Es erscheint somit sinnvoll, einen Rahmen festzulegen, welche Werte die Parameter annehmen können, ohne jedoch einen festen Parametersatz vorzugeben.

Zur Bestimmung einer näherungsweise Modal-Split-Funktion wurden Daten der bundesweiten Verkehrsbefragung MiD 2008 [BMVBS 2008] ausgewertet. Anhand der Angaben zur Verkehrsmittelwahl konnten unter Berücksichtigung der Distanzen und des jeweiligen Zeitbedarfs Radverkehrsanteile ermittelt werden. Diese sind in dem nachfolgenden Bild 3-3 als Radverkehrsanteile in Abhängigkeit der Aufwandsverhältnisse von MIV zu Rad aufgetra-

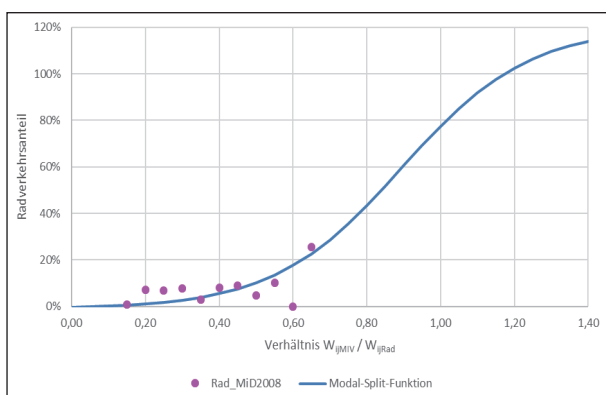


Bild 3-3: Radanteile nach Widerstandsverhältnis aus MiD 2008 und Verlauf Modal-Split-Funktion

gen. Allgemein wird das Widerstandsverhältnis von MIV zu Rad kleiner, je größer der zurückgelegte Weg ist. Daraus resultiert der deutlich abnehmende Radanteil bei sinkendem Widerstandsverhältnis. Umgekehrt zeigt sich bei einigen Mobilitätshebungen bei sehr kurzen Wegen, dass das Fahrrad aufkommen über dem MIV-Aufkommen liegt. Der Radverkehrsanteil muss in diesen Fällen bei kurzen Wegen somit über 100 % liegen. Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich die Eckwerte des Funktionsverlaufs der Modal-Split-Funktion. Diese ist ebenfalls in Bild 3-3 dargestellt.

Der Verlauf der Modal-Split-Funktion wurde ergänzend mit den Ergebnissen weiterer Mobilitätshebungen verglichen. Dazu wurden Erhebungen aus Regionen herangezogen, für die Verkehrsmodelle für die Bearbeiter verfügbar waren und in denen bereits Potenzialuntersuchungen zu RSV durchgeführt wurden. Mit diesen Grundlagen können in den folgenden Arbeitsschritten Evaluierungen der Berechnungsergebnisse und Vergleiche mit bestehenden Ergebnissen vorgenommen werden. Die ausgewählten Regionen werden mit Region A, B und C benannt.

Vergleichend wurden die Ergebnisse der SrV-Mobilitätsbefragungen aus Düsseldorf, Erfurt und Potsdam herangezogen. Die Ergebnisse sind gemeinsam mit der zuvor ermittelten Modal-Split-Funktion in Bild 3-4 dargestellt. Dabei zeigt sich insbesondere bei kurzen Strecken bis 2 km eine sehr deutliche Differenz in den Erhebungsergebnissen. Diese sind zum einen auf das unterschiedliche Nutzerverhalten zurückzuführen. Zum anderen ist zu berücksichtigen, dass bei Erhebungen insbesondere sehr

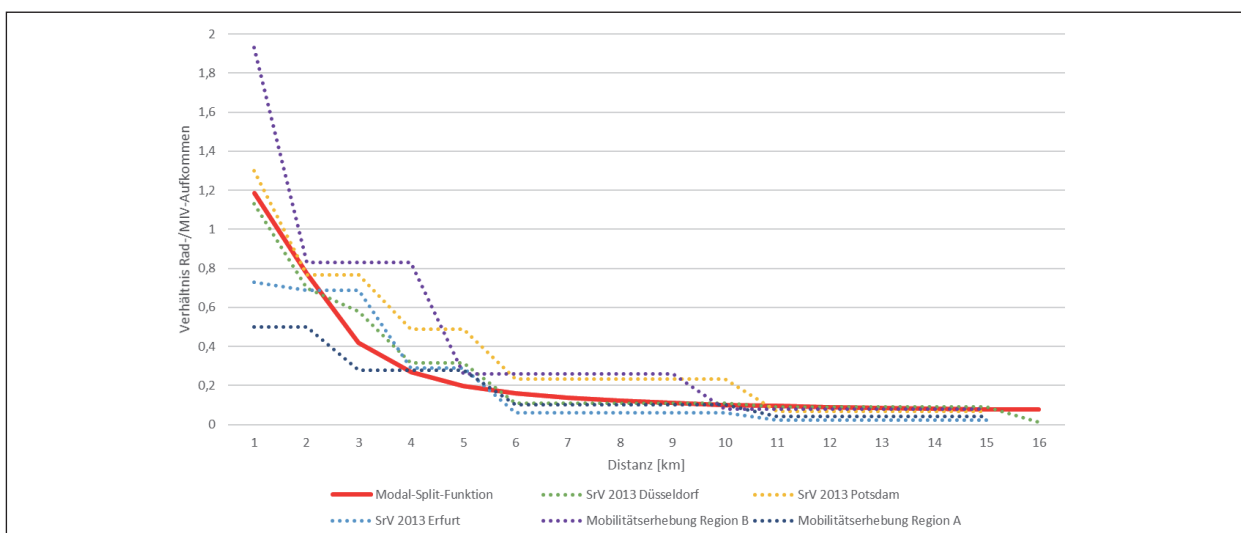


Bild 3-4: Funktionsverlauf der Standardfunktion im Vergleich zu Ergebnissen ausgewählter Mobilitätsbefragungen

Parameter	Parameter Region A	Parameter Region B	Parameter Region C
g_1	5	5	5
g_2	-7,6	-6,9	-7,8
g_3	1,5	0,95	0,7
a_0	0,01	0,01	0,01

Tab. 3-1: Parameter der drei Beispielregionen

Parameter	Standardparameter	Untergrenze	Obergrenze
g_1	5	5	5
g_2	-5,8	-4,5	-8,0
g_3	0,825	1,5	0,6
a_0	0,01	0,01	0,01

Tab. 3-2: Parameter der Standardfunktion und der Grenzverläufe

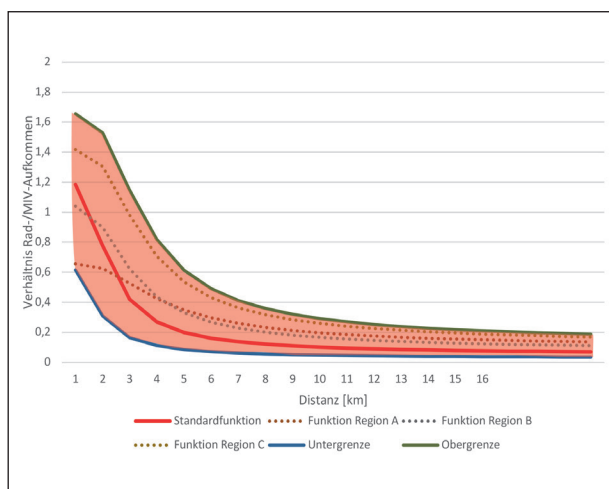


Bild 3-5: Funktionsverlauf der Standardfunktion im Umfeld der empfohlenen Ober- und Untergrenzen

kurze Wege durch Befragte vernachlässigt werden und damit häufig unterrepräsentiert sind. Auch Unterschiede bei der Aggregation in Distanzklassen können zu Unterschieden führen.

Zur Abbildung der Modal-Split-Funktion wurden Annahmen getroffen, um die Widerstandsverhältnisse in Abhängigkeit der Streckenlänge festzulegen. Dazu wurde die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit des Radverkehrs mit 15 km/h festgelegt (vgl. Kapitel 3.4.3), für Pkw wurde eine durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeit von 40 km/h angenommen. Dies soll einen mittleren Wert aus inner- und außerstädtischen Verbindungen widerspiegeln. Weiterhin wurde zur Abbildung von Zu- und Abgangswiderständen eine Anbindungszeit für den Pkw von 2,5 Minuten angenommen (vgl. Kapitel 3.4.2).

Angepasst an die Ergebnisse der Mobilitätserhebungen wurden Parameter für die Modal-Split-Funktion erarbeitet. Die zugehörigen Parameter sind in Tabelle 3-1 zusammengefasst, der Funktionsverlauf ist im Bild 3-4 dargestellt.

Eine Besonderheit besteht für die Region C. Hier liegen keine Angaben zu einem distanzabhängigen Modal Split vor. Für umliegende Städte wurden Radverkehrsanteile von 18 bis 31 % angegeben. In Anlehnung an die verhältnismäßig hohen Radanteile wurde die Modal-Split-Funktion geschätzt.

Der Verlauf der Standardfunktion wurde mithilfe der Ergebnisse der MiD-Befragung ermittelt. Die zugehörigen Parameter sind in Tabelle 3-2 dargestellt. Darüber hinaus wurden Parameter erarbeitet, die einen Funktionsverlauf unter- und oberhalb der übrigen Auswertungen darstellen und weiterhin sicherstellen, dass keine fehlerhaften Werte auftreten. Dies können zum Beispiel negative Verhältnisse von Rad- und MIV-Aufkommen oder sehr hohe Radverkehrsaufkommen bei Distanzen oberhalb von 8 km sein.

Eine Anpassung der Modal-Split-Funktion kann insbesondere über die Parameter g_2 und g_3 vorgenommen werden. Die Parameter g_1 und g_2 nehmen maßgebend Einfluss auf den Kurvenverlauf im mittleren Bereich zwischen 2 und 8 km sowie die Lage der Funktion für den weiteren Verlauf bei längeren Distanzen. Je kleiner der Wert, desto größer ist das Verhältnis von Rad- zu MIV-Aufkommen. Über den Parameter g_3 wird der Kurvenverlauf bei sehr kurzen Distanzen bis 2 km festgelegt. Je kleiner der Wert, desto größer ist das Verhältnis von Rad- zu MIV-Aufkommen.

3.4.5 Berechnung des Mitfalls und Ableitung der Verlagerung

Im Berechnungsablauf (vgl. Kapitel 3.4.1) ist das Vorgehen zur Bestimmung des Mitfalls beschrieben. Hiernach wird die Reisezeit anhand des angepassten Angebotsnetzes für den Radverkehr neu bestimmt. Daraus ergibt sich ein geändertes Radverkehrsaufkommen.

Durch das in der Regel attraktivere Angebotsnetz mit einer RSV ergibt sich ein höheres Radverkehrsaufkommen. Die Differenz zwischen der Bestandsituation und dem Mitfall stellt die vom MIV auf das Rad verlagerten Fahrten. Bei der Bestimmung der eingesparten Pkw-Fahrten ist der Pkw-Besetzungsgrad zu berücksichtigen. Dieser wird in Anlehnung

an die Vorgabe der standardisierten Bewertung mit 1,3 festgelegt. Wird von der MIV-Bestandsmatrix diese Differenz abgezogen, ergibt sich eine MIV-Matrix für den Mitfall.

3.5 Überschlätiges Verfahren

Ein überschlägiges Verfahren soll im Fall einer geringen Datengrundlage und ohne spezielle Software anwendbar sein. Dieses Verfahren wird empfohlen für eine erste Potenzialabschätzung vor Durchführung einer Machbarkeitsstudie, sowie weiterhin für den Fall, dass ein detailliertes Verfahren nicht umgesetzt werden kann. Auch auf Grundlage dieser Ergebnisse soll näherungsweise eine Nutzen-Kosten-Analyse durchgeführt werden können, woraus sich wiederum bestimmte Anforderungen an die Qualität und die Ergebnisse ergeben.

In der Regel basieren überschlägige Verfahren auf der Nutzung vorhandener Strukturdaten im Umfeld des Untersuchungskorridors und einer Abschätzung des Verkehrsaufkommens bzw. des Radverkehrsaufkommens.

Es kann nur auf eine begrenzte Menge raumstruktureller Informationen zurückgegriffen werden, so dass im Rahmen dieses Verfahrens ebenfalls davon ausgegangen wird, dass lediglich Strukturdaten wie Einwohnerzahl, Gewerbeflächen, Schulstandorte und ggf. Freizeiteinrichtungen zur Verfügung stehen.

Die grundlegende Idee des überschlägigen Verfahrens ist, ein stark vereinfachtes und räumlich sehr begrenztes Modell zu erstellen, das mittels einer Tabellenkalkulation berechnet wird. Letztendlich wird ebendies bei jeder überschlägigen Potenzialberechnung durchgeführt.

3.5.1 Berechnungsablauf

Da das überschlägige Verfahren, abgesehen von Raumstrukturdaten, keine Anforderungen an Datengrundlagen oder Software hat, sind einige Rechenschritte erforderlich, damit mit deren Hilfe eine verkehrliche Einschätzung des Untersuchungsgebiets vorgenommen werden kann.

Das Grundgerüst des Verfahrensablaufs orientiert sich an den Verfahrensschritten eines Verkehrsmodellaufbaus. In diesem Fall wurde es stark vereinfacht, so dass eine Bearbeitung auf Basis einer Tabellenkalkulation möglich ist.

Grundlegend wird nach der Festlegung des Untersuchungsgebiets und dessen Unterteilung in Teilgebiete das Verkehrsaufkommen am Wohnort über die Anzahl der Einwohner und eine Erzeugungsrate bestimmt. Mithilfe der Strukturdaten werden die Ziele der Wege ermittelt. Vereinfachend wird bei diesem Verfahren angenommen, dass keine Wegeketten stattfinden, daher können die Rückwege als Umkehrung der ermittelten Wege addiert werden. Durch Anwendung von Radverkehrsanteilen wird anschließend das Radverkehrsaufkommen abgesplittet.

Bild 3-6 zeigt den Verfahrensablauf in Einzelschritten. In den folgenden Kapiteln 3.5.2 bis 3.5.6 sind die entsprechenden Erläuterungen und Hinweise ergänzt.

3.5.2 Untersuchungsgebiet und Bezirkseinteilung

Zunächst erfolgte die Abgrenzung des Untersuchungsgebiets sowie die Einteilung in Teilgebiete. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass für die Teilgebiete eine Information über die Einwohnerzahlen vorliegen müssen. Im besten Fall liegen darüber hinaus Informationen zu Arbeitsplätzen, Schulplätzen und Einkaufsflächen vor. Die Unterteilung in Teilgebiete dient dem Zweck, das Verkehrsaufkommen zwischen den Teilgebieten zu ermitteln. Eine Feineinteilung bietet ein genaueres Ergebnis, bei einer händischen Bearbeitung erhöht sich jedoch auch der Bearbeitungsaufwand. Empfohlen wird eine Unterteilung in ca. 15 bis 20 Gebiete bei einer Streckenlänge bis 30 km, bei großen Untersuchungsgebieten auch mehr. Teilgebiete können dabei Orte, kleine Städte, Stadtteile oder Stadtbezirke sein.

Weiterhin ist das Umfeld des Untersuchungsgebietes zu berücksichtigen. Für den Fall, dass umliegend Städte oder Gebiete mit großer verkehrserzeugender Wirkung liegen, sollten diese als Randbezirke berücksichtigt werden. Sie können als Quellen und Ziele dienen und damit maßgeblich das Verkehrsaufkommen im Untersuchungsgebiet beeinflussen.

3.5.3 Ermittlung des Quellverkehrsaufkommens

Das Quellverkehrsaufkommen am Wohnort kann verhältnismäßig einfach und exakt bestimmt werden. Anhand von Verkehrserhebungen wird meist festgestellt, dass die Anzahl der Ausgänge vom



Bild 3-6: Berechnungsablauf des überschlägigen Verfahrens

Wohnort mit geringen Schwankungen bei 1,5 Ausgängen/Tag und Einwohner liegt [AHRENS 2013]. Wird die Anzahl der Einwohner mit diesem Wert multipliziert, kann das tägliche Verkehrsaufkommen je Zelle bestimmt werden. Zu berücksichtigen ist die Altersstruktur der Einwohner. Kindern mit einem Alter unter 6 Jahren werden aufgrund des Untersuchungsgegenstands aus der Berechnung ausgeschlossen.

Für die folgenden Schritte wird die Aufteilung der Wege in Aktivitätengruppen ebenfalls als konstant angenommen. Auch diese Verhältnisse ändern sich je nach Erhebung nur geringfügig. Hier erfolgt eine Vereinfachung auf die nachfolgenden vier Aktivitätengruppen. Diese sind mit ihren Anteilen am Gesamtverkehrsaufkommen angegeben. Die Werte sind angeglichen, so dass sie in Summe 100 % ergeben:

- Arbeit 26 %,
- Ausbildung 18 %,
- Einkauf 28 % und
- Freizeit 28 %.

3.5.4 Abbildung der Reisezeiten und Berechnung der Zielwahl

Die Reisezeit ist neben den Zielpotenzialen ein wichtiges Element bei der Berechnung der Zielwahl und gleichzeitig die Stellgröße, um die Auswirkungen einer Radschnellverbindung abzuschätzen. Für alle Relationen innerhalb des Untersuchungsgebiets werden die Distanzen als Luftlinienentfernung ermittelt. Die Reisezeit wird anhand einer mittleren Reisegeschwindigkeit ermittelt. Diese wird mit 10 km/h im Bestandsfall angesetzt. Für die Berechnung des Mitfalls wird die Luftliniengeschwindigkeit auf den betreffenden Relationen auf 15 km/h erhöht [MÄRTENS 2017]. Die Verwendung der Luftliniendistanz und -geschwindigkeit stellt eine Vereinfachung dar mit der es ermöglicht werden soll, Relationen im Zielgebiet unabhängig von Verkehrsmodellen oder GIS-Software zu untersuchen und zu bewerten.

Die Ergebnisse der Reisezeitenberechnung finden als bewertete Reisezeit Eingang in die Zielwahl.

Die Berechnung von B_{ij} erfolgt zunächst anhand der Reisezeit t_{ij} und einem Parameter α : $B_{ij} = t_{ij}^{-\alpha}$ mit $\alpha = 0,3$. Die Berechnung bewirkt, dass die Bewer-

tung mit steigender Distanz abnimmt und sich so auch das Verkehrsaufkommen reduziert.

Die Zielpotenziale, die die weitere Eingangsgröße darstellen, hängen direkt von den ermittelten Strukturgrößen ab. Je mehr Arbeitsplätze, Einkaufsfläche oder Schulplätze ein Teilgebiet bietet, desto höher ist das resultierende Verkehrsaufkommen.

Zunächst wird das Verhältnis der Teilgebiete zueinander gebildet. Dies erfolgt jeweils separat für jede Strukturgröße (Einwohner, Arbeitsplätze, Schulplätze usw.).

$$SG'_j = \frac{SG_j}{\sum_j SG_j}$$

Mithilfe der Anteile der Wegezwecke werden die Potenziale zu einem Gesamtpotenzial je Teilgebiet zusammengefasst:

$$Z_j = 0,26 * SG'_{j \text{ Arbeit}} + 0,18 * SG'_{j \text{ Ausbildung}} + 0,28 * SG'_{j \text{ Einkauf}} + 0,28 * SG'_{j \text{ Freizeit}} \quad \text{Gl. 3}$$

Mit dieser Berechnung liegen alle Eingangsgrößen vor, um die Verteilung des Verkehrsaufkommens auf Zielgebiete vorzunehmen. Dazu wird der nachfolgend dargestellte Gravitationsansatz gewählt:

$$v_{ij} = \frac{B_{ij} * Z_j}{\sum_j B_{ij} * Z_j} * Q_i \quad \text{Gl. 4}$$

v_{ij} Wege von Quelle i zum Ziel j

B_{ij} Bewertete Reiseweite von i nach j

Q_i Quellverkehrsaufkommen

Z_j Zielverkehrspotenzial

3.5.5 Ableitung des Radverkehrsaufkommens

Bislang wurde das Gesamtverkehrsaufkommen unabhängig vom gewählten Verkehrsmittel bestimmt. Die Ableitung des Radverkehrsaufkommens erfolgt nun in Abhängigkeit der Reisezeit. Falls vorhanden, ist die Ableitung eines ortsspezifischen Radverkehrsanteils sinnvoll, andernfalls muss ein Radanteil abgeschätzt werden.

Als Näherungslösung kann die nachfolgende Funktion genutzt werden (siehe Bild 3-7), sie bildet einen Radverkehrsanteil in Abhängigkeit der Reisezeit ab. Bei einer angenommenen Luftliniengeschwindigkeit von 10 km/h ergibt sich ein Radanteil von 25 % auf Kurzstrecken bis zu 3 % bei einer Distanz von 8 km.

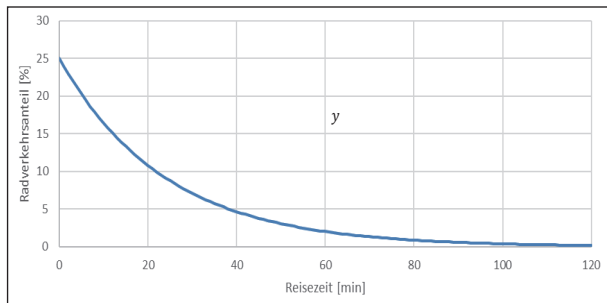


Bild 3-7: Radverkehrsanteil in Abhängigkeit der Reisezeit für überschlängiges Verfahren

Das Ergebnis ist eine Radverkehrsmatrix, die nun für Auswertungen weiterverwendet werden kann. Eine Möglichkeit ist die grafische Darstellung des Verkehrsaufkommens durch Abbildung von Streckenabschnitten. Aufgrund der geringen Anzahl von Wegebeziehungen ist hierfür keine spezielle Software erforderlich.

Sofern genauere Informationen über die Radverkehrsanteile im Untersuchungsgebiet vorliegen, ist eine Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten sinnvoll.

3.5.6 Berechnung des Mitfalls und Ableitung der Verlagerungswirkung

Wie in Kapitel 3.5.4 beschrieben, wird zur Abbildung eines RSV die Luftliniengeschwindigkeit angepasst. Dies wirkt sich auf die Wahl der Zielgebiete und auf die Radverkehrsanteile aus.

Die Differenz zwischen der Bestandssituation und dem Mitfall stellt die vom MIV auf das Rad verlagerten Fahrten. Bei der Bestimmung der eingesparten Pkw-Fahrten ist der Pkw-Besetzungsgrad zu berücksichtigen. Dieser wird in Anlehnung an die Vorgabe der standardisierten Bewertung im SPNV mit 1,3 festgelegt.

3.6 Vergleich und Anwendung der Berechnungsverfahren

Der Vergleich der Verfahren zur Potenzialanalyse würde im Idealfall über den Abgleich mit dem vor Ort erhobenen Radverkehrsaufkommen geschehen. Bisher stehen jedoch kaum vollständig umgesetzte RSV und nur wenige Datengrundlagen zur Verfügung. Auch bestehen keine gesicherten Erkenntnisse zu Verlagerungswirkungen. Daher ist ein direkter Vergleich mit der Realität nicht möglich. Es wird somit der Vergleich mit Ergebnissen beste-

hender Modelle durchgeführt, um eine Einschätzung zu gewinnen, ob mit den dargestellten Verfahren eine systematische Abweichung zu erkennen ist.

Bestehende Modelle haben eine detailliertere Berechnungsgrundlage und können räumliche Strukturen und örtliche Besonderheiten sowie Verkehrsmittelnutzung deutlich besser abbilden. Ein Vergleich mit diesen Daten kann aufzeigen, an welchen Stellen Abweichungen bestehen.

3.6.1 Detailliertes Verfahren

Für die Anwendung des detaillierten Verfahrens wurden drei Untersuchungsgebiete ausgewählt, für die eine ausreichend große Datengrundlage vorlag, so dass ein Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Modellergebnissen vorgenommen werden kann.

Hierbei handelt es sich um Untersuchungsgebiete, für die bereits detaillierte Untersuchungen vorgenommen wurden. Für die vorliegende vergleichende Untersuchung handelt es sich um abgewandelte Untersuchungsvarianten. Ein Vergleich mit bereits veröffentlichten Studien ist daher nicht möglich.

Für den Vergleich wurden die in Kapitel 3.4 dargestellten Berechnungsschritte vorgenommen. Die angepassten Modal-Split-Funktionen wurden übernommen. Für jede Relation konnte somit ein Radverkehrsaufkommen abgeleitet werden.

Mit den Vergleichsmodellen stehen Radverkehrsmatrizen zur Verfügung. Da für jede Relation nun ein berechneter Wert und ein Vergleichswert vorhanden ist, kann ein direkter Vergleich der Werte stattfinden.

Vergleichsfall Region A

In Bild 3-8 wird der Vergleich des Berechnungsverfahrens mit dem Verkehrsmodell der Region A gezeigt. Dabei sind die Berechnungsergebnisse auf der horizontalen und die Modellwerte auf der vertikalen Achse angetragen. Ein Paar aus zwei Werten ergibt einen Punkt im Diagramm. Bei vollständiger Übereinstimmung lägen alle Punkte auf der gekennzeichneten Diagonalen. Es zeigt sich, dass die Punkte zum Teil deutlich von der Hauptdiagonalen abweichen und sowohl nach unten als auch nach oben streuen. Das bedeutet, dass die Berechnung sowohl nach unten als auch nach oben abweicht. Gleichzeitig ist aber auch festzustellen, dass der

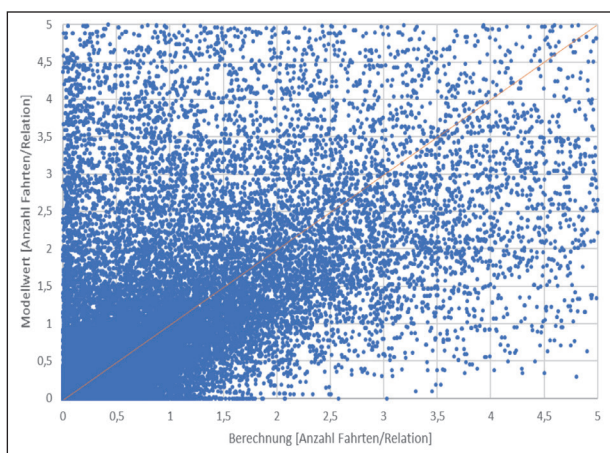


Bild 3-8: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert – Region A

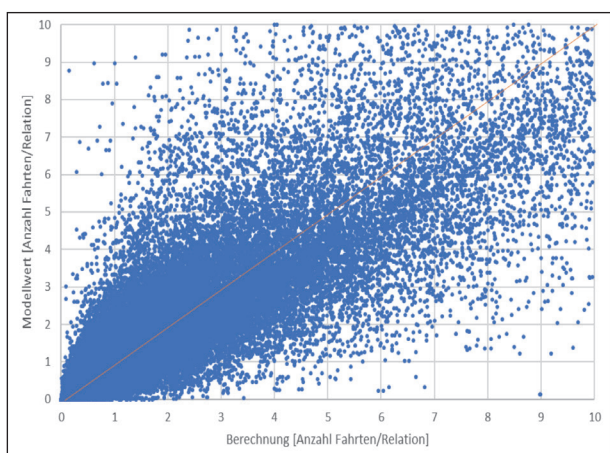


Bild 3-9: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert – Region B

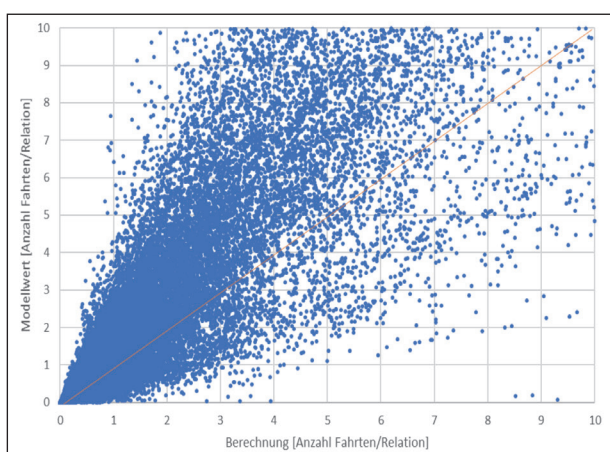


Bild 3-10: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert – Vergleich Region C

Schwerpunkt der Werte um die Hauptdiagonale streut. Das Diagramm ist beschränkt auf die Darstellung der Werte von 0 bis 5 km. Hier liegen über 95 % aller Werte. In Summe liegen die berechneten Werte 10,7 % oberhalb der Modellwerte.

Vergleichsfall Region B

In Bild 3-9 wird der Vergleich des Berechnungsverfahrens mit einem Ausschnitt aus dem Verkehrsmodell der Region B gezeigt. Als Teil des Modells wurde eine Radverkehrsmatrix erarbeitet, die aufgrund der feinen Zellgliederung im Untersuchungsgebiet die Strukturen des Radverkehrs gut abbildet. Wie zuvor sind die Berechnungsergebnisse auf der horizontalen und die Modellwerte auf der vertikalen Achse angetragen. Anders als beim Modell der Region A zeigt sich, dass die Punkte nur zum Teil von der Hauptdiagonalen abweichen. Sie streuen mit geringem Abstand um die Hauptdiagonale. Das Diagramm ist beschränkt auf die Darstellung der Werte von 0 bis 10 km. Hier liegen über 98 % aller Werte. In Summe liegen die berechneten Werte 3,3 % oberhalb der Modellwerte.

Vergleichsfall Region C

In Bild 3-10 wird der Vergleich des Berechnungsverfahrens mit einem Ausschnitt aus dem Modell der Region C gezeigt. In diesem Fall besteht die Besonderheit, dass der Verlauf der Modal-Split-Funktion nicht über Angaben zum distanzabhängigen Modal-Split bestimmt werden konnte, sondern dass der Funktionsverlauf durch Gesamt-Modal-Split-Angaben abgeschätzt werden musste. Darüber hinaus besteht mit dem vorliegenden Untersuchungsgebiet ein sehr inhomogenes Gebiet, in dem sowohl Teile einer Großstadt sowie Umlandgemeinden abgebildet sind.

Wie zuvor sind die Berechnungsergebnisse auf der horizontalen und die Modellwerte auf der vertikalen Achse angetragen. Es zeigt sich in diesem Fall, dass die Punkte systematisch von der Hauptdiagonale abweichen. Dabei liegen die berechneten Werte mit zunehmender Größe unterhalb der Modellwerte. Das Diagramm ist beschränkt auf die Darstellung der Werte von 0 bis 10 km. Hier liegen über 95 % aller Werte. In Summe liegen die berechneten Werte 3,2 % oberhalb der Modellwerte. Dieser Wert ist in Anbetracht der optischen Auswertung überraschend gering. Zurückzuführen ist das darauf, dass der größte Teil der Relationen im Wertebereich zwischen 0 und 1 km liegt und hier nur geringe Abweichungen zwischen Berechnung und Modell bestehen. Festzuhalten ist weiterhin, dass sich die unterschiedlichen räumlichen Strukturen auf den Modal-Split auswirken. Die Abbildung mit einer einheitlichen Modal-Split-Funktion kann somit zu Verfälschungen führen.

3.6.2 Überschlägiges Verfahren

Um das überschlägige Verfahren auf die gleiche Weise zu überprüfen, wurden die drei Vergleichsfälle ebenfalls herangezogen. Unter Verwendung der Strukturdaten kann mithilfe des überschlägigen Verfahrens für jede Relation das Gesamtverkehrsaufkommen und das Radverkehrsaufkommen bestimmt werden. Das Ergebnis wird anschließend, wie beim detaillierten Verfahren, mit den Modellwerten verglichen.

Verwendet werden die Strukturdaten

- Einwohnerzahlen,
- Arbeitsplätze,
- Freizeitpotenziale und
- Sekundärschülerzahlen.

Die Auswahl der Strukturdaten und der Arbeitsablauf entsprechen also den Angaben in Kapitel 3.5.1.

Zunächst erfolgt ein Vergleich des Gesamtverkehrsaufkommens. Als Zwischenergebnis des überschlägigen Verfahrens kann mit der Überprüfung festgestellt werden, an welchen Stellen Fehlerquellen auftreten und welche Auswirkung sie haben.

Vergleichsfall Region A

Die überschlägige Berechnung anhand der Einwohnerzahlen und der durchschnittlichen Anzahl von Ausgängen pro Tag ermöglicht eine gute Annäherung an das mithilfe des Modells berechnete Aufkommen. Das Rechenverfahren liegt hier ca. 10 % höher.

Die Zuordnung der einzelnen Relation, vergleichbar mit dem Verfahren zur Evaluierung des detaillierten Berechnungsverfahrens, zeigt jedoch deutliche Abweichungen. Bild 3-11 zeigt, dass die berechneten Werte sowohl nach unten als auch nach oben von den Modellwerten abweichen können.

Auf diesen Ergebnissen aufbauend erfolgt rechnerisch die Bestimmung des Radverkehrsaufkommens mithilfe von Radverkehrsanteilen. Dazu wurde, wie im Kapitel 3.5.5 beschrieben, ein festgelegtes Radverkehrsaufkommen genutzt. Daraus ergibt sich jedoch eine sehr deutliche Abweichung. Die Summe über alle Radfahrten liegt über 60 % unterhalb der Modellwerte. Über das Rechenverfahren wurde ein Radverkehrsanteil von 4,7 % ermittelt. Dieser liegt ebenfalls deutlich unterhalb des über die Mobilitätsbefragung festgestellte Wert von 9 %.

Bild 3-12 zeigt wiederum das Verhältnis der Relationen. Dabei ist gut zu erkennen, dass einem berechneten Wert in der Regel ein höherer Modellwert zugeordnet ist.

Vor dem Hintergrund der deutlichen Abweichung des Gesamt-Radfahreraufkommen wurde geprüft, ob sich mit anderen Radverkehrsanteilen ein Wert einstellt, der den Modellergebnissen näherkommt. Dazu wurden die Radverkehrsanteile der Mobilitätsbefragung der Vergleichsregion A genutzt.

Hier zeigt sich eine geringfügig bessere Übereinstimmung. Die Summe der Radfahrten liegt jedoch weiterhin ca. 50 % unterhalb der Modellergebnisse. Auch der ermittelte Radverkehrsanteil liegt nun bei ca. 7,1 % und somit weiterhin unterhalb der erhobenen 9 %.

Bild 3-13 zeigt das Verhältnis der Relationen. Es zeigt sich gegenüber dem vorhergehenden Fall eine breitere Streuung der Werte um die Hauptdiagonale. Damit ist zu erklären, dass sich in Summe ein etwas höheres Radverkehrsaufkommen einstellt. Aufgrund der breiteren Streuung kann aber festgehalten werden, dass sich jedoch nicht die Qualität der Ergebnisse erhöht.

Vergleichsfall Region B

Die überschlägige Berechnung anhand der Einwohnerzahlen und der durchschnittlichen Anzahl von Ausgängen pro Tag ermöglicht nur eine grobe Annäherung an das mithilfe des Modells berechnete Aufkommen. Das Rechenverfahren liegt hier ca. 30 % höher.

Die Zuordnung der einzelnen Relation zeigt jedoch deutliche Abweichungen. Bild 3-14 zeigt, dass sich die Wertepaare nicht entlang der Hauptdiagonalen aufreihen, sondern sich entlang der Achsen versammeln. Die relationsbezogenen Aufkommen von Modellberechnung und überschlägigem Verfahren weichen also deutlich voneinander ab.

Das wirkt sich auch auf das Ergebnis des Radaufkommens aus. Ebenso wie in Vergleichsregion A wird mit dem überschlägigen Verfahren ein deutlich geringeres Radverkehrsaufkommen berechnet als im Vergleichsmodell. Das Aufkommen liegt nur bei etwa 20 % des Modellwerts. Das spiegelt sich auch im Bild 3-15 wider. Es wird in den meisten Fällen nur ein sehr geringes Radverkehrsaufkommen ermittelt, die Modellwerte liegen häufig deutlich darüber.

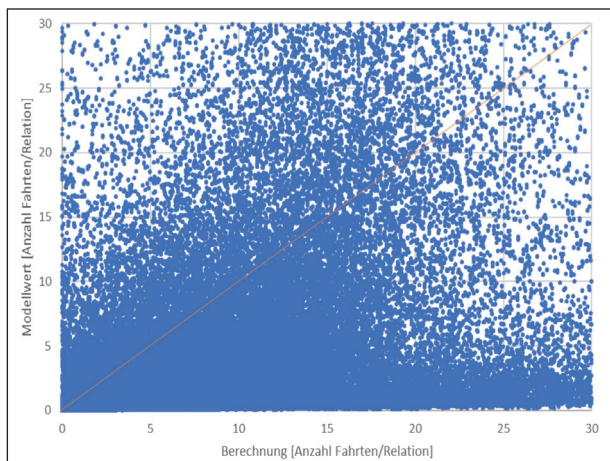


Bild 3-11: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Gesamtverkehrsaufkommen – Vergleich Region A

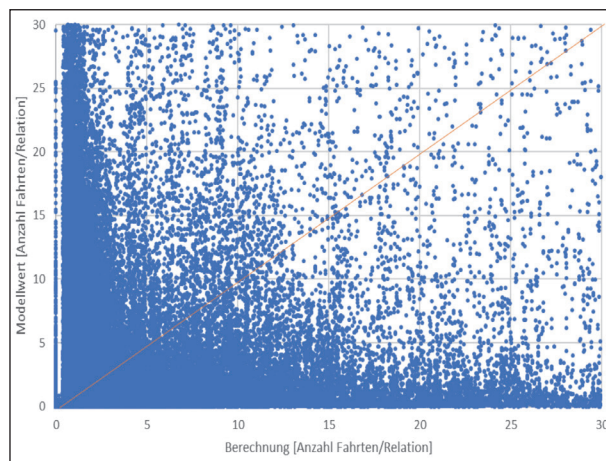


Bild 3-14: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Gesamtverkehrsaufkommen – Vergleich Region B

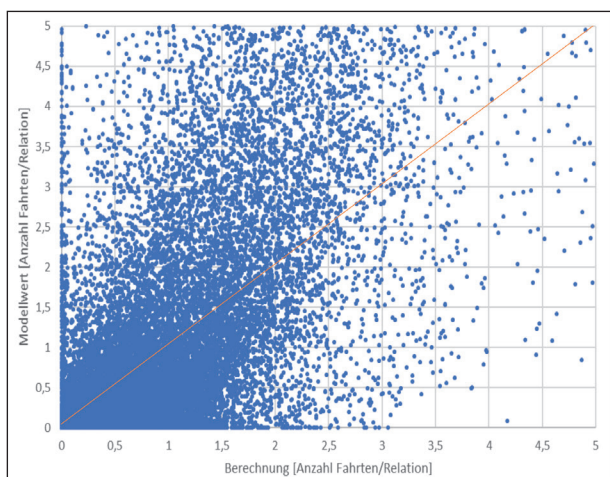


Bild 3-12: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Radverkehrsaufkommen – Vergleich Region A

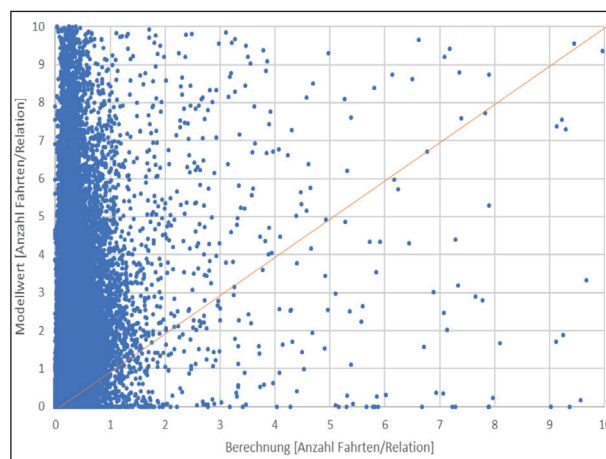


Bild 3-15: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Radverkehrsaufkommen – Vergleich Region B

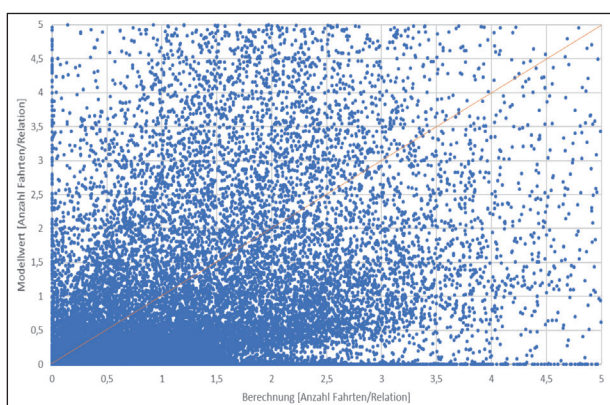


Bild 3-13: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Radverkehrsaufkommen – Vergleich Region A

Dieses Beispiel zeigt, dass mit weiterer Praxisanwendung eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Anpassung zweckmäßig sein kann.

Vergleichsfall Region C

Die überschlägige Berechnung anhand der Einwohnerzahlen und der durchschnittlichen Anzahl von Ausgängen pro Tag ermöglicht nur eine grobe Annäherung an das mithilfe des Modells berechnete Aufkommen. Das Rechenverfahren liegt hier ca. 30 % höher. Bild 3-16 zeigt diesen Zusammenhang.

Mit dem überschlägigen Verfahren wurde ein Radverkehrsaufkommen ermittelt, das wie bei den beiden Vergleichsfällen etwas geringer ausfällt als bei den Modellrechnungen. Das Gesamtaufkommen liegt bei etwa 60 % der Modellrechnung (vgl. Bild 3-17).

Die Anwendung des überschlägigen Verfahrens zeigt beim Vergleich mit den Modellberechnungen zum Gesamt- und Radverkehrsaufkommen zum Teil deutliche Abweichungen. Dabei kann festgestellt werden, dass der Ansatz zur Ermittlung des Gesamtverkehrsaufkommens dem Zielwert im Ge-

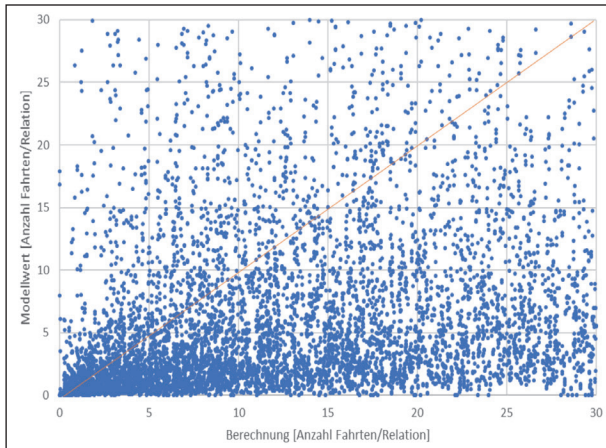


Bild 3-16: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Gesamterverkehrsaufkommen – Vergleich Region C

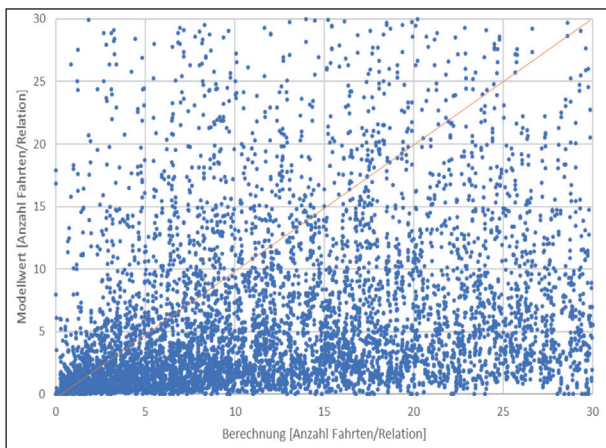


Bild 3-17: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Radverkehrsaufkommen – Vergleich Region C

samtverkehrsaufkommen recht nahekommt. Größere Differenzen entstehen im Rahmen der Zielwahl. Mit der Vielzahl an überprüften Relationen zeigen sich zum Teil deutliche Abweichungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass örtliche Gegebenheiten und Strukturen nicht in dem Maß abgebildet werden können, wie im Vergleichsmodell. Hier ist weiterhin festzuhalten, dass der hier angesetzte Vergleich einen besonderen Anwendungsfall darstellt, für den der Rechenansatz nicht ausgelegt ist. Bei der Anwendung des Verfahrens ist von einem deutlich kleineren Untersuchungsgebiet mit weniger Relationen auszugehen, bei dem Relationen im Einzelnen betrachtet und gegebenenfalls auch korrigiert werden können.

In Bezug auf den Radverkehr wird das Gesamtaufkommen tendenziell unterschätzt. Das zeigt sich insbesondere in der Vergleichsregion B. Da die Abweichung in den anderen beiden Fällen zwar vorhanden, aber nicht so stark ausgeprägt ist, wurden zunächst keine Anpassungen an dem Verfahren

	Anzahl verlagerter Fahrten		
	Detailliertes Verfahren	Überschlägiges Verfahren	Studie
Vergleichsregion A	13.700	8.300	12.100
Vergleichsregion B	7.900	4.800	13.100
Vergleichsregion C	11.700	3.500	9.000

Tab. 3-3: Vergleich der Verlagerungsberechnung vom Kfz zu Fahrrad

vorgenommen. Dieser Zusammenhang hebt jedoch noch einmal die Notwendigkeit einer Verfahrensevaluierung nach Berechnung und Umsetzung von RSV hervor.

3.6.3 Berechnung der Verlagerungswirkung

Neben dem Vergleich des Radverkehrsaufkommens als Ergebnisse der überschlägigen und detaillierten Verfahren, ist die Ermittlung der Verlagerungswirkung von entscheidender Bedeutung. Dies gilt insbesondere für die auf der Potenzialanalyse aufbauende Nutzen-Kosten-Analyse, deren Nutzen-Komponenten zum Teil auf den verlagerten Fahrten und den damit eingesparten Pkw-km beruht.

Die Berechnung der jeweiligen Fälle mit RSV erfolgt entsprechend der Arbeitsschritte, die in den Kapiteln 3.4.5 und 3.5.6 dargestellt sind.

Da es auch für die Verlagerungsberechnungen keine Vergleichsdaten aus realen Erhebungen gibt, wird ein Vergleich vorgenommen mit den Ergebnissen der jeweils für diese Fälle bereits durchgeführten Studie für die Verlagerungswirkungen (z. B. Machbarkeitsstudien) vor Ort. Tabelle 3-3 vergleicht die Ergebnisse der detaillierten Verfahren sowie des überschlägigen Verfahrens mit den Studien.

Der Vergleich der Werte zeigt grundsätzlich eine ähnliche Größenordnung, wobei je nach Untersuchungsgebiet Unterschiede bestehen. In den drei Fällen zeigt sich beim überschlägigen Verfahren ein rechnerisch geringeres Verlagerungspotenzial als beim detaillierten Verfahren. Das zeigt sich insbesondere im Vergleichsfall C. Hier liegt besteht eine deutliche Differenz zum detaillierten Verfahren, aber auch im Vergleich mit den anderen Vergleichsregion zeigt sich ein geringeres Potenzial.

Neben der absoluten Anzahl der verlagerten Fahrten kann darüber hinaus betrachtet werden, in welchen Entfernungsklassen die meisten Fahrten verlagert werden. Dazu wurden die mithilfe des detail-

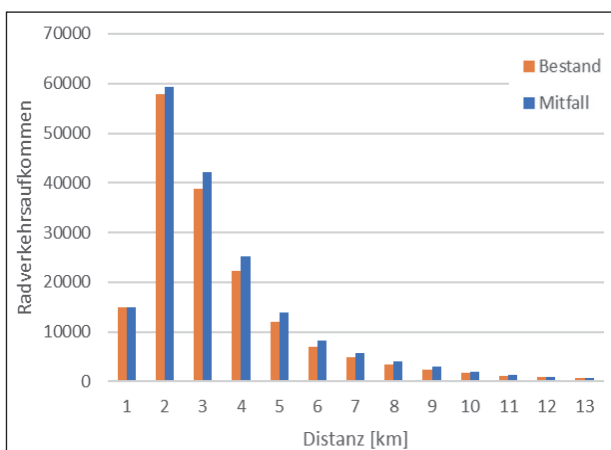


Bild 3-18: Vergleich des Radverkehrsaufkommens Bestand und Mitfall nach Distanzklassen – Detailliertes Verfahren Vergleichsregion A

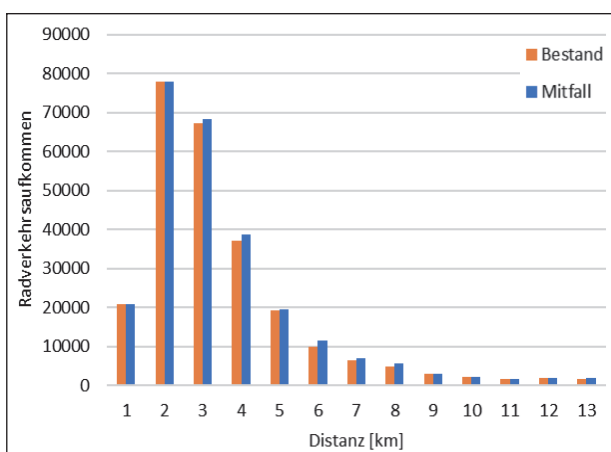


Bild 3-19: Vergleich des Radverkehrsaufkommens Bestand und Mitfall nach Distanzklassen – Detailliertes Verfahren Vergleichsregion B

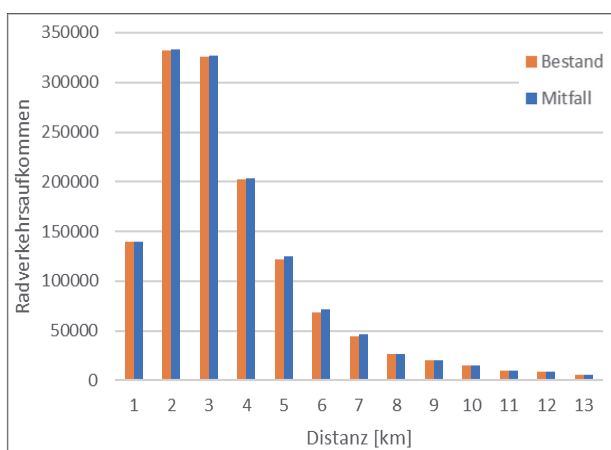


Bild 3-20: Vergleich des Radverkehrsaufkommens Bestand und Mitfall nach Distanzklassen – Detailliertes Verfahren Vergleichsregion C

lierten Verfahrens ermittelten Radverkehrsaufkommen für den Bestands- und den Mitfall nach Distanz dargestellt.

Die Bilder 3-18 bis 3-20 zeigen das Radverkehrsaufkommen unterteilt nach Distanzklassen für den Bestandsfall und den Mitfall. Dabei ist zu erkennen, dass sich das Radverkehrsaufkommen insbesondere in den Distanzklassen zwischen 3 und 7 km erhöht. Je nach Untersuchungsgebiet unterscheiden sich die Zuwächse sowohl absolut als auch nach Distanzklasse.

Das Radverkehrsaufkommen insgesamt unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen Größe und des unterschiedlichen Fahrtenaufkommens je nach Untersuchungsgebiet.

Die dahinterliegenden Werte sind tabellarisch im Anhang 4.1 aufgeführt.

3.7 Zukünftige Auswirkungen von Pedelecs

Es ist davon auszugehen, dass durch die vermehrte Nutzung von Pedelecs der Umstieg vom Pkw auf das Fahrrad entsprechend häufiger durchgeführt wird. Somit würde sich durch die Verbreitung von Pedelecs der Radverkehrsanteil über alle Distanzklassen erhöhen. Weiterhin können durch Pedelecs längere Strecken zurückgelegt werden als mit einem konventionellen Fahrrad. Das wirkt sich auf die Verteilung beim Radverkehr aus und somit erhöhen sich die Radverkehrsanteile insbesondere bei längeren Distanzen im Bereich von 8 km. Konkrete Angaben zum Umfang der Verlagerung können jedoch nicht gemacht werden.

Für die Berechnung der Verlagerungswirkung bei Umsetzung einer RSV können die Auswirkungen von Pedelecs relevant sein. Aufgrund der möglichen Vorzüge von Pedelecs, z. B. aufgrund der Erhöhung der Reichweite erhöht sich das Aufkommen der Nutzer.

Die Auswirkung kann auf zwei Arten abgebildet werden. Sofern die Verbreitung bzw. die Flottenzusammensetzung von Fahrrädern/Pedelecs bekannt ist, kann die Geschwindigkeit je nach Streckenelement erhöht werden. Hier muss jedoch ein Mittelwert gefunden werden, der sowohl der Menge der Radfahrer mit als auch ohne elektrische Tretunterstützung gerecht wird. Alternativ kann die Modal-Split-Funktion zur Ableitung der Radverkehrsanteile insbesondere bei mittleren Distanzen angepasst werden. Hier kann somit gezielter die Wirkung durch Pedelecs abgebildet werden. Eine dementsprechende Anpassung be-

darf jedoch einer konkreten Datengrundlage, die als Nachweis herangezogen werden kann.

3.8 Zukünftige Auswirkungen auf den öffentlichen Verkehr

Die vorgestellte Herangehensweise lässt den öffentlichen Verkehr weitgehend außen vor. Die Berechnung des detaillierten Verfahrens lehnt sich an die der standardisierten Bewertung an, bei der die Berechnung von einer Abspaltung des Radverkehrs von der MIV-Matrix ausgeht. Diese Herangehensweise ist vor dem Hintergrund eines möglichst einfachen Berechnungsansatzes sinnvoll. Auch die Verlagerungswirkung ergibt sich lediglich aus einer Verschiebung vom MIV zum Radverkehr.

Es ist jedoch anzunehmen, dass sich die Umsetzung von RSV auch auf den öffentlichen Verkehr auswirkt. Dies kann zum einen wie beim MIV dazu führen, dass sich Fahrten vom ÖV auf das Fahrrad verlagern. Es kann aber auch zu komplexeren Verlagerungswirkungen kommen. In den Fällen, in denen eine Verlagerung vom MIV zum Fahrrad auch dazu führen, dass sich die Fahrzeugverfügbarkeit ändert, kann der öffentliche Verkehr eine Alternative zum Fahrrad darstellen.

Diese komplexen Berechnungen anzustellen, stellt jedoch eine deutlich größere Herausforderung dar. Auch die Abbildung des öffentlichen Verkehrs zur Ermittlung der Verlagerungswirkung ist aufgrund der Eigenschaften des öffentlichen Verkehrs wie etwa Linienverläufe, Taktung, Bedienungszeiten, Umsteigehäufigkeiten und ähnlichem deutlich größer als im hier vorgestellten Verfahren, basierend auf dem MIV-Aufkommen.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie für den RS1 [RVR 2014] erfolgte die Berücksichtigung des öffentlichen Verkehrs. Hier wurden Annahmen zur Veränderung des Modal-Splits festgelegt. Der gewählte Ansatz folgt also einem geringeren Detaillierungsgrad in der Ermittlung der Verlagerungswirkung.

Zusammenfassend ist mit Auswirkungen auf den öffentlichen Verkehr zu rechnen. Zur Bestimmung des genauen Ausmaßes ist jedoch ein größerer Verfahrensaufwand nötig, der die Berechnung komplexer werden lässt. Zur Abschätzung des Verkehrsaufkommens über ein einheitliches Verfahren

erscheint die vorgestellte Vorgehensweise daher ausreichend genau.

3.9 Zwischenfazit

Mit der Erarbeitung von Verfahren zur Potenzialanalyse wurde das Ziel verfolgt, ein einheitliches Vorgehen zu erarbeiten, mit dessen Hilfe das zu erwartende Radverkehrsaufkommen auf RSV ermittelt werden kann. Das Verfahren soll dabei für die Zielgruppe von Verkehrsplanern anwendbar, aufgrund von klaren Eingangsgrößen und Parametern überprüfbar und aufgrund des nachvollziehbaren Verfahrensablaufs und der Herkunft der verwendeten Daten belastbar sein.

Über den Vergleich der Vorgehensweise bei anderen Verkehrsträgern wurden ein Verfahren herausgearbeitet, das auf den Rechenansätzen der standardisierten Bewertung im SPNV aufsetzt und ein bestehendes Verkehrsmodell zugrunde legt. Über eine beschränkte Anzahl an veränderbaren Parametern lässt sich die Berechnung und die Eingangsdaten nachvollziehen. Dieses Verfahren wurde als detailliertes Verfahren bezeichnet.

Unter anderem aufgrund der zum Teil begrenzten Modellverfügbarkeit wurde ein weiteres Verfahren erarbeitet, das dann zum Einsatz kommen kann, wenn das detaillierte Verfahren wegen einer geringen Datenverfügbarkeit nicht eingesetzt werden kann. Hierbei handelt es sich um ein überschlägiges Verfahren, das die vorliegenden Strukturdaten verwendet, um die verkehrliche Struktur im Untersuchungsgebiet in grober Form abzubilden.

Beide Verfahren wurden im Hinblick auf die Ergebnisqualität geprüft. Als Vergleichsgröße wurden die jeweils von den Modellen zur Verfügung stehenden Radverkehrsmatrizen genutzt. Grundsätzlich sind durchaus Abweichungen zwischen den Berechnungen und den Modellergebnissen festzustellen. Dies gilt sowohl für das detaillierte als auch für das überschlägige Verfahren. Aufgrund der methodischen Vereinfachung beider Verfahren sind jedoch auch Differenzen zu erwarten. Sie weichen jedoch nicht systematisch in eine Richtung ab.

Sofern die beschriebenen Verfahren als Standardverfahren festgelegt werden, ist zu definieren, wie bei der Anwendung von RSV umgegangen wird, wenn ein Verkehrsmodell als alternatives Berechnungsverfahren zur Verfügung steht, mit dem auch

die Verkehrsmittelwahl berechnet werden könnte. Im Sinne einer einheitlichen Bewertungsmethodik wäre zu empfehlen, grundsätzlich die hier beschriebenen Verfahren anzuwenden.

Wenn ein Verkehrsmodell zur Verfügung steht, ist dessen Detaillierungsgrad zu prüfen. Es wird empfohlen, städtische oder regionale Modelle zu nutzen. Da mit dem Radverkehr insbesondere Strecken im Nahbereich abgebildet werden, sollten Bezirke eine Größe von 2 km² nicht überschreiten.

Mit dem erarbeiteten detaillierten Verfahren besteht ein Ansatz, der in ähnlicher Form auch in den Niederlanden zur Anwendung kommt. Ausgehend vom Pkw-Verkehrsaufkommen wird mit einem definierten distanzabhängigen Radverkehrsanteil das Radverkehrsaufkommen bestimmt.

Hinsichtlich einer Evaluierung des Verfahrens bestehen einzelne Auswertungen, die jedoch keine klare Aussage zur Qualität des Verfahrens zulassen. Hier besteht somit nach der Umsetzung von RSV der Bedarf einer detaillierten Evaluierung, einerseits hinsichtlich des Gesamtradverkehrsaufkommens und andererseits hinsichtlich des Verlagerungspotenzials. Dies gilt sowohl für das detaillierte als auch für das überschlägige Verfahren.

Die Veränderung des Modal-Split kann sich auch auf den öffentlichen Verkehr auswirken. Auch diese Wirkung ist bislang kaum zu bestimmen und daher ebenfalls ein wichtiges Element einer Evaluierung.

Bislang bestehen wenig Informationen über die Auswirkungen von Pedelecs hinsichtlich größerer Reiseweiten im Radverkehr und damit auch die Wirkung auf den Umstieg auf das Fahrrad bei Umsetzung einer RSV. Hier besteht entsprechender Forschungsbedarf.

4 Nutzen-Kosten-Analyse

Mit der Erarbeitung der Nutzen-Kosten-Analyse wird das Ziel verfolgt, den volkswirtschaftlichen Nutzen einer Maßnahme den Kosten, z. B. für Bau und Betrieb gegenüberzustellen.

Für die Analyse von Radverkehrsmaßnahmen wurde mit der NKA-Rad [RÖHLING et al. 2008] bereits ein Vorgehen für Nutzen-Kosten-Analysen erarbeitet. Dieses zielt auf die Bewertung von (allgemeinen) Radverkehrsmaßnahmen, jedoch nicht speziell auf RSV ab. Diese Forschungsarbeit, sowie die

Vorgaben für Nutzen-Kosten-Analysen im BVWP (Methodenhandbuch) [BMVI 2017] und im öffentlichen Verkehr (anhand der standardisierten Bewertung) wurden schwerpunktmäßig als Grundlage herangezogen. Darüber hinaus wurde die Herangehensweise von nationalen und internationalen Fachplanern berücksichtigt. Hierzu wird auf die in Kapitel 2.2 beschriebenen Erkenntnisse verwiesen.

Trotz unterschiedlicher Einsatzzwecke der Nutzen-Kosten-Analyse sind einige Komponenten auch für RSV ergänzend zu den Komponenten von NKA-Rad von Relevanz: Dazu gehören beispielsweise Lärm und Reisezeit. Unter dem Aspekt implizite Nutzendifferenz ist im BVWP der Aspekt berücksichtigt, dass mit einer Angebotsverbesserung Fahrten stattfinden, die zuvor nicht stattgefunden haben und somit einen Zusatznutzen darstellen. Es ist davon auszugehen, dass diese Komponente bei RSV auch in einem hohen Maße stattfinden kann, jedoch hauptsächlich im Freizeitbereich. Da Freizeit- und Ausflugsverkehre kein unmittelbares Einsatzzweck einer RSV darstellen, wurde aus fachlichen Gesichtspunkten entschieden, diese Nutzenkomponente nicht weiter zu verfolgen.

Nachfolgend werden zunächst die final genutzten Nutzen- und Kostenkomponenten dargestellt. Auch die nicht verwendeten Nutzenkomponenten werden aufgeführt und deren Nicht-Berücksichtigung im Rahmen des Verfahrens erläutert.

Anschließend werden konkrete Berechnungshinweise auch in Verknüpfung mit der Potenzialanalyse gegeben.

4.1 Berücksichtigte Nutzen-Komponenten

4.1.1 Betriebskosten der Infrastruktur

In Anlehnung an die EWS-97 [FGSV 1997] werden 2,5 % der Baukosten für Betriebs- bzw. Unterhaltungskosten angesetzt. Dieser Ansatz beinhaltet Kosten für geringe bauliche Unterhaltungsmaßnahmen sowie den betrieblichen Unterhalt (u. a. Winterdienst, Kontrolle und Reinigung).

Die jährlichen Betriebskosten gehen an dieser Stelle verfahrenstechnisch als negative Nutzen ein. Sofern im Zusammenhang mit der Baumaßnahme jedoch sonstige Baumaßnahmen (z. B. Straßenbaumaßnahmen, Neubau, Erweiterung von Parkplatz-

flächen) vermieden werden können, können die eingesparten Baukosten gegengerechnet werden.

Der Anteil der Betriebskosten am Gesamtnutzen variiert deutlich mit Werten zwischen 11 % bis 40 %, im Fall der überschlägigen Berechnung der Vergleichsregion B übersteigen die Betriebskosten die Nutzenkomponenten. Zu berücksichtigen ist, dass die Betriebskosten als Kosten eingehen und somit den anderen Nutzenkomponenten entgegenwirken.

4.1.2 Fahrzeugbetriebskosten

Fahrzeugbetriebskosten entstehen bei der Nutzung eines Fahrzeugs, sowohl eines Kraftfahrzeugs als auch eines Fahrrads bzw. Pedelecs. Dabei liegen die Betriebskosten für ein Kraftfahrzeug höher als bei einem Fahrrad wodurch sich bei einem Verkehrsteilnehmer, der auf das Rad wechselt, ein finanzieller Nutzen in Form geringerer Betriebskosten einstellt.

Für die Ermittlung der Pkw-Betriebskosten werden bei der standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im ÖPNV 0,22 Euro/km angesetzt, im BVWP wird je nach Streckentyp, Verkehrszustand und Fahrzeug mit unterschiedlichen Werten gerechnet, sie liegen in einer ähnlichen Größenordnung. Beide Angaben beziehen sich jedoch auf den Bewertungshorizont des Jahres 2030. In der standardisierten Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im ÖPNV 2006 wurde mit einem Wert von 0,28 Euro/km gerechnet. Dieser Wert wurde auch von der NKA-Rad übernommen. Der Wert ist um die Mehrwertsteuer bereinigt, beinhaltet jedoch Mineralölsteuer, Kosten für Unterhaltung und Instandsetzung sowie zu 50 % Kosten für Abschreibung, Verzinsung und weitere Fixkosten.

In vergleichbaren Regelwerken bestehen keine Angaben zu aktuellen Betriebskostensätzen für das Bezugsjahr 2018. Es ist davon auszugehen, dass die Reduktion der Betriebskosten gemäß standardisierter Bewertung auf eine stärkere Verbreitung von Elektro-Pkws zurückzuführen ist. Aufgrund der aktuellen Flottenzusammensetzung wird dieses Einsparpotenzial bislang nicht gegeben. Für den Berechnungsansatz wird daher weiterhin der Kostensatz von 0,28 Euro/km gewählt.

Die Betriebskosten eines Fahrrads wurden bereits für die NKA-Rad überschlägig ermittelt. Die Berechnung der Fahrrad-Betriebskosten basiert auf den oben beschriebenen Annahmen zur Berücksichti-

gung von Mehrwertsteuer und Fixkosten. Weiterhin werden eine jährliche Fahrleistung von 2.000 km¹ und eine Radnutzungsdauer von 15 Jahren angesetzt. Auf dieser Grundlage werden Kosten von 0,08 Euro/km ermittelt. Die Berechnung berücksichtigt den Kauf eines Fahrrads, Wartung und Ersatzteile, Kleidung und Ausstattung [RÖHLING et al. 2008].

Der angesetzte Durchschnittspreis von 800 Euro liegt oberhalb des Durchschnittspreises eines Fahrrads von 698 Euro [ZIV 2017]. Die Betriebskostenberechnung behält somit seine Aktualität.

Im Ergebnis wird für die Verlagerung eines Pkw-km auf das Fahrrad eine Reduktion der Betriebskosten von 0,20 Euro/km (0,28 Euro/km abzgl. 0,08 Euro/km) angerechnet.

Wirkung der Nutzen-Komponente

Die berechneten Einsparungen stellen im Verhältnis zu anderen Komponenten den größten Nutzen dar. Sie liegen bei 1,9 bis 3,0 Mio. Euro und tragen dementsprechend maßgebend zu einem hohen Nutzen-Kosten-Verhältnis (NKV) bei. Der Anteil der Fahrzeugbetriebskosten am Gesamtnutzen liegt bei 54-68 %, in Fällen mit negativer Reisezeitdifferenz können sich auch deutlich höhere Werte einstellen. Bei der überschlägigen Berechnung von Vergleichsregion B liegt der Anteil dadurch bei 138 %.

4.1.3 Gesundheitliche Auswirkungen erhöhter Aktivität

Allgemein werden das Radfahren und der damit einhergehende aktivere Lebensstil als gesundheitsfördernd angesehen. Um zu beurteilen, welches Ausmaß die gesundheitsfördernde Wirkung hat und welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit sie als Nutzen einer neuen RSV angerechnet werden können, sind entsprechende Studien erforderlich. Mithilfe der nachfolgenden Berechnungen soll eine bessere Gesundheit als volkswirtschaftlicher Nutzen ermittelt werden.

Der Ansatz der NKA-Rad stellt hierzu eine gute Ausgangslage dar. Basierend auf Gesundheitskosten in Bereichen, denen das Radfahren eine gesundheitsfördernde Wirkung zugeschrieben wird erfolgt die Berechnung der potenziell einzusparenden Kosten. Dieses Einsparpotenzial gilt für alle

¹ Berechnung über 200 Tage mit je 10 km Fahrtweite [BMVBS 2008]

Nutzer, die von anderen Verkehrsmitteln auf das Rad gewechselt sind und regelmäßig eine bestimmte Distanz zurücklegen.

Bei der Berechnung der NKA-Rad erfolgte bei der Berechnung ein Fehler, sodass die Einsparungen im Gesundheitswesen zu 100 % und nicht nur zu 50 % angesetzt wurden. Dadurch ergab sich ein zu hoher Nutzen.

Den Berechnungen eines Nutzens der gesundheitsfördernden Wirkung werden folgende Sachverhalte zugrunde gelegt:

- Gemäß Transport, Environment and Health [WHO 2000] kann mit regelmäßiger Aktivität folgende gesundheitsfördernde Wirkung erreicht werden:
 - 50 % geringere Wahrscheinlichkeit für koronare Herzerkrankungen,
 - 50 % geringere Wahrscheinlichkeit für Erkrankung an Diabetes,
 - 50 % geringere Wahrscheinlichkeit für Fettleibigkeit und
 - 30 % geringere Wahrscheinlichkeit für Bluthochdruck.
- Regelmäßige Aktivität ist definiert mit 30 Minuten Gehen oder Radfahren an den meisten Tagen, auch mit Unterbrechungen; bei einer angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 15 km/h und zwei Wegen pro Tag sind das 3,8 km/Weg.
- Die durch diese Diagnosen entstehenden Krankheitskosten betragen 2015 bei der Altersgruppe der 15–84-Jährigen insgesamt 55,3 Mrd. Euro [Destatis 2018b].
- Es ist davon auszugehen, dass die Wirkungen nicht auf sämtliche Herz-Kreislauf-Erkrankungen anzuwenden sind, demnach erfolgt eine Abminderung der angerechneten Kosten um 20 % (Annahme) [44,2 Mrd. Euro/Jahr].
- bei einer Bevölkerung von 69,1 Mio. Einwohnern [Destatis 2018a] liegen die Kosten im Gesundheitssystem bei 640,33 Euro/(Jahr * Person).

Für die Nutzenberechnung wird nun zugrunde gelegt, dass mit jedem Radfahrer, der dauerhaft von einem anderen Verkehrsmittel auf das Rad wechselt, Einsparungen bei den Gesundheitskosten in Höhe von 320,16 Euro/(Jahr * Person) (50 % von 640,33 Euro/Jahr * Person) erzielt werden. Abweichend vom bisherigen Ansatz der NKA-Rad wird nicht empfohlen, die Berechnung auf Grundlage der

Rad-km durchzuführen, sondern pro Person, die das Verkehrsmittel wechselt und eine Strecke von mehr als 3,8 km zurücklegt. Der Hintergrund ist, dass mit der Erhöhung der Weglänge keine lineare Erhöhung der gesundheitsfördernden Wirkung einhergeht (z. B. Personen, die pro Tag 15 km zurücklegen, erleben keine 100 % geringere Wahrscheinlichkeit für Herz-Kreislauf-Erkrankungen).

Zur Bestimmung von Krankheitskosten durch erhöhte Aktivität bestehen kaum zuverlässige Vergleichsquellen. In verschiedenen Quellen werden Einsparungen zwischen 0,10 bis 0,16 Euro/km genannt [BELTER 2012]. Würde der vorgestellte Ansatz auf Kosten pro Kilometer berechnet werden, ergäbe sich mit 0,167 Euro/km ein vergleichbarer Wert. Bei dieser Berechnung unberücksichtigt bleibt, dass eine gesundheitsfördernde Wirkung nicht unmittelbar eintritt, sondern sich über mehrere Jahre eine zunehmende Wirkung einstellt.

Wirkung der Nutzen-Komponente

Die berechneten Einsparungen stellen im Verhältnis zu anderen Komponenten einen großen Nutzen dar. Sie liegen bei 0,6 bis 1,5 Mio. Euro und tragen maßgebend zu einem hohen Nutzen-Kosten-Verhältnis bei. Der Anteil am Gesamtnutzen liegt bei 34–44 %.

Die Abminderung der angerechneten Kosten um 20 % beruht auf einer Annahme. Belastbare Angaben konnten hierzu nicht ermittelt werden. Wird die Abminderung nicht eingerechnet, ergibt sich Einsparungen in Höhe von 400,33 Euro/(Jahr * Person). Bei Anwendung dieses Werts auf die drei Beispielfälle (vgl. Kapitel 4.7), erhöht sich das Nutzen-Kosten-Verhältnis um 0,1 bis 0,35, der Anteil der Komponente am Gesamtnutzen liegt dann bei 39–47 %. Die Differenz entspricht in den Beispielfällen einem jährlichen Nutzen von 217.000 bis 400.000 Euro.

4.1.4 Reduzierung der Sterblichkeitsrate

Bei der Berechnung der Einsparungen im Gesundheitswesen bleibt unberücksichtigt, dass mit zunehmender Aktivität abnehmendes Sterberisiko einhergeht. Dieser Zusammenhang wurde im Rahmen vom Health Economic Assessment Tool (Gesundheitsökonomisches Bewertungsinstrument) [WHO 2017] anhand bestehender Studien ausgewertet. Demnach sinkt das Sterberisiko für regelmäßig aktive Personen um 10 %. Die oben angegebene Definition aktiver Personen gilt hier ebenfalls. Für eine

Berechnung des Nutzens wurden aus der genannten Studie die folgenden Grundlagen genutzt:

- Das Sterberisiko einer aktiven Person sinkt um 10 %.
- Vereinfacht kann angenommen werden, dass die Sterblichkeitsrate von aktiven Personen demnach ebenfalls um 10 % sinkt.
- Als Sterblichkeitsrate der 20 - 64-Jährigen wird 0,005 zugrunde gelegt, angelehnt an Angaben aus dem Health Economic Assessment Tool.
- Der Wert eines statistischen Lebens wird mit 3,530 Mio Euro [WHO 2017] angesetzt; hierbei handelt es sich um den Wert für Deutschland, Basisjahr 2015.
- Als Nutzungsdauer werden 30 Jahre angenommen

Aus diesen Annahmen ergibt sich die folgende Berechnung

$$\begin{aligned} \text{Nutzen je aktiver Person} &= \text{Gl. 5} \\ (0,005[SR] - (0,005[SR] * 0,9)) * 3,530 \text{ Mio Euro} / 30 \text{ Jahre} \\ &= 58,83 \frac{\text{Euro}}{\text{Person} * \text{Jahr}} \end{aligned}$$

Bezogen auf einen zurückgelegten Kilometer, bei einer Jahresfahrleistung von 1.650 km² entspricht dies einem Nutzen von 0,036 Euro/km.

Ergänzend hierzu können die Ergebnisse der parallel laufenden Studie „NRVP 2020 – Prospektive Studie zu gesundheitsfördernden Effekten der Pedelec-Nutzung“ berücksichtigt werden.

Wirkung der Nutzen-Komponente

Die berechneten Einsparungen stellen im Verhältnis zu anderen Komponenten den geringsten Nutzen dar. Sie liegen bei 120.000 bis 200.000 Euro und tragen dementsprechend geringfügig zum Nutzen-Kosten-Verhältnis bei. Der Anteil am Gesamtnutzen liegt bei 13–15 %.

4.1.5 Reisezeit

Die Reisezeitersparnis ist insbesondere bei der Bewertung von Maßnahmen im BVWP mit hohem Nutzen je eingesparter Stunde bewertet. Der konkrete

Wert variiert je nach Distanz. Auch bei ÖPNV-Maßnahmen ist der Aspekt der eingesparten Reisezeit als Bewertungskriterium hinterlegt.

Durch die Umsetzung einer RSV verkürzt sich für viele Relationen die Reisezeit. Der Nutzen kommt dabei insbesondere den Radfahrern zu Gute, die bereits das Rad nutzen. In Fällen, bei denen Personen zuvor andere Verkehrsmittel genutzt haben, können sich ebenfalls Reisezeitverluste einstellen, die dementsprechend als Kosten in die Bewertung eingehen.

Die Kalkulation der insgesamt auftretenden Reisezeitgewinne und -verluste erfolgt über die insgesamt auftretende Reisezeit als Summe aus Reisezeit im Radverkehr und Reisezeit im Kfz-Verkehr.

Zur Bewertung der Reisezeit wird ein Kostensatz aus [AXHAUSEN et al. 2015] genutzt, auf der auch die Berechnungen des BVWP beruhen. Für Distanzen kleiner als 10 km wird ein Wert von 4,27 Euro/h als Mittel über alle Verkehrsmittel angegeben.

Wirkung der Nutzen-Komponente

Die Auswertung zeigt sehr unterschiedliche Nutzenpotenziale. Hier zeigt sich, dass vor allem die Anzahl der bereits bestehenden Radfahrer, die von der RSV hinsichtlich ihrer Reisezeit profitieren, maßgebend ist. Dem entgegen wirkt die Zahl der Verlagerungen vom Kfz auf das Fahrrad, insbesondere auf längeren Distanzen, für die mit dem Fahrrad in der Regel eine längere Fahrzeit benötigt wird, als mit dem Kfz. Dies gilt insbesondere für außerörtliche Relationen, bei denen der Pkw eine geringere Reisezeit aufweist. Im Ergebnis kann die Reisezeitbilanz somit positiv oder negativ ausfallen. Bei den Beispielfällen liegt der Nutzen im Maximalfall bei 59.000 Euro, im Minimalfall stellen sich Kosten in Höhe von 2 Mio. Euro ein. In diesem Fall reduziert sich durch die Reisezeit das NKV von 2,3 auf 0,9. Der Anteil am Gesamtnutzen variiert dementsprechend in einem Bereich zwischen -69 % bis +6 %.

Diese hohe Differenz des monetarisierten Nutzens ist neben den oben genannten vielfältigen Einflussgrößen auch auf die Monetarisierung der Reisezeit zurückzuführen.

4.1.6 Umweltkosten

Mit der Förderung des Radverkehrs wird in der Literatur auch der Wunsch nach Umweltgesichtspunkten, geringeren Schadstoffemissionen und weniger

2 7,5km/Tag (entspricht ca. 30 Minuten Aktivität pro Tag [vgl. WHO 2000] * 220 Werkstage (mittl. Anzahl Werkstage pro Jahr)

Lärm angesprochen. Die hier in einer Komponente zusammengefassten Umweltkosten umfassen somit die Aspekte

- Schadstoffemissionen,
- Treibhausgasemissionen,
- Abrieb,
- Lärm,
- Bau und Entsorgung von Kraftfahrzeugen und
- Auswirkungen auf Natur und Landschaft.

Die beiden erstgenannten Komponenten wurden bereits in der NKA-Rad abgebildet.

Eine direkte Aktualisierung anhand der genutzten Quelle ist nicht möglich. Während die NKA-Rad auf den Angaben der Standardisierten Bewertung für SPNV-Maßnahmen 2006 basiert, rechnet die aktuelle Version der Standardisierten Bewertung auf dem Bezugsjahr 2030, so dass sich hieraus eine deutliche Verschiebung der angesetzten Emissionen und deren Monetarisierung ergibt.

Eine Alternative stellt die Berechnung anhand der Angaben des BVWP dar.

Die im BVWP hinterlegten Kostensätze der Schadstoffemissionen gehen auf Berechnungen des Umweltbundesamtes zurück [SCHWERMER et al. 2012].

Aus der gleichen Studie gehen Gesamtumweltkosten hervor, die unterteilt nach Fahrzeugtyp und Energieträger ausgewiesen werden. Die Gesamtumweltkosten berücksichtigten die oben aufgelisteten sechs Kostenkomponenten.

Durch die Verwendung im BVWP ist eine gute Vergleichbarkeit der Datengrundlagen gewährleistet. In Tabelle 4-1 sind die aus der Studie hervorgehenden mittleren Kostensätze dargestellt.

Der Aspekt der Lärmkosten muss in der Diskussion um die Umweltkosten insbesondere bei der Betrachtung von Verlagerungspotenzialen näher betrachtet werden.

Die Berechnung der Lärmkosten erfolgt durch die Aufteilung aller durch den Lärm entstehenden Kosten auf die zurückgelegte Fahrleistung. Jedes einzelne Fahrzeug trägt somit die gleiche Kostenlast. Die Lärmkurve verläuft jedoch logarithmisch. Jedes zusätzlich auftretende Fahrzeug trägt nur sehr ge-

	Benzin [Cent/km]	Diesel [Cent/km]
Innerorts	5,9	7,7
Außerorts	3,3	4,3
Autobahn	4,0	5,0
Alle Strecken	4,5	5,8
Alle Strecken - Mittelwert	4,91*	
* Eigene Berechnung gemäß Flottenzusammensetzung 2018 [KBA 2018]: 67 % Benzin, 33 % Diesel		

Tab. 4-1: Mittlere Umweltkosten je Fzg-km nach Energieträger, Basisjahr 2010 [SCHWERMER et al. 2012] und eigener Berechnung

ringfügig zu höherer Lärmbelastung bei. Ebenso führt die Rückverlagerung nur zu einer sehr geringen Reduktion des Lärms. Mit dieser Argumentation ist es kaum umsetzbar, eine Verlagerung vom Kfz-Verkehr auf das Fahrrad mit einem Nutzen im Hinblick auf die Lärmentwicklung zu berechnen.

Es besteht jedoch auch die entgegengesetzte Betrachtungsweise. Die Reduktion einer Fahrzeugfahrt führt zwar nicht unmittelbar zu der Reduktion der ihm zugeschriebenen Lärmkosten. Würden jedoch weitere Maßnahmen dazu führen, dass sich der Pkw-Verkehr weiter reduziert, im theoretischen Fall bis auf 0 Kfz, trägt jede einzelne Verlagerung im gleichen Maß zur Lärmreduktion und geminderten Lärmkosten bei. Die erste Maßnahme kann dabei nicht anders bewertet werden als die letzte.

Die Lärmkosten haben gemäß Umweltbundesamt [SCHWERMER et al. 2012] einen Anteil von 0,7 Cent/km, unabhängig der Kraftstoffart. Nachfolgend werden die Auswirkungen der Lärmkosten am Gesamtergebnis beziffert.

Auswirkungen von Pedelecs

Mit dem stark wachsenden Anteil von Pedelecs am Fahrradmarkt und deren Nutzung führt die Umsetzung von RSV auch zu einer Verlagerung vom Kfz zum Pedelec. Da mit dem Pedelec ein aufwendigerer Herstellungsprozess und mit dem Betrieb Energieverbrauch stattfindet, sind die Auswirkungen auf die Umweltkosten zu prüfen.

Für den Betrieb eines Pedelecs kann aufgerundet mit ca. 1 kWh/100 km gerechnet werden [LIENHOP et al. 2015]. Gemäß Umweltbundesamt [SCHWERMER et al. 2012] kann mit dem Strommix 2010 mit Umweltkosten durch Schadstoff- und Treibhausgasemissionen von 7,8 Cent/kwh gerechnet werden. Durch den Betrieb eines Pedelecs entstehen somit Umweltkosten von weniger als 0,1 Cent/km.

Für die Herstellung eines Pedelecs wird umgerechnet auf jeden Kilometer ca. 14 g CO₂-Equivalent pro km emittiert [LIENHOP et al. 2015]. Bei Kosten von ca. 80 Euro/Tonne CO₂ [SCHWERMER et al. 2012] sind auch die hier entstehenden Umweltkosten mit ca. 0,1 Cent/km zu vernachlässigen. Gleiches gilt aufgrund des geringeren Herstellungsaufwands auch für konventionelle Fahrräder.

Wirkung der Nutzen-Komponente

Die berechneten Einsparungen stellen im Verhältnis zu anderen Komponenten einen mittleren Nutzen dar. Sie liegen bei 500.000 bis 700.000 Euro und tragen dementsprechend zum Nutzen-Kosten-Verhältnis bei. Der Anteil am Gesamtnutzen liegt bei 13-17 %.

Die Lärmkosten spielen dabei eine untergeordnete Rolle. Sie verändern das NKV um 0,03 bis 0,09, bei einem Nutzen von 80.000 bis 100.000 Euro.

4.2 Berücksichtigte deskriptive Nutzen-Komponenten

Mit der NKA-Rad wurden ergänzend zu den konkret berechenbaren Komponenten, deskriptive Nutzenkomponenten erarbeitet. Deskriptive Komponenten sind eine mögliche Ergänzung, um Aspekte in die Betrachtung mit aufzunehmen, deren Nutzen nur schwer bzw. gar nicht erfasst oder monetarisiert werden kann. Als grobe Einschätzung nehmen die

Bewertung	Qualitative Einschätzung
+ 2 (große positive Wirkung)	Umfang, Lage und/oder Qualität der freiwerdenden Fläche sind so, dass sie zu einer deutlichen Verbesserung der Aufenthalts- und/oder städtischen Qualität führen.
+ 1 (positive Wirkung)	Umfang, Lage und/oder Qualität der freiwerdenden Fläche sind so, dass sie zu einer leichten Verbesserung der Aufenthalts- und/oder städtischen Qualität führen.
0 (kein relevanter / bekannter Nutzen)	nicht relevant/nicht bekannt, d. h. kein Flächengewinn/-verbrauch
- 1 (negative Wirkung)	Verbrauch von Flächen für RSV, die aufgrund ihrer Größe, Lage und/oder Qualität eine geringe Aufenthalts- bzw. städtische Qualität aufweisen.
- 2 (große negative Wirkung)	Verbrauch von Flächen für RSV, die aufgrund ihrer Größe, Lage und/oder Qualität eine hohe Aufenthalts- bzw. städtische Qualität aufweisen.

Tab. 4-2: Angepasstes Bewertungsschema – Senkung des Flächenverbrauchs [RÖHLING et al. 2008]

deskriptiven Komponenten jedoch einen untergeordneten Stellenwert bei der Bewertung ein. Aufgrund der zum Teil subjektiven Einschätzung ist für den Vergleich zweier Maßnahmen eine detailliertere Betrachtung notwendig. Dabei handelt es sich um die folgenden Aspekte.

4.2.1 Senkung des Flächenverbrauchs

Durch eine Veränderung des Flächenbedarfs durch RSV gegenüber anderen Verkehrsflächen können gewonnene Flächen anderen Nutzungen zur Verfügung gestellt werden. Hierbei sind jedoch stets die

Bewertung	Qualitative Einschätzung
+ 2 (große positive Wirkung)	Die RSV trägt erheblich dazu bei, das städtische Leben für Einheimische/Gäste attraktiver zu gestalten und/oder die Potenziale von Wohngebieten und Innenstadtgebieten zu stärken (z. B. Reduktion des Kfz-Verkehrs führt insb. in Wohngebieten zu höherer Wohnqualität oder erhöhter Aufenthaltsqualität in der Innenstadt). Die RSV leistet einen wesentlichen Beitrag zum Erreichen eines städtebaulichen Leitbildes, das auf eine „lebenswerte“ Stadt abzielt.
+ 1 (positive Wirkung)	Die RSV trägt dazu bei, das städtische Leben für Einheimisch/Gäste attraktiver zu gestalten und/oder die Potenziale von Wohngebieten und Innenstadtgebieten zu stärken (z. B. Reduktion des Kfz-Verkehrs führt insb. in Wohngebieten zu höherer Wohnqualität oder erhöhter Aufenthaltsqualität in der Innenstadt). Die RSV leistet einen Beitrag zum Erreichen eines städtebaulichen Leitbildes, das auf eine „lebenswerte“ Stadt abzielt.
0 (kein relevanter / bekannter Nutzen)	nicht relevant/nicht bekannt, d. h. keine städtebauliche Verbesserung/Verschlechterung
- 1 (negative Wirkung)	Die RSV führt dazu, dass das städtische Leben für Einheimische/Gäste unattraktiver wird und/oder die Erschließung von Potenzialen von Wohngebieten und Innenstadtgebieten behindert werden (z. B. RSV führt durch verkehrsberuhigten Bereich/Fußgängerzone). Die RSV widerspricht dem städtebaulichen Leitbild, das auf eine „lebenswerte“ Stadt abzielt.
- 2 (große negative Wirkung)	Die RSV führt dazu, dass das städtische Leben für Einheimische/Gäste deutlich unattraktiver wird und/oder die Erschließung von Potenzialen von Wohngebieten und Innenstadtgebieten verhindert werden (z. B. RSV führt durch verkehrsberuhigten Bereich /Fußgängerzone). Die RSV widerspricht dem städtebaulichen Leitbild stark, das auf eine „lebenswerte“ Stadt abzielt.

Tab. 4-3: Angepasstes Bewertungsschema – Verbesserung der Lebens- und Aufenthaltsqualität [RÖHLING et al. 2008]

Bewertung	Qualitative Einschätzung
+ 2 (große positive Wirkung)	Neu zu schaffende RSV werden in einem Umfang (Anzahl der Ziele) und/oder einer Qualität realisiert, dass sie zu einer deutlichen Erweiterung des Aktionsradius nichtmotorisierter Personen führen. (z. B. hochwertige Anbindung zu Freizeiteinrichtungen, Schulen etc.)
+ 1 (positive Wirkung)	Neu zu schaffende RSV werden in einem Umfang (Anzahl der Ziele) und einer Qualität realisiert, dass sie zu einer Erweiterung des Aktionsradius nichtmotorisierter Personen führen. (z. B. Anbindung zu Freizeiteinrichtungen, Schulen etc.)
0 (kein relevanter / bekannter Nutzen)	nicht relevant/nicht bekannt, d. h. keine Verbesserung der Erreichbarkeit
- 1 (negative Wirkung)	Neu zu schaffende RSV werden in einem Umfang (Anzahl der Ziele) und einer Qualität realisiert, dass sie zu einer Einschränkung des Aktionsradius für den Fußgängerverkehr führen (insb. Kinder und Senioren).
- 2 (große negative Wirkung)	Neu zu schaffende RSV werden in einem Umfang (Anzahl der Ziele) und einer Qualität realisiert, dass sie zu einer deutlichen Einschränkung des Aktionsradius für den Fußgängerverkehr führen (insb. Kinder und Senioren).

Tab. 4-4: Angepasstes Bewertungsschema – Verbesserung der Teilhabe nichtmotorisierter Personen am städtischen Leben [Röhling et al. 2008]

Bewertung	Qualitative Einschätzung
+ 2 (große positive Wirkung)	Dritte profitieren stark von der RSV (z. B. überregionaler Radverkehr, „Kfz-Verkehr“, ÖV durch Zubringerfunktion etc.)
+ 1 (positive Wirkung)	Dritte profitieren von der RSV (z. B. überregionaler Radverkehr, „Kfz-Verkehr“, ÖV durch Zubringerfunktion etc.)
0 (kein relevanter / bekannter Nutzen)	nicht relevant/ nicht bekannt, dass andere Bevölkerungsgruppe profitiert.
- 1 (negative Wirkung)	Dritte werden durch die RSV eingeschränkt (z. B. Sondernutzungen, Fußgängerverkehr etc.).
- 2 (große negative Wirkung)	Dritte werden durch die RSV stark eingeschränkt (Sondernutzungen, Fußgängerverkehr etc.).

Tab. 4-5: Angepasstes Bewertungsschema – Nutzen im Bereich Dritter [Röhling et al. 2008]

Anforderungen hinsichtlich der vergleichsweise hohen Querschnittsbreiten für RSV und möglicherweise der Flächen für die Fußgänger zu berücksichtigen. Die Tabelle 4-2 gibt einen Überblick über das Bewertungsschema.

Bewertung	Qualitative Einschätzung
+ 2 (große positive Wirkung)	Der Fußgängerverkehr profitiert stark von der RSV (z. B. durchgänge attraktive Anlagen für Fußgänger, Schaffung neuer Wegeverbindungen, Berücksichtigung auch an Zubringerstrecken etc.)
+ 1 (positive Wirkung)	Der Fußgängerverkehr profitiert von der RSV (z. B. durchgänge oder abschnittsweise Anlagen für Fußgänger, Schaffung neuer Wegeverbindungen etc.)
0 (kein relevanter / bekannter Nutzen)	nicht relevant/ nicht bekannt, dass Fußgängerverkehre profitieren
- 1 (negative Wirkung)	Der Fußgängerverkehr wird durch die RSV eingeschränkt (z. B. Einschränkungen und Umwege für Fußgänger etc.)
- 2 (große negative Wirkung)	Der Fußgängerverkehr wird durch die RSV stark eingeschränkt (z. B. Einschränkungen und Umwege für Fußgänger etc.)

Tab. 4-6: Bewertungsschema – Verbesserungen für den Fußgängerverkehr

4.2.2 Verbesserung der Lebens- und Aufenthaltsqualität

Durch die RSV kann die Nutzung des Fahrrads gesteigert und der Kfz-Verkehr reduziert werden. Wenn im Wohnumfeld oder in innerstädtischen Bereichen deutliche Aufwertungen herbeigeführt werden können, kann hier eine positive Bewertung erfolgen (Tabelle 4-3).

4.2.3 Verbesserung der Teilhabe nichtmotorisierter Personen am städtischen Leben

Aufgrund seiner geringen Betriebskosten und seines vergleichsweise großen Aktionsradius, ist das Fahrrad besonders dazu geeignet, allen Bevölkerungsgruppen, auch nichtmotorisierter Personen, eine Teilhabe am städtischen Leben zu ermöglichen. Ein Beispiel sind neu entstehende oder deutlich kürzere Wegeverbindungen zu zentralen Orten (Tabelle 4-4).

4.2.4 Nutzen im Bereich Dritter

Von Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs können auch andere Verkehrsbeteiligte oder -arten profitieren. Hierüber wird weiterer indirekter Nutzen gestiftet, wie zum Beispiel eine Zubringerfunktion zum ÖV (Tabelle 4-5).

4.2.5 Verbesserungen für den Fußgängerverkehr

Verbesserungen für den Fußgängerverkehr werden als zusätzlicher Nutzen im Bereich Dritter durch

eine eigene Betrachtung noch einmal hervorgehoben. Häufig werden mit RSV auch abgegrenzte Gehwege errichtet, die das Fußgängerverkehrsnetz erweitern oder aufwerten können und somit einen erheblichen Nutzen darstellen, der mit dieser neu entwickelten deskriptiven Komponente hervorgehoben werden kann (Tabelle 4-6).

4.3 Nicht berücksichtigte Nutzen-Komponenten

Neben den zuvor beschriebenen Nutzenkomponenten wurden weitere Aspekte betrachtet, die nicht bei der Nutzen-Kosten-Analyse berücksichtigt werden. Diese werden nachfolgend dargestellt und erläutert.

4.3.1 Verkehrssicherheit / Unfallkosten

In der NKA-Rad wird der Rückgang von Unfallschäden als Nutzenkomponente berücksichtigt. Dabei wird auf die Reduktion der Unfallzahlen sowie auf den Rückgang von Sachschäden aufgesetzt. Diese wird über die eingesparte Pkw-Fahrleistung und der zugehörigen spezifischen Unfallrate ermittelt.

Da eine solche Aussage von vielen Faktoren abhängt, kein fachlicher Nachweis besteht und eine kleinräumige Untersuchung erforderlich machen würde, die in der Regel über den Rahmen einer Nutzen-Kosten-Analyse hinausgeht, wird dieser überschlägige Ansatz nicht weiter verfolgt.

Aktuelle Forschung zum Unfallgeschehen im Zusammenhang mit Radverkehr zeigen, dass eine Zunahme des Radverkehrsaufkommens je nach Radverkehrsanlage auch zur Zunahme des Unfallgeschehens führen kann [ALRUTZ 2015]. Ein direkter Zusammenhang zwischen Radverkehrsaufkommen und Unfallhäufung besteht jedoch nicht. Es kann somit auch keine Erhöhung der Unfallschäden auf Grundlage des steigenden Radverkehrsaufkommens berechnet werden. Vielmehr ist die Unfallhäufigkeit von Altersstruktur, Radverkehrsanlage, Regelverstößen u. a. abhängig (z. B. ALRUTZ et al. 2009, BAIER et al. 2013).

4.3.2 Veränderung der Kosten im ruhenden und fließenden Verkehr

In der NKA-Rad können Einsparungen im ruhenden Verkehr berücksichtigt werden. Demnach wird die

Anzahl Parkplätze, die aufgrund der Radverkehrsmaßnahme nicht gebaut werden müssen, als Nutzen angerechnet. Da in den meisten Fällen nicht konkret bestimmt werden kann, welche Anzahl von Parkplätzen nicht gebaut werden müssen, stellt die Nutzenkomponente eine sehr unkonkrete und in der Regel auf Annahmen beruhende Komponente dar und wird deshalb nicht weiter berücksichtigt.

4.3.3 Induzierter Verkehr

Als induzierter Verkehr werden Wege bezeichnet, die vor Umsetzung der Maßnahme nicht durchgeführt wurden oder die aufgrund der schnelleren Verbindung ein weiter entferntes Ziel haben als zuvor.

Grundsätzlich sind neu entstehende Wege, die mit dem Fahrrad zurückgelegt werden, sehr positiv zu bewerten. Gleichzeitig ist die Berechnung sehr komplex und letztlich nur auf Grundlage eines Verkehrsmodells mit den Schritten der Verkehrserzeugung und Zielwahl abzubilden.

Wege, die zuvor mit anderen Verkehrsmitteln zurückgelegt wurden, werden anhand anderer Nutzenkomponenten wie beispielsweise eingesparter Schadstoffemissionen bewertet. Eine ergänzende Nutzenberechnung erscheint hier weniger sinnvoll und wird deshalb nicht weiter berücksichtigt.

4.3.4 Fahrkomfort

Durch die Anlage einer RSV stellt sich für Radfahrer, die bereits zuvor mit dem Rad unterwegs waren, eine Steigerung des Fahrkomforts ein. Dabei entsteht für den Radfahrer ein persönlicher Nutzen, der jedoch keinen messbaren volkswirtschaftlichen Nutzen darstellt. Eine Berücksichtigung in Form einer monetarisierbaren Nutzenkomponente erfolgt daher nicht.

4.3.5 Zuverlässigkeit (BVWP) / Zuverlässigkeit der Infrastruktur

Im BVWP wird die Zuverlässigkeit auf überregionalen Strecken dahingehend berücksichtigt, dass beispielsweise mit dem Ausbau von Strecken auch die Zuverlässigkeit im Sinne von geringerer Stauanfälligkeit steigt. Die Wahrscheinlichkeit innerhalb der erwarteten Reisezeit das Ziel zu erreichen, steigt. Auf den Radverkehr bezogen ist diese Komponente von nachgeordneter Bedeutung, da hier bis dato sehr selten Stauerscheinungen auftreten.

Die Zuverlässigkeit der Infrastruktur kann jedoch in anderer Hinsicht betrachtet werden, nämlich im Sinne einer zuverlässigeren Nutzbarkeit z. B. durch Winter- und Reinigungsdienste.

Für den Winter- und Reinigungsdienst sowie Instandhaltungen von RSV werden die gleichen Vorgaben angenommen, wie sie für vergleichbare Straßen gelten. Der Vergleich mit BVWP und standardisierter Bewertung im SPNV weist keine vergleichbaren Nutzenkomponenten auf. Die höhere Zuverlässigkeit wäre somit eine Eigenschaft, die nur bei RSV für die Nutzenberechnung herangezogen wird. Generell sollte von einer ungestörten Nutzbarkeit jeder vorhandenen Infrastruktur ausgegangen werden. Für den Fall, dass durch die RSV eine deutlich zuverlässigere Nutzbarkeit gegeben ist, ist vielmehr die Wartung und Instandhaltung der übrigen Infrastruktur infrage zu stellen.

Die Berechnung eines zusätzlichen Nutzens ist somit zum einen kaum kalkulierbar und zum anderen inhaltlich schwierig vertretbar. Eine Berücksichtigung in Form einer monetarisierbaren Nutzenkomponente erfolgt daher nicht.

4.3.6 Innerörtliche Trennwirkung (BVWP)

Verkehrsprojekte des Kraftfahrzeugverkehrs können zur Reduktion der Verkehrsbelastung innerörtlicher Verkehrswege beitragen. Der Abbau der innerörtlichen Trennwirkung führt zu einer besseren Querungsmöglichkeit für Fußgänger. RSV können zu Verlagerungen vom Kfz zum Radverkehr führen. Die Verlagerung nimmt jedoch kein so großes Ausmaß an, dass es maßgeblich zur verringerten Trennwirkung beiträgt. Durch RSV wird weiterhin keine Trennwirkung hergestellt, die für Fußgänger eine wirksame Barriere darstellt. Die Komponente ist somit für die Betrachtung von RSV nicht relevant.

4.3.7 Transportzeit Güter (BVWP)

Mit der Umsetzung von RSV wird auch das Ziel verfolgt, Gütertransport und Wirtschaftsverkehr im kleinräumigen Bereich auf das Rad zu verlagern. Die Verlagerung von Güterverkehr auf das Rad kann jedoch nur in begrenztem Maß erfolgen. Mit der dargestellten Potenzialanalyse ist das Potenzial im Güterverkehr weiterhin kaum zu ermitteln. Da sich bei der Auswertung der Reisezeitdifferenz gezeigt hat, dass kaum Einsparungen in der Fahrzeit

erreicht werden können, kann die Berechnung dieser Komponente vernachlässigt werden.

4.3.8 Implizite Nutzendifferenz

Unter dem Aspekt implizite Nutzendifferenz ist im BVWP der Aspekt berücksichtigt, dass mit einer Angebotsverbesserung Fahrten stattfinden, die zuvor nicht stattgefunden haben und somit einen Nutzen darstellen. Da davon auszugehen ist, dass dieses Phänomen bei RSV auch in einem hohen Maße stattfindet, jedoch hauptsächlich im Freizeitbereich, wird diese Nutzenkomponente nicht weiter verfolgt.

4.4 Kosten-Komponenten

Die Investitionskosten der Maßnahme werden den Nutzen im NKV gegenübergestellt.

Die Kosten setzen sich ebenfalls aus verschiedenen Komponenten zusammen, die eine unterschiedliche Lebensdauer aufweisen. Mithilfe von Annuitätenfaktoren werden jährliche Kosten gebildet. Die jährlichen Kosten können den jährlichen Nutzen gegenübergestellt werden.

Die Investitionskosten werden in die folgenden Kategorien unterteilt:

- Planungskosten,
- Grunderwerb,
- Fahrweg,
- Ingenieurbauwerke und
- Betriebstechnik.

Tabelle 4-7 stellt die zu erwartende Nutzungsdauer und den resultierenden Annuitätenfaktor dar. Der Annuitätenfaktor basiert auf der Nutzungsdauer und dem hinterlegten Zinssatz. In Abgleich mit dem BVWP-Bewertungsverfahren und der standardisierten Bewertung von ÖPNV-Maßnahmen wird ein Zinssatz von 1,7 % angesetzt.

	Nutzungsdauer [Jahre]	Annuitätenfaktor
Planungskosten	25	0,0494
Grunderwerb	Unbegrenzt	0,03
Fahrweg	25	0,0494
Ingenieurbauwerke	50	0,0298
Betriebstechnik	25	0,0494

Tab. 4-7: Kostenkomponenten und deren Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauern orientieren sich an den Angaben der EWS-97 [FGSV 1997] und der Methodik des BVWP. Planungskosten werden gemäß BVWP-Methodik mit 18 % der Höhe der Baukosten angesetzt.

Mit der Komponente Betriebstechnik werden technische Einrichtungen wie z. B. Lichtsignalanlagen zusammengefasst.

Wesentliche und wichtige Komponente für den Radverkehr sind Marketing und Kampagnen zur Förderung des Radverkehrs und zur Bekanntmachung der RSV. Sie gehen in der Regel mit der Umsetzung einer RSV einher. In der Berechnung werden sie auf die Planungskosten aufgeschlagen. Die Kosten der Kampagnen können je nach Lage, Länge und Einzugsgebiet der RSV variieren und liegen in der Regel in einer Größenordnung von 20.000–100.000 Euro.

Bei der Berechnung der Kostenkomponenten ist darüber hinaus die Mehrwertsteuer zu berücksichtigen.

4.5 Verknüpfung der Potenzialanalyse und der Nutzen-Kosten-Analyse

Die beschriebenen Nutzenkomponenten benötigen unterschiedliche Datengrundlagen zur Berechnung. Diese sind das Ergebnis der Potenzialanalyse. Grundsätzlich können die erforderlichen Eingangsgrößen sowohl mit dem detaillierten als auch mit dem überschlägigen Verfahren ermittelt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Berechnungsansätze und -ergebnisse kann sich die Wahl des Berechnungsverfahrens auch auf das Ergebnis der NKA auswirken. Da das überschlägige Verfahren mit Vereinfachungen und überschlägigen Berechnungen arbeitet, können die Auswirkungen nicht so genau nachgebildet werden, wie im detaillierten Verfahren.

Nachfolgend werden die erforderlichen Kenngrößen mit Hinweisen noch einmal dargestellt:

- **Eingesparte Pkw-km:** Durch die Verlagerung auf das Fahrrad werden Fahrten nicht mehr mit dem Pkw durchgeführt. Die eingesparten Pkw-km werden ermittelt durch eine Umlegung der Pkw-Verkehre im Analyse- und im Planfall. Die Differenz der Pkw-km wird benötigt. Eine Hochrechnung auf einen Jahreswert muss darauf aufbauend erfolgen. Sinnvoll ist eine Hochrechnung mit 220 Arbeitstagen pro Jahr.

Nutzen-Kosten-Komponenten	Einfluss der Nutzen-Komponente ¹
Betriebskosten der Infrastruktur	-40 - -11 %
Fahrzeuggesteuer	54 - 68 %
Gesundheitliche Auswirkungen erhöhter Aktivität	34 - 44 %
Reduzierung der Sterblichkeitsrate	12 - 15 %
Reisezeit	-17 - 6 %
Umweltkosten	13 - 17 %
Senkung des Flächenverbrauchs (deskriptiv)	
Verbesserung der Lebens- und Aufenthaltsqualität (deskriptiv)	
Verbesserung der Teilhabe nichtmotorisierter Personen am städtischen Leben (deskriptiv)	
Nutzen im Bereich Dritter (deskriptiv)	
Nutzen für den Fußgängerverkehr (deskriptiv)	
Planungskosten und Marketing	
Grunderwerb	
Fahrweg	
Ingenieurbauwerke	
Betriebstechnik	

Tab. 4-8: Nutzen-Kosten-Komponenten und deren Nutzungsdauer

- Die Anzahl neu hinzugekommener Fahrradfahrer³ kann über die auf das Rad verlagerten Fahrten ermittelt werden. Hierzu werden alle Fahrten gefiltert, die über 3,8 km Fahrtweite haben. Mit Hin- und Rückrichtung kann eine 30-minütige Aktivität unterstellt werden. Wird somit die Zahl der Fahrten über 3,8 km halbiert, ist überschlägig die Anzahl der durch den Wechsel zusätzlich hinzukommender Fahrradfahrer ermittelt. Eine Hochrechnung auf einen Jahresmittelwert ist nicht erforderlich. Die Anzahl dieser Fahrradfahrer wird mit einem jahresbasierten Nutzenwert multipliziert.
- Die Personenkilometer der Fahrradfahrer können bestimmt werden durch die Summe der Fahrleistung der Fahrten mit über 3,8 km Fahrtweite. Eine Hochrechnung auf einen Jahreswert muss darauf aufbauend erfolgen. Sinnvoll ist eine Hochrechnung mit 220 Arbeitstagen pro Jahr.
- Die Reisezeitveränderung ergibt sich aus der Summe der Fahrzeiten (Reisezeit * Anzahl der

³ Es werden nur die Fahrten der neu hinzugekommenen Fahrradfahrer berücksichtigt, da nur sie einen Nutzen erzeugen, der auf die Wirkung der RSV zurückzuführen ist.

Wege) von Pkw und Rad. Die Summe des Planfalls wird der des Analysefalls gegenübergestellt. Eine Hochrechnung auf einen Jahreswert muss darauf aufbauend erfolgen. Sinnvoll ist eine Hochrechnung mit 220 Arbeitstagen pro Jahr.

4.6 Komponenten der Nutzen-Kosten-Analyse

Die Komponenten der Nutzen-Kosten-Analyse sind in Tabelle 4-8 noch einmal zusammengetragen.

Bild 4-1 zeigt eine Übersicht zur Darstellung der Nutzen-Kosten-Analyse. Darin sind die Nutzen- und Kostenkomponenten mit ihrer jeweiligen monetären

Nutzen-Kosten-Analyse						
Vergleichsregion A						
Variante xx						
Nutzen / Jahr	2622,72 T€/Jahr					
Kosten / Jahr	1497,06 T€/Jahr					
Nutzen-Kosten-Verhältnis	1,75					
Nutzenberechnung Summe 2622,72 T€/Jahr						
Nutzenkomponente	Messgröße	Messwert	Dimension	Kostensatz [€/Einheit]	Dimension	Nutzen [T€/Jahr]
Betriebskosten der Infrastruktur	Baukosten	32.862.945,00	€	-0,025	€/Jahr	-821,57
Fahrzeugbetriebskosten	Eingesparte Pkw-km/Jahr	11,81	Mio Pkw-km	0,20	€/Pkw-km	2361,88
Einsparung im Gesundheitswesen	Veränderung der Anzahl aktiver Personen / Jahr	3600	Aktive Personen	320,16	€/aktiver Person	1152,69
Reduzierung der Sterblichkeitsrate aktiver Personen	Veränderung der Pkm aktiver Personen / Jahr	10,00	Mio. Pkm	0,036	€/km	360,07
Reisezeitveränderung	Reisezeitveränderung	-237	Tausend h	4,27	€/h	-1012,93
Umweltkosten	Eingesparte Pkw-km/Jahr	11,81	Mio. Pkw-km	0,049	€/Pkw-km	582,60
Kostenberechnung Summe 1497,06 T€/Jahr						
Kostenkomponente	Nutzungsdauer [Jahre]	Wert [€]	Annuitätenfaktor	Diskontierungsrate	Kostenanteil	Kosten [T€/Jahr]
Planungskosten	25	5.935.330,10	0,04943	1,70%	15,3%	293,41
Grunderwerb	Unbegrenzt	5.393.080,00	0,03000	-	13,9%	161,79
Fahrtweg	25	10.595.010,00	0,04943	1,70%	27,3%	523,76
Ingenieurbauwerke	50	16.140.089,00	0,02985	1,70%	41,6%	481,78
Betriebstechnik	25	734.766,00	0,04943	1,70%	1,9%	36,32
Deskriptive Komponenten						
Nutzenkomponente	Bewertung [-2...2]		Erläuterung			
Senkung des Flächenverbrauchs	-2		siehe Erläuterungsbericht			
Verbesserung der Lebens- und Aufenthaltsqualität der Stadt	-1		siehe Erläuterungsbericht			
Verbesserung der Teilhabe nicht-motorisierter Personen am städtischen Leben	0		siehe Erläuterungsbericht			
Nutzen im Bereich Dritter	1		siehe Erläuterungsbericht			
Nutzen im Bereich Dritter	2		siehe Erläuterungsbericht			

Bild 4-1: Beispielhafte Darstellung zur Übersicht der Nutzen-Kosten-Analyse

Wirkung dargestellt. Die Ergebnisse sind im Kopf als Summe der Nutzen und Summe der Kosten und des sich daraus ergebenden Nutzen-Kosten-Verhältnis dargestellt. Unten sind die Einschätzungen zu den deskriptiven Nutzen-Kosten-Komponenten mit farblicher Hinterlegung dargestellt.

Das Bild ist ergänzend dem Anhang 5.1 beigefügt und steht darüber hinaus als Datei im Tabellenkalkulationsformat zur Verfügung.

4.7 Beispielanwendung der Nutzen-Kosten-Analyse

Zur beispielhaften Anwendung der dargestellten Nutzen-Kosten-Analyse werden wiederum die Vergleichsfälle herangezogen, die bereits zur Betrachtung der Potenzialanalyse genutzt wurden. Wie in Kapitel 3.6.1 erläutert, handelt es sich um Berechnungen für abgewandelte Untersuchungsvarianten. Die Ergebnisse können somit nicht mit den Ergebnissen der veröffentlichten Studien verglichen werden.

Tabelle 4-9 zeigt die relevanten Eingangsgrößen zur Berechnung der Nutzenkomponenten.

Für die Nutzenberechnung müssen die folgenden Kenngrößen vorliegen:

- Eingesparte Pkw-km (relevant zur Berechnung der Einsparungen bei Fahrzeugbetriebskosten und Umweltkosten),
- die Anzahl der eingesparten Pkw-Fahrten und die sich darauf ergebende mittlere Distanz der verlagerten Wege ist als Zwischenrechnung zur Ermittlung der eingesparten Pkw-km erforderlich,
- Veränderung der Anzahl Fahrradfahrer als Eingangsgröße der Einsparungen im Gesundheitswesen,
- damit zusammenhängend die neu hinzukommenden Personenkilometer im Radverkehr zur Ermittlung der reduzierten Sterblichkeitsrate und
- die Reisezeitdifferenz, die sich aus der Reisezeit von Kfz und Rad im Bestand gegenüber dem Mitfall ergibt.

Die Betrachtung der Ergebnisse zeigt zwischen den Untersuchungsgebieten erkennbare Unterschiede.

Dabei spiegeln sich verschiedene räumliche Faktoren wider:

- Generell zeigt sich, dass mit den RSV eine Verlagerungswirkung bei längeren Distanzen erreicht wird. Sie liegen im Wesentlichen im Bereich zwischen 4 bis 8 km.
- Durch die Lage des Untersuchungsgebietes und die Distanzen zwischen den zu verbindenden Städten kommt es zu unterschiedlichen Fahrtweiten. Dies wirkt sich auf die verlagerten Fahrten aus.
- Durch die unterschiedliche Länge der verlagerten Fahrten ist die Menge der langen Fahrten (>3,8 km) und die sich daraus ergebende Fahrleistung der aktiven Personen unterschiedlich groß.

	Detailliertes Verfahren	Überschlägiges Verfahren	Studie
	Eingesparte Pkw-km [km/Tag]		
Vergleichsregion A	53.679	33.153	78.823
Vergleichsregion B	47.390	28.425	98.700
Vergleichsregion C	67.763	29.263	26.786
	Eingesparte Pkw-Fahrten* [Anzahl/Tag]		
Vergleichsregion A	10.548	6.329	9.308
Vergleichsregion B	6.082	3.718	10.077
Vergleichsregion C	9.025	2.730	6.918
	Mittlere Distanz der verlagerten Fahrten [km/Tag]		
Vergleichsregion A	5,09	5,23	7,93
Vergleichsregion B	7,79	7,65	9,79
Vergleichsregion C	7,51	10,71	3,87
	Neu hinzukommende Fahrradfahrer (>3,8 km/Tag) [Anzahl]		
Vergleichsregion A	3.600	3.497	
Vergleichsregion B	2.709	1.879	
Vergleichsregion C	4.910	1.717	
	Personenkilometer der Wechsler der Verkehrsmittel (>3,8 km/Tag) [km/Tag]		
Vergleichsregion A	45.463	51.879	46.027
Vergleichsregion B	45.926	34.208	91.206
Vergleichsregion C	78.445	37.970	27.729
	Reisezeitdifferenz Kfz und Rad [min/Tag]		
Vergleichsregion A	-64.696	10.498	
Vergleichsregion B	3.792	-39.991	
Vergleichsregion C	-49.889	-39.838	
* berücksichtigt wurde der Besetzungsgrad von 1,3 Personen pro Fahrzeug [ITP 2017]			

Tab. 4-9: Eingangsgrößen für die Nutzenberechnung

Untersuchungsgebiet	Nutzen pro Jahr* [Euro]	Kosten pro Jahr [Euro]	NKV nach FE 82.0680/2016	NKV nach NKA-Rad	NKV nach RS1-Methodik	Studie
Vergleichsregion A – Detailliertes Verfahren	1.395.000	1.497.000	1,75	3,38	3,99	3,77
Vergleichsregion A - Überschlätiges Verfahren	1.797.000	1.497.000	1,80	2,14	2,68	
Vergleichsregion B – Detailliertes Verfahren	2.814.000	2.157.000	1,32	1,87	2,20	4,41
Vergleichsregion B - Überschlätiges Verfahren	725.000	2.157.000	0,35	1,06	1,33	
Vergleichsregion C – Detailliertes Verfahren	4.191.000	1.135.000	4,06	6,04	7,21	3,69
Vergleichsregion C - Überschlätiges Verfahren	1.107.000	1.135.000	1,15	2,53	3,11	

* Eingangsgröße für die NKV-Berechnung nach FE 82.0680/2016

Tab. 4-10: Beispielanwendung und Vergleich der Nutzen-Kosten-Verhältnisse mit anderen Verfahren

- Auf die Reisezeitendifferenz hat vor allem die Zahl der bereits bestehenden Radfahrer Einfluss. Dies zeigt sich vor allem am Beispiel Vergleichsregion B. Hier ergibt sich eine positive Reisezeitendifferenz, bei den übrigen Beispielen liegt sie im negativen Bereich.

Für die Nutzen-Kosten-Analyse wurden die bestehenden Kostenschätzungen genutzt.

In Tabelle 4-10 sind die berechneten Nutzen, die Kosten und das Nutzen-Kosten-Verhältnis zusammengetragen. Weiterhin wurde das Nutzen-Kosten-Verhältnis auf Basis der NKA-Rad und der für den RS1 angewandten Methodik berechnet.

Der Vergleich der Nutzen-Kosten-Verhältnisse zeigt deutliche Abweichungen. Die Berechnung auf Grundlage der NKA-Rad ergibt im direkten Vergleich immer ein höheres NKV, zum Teil ist der Wert doppelt so groß. Der große Unterschied ergibt sich aus verschiedenen Komponenten und unterschiedlichen Berechnungsansätzen:

- Bei NKA-Rad werden Unfallkosten eingerechnet. Der Reduzierung der Pkw-Fahrleistung wird mit einer verminderten Anzahl von Unfällen eingerechnet. Die Komponente der Unfallkosten hat in den berechneten Fällen einen Anteil am Gesamtnutzen von 19,5-27,8 %.
- Die Reisezeitendifferenz wird bei der NKA-Rad nicht berücksichtigt, die je nach Betrachtungsfall zu einem negativen Nutzen führen können.
- Die Berechnung der Komponente Gesundheitliche Auswirkungen erhöhter Aktivität weist eine ähnliche Größenordnung wie im vorliegenden Verfahren auf. Die Berechnung der NKA-Rad

beruht jedoch auf einer fehlerhaften Berechnung, sodass die Komponente für das Basisjahr 2006 nur halb so groß sein müsste. Durch die steigenden Kosten im Gesundheitswesen ist nun jedoch tatsächlich ein ähnlich hohes Niveau erreicht.

- Insgesamt basieren viele Nutzenkomponenten der NKA-Rad auf eingesparten Pkw-km (Beitrag zum Klimaschutz, Verrierung der Luftbelastung, Verbesserung der Verkehrssicherheit, Senkung der Betriebskosten). Hierdurch wirkt sich eine hohe Zahl eingesparter Pkw-km stärker auf das Ergebnis der NKV aus. Dies zeigt sich im Beispiel Vergleichsregion C. Hier liegt das NKV aufgrund der hohen Zahl eingesparter Pkw-km im Fall des detaillierten Verfahrens bei 6,04.

Bei der erarbeiteten Nutzen-Kosten-Analyse wird die Zahl der eingesparten Pkw-km zur Berechnung der Umweltkosten und der Einsparung der Fahrzeugbetriebskosten genutzt. Einsparungen im Gesundheitswesen werden anders als bei der NKA-Rad (Senkung der allgemeinen Krankheitskosten) auf Grundlage der Anzahl neu hinzukommender Personen (zwei Fahrten >3,8 km) und nicht über die Menge der Personenkilometer berechnet. Der Berechnungsansatz für die Komponente Reduzierung der Sterblichkeitsrate neu hinzukommender Personen entspricht dem Ansatz der NKA-Rad, der Monetarisierung der Personenkilometer neu hinzukommenden Personen (Fahrten >3,8 km).

Aufgrund der Bekanntheit der Machbarkeitsstudie des RS1 [RVR 2014], wurde die dort angewandte Methodik ebenfalls für einen Vergleich herangezogen. Die Berechnung basiert grundlegend auf der NKA-Rad mit Anpassungen an zwei Komponenten:

- Zur Berücksichtigung von Betriebskosten von Pedelcs erfolgt die Monetarisierung der eingesparten Betriebskosten mit einem Wert von 0,17 Euro/km statt 0,20 Euro/km.
- Unter Verweis auf verschiedene Studien zu höheren Einsparpotenzialen im Gesundheitswesen, erfolgt die Monetarisierung der Senkung der Krankheitskosten mit einem Wert von 0,25 Euro/km statt 0,125 Euro/km.
- Insbesondere die veränderte Bewertung der Senkung der Krankheitskosten führt in jedem der betrachteten Fälle zu einem höheren Nutzen-Kosten-Verhältnis. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis steigt zwischen 0,27 und 1,17 und ist insbesondere abhängig von der Anzahl verlagerter Wege >3,8 km.

4.8 Zwischenfazit

Mit der Erarbeitung eines Verfahrens zur Nutzen-Kosten-Analyse wurde das Ziel verfolgt, auf Grundlage bestehender Rechenansätze ein aktuelles und einheitliches Verfahren zu erarbeiten, dass die Eigenschaften und Belange von RSV in besonderem Maß berücksichtigt.

Es wurden Nutzenkomponenten erarbeitet, für die belastbare Grundlagen, Kenngrößen und Rechenansätze zur Verfügung stehen und die mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden können. Aus diesem Grund wurden einzelne Nutzen-Komponenten wie beispielsweise Unfallkosten, nicht weiter verfolgt.

Die neu hinzugekommene Nutzen-Komponente der Reisezeitdifferenz kann je nach betrachtetem Fall zu negativem Nutzen führen. Beim Vergleich des Nutzen-Kosten-Verhältnisses mit dem Verfahren nach NKA-Rad zeigt sich daher ein zum Teil deutlich geringeres Nutzen-Kosten-Verhältnis.

Die neu erarbeitete Nutzen-Kosten-Analyse stellt gegenüber der bisherigen NKA-Rad eine veränderte Bewertungsrechnung dar, die aufgrund angepasster Komponenten zu anderen Nutzen-Kosten-Verhältnissen führt. Um zukünftig eine vergleichbare Rechengrundlage für alle RSV-Untersuchungen zu haben, ist eine Festlegung beispielsweise in FGSV-Regelwerken anzustreben. Aufgrund verschiedener Eingangsgrößen ist ein Verfahren zur Potenzialanalyse festzulegen, das die Eingangsgrößen liefern kann.

Wie in Bezug auf die Potenzialanalyse dargestellt, bestehen bisher keine Vergleichsprojekte, die eine Evaluierung ermöglichen. Da die Nutzen-Kosten-Analyse auf den Ergebnissen der Potenzialanalyse aufbaut, ist im Rahmen einer Evaluierung zu prüfen, wie sehr sich Unzulänglichkeiten in der Potenzialanalyse auf das Nutzen-Kosten-Verhältnis auswirken. Besonderes Augenmerk sollte hierauf auf der Komponente der Reisezeitveränderung liegen, bei der sowohl die Veränderung der Reisezeit als auch der Verkehrsmittelwahl Einfluss nehmen.

5 Sicherheitsbewertung von Streckenabschnitten

5.1 Methodisches Vorgehen

Die Untersuchung der streckenbezogenen Fragestellungen (siehe Kapitel 2.3) erfolgt anhand einer Verhaltensbeobachtung vor Ort sowie einer Unfallanalyse. Zunächst wird die Auswahl der Untersuchungsstrecken erläutert.

5.1.1 Auswahl der Untersuchungsstrecken

Für die Untersuchung streckenbezogener Fragestellungen werden Abschnitte auf sieben verschiedenen Strecken vorgeschlagen, darunter fünf Abschnitte in Deutschland und zwei in den Niederlanden. Die ausgewählten Radwege sollten auf einem Großteil der Strecke folgende Eigenschaften erfüllen:

- Radweg mit Zweirichtungsbetrieb,
- separater Gehweg,
- annähernd Anforderungen „Radschnellverbindung“ (Breite des Radwegs: $\geq 3,00$ m),
- Ausschluss von Kfz-Verkehr auf der Strecke,
- Verbindungen des Alltagsradverkehrs,
- Länge des Untersuchungsabschnitts: möglichst 2,00 km, mindestens 1,00 km,
- wenn möglich keine plangleichen Kreuzungen mit dem Kfz-Verkehr im untersuchten Abschnitt und
- Berücksichtigung verschiedener Arten der Trennung.

An folgenden Streckenabschnitten wurde die Untersuchung durchgeführt:

- Veloring in Friedrichshafen,
- e-Radschnellweg an der Berliner Straße in Göttingen,
- e-Radschnellweg an der Robert-Koch-Straße in Göttingen,
- Dhünn-Radweg in Leverkusen,
- Nordbahntrasse in Wuppertal,
- Fietssnelweg F35 in Enschede und
- Parallelweg in Zwolle.

Die Eigenschaften und der Verlauf der Untersuchungsabschnitte werden in der Anlage 1.3 dargestellt.

5.1.2 Verhaltensbeobachtung

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass eine alleinige Betrachtung des Unfallgeschehens nicht ausreicht, um typische Konfliktkonstellationen zwischen Fußgängern und Radfahrern zu identifizieren. Verschiedene Studien belegen, dass die Dunkelziffern bei Unfällen unter ausschließlicher Beteiligung von nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmern sehr hoch ist [HAUTZINGER et al. 1993, JUHRA et al. 2011, VON BELOW 2016]. Um Unterschiede feststellen zu können, wurde neben der Analyse der Unfälle zusätzlich eine Verhaltensbeobachtung durchgeführt.

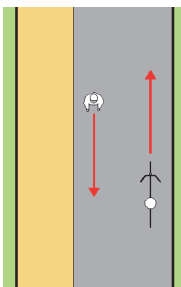
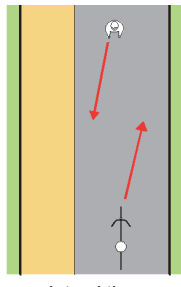
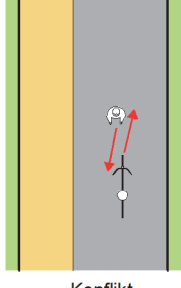
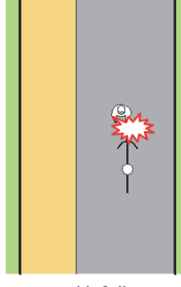
An allen Untersuchungsabschnitten wurde die Querschnittsbelastung mithilfe von standfesten Videokameras über jeweils 24 Stunden aufgezeichnet und gezählt. Die Verkehrszählung erfolgte unter Berücksichtigung der folgenden Kriterien:

- Tagesgang,
- Verkehrsmittel,
- Richtung und
- Querschnittsbelastung gesamt und für die Verkehrsmittelarten.

Zusätzlich wurden stichprobenartig Verfolgungsfahrten auf den Untersuchungsstrecken durchgeführt. Es wurde das Verhalten und die Fahrzeit des vorausfahrenden Radfahrers aufgezeichnet und in einem späteren Arbeitsschritt ausgewertet. An jeder Strecke wurden mindestens 50 Verfolgungsfahrten durchgeführt. Die Aufzeichnung erfolgte mindestens in den folgenden Stundengruppen:

- 7 bis 9 Uhr,
- 12 bis 14 Uhr und
- 16 bis 19 Uhr.

Bei Auswertung der aufgezeichneten Verfolgungsfahrten erfolgte zunächst eine Einordnung jeder Begegnung, unabhängig von den beteiligten Verkehrsarten. Dazu wurden vorab die Begriffe Begegnung, Interaktion und Konflikt definiert. In Tabelle 5-1 ist die Systematik aufbereitet.

Art der Begegnung	Beschreibung
 <p>Begegnung</p>	<p>Begegnung: Ein Begegnungsfall ist dann gegeben, wenn zwei Verkehrsteilnehmer bzw. -gruppen aufeinandertreffen, ohne dass eine Verhaltensänderung erforderlich ist bzw. durchgeführt wird. Dabei ist es unerheblich, ob die beiden Verkehrsteilnehmer in gleicher Richtung fahren bzw. gehen oder entgegengesetzt fahren bzw. gehen.</p>
 <p>Interaktion</p>	<p>Interaktion: Ein Begegnungsfall wurde als Interaktion gewertet, sobald das Aufeinandertreffen der Verkehrsteilnehmer eine Abstimmung ihres Verhaltens erfordert, damit der weitere Verlauf der Begegnung konfliktfrei verläuft.</p>
 <p>Konflikt</p>	<p>Konflikt: Eine Interaktion wird zum Konflikt, wenn zumindest ein Verkehrsteilnehmer eine auffällige Verhaltensanpassung vornimmt, um eine Kollision zu vermeiden, zum Beispiel durch Ausweichen oder abruptes Bremsen.</p>
 <p>Unfall</p>	<p>Unfall: Es kommt zur Kollision und / oder ein Verkehrsteilnehmer kommt zu Fall.</p>

Tab. 5-1: Systematik der Begegnungen

Konfliktfreie Interaktion beinhalten auch Momente der erhöhten Achtsamkeit. Auch das Zusammenreffen gilt als konfliktfreie Interaktion, sofern der wartepflichtige Verkehrsteilnehmer durch frühzeitiges Reagieren (Anhalten bzw. langsamer fahren) dem Vorfahrtberechtigten seine Absicht signalisiert und dieser seine Fahrt ungehindert fortsetzen kann.

Für jede Begegnung wurden die Beteiligten, die Lage und die Art der Verhaltensanpassung erfasst. Grundsätzlich können die Begegnungen zwischen Radfahrern und Fußgängern und zwischen Radfahrern untereinander differenziert werden. Alle registrierten Kriterien werden in Anlage 1.1 aufgeführt.

Zusätzlich wurde für alle Fahrten, die über die gesamte Untersuchungsstrecke aufgezeichnet werden konnten, die Fahrzeiten aufgezeichnet und in Zusammenhang mit der Länge des Untersuchungsabschnitts die durchschnittliche Geschwindigkeit der beobachteten Radfahrer ermittelt. Nicht alle Verfolgungsfahrten konnten für den gesamten Untersuchungsabschnitt durchgeführt werden, da einige verfolgte Radfahrer bereits an Zwischenknotenpunkten abgelenkt sind.

Weiterhin wurde für jede Untersuchungsstrecke eine Interaktionsrate ermittelt. Diese drückt die durchschnittliche Anzahl der Interaktionen aus, die ein Radfahrer auf der jeweiligen Untersuchungsstrecke pro Kilometer ausführt.

Eine Rate aus der Zahl der Interaktionen und der Radverkehrsmenge drückt die durchschnittliche Anzahl an Interaktionen pro Radfahrer aus.

5.1.3 Unfallanalyse

Unfälle mit Personen- und Sachschäden an den untersuchten Knotenpunkten wurden durch die örtlichen Polizeibehörden bereitgestellt. Die gelieferten Daten wurden in GIS übertragen und ausgewertet.

Die durch die Polizeibehörden bereitgestellten, lagebezogenen Unfalldaten umfassen neben den allgemeinen Angaben zu Unfalltyp, Kategorie, Beteiligten und deren Merkmale, Unfallzeit und -datum auch die Unfallprotokolle und Unfallskizzen.

Die Auswertung der Unfallkenndaten erfolgt anhand des Merkblatts zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen [FGSV 2012]. Erläuterungen zu Unfallschwere und Unfalltypen befinden sich in Anlage 1.2.

Strecke	Stadt	Vorher-Zeitraum	Nachher-Zeitraum
Deutschland			
Veloring	Friedrichshafen	2014, 2015, 2016	2017
Berliner Straße	Göttingen	2011, 2012, 2013	2016, 2017
Robert-Koch-Straße	Göttingen	2011, 2012, 2013	2016, 2017
Dhünn-Radweg	Leverkusen	-	-
Nordbahntrasse	Wuppertal	-	-
Niederlande			
F35	Enschede	-	2015, 2016, 2017
Fietssnelweg	Zwolle	-	2015, 2016, 2017

Tab. 5-2: Betrachtungszeiträume bei der Unfallanalyse

Für alle Unfälle wurden neben den Unfallkenndaten Unfallhergänge bzw. Unfalltexte zur Verfügung gestellt. Die Unfälle wurden detailliert analysiert und daraufhin bewertet, ob sie

- unter Beteiligung des Radverkehrs auf der untersuchten Strecke passierten und gleichzeitig
- ihre Ursache im Zusammenhang mit den baulichen und verkehrstechnischen Gegebenheiten haben können.

Die Erfüllung dieser Bedingungen deutet daraufhin, dass der jeweilige Unfall für die vorliegende Fragestellung von besonderer Relevanz ist.

In Anlage 1.3 wird die Unfallsituation an den betrachteten Knotenpunkten beschrieben.

Für die einzelnen Untersuchungsstrecken wurden - sofern in Hinblick auf das Einrichtungsdatum möglich - zwei Betrachtungszeiträume gewählt, um mögliche Veränderungen im Vorher und Nachher-Zeitraum in Bezug auf den Einrichtungszeitpunkt des heutigen Ausbaus nachvollziehen und einen Vergleich zu den Ergebnissen der Verhaltensbeobachtung herstellen zu können. Die Unfälle wurden jeweils für einen Drei-Jahres-Zeitraum vor und nach dem Einrichtungsjahr angefordert, jedoch nur teilweise bereitgestellt. Für die Untersuchungsstrecke in Wuppertal wurden keine Unfälle bereitgestellt.

Ein Vorher-Nachher-Vergleich lässt sich im Ansatz für den e-Radschnellweg Göttingen durchführen, da hier für einen Zwei-Jahres-Zeitraum nach der Einrichtung Unfälle vorliegen. Für Strecken, die innerhalb der letzten Jahre eingerichtet wurden, liegt

noch keine ausreichend Datengrundlage vor, um eine Bewertung treffen zu können. Bei einigen Strecken, wie zum Beispiel auf der Nordbahntrasse in Wuppertal, existierte vor dem Bau noch keine Verbindung.

5.2 Auswertung

Im Folgenden werden die wesentlichen Merkmale und zentralen Ergebnisse der Untersuchung an Streckenabschnitten dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung der Ergebnisse an den einzelnen Untersuchungsstrecken befindet sich in der Anlage 1.3.

Von den sieben untersuchten Streckenabschnitten, die alle eine RSV-ähnliche Infrastruktur aufweisen, erreichen fünf die für RSV angestrebte Querschnittsbelastung von mehr als 2.000 Radfahrten pro Werktag. Die Untersuchungsstrecken in Friedrichshafen und Wuppertal weisen zwar 1.166 und 1.515 Radfahrten pro Werktag grundsätzlich auch eine hohe Radverkehrsbelastung auf, liegen aber damit unterhalb der für RSV angestrebten Mindestauslastung. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Nordbahntrasse in Wuppertal zwar den Querschnitt einer RSV aufweist, aber nicht als eine solche angelegt ist. Der Veloring in Friedrichshafen ist erst in einem ersten Bauabschnitt realisiert. Besonders hohe Querschnittswerte wurden an den Untersuchungsstrecken in Göttingen und in Zwolle mit jeweils mehr als 3.000 Radfahrten/Werktag erfasst. Die gezählten Fußgängerkehrsmengen liegen bei fast allen Querschnitten deutlich unterhalb der jeweils erfassten Radverkehrsmengen. Eine Ausnahme bildet die Berliner Straße in Göttingen, auf der in Bahnhofsnähe mit rund 6.400 Fußgänger/24 h deutlich mehr Fußgänger erfasst wurden als Radfahrer.

Die Auswertung der Verhaltensbeobachtung zeigt deutlich, dass auf allen untersuchten Strecken nur sehr wenige Konflikte verzeichnet wurden. Auf keiner der Strecken wurden jeweils bei mindestens 50 Verfolgungsfahrten mehr als zwei Konflikte beobachtet. Auf dem Veloring in Friedrichshafen und auf den Strecken in Enschede und Zwolle wurde im Betrachtungszeitraum kein Konflikt erfasst. Auf den Strecken in Göttingen und Zwolle wurden nur wenige Unfälle registriert, die auf die Begegnung zwischen Radfahrern oder zwischen Radfahrern und Fußgängern zurückzuführen sind, registriert. In Leverkusen und Enschede wurden für einen Drei-Jah-

res-Zeitraum im heutigen Ausbauzustand keine Unfälle registriert.

Die beiden Untersuchungsstrecken in Göttingen lassen einen Vergleich für die Zeit vor und nach der Errichtung der RSV zu. Da die Zahl der Unfälle entlang der Berliner Straße zugenommen hat, während die Zahl der Unfälle an der Robert-Koch-Straße zurück gegangen ist, lässt sich hier jedoch keine Tendenz feststellen.

Die Einordnung der beobachteten Begegnungen verdeutlicht, dass auf allen Untersuchungsstrecken ein Großteil der Begegnungen ohne eine Interaktion verläuft. Das bedeutet, dass sowohl das Aufeinandertreffen von mehreren Radfahrern als auch das zwischen Radfahrern und Fußgängern meistens keine Reaktion erfasst wurde. Von den erfassten Interaktionen ereignen sich die meisten, unabhängig von den beteiligten Verkehrsteilnehmern, auf freier Strecke. Die Auswertung zeigte keine Auffälligkeit von Knotenpunkten bzw. Querungsstellen mit anderen Radverkehrsanlagen oder Fußgängerquerungsanlagen oder Kreuzungsbereiche mit anderen Straßen. Für die Beteiligung an den erfassten Interaktionen zeigt sich über alle Untersuchungsstrecken hinweg ein einheitliches Ergebnis: Die meisten Interaktionen entstehen durch das Aufeinandertreffen mehrerer Radfahrer. Dies fällt insbesondere auf dem e-Radschnellweg Göttingen (Abschnitt: Berliner Straße) auf: Trotz der deutlich höheren Fußgängerkehrsmenge überwiegt die Zahl der Interaktionen zwischen den Radfahrern untereinander im Streckenverlauf. Unfälle, die auf den untersuchten Strecken polizeilich registriert wurden, ereigneten sich ebenfalls tendenziell häufiger zwischen Radfahrern.

Unter Berücksichtigung unterschiedlicher Arten der Trennung, stellt sich die Frage, ob sich Interaktionen mit dem Fußgängerkehr an einem bestimmten Querschnittstyp häufiger ereignen. An den Untersuchungsquerschnitten Berliner Straße in Göttingen und an der Nordbahntrasse in Wuppertal, bei denen es sich jeweils um nebeneinander liegenden Fahrbahnen handelt, ist der Anteil der Interaktionen zwischen Radfahrern und Fußgängern an allen erfassten Interaktionen tatsächlich höher als an anderen Querschnitten (28 % bzw. 48 %). Hierbei sind die im Vergleich zu anderen Abschnitten hohen Fußgängerkehrsmengen zu berücksichtigen. Der zweite untersuchte Abschnitt in Göttingen an der Robert-Koch-Straße zeigt mit einem Anteil von 8 % an allen Interaktionen keine besonderen Auffäl-

	Friedrichshafen	Göttingen	Göttingen	Leverkusen	Wuppertal	Enschede	Zwolle
	Veloring	Berliner Straße	Robert-Koch-Str.	Dhünn-Radweg	Nordbahntrasse	F 35	Parallelweg
Infrastrukturelle Merkmale							
Breite Fläche Radverkehr	3,50 m	2,50 - 3,50 m	4,00 m	3,00 m	3,50 m	4,00 m	5,30 m
Breite Fläche Fußgänger	2,50 m	1,50 - 5,00 m	2,00 m	2,30 m	2,50 m	1,00 m	1,60 m
Art der Trennung	Grünstreifen	Taktiler Streifen	Taktiler Streifen	Grünstreifen	Taktiler Streifen	Grünstreifen	Grünstreifen
Breite der Trennung	ca. 1,00 m	-	-	0,50 - 2,50 m	-	≥ 2,00 m	1,50 m
Mittelmarkierung	an Knoten	keine	keine	keine	keine	vorhanden	vorhanden
Länge	1,0 km	1,1 km	1,5 km	1,4 km	2,1 km	1,9 km	2,2 km
Verkehrszählung							
Radfahrten/24h	1.166	4.625	3.764	2.245	1.514	2.914	3.500
Fußgänger/24h	588	6.355	475	423	861	134	135
Verhaltensbeobachtung							
Alle Begegnungen	253	3.193	1.900	991	1.033	667	754
Anzahl nur Begegnungen	142	2.835	1.588	719	815	585	690
Anteil nur Begegnungen	56 %	89 %	84 %	73 %	79 %	88 %	92 %
Anzahl nur Interaktionen	111	357	310	270	216	82	64
Anteil nur Interaktionen	44 %	11 %	16 %	27 %	21 %	12 %	8 %
Anzahl nur Konflikte	0	1	2	2	2	0	0
Anteil nur Konflikte	0 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	0 %	0 %
Anzahl der Konflikte/ km	0	0,91	0,97	1,43	0,95	0	0
Interaktionen Rad – Rad							
Anzahl Interaktionen	57	247	288	239	103	53	47
davon auf freier Strecke	31	201	180	104	95	49	47
davon Entgegenkommen	24	130	87	77	57	0	0
davon Überholvorgang	5	65	92	27	38	49	47
Interaktionen Rad – Fußgänger							
Anzahl Interaktionen	19	101	26	21	104	6	6
davon auf freier Strecke	12	70	13	6	98	5	6
davon Entgegenkommen	2	27	5	2	56	3	5
davon Überholvorgang	10	37	8	4	42	2	1
Unfallanalyse							
Zahl der Unfälle (vorher)	0	2	3	0	-	-	-
Zahl der Unfälle (nachher)	-	4	1	0	-	0	2
Rad – Rad (nachher)	-	3	1	0	-	0	1
Rad – Fußgänger(nachher)	-	1	0	0	-	0	0
Unfalldichte (U / (km*3a) (vorher)*	0	1,8	2	-	-	-	-
Unfalldichte (U / (km*3a) (vorher)*	-	-	-	-	-	0	0,9
* Die Angabe der Unfalldichte nach M Uko 2012 erfolgt nur für die Strecken, auf denen Unfälle über einen Zeitraum von 3 Jahren vor der Einrichtung der RSV vorliegen.							
Geschwindigkeit							
Durchschnittliche Fahr- geschwindigkeit (km/h)	20,5	17,5	18,8	19,9	23,4	20,4	21,6
Zahl der Interaktionen pro Kilometer	2,4	4,3	3,3	2,6	1,9	0,7	0,4
Rate Interaktionen / Radverkehrsmenge	0,05	0,05	0,08	0,10	0,07	0,02	0,01

Tab. 5-3: Zusammenfassung der Ergebnisse (Strecken)

lichkeiten bezüglich der Interaktionen zwischen Radfahrern und Fußgängern. Einen ähnlichen Anteil erreichen die Strecken in Leverkusen (8 %), Enschede (7 %) und Zwolle (9 %). Die Interaktionen zwischen Radfahrern und Fußgängern sind hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass Fußgänger auf der Radverkehrsanlage gehen und Radfahrer beim Entgegenkommen oder Überholen ausweichen oder die Geschwindigkeit verringern. Um eine umfangreichere Bewertung zu den beiden Arten der Trennung ableiten zu können, wäre die Unfallauswertung der Wuppertaler Strecke hilfreich. Diese wird in einem laufenden NRVP-Projekt „Radfahrende und zu Fuß Gehende auf gemeinsamen und getrennten selbstständigen Wegen“ durchgeführt.

Die Radfahrer, deren Verhalten im Zuge der Verhaltensbeobachtung erfasst wurden, mussten auf allen Untersuchungsstrecken am häufigsten mit anderen Radfahrern interagieren. Auf der Berliner Straße in Göttingen, auf dem Veloring in Friedrichshafen, auf dem Dhünn-Radweg in Leverkusen und auf der Nordbahntrasse in Wuppertal überwiegen dabei die Interaktionen, die durch das Entgegenkommen mehrerer Radfahrer entstehen. Nahezu alle weiteren Interaktionen auf der freien Strecke werden durch Überholvorgänge geprägt. Auf der Robert-Koch-Straße in Göttingen sowie auf den Strecken in Enschede und Zwolle überwiegen die Überholvorgänge bei den Interaktionen auf freier Strecke. Auf den niederländischen Strecken wurden gar keine Interaktionen während des Entgegenkommens erfasst. Interaktionen auf freier Strecke entstehen hier allein durch Überholvorgänge. Die Ursache für die geringe Zahl der Interaktionen durch Entgegenkommen könnte zum einen auf die Breite des Radwegs von mindestens 4,00 m zurückgeführt werden. Außerdem könnte bei den Strecken in Enschede und Zwolle die Mittelmarkierung eine Erklärung dafür sein. Darüber hinaus können Ursachen, die nicht auf die Infrastruktur zurückgeführt werden können – wie zum Beispiel unterschiedliche Verhaltensweisen der Radfahrer –, nicht ausgeschlossen werden.

Um eine Vergleichbarkeit der betrachteten Untersuchungsstrecken herzustellen wurde die durchschnittliche Anzahl der Interaktionen pro Kilometer ermittelt. Darin werden sowohl die Interaktionen auf der freien Strecke als auch die an den Knotenpunkten gewertet. Am geringsten sind die Interaktionen auf den Strecken in Enschede und Zwolle, wo ein Radfahrer mit durchschnittlichen 0,7 bzw. 0,4 Interaktionen/km festgestellt wurden. Am höchsten ist

der Wert auf dem e-Radschnellweg in Göttingen (Berliner Straße), auf die dem höchsten Rad- und Fußgängerverkehrsmengen gemessen wurden. Eine gemeinsame Betrachtung dieser Werte und der durchschnittlichen Fahrtgeschwindigkeit, ist auf den Strecken sinnvoll, auf denen die Geschwindigkeit nicht durch wartepflichtige Knotenpunkte beeinflusst wird. Dies ist in Leverkusen, Wuppertal, Enschede und Zwolle der Fall. Ein Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Geschwindigkeit und der durchschnittlichen Anzahl an Interaktionen lässt sich jedoch für diese Strecken nicht ableiten. Die höchste durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit wurde mit 23,4 km/h auf der Nordbahntrasse in Wuppertal erfasst. In Zwolle wurde eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 21,6 km/h erfasst. In Enschede und Leverkusen liegt die durchschnittliche Geschwindigkeit bei rund 20 km/h.

Auf den Untersuchungsabschnitten in Göttingen liegt die durchschnittliche Geschwindigkeit mit 17,5 bzw. 18,8 km/h unter der für RSV angestrebte Fahrgeschwindigkeit von mindestens 20 km/h einschließlich der Verlustzeiten an Knotenpunkten. Da hier nur Teilabschnitte des e-Radschnellweges untersucht wurden, könnte sich für die gesamte Ausbaustrecke eine höhere Fahrtgeschwindigkeit ergeben.

Aus den Beobachtungen lässt sich weiterhin eine Rate aus Interaktionen und Verkehrsmenge bilden, dies entspricht der durchschnittlichen Anzahl an Interaktionen pro Verkehrsteilnehmer. Auf den betrachteten Untersuchungsabschnitten liegt diese Rate zwischen 0,01 und 0,1 Interaktionen/Verkehrsteilnehmer. Aus der Ergebnisübersicht wird deutlich, dass auf den Strecken, auf denen diese Rate am geringsten ist (Enschede und Zwolle) auch die Zahl der Konflikte am geringsten ist. Auf den Untersuchungsstrecken, auf denen mit jeweils zwei Konflikten die vergleichsweise höchste Anzahl an Konflikten herrscht, ist auch die Rate aus Interaktionen und Verkehrsmenge am höchsten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Interaktionen auf RSV im Wesentlichen durch Begegnungen mit anderen Radfahrern auf der freien Strecke geprägt werden. Interaktionen mit Fußgängern entstehen dann, wenn Fußgänger auf dem RSV laufen, und kommen seltener vor als Interaktionen mit anderen Radfahrern. Während an Querschnitten mit Breiten für die RSV unter 4,00 m die Interaktionen hauptsächlich durch das Entgegenkommen mehrerer Radfahrer entstehen, überwiegen

bei Breiten ab 4,00 m die Überholvorgänge. Die Zahl der auftretenden Konflikte unterliegt zunächst nicht dem direkten Einfluss der Verkehrsstärke auf der RSV. Die Ergebnisse deuten vielmehr darauf hin, dass die durchschnittliche Anzahl an Interaktionen, die ein Radfahrer erlebt, in Zusammenhang mit den beobachteten Konflikten steht. Dieses Erkenntnis legt nahe, dass Querschnitte auch hohe Verkehrsmengen aufnehmen und konfliktfrei abwickeln können, wenn die infrastrukturelle Ausprägung das Auftreten von Interaktionen zwischen den Verkehrsteilnehmern reduziert. Dazu gehört insbesondere die Reduzierung der Interaktionen im Begegnungsverkehr durch Breiten ab 4,00 m. Die Beobachtungen zeigten tendenziell einen positiven Einfluss der Mittelmarkierung zur Vermeidung von Interaktionen zwischen den Radfahrern.

An Knotenpunkten mit anderen Radverkehrs- und Fußgängeranlagen konnten keine besonderen Auffälligkeiten verzeichnet werden. Die Art der Trennung zwischen Geh- und Radweg scheint auf der freien Strecke dann eine bedeutende Rolle einzunehmen, wenn die Fußgängerverkehrsstärke vergleichsweise hoch ist. Insgesamt zeigte sich auf allen Strecken ein geringes Konfliktniveau, was durch die Unfallanalyse gestärkt wird.

5.3 Zwischenfazit

Die Zahl der in Deutschland umgesetzten RSV ist bislang gering. Die meisten der untersuchten Strecken sind teilweise im engeren Sinne keine RSV sowie wurden erst in den letzten Jahren realisiert. Die Durchführung der Untersuchung mit einer erheblich größeren Stichprobe sowie einer umfangreichen Vorher-Nachher-Betrachtung im Rahmen der Unfallanalyse, ist derzeit nicht möglich. In Kapitel 1.3 ist festgehalten, dass derzeit zahlreiche Trassen auf ihre Machbarkeit hin geprüft werden. Es ist demnach zu erwarten, dass sich die Zahl der umgesetzten RSV in Deutschland in den nächsten Jahren erhöht und somit eine vertiefte Untersuchung dieser Strecken möglich sein wird.

Aus den hier vorliegenden Auswertungen lassen sich jedoch erste Tendenzen für Elemente der RSV ableiten. Bei selbstständig geführten RSV von mindestens 4,00 m zuzüglich eines separat geführten Gehwegs lassen sich Störungen, die durch die Begegnungen von Radfahrer untereinander entstehen, verringern. Weiterhin zeigen die Ergebnisse der Untersuchung auf, dass sich die die Markierung

einer mittleren Leitlinie positiv im Sinne Vermeidung von Interaktionen zwischen den Radfahrern auswirkt.

Die Art der Trennung ist auf Streckenabschnitten mit einer sehr hohen Fußgängerverkehrsstärke von Bedeutung. In diesen Fällen sollte ein deutlicher breiter Trennstreifen eingesetzt werden. Auf anderen Streckenabschnitten können in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten sowohl Breite als auch weiche Trennungen empfohlen werden.

Neben der Untersuchung der hier vorliegenden Forschungsfragen an umgesetzten Verbindungen, besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich weiterer umgesetzter Führungsformen mit den Anforderungen der RSV.

6 Sicherheitsbewertung an Knotenpunkten

6.1 Methodisches Vorgehen

Für die Untersuchung der in Kapitel 2.3 genannten Fragestellungen wurden an 10 innerörtlichen Überquerungsstellen Verhaltensbeobachtungen vor Ort sowie Unfallanalysen durchgeführt. Zunächst wird die Auswahl der Untersuchungsknotenpunkte erläutert.

6.1.1 Auswahl der Untersuchungsknotenpunkte

In der Verhaltensbeobachtung und der Unfallanalyse werden insgesamt 10 Knotenpunkte des Typs „Bevorrechtigte Überquerungsstelle“ näher betrachtet. Dabei handelt es sich um eine selbstständig geführte Radverkehrsanlage (ohne Zulassung von Kfz-Verkehr), die eine Fahrbahn bevorrechtigt kreuzt. Der Verkehr in der untergeordneten Zufahrt ist dabei wartepflichtig. Die verkehrsrechtliche Anordnung wird durch das StVO Zeichen angeordnet und kann durch Markierung verdeutlicht werden. In den Untersuchungsbeispielen wird die verkehrsrechtliche Anordnung in vielen Fällen durch bau- oder weitere markierungstechnische Elemente unterstützt. Wesentliche Elemente sind die folgenden:

Fahrbahnanhebung

Der bevorrechtigte Radweg wird auf einem höheren Niveau über den Kreuzungsbereich geführt als die untergeordnete Straße. Die Anhebung (siehe Bild



Bild 6-1: Beispiel für eine Fahrbahnanhebung [Foto: Planungsbüro VIA eG]



Bild 6-2: Beispiel für eine Roteinfärbung [Foto: Planungsbüro VIA eG]



Bild 6-3: Beispiel für eine Fahrbahneinengung [Foto: Planungsbüro VIA eG]



Bild 6-4: Beispiel für einen parallel angeordneten Fußgängerüberweg [Foto: Planungsbüro VIA eG]

6-1) wird dabei durch einen Kantenstein oder durch eine Aufpflasterung ausgeführt

Einfärbung der Radverkehrsfurt

Die Radverkehrsfurt wird durch eine flächenhafte Einfärbung in Rot (Beispiel siehe Bild 6-2) umgesetzt. Dies soll laut Regelwerk jedoch nur an Gefahrenstellen ausgeführt werden. In den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen wird beispielsweise die Einfärbung der Radverkehrsfurt im Zuge von Zweirichtungsradwegen angewendet, wenn keine sicherheitserhöhende Radwegüberfahrt möglich ist.

Fahrbahneinengung in der untergeordneten Straße

In den wartepflichtigen Zufahrten wird die Breite der Fahrbahn verkehrstechnisch bzw. baulich verringert. Dies kann beispielsweise durch die Markierung einer Sperrfläche in Kombination mit Leitbaken, eine Aufpflasterung oder durch eine Bepflan-

zung erfolgen. Die Einengung sollte dabei keine Beeinträchtigung der Sicht herbeiführen.

An manchen Knotenpunkten wird bei ausreichendem Fußgängeraufkommen parallel zur Radverkehrsquerung ein Fußgängerüberweg (Beispiel siehe Bild 6-3) angeordnet.

Die 10 Untersuchungsknotenpunkte werden im Folgenden anhand der oben genannten bau- und markierungstechnischen Ausprägungen sowie der verkehrsrechtlichen Anordnung charakterisiert und räumlich verortet. Weiterhin wird dargestellt, welche verkehrliche Regelung vor dem Einrichtungsjahr am jeweiligen Knotenpunkt existierte.

Tabelle 6-1 fasst die wesentlichen Eigenschaften der Untersuchungsknotenpunkte zusammen. Die detaillierten Charakteristika sind in Anlage 2.2 dargestellt.

	Am Lehester Deich/ Jan-Reiners-Weg	Hamshofweg / Jan-Reiners-Weg	Am Postteich / Birkendamm	Waldheiderstraße / Birkendamm	Fritz-Horch-Weg / Sandfangweg	Jägerstraße / Wickopweg	Querung Stadtfelddamm	Wilhelm-Blum- Straße / Bracke- buschstraße	Steinstraße / Bahndammroute	Hesepet Weg / Weg am Kanal
Infrastruktur und Anordnung										
Fahrbahnanhebung vor- handen	ja	ja	ja	ja	nein	nein	nein	ja	ja	ja
Einfärbung vorhanden	nein	nein	nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja	ja
FGÜ vorhanden	nein	nein	ja	ja	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Fahrbahneinengung	nein	nein	ja	ja	nein	ja	ja	nein	ja	ja
Wartepflicht durch Zeichen	205	205	206	205	205 / 350	205	206	205	205	205
Charakteristik der untergeordneten Straße										
Straßenkategorie	ES V	ES V	ES V	ES V	ES V	ES V	ES V	ES V	ES V	ES V
Einordnung	Wohn- straße	Wohn- weg	Wohn- straße	Wohn- straße	Wohn- straße	Wohn- straße	Wohn- straße	Wohn- straße	Wohn- straße	Wohn- straße
zul. Höchstgeschwindigkeit	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Sonstiges	T30- Zone	T30- Zone / Fahrrad- str.	T30- Zone	T30- Zone	T30- Zone	T30- Zone	-	T30- Zone	T30- Zone	
Nachbarknoten	-	Rechts vor Links / Vorfahrt	Rechts vor Links	Rechts vor Links	Rechts vor Links	Rechts vor Links	Vorfahrt (301)	Rechts vor Links	Rechts vor Links	Vorfahrt
Erkennbarkeit und Sicht										
Bewertung der Sicht (un- tergeordnete Zufahrt 1)	stark eingeschränkt	gegeben	stark eingeschränkt	teilweise eingeschränkt	gegeben	teilweise eingeschränkt	teilweise eingeschränkt	stark eingeschränkt	gegeben	teilweise eingeschränkt
Bewertung der Sicht (un- tergeordnete Zufahrt 1)	teilweise eingeschränkt	teilweise eingeschränkt	teilweise eingeschränkt	teilweise eingeschränkt	teilweise eingeschränkt	stark eingeschränkt	stark eingeschränkt	stark eingeschränkt	teilweise eingeschränkt	stark eingeschränkt
Erkennbarkeit des Knotens aus den überge- ordneten Zufahrten	schwach	gut	gut	gut	schwach	gut	gut	schwach	gut	gut
Erkennbarkeit des Knotens aus den unterge- ordneten Zufahrten	schwach	gut	gut	gut	gut	gut	gut	schwach	gut	gut

Tab. 6-1: Ergebnisse im Überblick (Knotenpunkte)

6.1.2 Verhaltensbeobachtung

Das Geschehen an den Untersuchungsknotenpunkten wurde durch Kameras jeweils über 24 Stunden kontinuierlich aufgezeichnet. Anschließend erfolgten anhand der Videoaufnahmen eine Verkehrszählung und die Auswertung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer, die den Knoten passiert haben. Die Aufzeichnungen erfolgten im Juni und Juli 2018, jeweils an einem Dienstag oder Donnerstag in einer Woche ohne Feiertag in dem jeweiligen Bundesland.

Für die Analyse des Verhaltens von Radfahrern und Autofahrern wurden vorab die Begriffe Situation, Begegnung, Interaktion und Konflikt definiert. Eine Situation ist dann gegeben, wenn ein Verkehrsteilnehmer den Knotenpunkt passiert. Auch diese Fälle werden erfasst und das Verhalten des Verkehrsteilnehmers beobachtet, um mögliche Einflüsse durch die Infrastruktur erkennen zu können. In Tabelle 6-2 ist die Systematik aufbereitet.

Neben der Zuordnung der genannten Situation erfolgte die Erfassung der Beteiligten:

- Radfahrer unbeeinflusst,
- Radfahrer als Gruppe,
- Kfz unbeeinflusst,
- Kfz in Kolonne,
- Fußgänger unbeeinflusst,
- Fußgänger als Gruppe,
- Ggf. besondere Verkehrsmittel (Kickboard u.Ä.).
- Für die Kfz in den wartepflichtigen Zufahrten wird außerdem erfasst:
 - Kfz hält vor der Überquerungsstelle an;
 - Kfz hält nicht vor der Überquerungsstelle an und
 - Kfz weicht im Knotenpunktbereich aus

6.1.3 Unfallanalyse

Unfälle mit Personen- und Sachschäden an den untersuchten Knotenpunkten wurden durch die örtlichen Polizeibehörden bereitgestellt. Die in unterschiedlichen Formaten gelieferten Daten wurden in GIS übertragen und ausgewertet.

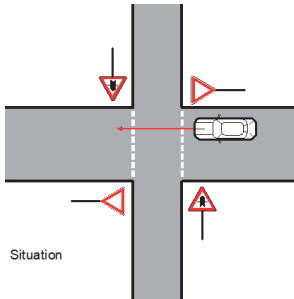
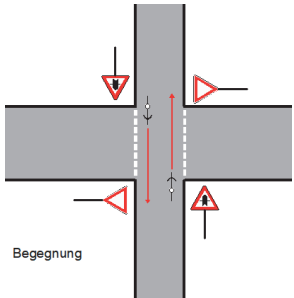
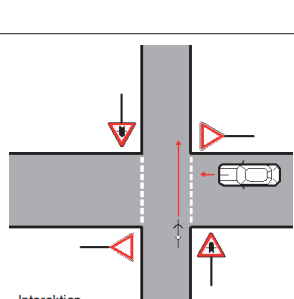
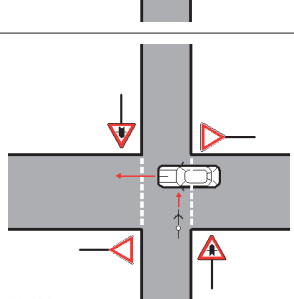
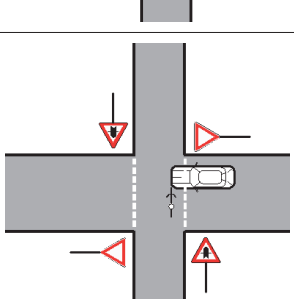
Die durch die Polizeibehörden bereitgestellten, lagebezogenen Unfalldaten umfassen neben den allgemeinen Angaben zu Unfalltyp, Kategorie, Beteiligten, Soziodemographie, Unfallzeit und -datum auch die Unfallprotokolle und Unfallskizzen.

Die Auswertung der Unfallkenndaten erfolgt anhand des Merkblatts zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen [FGSV 2012]. Erläuterungen zu Unfallschwere und Unfalltypen befinden sich in Anlage 2.1.

Für alle Unfälle wurden neben den Unfallkenndaten Unfallhergänge bzw. Unfalltexte zur Verfügung gestellt. Diese Unfälle wurden detailliert analysiert und daraufhin bewertet, ob die Unfälle

- unter Beteiligung des Radverkehrs am untersuchten Knotenpunkt passierten und gleichzeitig
- ihre Ursache im Zusammenhang mit den baulichen und verkehrstechnischen Gegebenheiten haben können.

Die Erfüllung dieser Bedingungen deutet daraufhin, dass der jeweilige Unfall für die vorliegende Fragestellung von besonderer Relevanz ist.

Art der Situation	Beschreibung
 <p>Situation</p>	<p>Situation: Ein Verkehrsteilnehmer bzw. eine Verkehrsteilnehmergruppe befährt den Knotenpunkt ohne, dass sich ein anderer Verkehrsteilnehmer dort aufhält.</p>
 <p>Begegnung</p>	<p>Begegnung: Ein Begegnungsfall ist dann gegeben, wenn zwei Verkehrsteilnehmer bzw. -gruppen aufeinandertreffen, ohne dass eine Verhaltensänderung erforderlich ist bzw. durchgeführt wird. Dabei ist es unerheblich, ob die beiden Verkehrsteilnehmer in gleicher Richtung fahren bzw. gehen oder entgegengesetzt fahren bzw. gehen.</p>
 <p>Interaktion</p>	<p>Interaktion: Ein Begegnungsfall wurde als Interaktion gewertet, sobald das Aufeinandertreffen der Verkehrsteilnehmer eine Abstimmung ihres Verhaltens erfordert, damit der weitere Verlauf der Begegnung konfliktfrei verläuft.</p>
 <p>Konflikt</p>	<p>Konflikt: Eine Interaktion wird zum Konflikt, wenn zumindest ein Verkehrsteilnehmer eine auffällige Verhaltensanpassung vornimmt, um eine Kollision zu vermeiden, zum Beispiel durch Ausweichen oder abruptes Bremsen.</p>
 <p>Unfall</p>	<p>Unfall: Es kommt zur Kollision und / oder ein Verkehrsteilnehmer kommt zu Fall.</p>

Tab. 6-2: Systematik der Begegnungen in Knotenpunkten

In Anlage 2.2 wird die Unfallsituation an den betrachteten Knotenpunkten beschrieben.

Knotenpunkte	Stadt	Vorher-Zeitraum	Nachher-Zeitraum
Am Lehester Deich/ Jan-Reiners-Weg	Bremen	2010, 2011, 2012	2014, 2015, 2016
Hamshofweg / Jan-Reiners-Weg	Bremen	2010, 2011, 2012	2014, 2015, 2016
Am Postteich / Birkendamm	Detmold	2014, 2015, 2016	-
Waldheiderstraße /Birkendamm	Detmold	2014, 2015, 2016	-
Fritz-Horch-Weg / Sandfangweg	Freiburg i. Br.	2008, 2009, 2010	2013, 2014, 2015
Jägerstraße / Wickopweg	Hannover	-	2015, 2016, 2017
Querung Stadtfelddamm	Hannover	-	2015, 2016, 2017
Wilhelm-Bluhm-Straße / Brackebuschstraße	Hannover	-	2015, 2016, 2017
Steinstraße / Bahndammroute	Kleve	2012, 2013, 2014	2016, 2017
Hesepfer Weg / Weg am Kanal	Nordhorn	2014, 2015, 2016	-

Tab. 6-3: Betrachtungszeiträume der Unfallanalyse für Untersuchungsabschnitte

Für die einzelnen Knotenpunkte wurden – sofern in Hinblick auf das Einrichtungsdatum möglich – zwei Betrachtungszeiträume gewählt, um mögliche Veränderungen im Vorher- und Nachher-Zeitraum in Bezug den Einrichtungszeitpunkt der bevorrechtigten Querungsstelle nachvollziehen und einen Vergleich zu den Ergebnissen der Verhaltensbeobachtung herstellen zu können. Die Unfälle wurden jeweils für einen Drei-Jahres-Zeitraum vor und nach dem Einrichtungsdatum angefordert. Da die Bevorrechtigung an den Querungsstellen in Detmold und in Kleve erst im Jahr 2017 eingerichtet wurde, werden die Unfälle für diese Knotenpunkte für den Vorher-Zeitraum (2014 - 2016) betrachtet. Für die drei Knotenpunkte in Hannover liegen für den Zeitraum vor der Bevorrechtigung des Radverkehrs keine Unfalldaten vor.

6.2 Auswertung

Die detaillierten Ergebnisse zu Verhaltensbeobachtung und Unfallanalyse für die einzelnen Knotenpunkte sind in der Anlage 2.2 dargestellt.

Tabelle 6-4 fasst die Ergebnisse der Verhaltensbeobachtung, der Verkehrszählung und der Unfallanalyse der einzelnen Untersuchungsknotenpunkte zusammen.

Die Übersicht der Ergebnisse zeigt deutlich, dass die Verkehrsstärken an den einzelnen Knoten sowie die Zahl der erfassten Situationen eine breite Spannweite aufweisen. Sie reicht von 1.738 Fahrzeugen bzw. Fahrrädern am Birkendamm in Detmold (781 Situationen) bis zu 15.130 Fahrzeugen bzw. Fahrrädern an der Radvorrangroute in Freiburg (4.551 Situationen) pro 24 h. Die Kfz-Verkehrsstärke auf der untergeordneten Straße reicht von 469 bis zu 3.366 Fahrzeugen/ 24 h. Die Radver-

kehrsstärke im Querschnitt liegt zwischen 256 bis 9.189 Fahrrädern/ 24 h.

Der Anteil der Situationen, in denen die jeweiligen Verkehrsteilnehmer auf andere Verkehrsteilnehmer reagieren mussten, liegt zwischen 4 und 33 %. Demnach passieren die einzelnen Verkehrsteilnehmer bzw. Verkehrsteilnehmergruppen bei einem Großteil aller erfassten Situationen den jeweiligen Knoten, ohne dass sich ein anderer Verkehrsteilnehmer dort aufhält.

Weiterhin ist festzuhalten, dass an manchen Knotenpunkten mehrere der genannten Ausstattungsmerkmale vorkommen. Eine Auswertung durch Gliederung der Untersuchungsknotenpunkte in homogene Gruppen hat sich als nicht zweckmäßig gezeigt, da bei der geringen Anzahl der betrachteten Knotenpunkte andere Merkmale einen verzerrenden Einfluss auf das Ergebnis nehmen. Die hier aufgeführten Ergebnisse lassen die Ableitung erster Tendenzen zur Sicherheitsbewertung der Überquerungsstellen zu, können jedoch keine statistisch abgesicherten Erkenntnisse liefern.

Insgesamt wurde an allen Knotenpunkten ein geringes Konfliktniveau von unter einem Prozent verzeichnet. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass an den Knotenpunkten, die eine Verkehrsstärke von mehr als 2.000 Kfz/24 h auf der untergeordneten Straße aufweisen, im Vergleich zu den anderen untersuchten Querungsstellen mehr Konflikte auftreten.

Die Berücksichtigung der infrastrukturellen Ausstattungsmerkmale liefert keine eindeutigen Erkenntnisse: Die vier Knotenpunkte, an denen mit mehr als 10 Vorfällen vergleichsweise die häufigsten Konflikte auftraten, weisen alle unterschiedliche Ausstattungsmerkmale auf. Auffällig ist, dass der

	Am Lehester Deich/ Jan-Reiners-Weg	Hamshofweg / Jan-Reiners-Weg	Am Postteich / Birkendamm	Waldheiderstraße / Birkendamm	Fritz-Horch-Weg / Sandfangweg	Jägerstraße / Wickopweg	Querung Stadtfelddamm	Wilhelm-Blum-Str- aße / Brackebusch- straße	Steinstraße / Bahn- dammroute	Hesep Weg / Weg am Kanal
Ergebnisse der Verhaltensbeobachtung										
Anzahl nur Situationen	2482	1466	716	1652	3086	2676	2644	2535	744	1684
Anteil nur Situationen	80,66%	73,30%	91,68%	87,36%	67,81%	62,57%	69,47%	60,14%	87,94%	77,28%
Anzahl nur Begegnungen	372	76	28	108	603	197	727	1026	64	282
Anteil nur Begegnungen	12,09%	3,80%	3,59%	5,71%	13,25%	4,61%	19,10%	24,34%	7,57%	12,94%
Anzahl nur Interaktionen	221	457	36	126	848	1401	425	631	38	201
Anteil nur Interaktionen	7,18%	22,85%	4,61%	6,66%	18,63%	32,76%	11,17%	14,97%	4,49%	9,22%
Anzahl nur Konflikte	2	1	1	5	14	3	10	23	0	12
Anteil nur Konflikte	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %	< 1 %
Gesamt	3077	2000	781	1891	4551	4277	3806	4215	846	2179
Häufigkeit Begegnung Rad/Rad	219	242	16	16	476	631	332	495	7	38
Häufigkeit Begegnung Rad/Kfz	180	110	27	140	414	198	321	330	27	151
Konfliktanalyse										
Anzahl Konflikte	2	1	1	5	14	3	10	23	0	12
... davon Rad / Kfz	1	1	1	3	8	2	8	16	0	8
... davon Rad / Rad	1	0	0	1	6	1	2	4	0	0
Konflikte mit Vorfahrtver- letzung	2	0	1	4	10	2	5	13	0	7
Unfallanalyse										
Unfälle im Vorher-Zeit- raum	0	0	0	1	4	-	-	-	0	0
Unfälle im Nachher-Zeit- raum	0	0	-	-	1	0	5	1	0	-
... davon Rad / Kfz (Nachher)	0	0	-	-	1	0	5	1	0	-
Verteilung der Verkehrsströme am Knoten										
Kfz-Hauptrichtung 1 (ge- radeaus)	798	588	233	1404	1201	933	1037	825	535	1317
Kfz-Hauptrichtung 2 (ge- radeaus)	761	588	237	1459	1988	908	2329	1254	664	1697
Kfz-Hauptrichtung gesamt (geradeaus)	1559	1177	469	2863	3190	1841	3366	2079	1200	3014
Rad-Hauptrichtung 1 (ge- radeaus)	2085	1122	556	607	4541	846	1910	3808	138	616
Rad-Hauptrichtung 2 (ge- radeaus)	2021	1069	513	562	4648	1587	1917	3427	119	590
Rad-Hauptrichtung ge- samt (geradeaus)	4106	2190	1069	1169	9189	2434	3827	7235	256	1206
Radfahrer biegen in Rad- weg ein	1001	530	89	173	1246	1014	1915	1598	77	475
Radfahrer biegen aus Radweg ab	880	613	85	189	924	558	1862	946	49	364
Abbieger gesamt	1881	1142	173	362	2170	1572	3778	2545	126	839

Tab. 6-4: Ergebnisse im Überblick (Knotenpunkte)

	Am Lehester Deich/ Jan-Reiners-Weg	Hamshofweg / Jan-Reiners-Weg	Am Postteich / Birkendamm	Waldheiderstraße / Birkendamm	Fritz-Horch-Weg / Sandfangweg	Jägerstraße / Wickopweg	Querung Stadtfelddamm	Wilhelm-Blum-Stra- ße / Brackebusch- straße	Steinstraße / Bahn- dammroute	Hesepet Weg / Weg am Kanal
Rf auf der untergeordne- ten Straße (1)	285	362	23	121	516	586	435	413	187	221
Rf auf der untergeordne- ten Straße (2)	266	339	17	62	211	503	475	303	85	296
Rf auf der untergeordne- ten Straße (1+2)	551	701	40	183	728	1090	910	716	271	516
GESAMT	8.117	5224	1738	4563	15130	6970	11894	12575	1795	5578
Verkehrsanteile am Knoten										
Kfz	1580	1188	469	2912	3232	1875	3372	2079	1226	3014
davon Schwerverkehr (SV-Anteil an Kfz)	82	33	4	157	51	149	127	51	41	61
Fahrräder	6.537	4036	1.269	1.651	11.898	5.095	8.522	10.496	569	2.564
Radverkehrsanteil am Knoten	81%	77%	73%	36%	79%	73%	72%	83%	32%	46%

Tab. 6-4: Ergebnisse im Überblick (Knotenpunkte) (Fortsetzung)

Knoten mit den meisten Konflikten (Wilhelm-Bluhm-Straße / Brackebuschstraße) sowohl stark eingeschränkte Sichtverhältnisse als auch eine schlechte Erkennbarkeit aufweist.

Bei den erfassten Konflikten handelt es sich überwiegend um Konflikte zwischen Radfahrer und Kraftfahrzeugen. Die meisten Konflikte entstehen durch die Missachtung der Vorfahrt durch die wartepflichtigen Verkehrsteilnehmer. Dies geschieht sowohl in der Konstellation Kfz – Rad als auch zwischen mehreren Radfahrern. Die Unfallanalyse zeigt ebenfalls, dass die meisten Unfälle durch die Missachtung der Vorfahrt durch den Kfz-Verkehr entstehen.

Anlage 2 zeigt u. a. die zeitliche Verteilung der erfassten Interaktionen. Es wird deutlich, dass sich der überwiegende Teil der beobachteten Konflikte in den Vormittags- und Nachmittagsspitzenstunden ereignete. Konflikte in verkehrsschwachen Zeiten sind jedoch nicht auszuschließen.

Keiner der betrachteten Untersuchungsknotenpunkte lässt sich nach dem M Uko 2012 als Unfallhäufungsstelle einstufen. An vier von zehn Knotenpunkten wurde gar kein Unfall im Zeitraum nach der Umgestaltung amtlich registriert. Die im Vergleich höchste Zahl an Unfällen ereignete sich an der Querungsstelle Stadtfelddamm. An diesem Knoten ereigneten sich fünf Unfälle in der Konstellation Kfz – Rad, hervorgerufen durch die Missachtung der Vorfahrt. Neben den eingeschränkten Sichtverhält-

nissen hebt sich dieser Knotenpunkt dadurch hervor, dass die untergeordnete Straße an den Nachbarknoten die Vorfahrt (Zeichen 301 StVO) erhält. Ebenso interessant ist ein Vorher-Nachher-Vergleich der bevorrechtigten Querungsstelle in Freiburg i. Br. (Fritz-Horch-Weg / Sandfangweg): Nach der Markierung eines Fußgängerüberweges ist die Zahl der Unfälle zurück gegangen, jedoch weist die Stelle im Vorher-Nachher-Zeitraum keinen Unfall mit Fußgängerbeteiligung auf. Deshalb sind solche Stellen weiter zu untersuchen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die untersuchten Überquerungsstellen mit Bevorrechtigung für den Radverkehr weder eine besondere Auffälligkeit in der Konflikt- oder Unfallhäufigkeit ausweisen. Ebenso legen die Ergebnisse nahe, dass die Bevorrechtigung der RSV ohne bauliche und betriebliche Defizite sowie guten Sichtverhältnissen bis zu einer Querschnittsbelastung von 2.000 Kfz/24h auf der untergeordneten Straße mit nachfolgenden Einschränkungen möglich ist. Da sich die hier vorliegende Untersuchung auf innerörtliche Querungsstellen im Erschließungsstraßennetz und Straßen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h durchgeführt wurde, beschränken sich alle abgeleiteten Empfehlungen auf diese Einsatzbedingungen. Das Konfliktniveau bei Querungsstellen mit Verkehrsstärken von 2.000 bis zu 3.500 Kfz/24h auf der untergeordneten Straße ist ebenfalls als gering zu bezeichnen, wenn auch höher als an den Querungsstellen mit geringerer Kfz-Verkehrsstärke. Für

den Bereich mit mehr als 3.500 Kfz/24 h auf der untergeordneten Straße lassen sich aus der vorliegenden Untersuchung keine Erkenntnisse ableiten.

Aus der Betrachtung einzelner Knotenpunkte lässt sich weiterhin die Tendenz ableiten, dass zusätzliche Ausstattungsmerkmale eine positive Auswirkung auf die Verkehrssicherheit haben können. Die Kombination aus eingeschränkten Sichtverhältnissen und schlechter Erkennbarkeit des Knotenpunktes scheint sich negativ auf das Konfliktniveau des Knotens auszuwirken.

6.3 Einordnung der Ergebnisse und Empfehlung

Die Zahl der in Deutschland realisierten Radschnellverbindungen ist bislang gering. Die meisten dieser Strecken wurden erst in den letzten Jahren realisiert. Die Durchführung der Untersuchung mit einer erheblich größeren Stichprobe sowie eine Vorher-Nachher-Betrachtung im Rahmen der Unfallanalyse, die die hier tendenziell festgestellten Ergebnisse hätten stärken können, ist derzeit nicht möglich.

Aus den hier vorliegenden Ergebnissen lassen sich jedoch erste Tendenzen zu der Bewertung der Verkehrssicherheit an Querungsstellen mit Bevorrechtigung für den Radverkehr erkennen und Empfehlungen ableiten. Die Bevorrechtigung des RSV bis zu einer Querschnittsbelastung von 2.000 Kfz/24 h auf der untergeordneten Straße im innerörtlichen Erschließungsstraßennetz mit mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von bis zu 30 km/h und ohne bauliche und betriebliche Defizite sowie guten Sichtverhältnissen ist möglich. Die Querungsstelle sollte dabei nicht allein durch die Beschilderung nach der Straßenverkehrsordnung gekennzeichnet sein, sondern mit weiteren infrastrukturellen Elementen ausgestattet werden, um die Erkennbarkeit des Knotens zu erhöhen. Die Markierung einer Radverkehrsfurt allein ist aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse nicht empfehlenswert. Eine bevorrechtigte Führung der RSV ist insbesondere dann zu prüfen, wenn die untergeordnete Straße an den Nachbarknotenpunkten eine übergeordnete Führung aufweist.

Eine Bevorrechtigung der RSV ist bei untergeordneten Straßen im innerörtlichen Erschließungsstraßennetz mit mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von bis zu 30 km/h und mit einer Verkehrsstärke

von 2.000 bis zu 3.500 Kfz/24h zu prüfen. Hier ist der Einsatz von zusätzlichen Ausstattungsmerkmalen wie Fahrbahnanhebungen, Furteinfärbungen etc. Insgesamt sind ausreichende Sichtverhältnisse und eine gute Erkennbarkeit unverzichtbar. Für diesen Einsatzrahmen sind weitere Erfahrungswerte aus der Praxis auszuwerten. Für den Einsatzbereich ab 3.500 Kfz/24h auf der untergeordneten Straße lassen sich aus der Untersuchung keine Empfehlungen ableiten.

Die vorliegende Untersuchung lässt weiterhin keine Rückschlüsse auf den Einsatz bevorrechtigter Querungsstellen außerhalb des Erschließungsstraßennetzes im innerörtlichen Bereich und für außerörtliche Knotenpunkte zu. Bei Letzteren sind insbesondere Konflikte in Folge der hohen Geschwindigkeiten zu erwarten. Hieraus kann ein weiterer Forschungsbedarf abgeleitet werden.

Darüber hinaus sollte nach Realisierung der zahlreichen geplanten RSV eine Evaluation hinsichtlich der Knotenpunktgestaltung und der verwendeten Ausstattungsmerkmale durchgeführt werden, welche in einigen Jahren auf Grundlage einer breiteren statistischen Basis möglich sein wird.

7 Einsatzbereiche typischer Knotenpunktformen

7.1 Methodisches Vorgehen

Das Arbeitspapier Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen empfiehlt maximale Grenzwerte für die mittleren Zeitverluste, die durch Anhalten und Warten an Knotenpunkten im Zuge von Radschnellverbindungen entstehen. Die mittleren Verlustzeiten sollen demnach 15 Sekunden (außerorts) und 30 Sekunden (innerorts) je Kilometer nicht überschreiten. Diese Werte sind den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen entnommen [FGSV 2010: 10]. Um diese maximalen Grenzwerte einhalten zu können, gilt es, die Knotenpunkte im Zuge der Radschnellverbindung entsprechend zu gestalten.

Als Verlustzeit wird die Zeit bewertet, die durch das Anhalten, Warten und Beschleunigen an einem Knotenpunkt im Vergleich zur Ausgangsgeschwindigkeit (bei ungehinderter Fahrt auf freier Strecke) verloren geht. Während sich die mittleren Wartezeiten an einem Knotenpunkt über das HBS (2015) er-

mitteln lassen, unterliegen die durchschnittlichen Brems- und Beschleunigungszeiten für Radfahrer einer Spannbreite von ca. 6 bis 12 Sekunden [BULLA 2004], da sie neben Infrastruktur und Topographie von folgenden Faktoren abhängig sind:

- Ausgangsgeschwindigkeit,
- Sichtverhältnisse (kommt es wirklich zum Stillstand oder wird die Geschwindigkeit nur reduziert und dann wieder beschleunigt),
- Fahrverhalten und
- Fahrradtyp und Zustand.

Die Wartezeit an Verkehrsknoten ist, neben entwurfstechnischen (baulichen), steuerungstechnischer (z. B. Lichtsignalschaltung) und verkehrlichen Größen (z. B. Zusammensetzung des Verkehrsstroms) und allgemeinen äußeren Bedingungen (Unfälle, Baustellen etc.) [FGSV 2015a], abhängig vom Verkehrsaufkommen und der Kapazität des Knotens.

Zur Bestimmung der mittleren Wartezeiten und der Qualität des Verkehrsablaufs und somit der Einsatzbereiche der verschiedenen Knotenpunktformen wurden Berechnungen gemäß dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen durchgeführt. Die ausführlichen Berechnungsschritte sind der Anlage 3 zu entnehmen.

Die Ermittlung der Einsatzbereiche und Knotenpunkte erfolgt für Knotenpunkte, die im Zuge von Radschnellverbindungen besonders häufig auftreten. Folgende Knotenpunktformen wurden betrachtet:

- Kreuzung der RSV mit einer zweistreifigen vorfahrtberechtigten Straße mit Kfz-Verkehr,
- Kreuzung der vorfahrtberechtigten Radschnellverbindung mit einer zweistreifigen Straße mit Kfz-Verkehr,
- kleiner Kreisverkehr (Durchmesser größer als 22,0 m) mit einstreifiger Kreisfahrbahn und einstreifigen Zufahrten sowie Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn,
- Minikreisverkehr (Durchmesser bis zu 22,0 m),
- Kreuzung der Radschnellverbindung mit einer zweispurigen vorfahrtberechtigten Kfz-Straße über eine Querungshilfe (Betrachtung als zweigeteilte Vorfahrt) und
- signalisierte Querungsstelle.

Für die Ermittlung der mittleren Wartezeiten wurden folgende Annahmen getroffen:

- Der Radverkehr wird stets als auf der Fahrbahn geführter Verkehr betrachtet und nicht als querender Strom auf einer Radverkehrsanlage. Die Radverkehrszufahrten zu den Knotenpunkten weisen daher eine endliche Kapazität auf.
- Es gibt keine Abbiegeströme.
- Die Fahrtrichtungen der kreuzenden Ströme sind symmetrisch belastet.
- Auf den Kfz-Straßen ist die Verkehrsbelastung so nach Fahrzeugarten zusammengesetzt, dass die Anzahl der Fahrzeuge der Anzahl der Pkw-Einheiten entspricht.
- Fußgänger werden an den Kreuzungen nicht berücksichtigt. An den Kreisverkehren wird ein pauschaler Wert von 50 die Zufahrten querenden Fußgängern je Stunde angesetzt.
- Für den kleinen Kreisverkehr wurde ein Durchmesser von 30,0 m angenommen.⁴ Für Minikreisverkehre sind die Zeitlücken nicht vom Durchmesser abhängig.

Für Wertepaare von 100 bis 1.500 Fahrrädern/Stunde und 100 bis 1.500 Kfz/Stunde im Querschnitt (jeweils in 100-er Schritten) wurden mithilfe der Formeln des HBS 2015 die Kapazitäten und Wartezeiten an den Knotenpunkten für die jeweils untergeordneten Verkehrsströme bestimmt, im Fall der Kreisverkehre für alle Ströme. Aus den mittleren Wartezeiten ergibt sich für die wartepflichtigen Ströme die Qualität des Verkehrsablaufs in Stufen von A (sehr gut) bis F (ungenügend). Die Qualitätsstufen werden durch die mittlere Wartezeit der Verkehrsteilnehmer definiert. Im Regelfall wird mindestens das Erreichen der Qualitätsstufe D angestrebt.

Für Stadtstraßen gelten die folgenden Grenzwerte an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage (Tabelle 7-1).

An Landstraßen werden die Grenzwerte der QSV nicht nach Verkehrsarten differenziert (Tabelle 7-2).

An Lichtsignalanlagen gelten für den Radverkehr Grenzwerte für die QSV, die sich an der maximalen Wartezeit orientieren. Die Grenzwerte für den Kfz- und den Radverkehr sind an Stadtstraßen und

⁴ Der Durchmesser des Kreisverkehrs hat Einfluss auf die Länge der Grenz- und Folgezeitlücken sowie auf die Mindestzeitlücke zwischen Fahrzeugen auf der Kreisfahrbahn.

QSV	Mittlere Wartezeit			
	Regelung durch Vorfahrtsbeschilderung		Regelung „Rechts vor Links“	
	Fahrzeugverkehr auf der Fahrbahn	Radverkehr auf Radverkehrsanlagen und Fußgänger	Kreuzung	Einmündung
A	≤ 10	≤ 5	≤ 10	≤ 10
B	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10
C	≤ 30	≤ 15	≤ 15	≤ 15
D	≤ 45	≤ 25	≤ 20	≤ 15
E	> 45	≤ 35	≤ 25	≤ 20
F	- 1)	> 35	> 25 2)	> 20 2)

1) Die QSV F ist erreicht, wenn die nachgefragte Verkehrsstärke q_i über der Kapazität C_i liegt
2) In diesem Bereich funktioniert die Regelungsart „Rechts vor Links“ nicht mehr

Tab. 7-1: Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage an Stadtstraßen [FGSV 2015a: Tabelle S5-1]

QSV	mittlere Wartezeit t_w [s]
A	≤ 10
B	≤ 20
C	≤ 30
D	≤ 45
E	> 45
F	-1)

1) Die QSV F ist erreicht, wenn die nachgefragte Verkehrsstärke q_i über der Kapazität C_i liegt ($q_i > C_i$)

Tab. 7-2: Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage an Landstraßen [FGSV 2015a: Tabelle L5-1]

Landstraßen gleich; lediglich der ÖPNV auf Sonderfahrstreifen spielt auf Landstraßen keine Rolle und wird dort nicht aufgeführt.

Der Radverkehr auf der RSV wurde generell als Fahrzeugverkehr auf der Fahrbahn betrachtet. Die für den Radverkehr geltenden Grenzwerte wurden jedoch verwendet, da die Radschnellverbindung als Radverkehrsanlage betrachtet wird. Die Verlustzeiten wurden näherungsweise durch Addition eines pauschalen Werts von 10 s zur Wartezeit für das Entschleunigen vor dem Knoten und das Beschleunigen hinter dem Knoten berechnet.

• Verkehrsqualität Stufe A:

Die individuelle Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer ist nahezu nicht beeinträchtigt. Der Verkehrsfluss ist frei. Die Wartezeiten sind für die Verkehrsteilnehmer sehr kurz.

QSV	Kfz-Verkehr mittlere Wartezeit t_w [s]	ÖPNV auf Sonderfahrstreifen -1) mittlere Wartezeit t_w [s]	Fußgänger- und Radverkehr-2) maximale Wartezeit $t_{w,max}$ [s]
A	≤ 20	≤ 5	≤ 30
B	≤ 35	≤ 15	≤ 40
C	≤ 50	≤ 25	≤ 55
D	≤ 70	≤ 40	≤ 70
E	> 70	≤ 60	≤ 85
F	- 3)	> 60	> 85 4)

1) Die Werte gelten auch für den ÖPNV, der durch eine verkehrsabhängige Steuerung priorisiert wird.
2) Die Grenzwerte gelten für den Radverkehr auch, wenn er auf der Fahrbahn gemeinsam mit dem Kfz-Verkehr geführt wird.
3) Die QSV F ist erreicht, wenn die nachgefragte Verkehrsstärke q über der Kapazität C liegt ($q > C$)
4) Die Grenze zwischen den QSV E und F ergibt sich aus dem in den RILSA (2015) vorgegeben Richtwert für die maximale Umlaufzeit von 90 s und der Mindestfreigabezeit von 5 s

Tab. 7-3: Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage (FGSV 2015a, Tabelle S4-1)

• Verkehrsqualität Stufe B:

Die individuelle Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer ist nur in geringem Maße beeinträchtigt. Der Verkehrsfluss ist nahezu frei. Die Wartezeiten sind für die Verkehrsteilnehmer kurz.

• Verkehrsqualität Stufe C:

Die individuelle Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer ist spürbar beeinträchtigt. Der Verkehrsfluss ist stabil. Die Wartezeiten sind für die Verkehrsteilnehmer spürbar.

• Verkehrsqualität Stufe D:

Die individuelle Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer ist deutlich beeinträchtigt. Der Verkehrsfluss ist noch stabil. Die Wartezeiten sind für die Verkehrsteilnehmer beträchtlich.

• Verkehrsqualität Stufe E:

Die individuelle Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer ist nahezu ständig beeinträchtigt. Der Verkehrsfluss ist instabil. Die Wartezeiten sind für die Verkehrsteilnehmer lang und streuen erheblich. Die Grenze der Funktionsfähigkeit wird erreicht.

• Verkehrsqualität Stufe F:

Die individuelle Bewegungsfreiheit der Verkehrsteilnehmer ist ständig beeinträchtigt. Die Funktionsfähigkeit ist nicht mehr gegeben. Die Wartezeiten sind für die Verkehrsteilnehmer sehr lang.

Da sich die Qualitätsstufe eines Knotenpunktes aus der schlechtesten Bewertung eines Einzelstroms ergibt, stellen die Qualitätsstufen für die Radschnellverbindung im Fall seiner Unterordnung die Qualitätsstufe des gesamten Knotens dar. Gleiches gilt für den Kfz-Verkehr in dem Fall, in dem die Radschnellverbindung bevorrechtigt ist.

Die mithilfe der zuvor dargestellten Methodik ermittelten Ergebnisse wurden während der Untersuchung in den Arbeitskreisen 2.5.4 (Radschnellverbindungen) und 2.2.3 (Kreisverkehre) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen abgestimmt. Die Hinweise der Beteiligten beziehen sich insbesondere auf die Ergebnisdarstellung.

Um Einsatzbereiche im Zuge von Radschnellverbindungen ableiten zu können, musste eine Qualitätsstufe definiert werden, die für die jeweilige Verkehrsart noch als akzeptabel gilt. Hierbei wird für den Radverkehr auf der Radschnellverbindung vorausgesetzt, dass mindestens die Qualitätsstufe B erreicht werden soll. Im Kfz-Verkehr soll mindestens die Stufe D erreicht werden.

Anschließend wurden die theoretisch ermittelten Einsatzbereiche, die allein auf Verkehrsqualität beruhen, mit den Erkenntnissen aus der Verkehrssicherheitsforschung und den Empfehlungen der technischen Regelwerke zusammengeführt.

In einem abschließenden Arbeitsschritt wurden die Verlustzeiten der typischen Knotenpunktformen innerhalb der zuvor definierten Einsatzbereiche durch Addition der mittleren Wartezeiten mit einem pauschalen Wert von 10 Sekunden (vgl. [BULLA (2004)]). für das Ent- und Beschleunigen am Knoten ermittelt.

7.2 Ergebnisse und Empfehlungen zum Einsatz

Die Einsatzbereiche, die aus den zuvor dargestellten Arbeitsschritten ermittelt wurden, sind – differenziert nach Ortslage – in Bild 7-1 und 7-2 dargestellt.

Auf der horizontalen Achse des Diagramms wird die Verkehrsstärke der Straße mit Kfz-Verkehr im Querschnitt (Prognosebelastung) dargestellt. Die vertikale Achse zeigt die prognostizierte Radverkehrsstärke im Querschnitt. Diese Werte bilden bei der Auswahl der geeigneten Knotenpunktform im

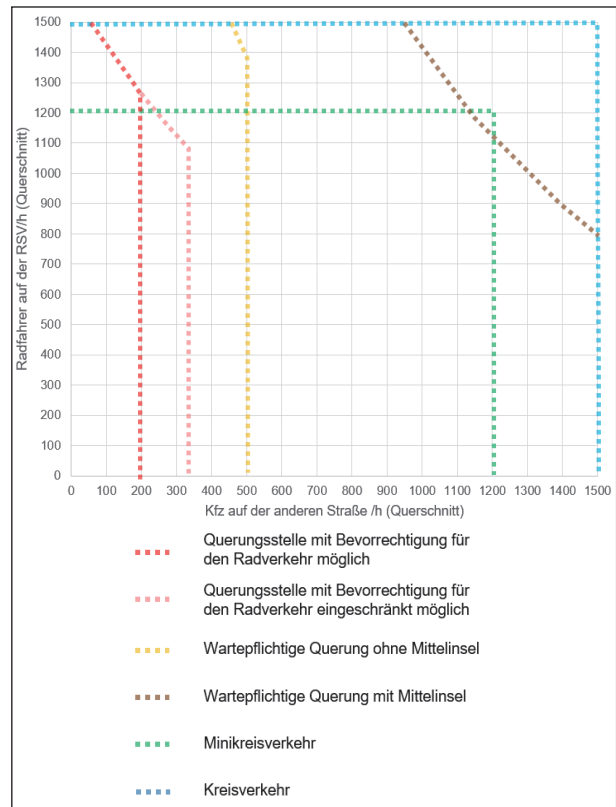


Bild 7-1: Einsatzbereiche für nicht-signalisierte Knotenpunkte an Radschnellverbindungen (innerorts)

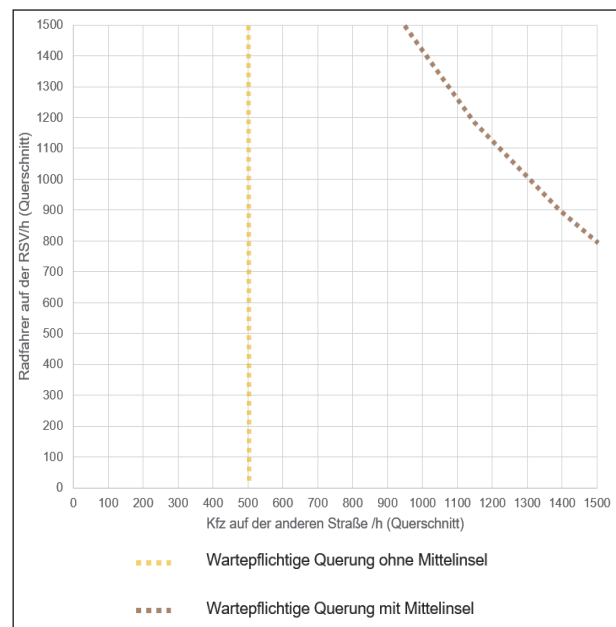


Bild 7-2: Einsatzbereiche für nicht-signalisierte Knotenpunkte an Radschnellverbindungen (außerorts)

Zuge einer geplanten Radschnellverbindung die Eingangsgrößen. Weiterhin zeigt jedes Diagramm die jeweils obere Einsatzgrenze für typische nicht-signalisierte Knotenpunktformen, die sich wie folgt ergibt:

- Qualitätsstufe (für den Radverkehr: mindestens B, für den Kfz-Verkehr: mindestens D),
 - Erkenntnisse aus der Verkehrssicherheitsforschung und Forschung zum Verkehrsablauf und
 - Einsatzempfehlungen aus den technischen Regelwerken der FGSV.
- Die Auswahl der geeigneten Knotenpunktform ist weiterhin von der Situation vor Ort (z. B. Flächenverfügbarkeit, Sichtverhältnisse, etc.) und den in Ta-

Knotenpunktform	Verlustzeit	Empfehlungen zum Einsatz
Querungsstelle mit Bevorrechtigung für die selbstständig geführte Radschnellverbindung	innerorts: 0 sek	<ul style="list-style-type: none"> • Der Einsatz im Eschließungsstraßennetz und mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von bis zu 30 km/h bis zu einer Verkehrsstärke von 2.000 Kfz/24h auf der untergeordneten Straße möglich. • Der Einsatz im Eschließungsstraßennetz und mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von bis zu 30 km/h bis zu einer Verkehrsstärke von 3.500 Kfz/24h auf der untergeordneten Straße ist nur eingeschränkt möglich. • Es ist auf die Erkennbarkeit der Querungsstelle und ausreichende Sichtverhältnisse zu achten. • Die Erkennbarkeit der Querungsstelle ist insbesondere bei eingeschränkten Sichtverhältnissen sicher zu stellen. Es empfiehlt sich die Ergänzung durch zusätzliche Ausstattungsmerkmale zur Beschilderung, beispielsweise, Fahrbahnanhebungen oder Leiteinrichtungen, Einfärbung der Radverkehrsfurt bzw. Kombinationen dieser Ausstattung. siehe auch: Kap. 6.3
Querungsstelle mit Wartepflicht für die Radschnellverbindung (ohne Mittelinsel)	innerorts: 11-20 sek außerorts: 12-25 sek	<ul style="list-style-type: none"> • Der Einsatz bis zu einer Verkehrsstärke von 5.000 Kfz/24h auf der übergeordneten Straße ist möglich. • Der Einsatz ist dann geeignet, wenn nicht mehr als zwei Fahrstreifen gequert werden müssen. • Es ist auf die Erkennbarkeit der Querungsstelle und ausreichende Sichtverhältnisse zu achten. • Es sind weiterhin ausreichend große Aufstellflächen für den Radverkehr vorzusehen. Umlaufsperrern sind zu vermeiden. siehe auch: FGSV (2006) - RAST, FGSV 2010 - ERA
Querungsstelle mit Wartepflicht für die Radschnellverbindung (mit Mittelinsel)	innerorts: 11-20 sek außerorts: 12-25 sek	<ul style="list-style-type: none"> • Mittelinseln für den Radverkehr sind notwendig bei Querung von Straßen mit mehr als 1.000 Kfz/h und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h. • Mittelinseln für den Radverkehr sind notwendig bei Querung von Straßen mit mehr als 5000 Kfz/h und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von mehr als 50 km/h. • Der Einsatz ist dann geeignet, wenn nicht mehr als zwei Fahrstreifen gequert werden müssen. • Es ist auf die Erkennbarkeit der Querungsstelle und ausreichende Sichtverhältnisse zu achten. • Es sind weiterhin ausreichend große Aufstellflächen für den Radverkehr vorzusehen. Umlaufsperrern sind zu vermeiden. • Im Bereich der Mittelinsel soll der Fahrstreifen nicht verengt werden. Die Verziehungslängen orientieren sich an der Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs. siehe auch: FGSV (2006) - RAST, FGSV 2010 - ERA
Kleiner Kreisverkehr mit Fahrbahnführung	Innerorts / außerorts: 13 sek	<ul style="list-style-type: none"> • Der Einsatz wird bis zu ca. 15.000 Kfz/24h (Knotenpunktbelastung) möglich. • Die Verkehrsbelastung der einzelnen Zufahrten sollte annähernd gleich stark sein. siehe auch: FGSV (2006a) - RAST, FGSV (2006b) - Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren
Minikreisverkehr	innerorts: 12 sek	<ul style="list-style-type: none"> • Der Einsatz wird bis zu ca. 12.000 Kfz/24h (Knotenpunktbelastung) und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von bis zu 50 km/h möglich. • Die Verkehrsbelastung der einzelnen Zufahrten sollte annähernd gleich stark sein. siehe auch: FGSV (2006a) - RAST, FGSV (2006b) - Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren
Signalisierte Querungsstelle	innerorts / außerorts: 10-35 sek	<ul style="list-style-type: none"> • Es wird empfohlen, verkehrsabhängige Steuerungen mit Verlängerungsmöglichkeit für den Radverkehr vorzusehen. • Es sollten zusätzliche Anforderungsmöglichkeiten für Radfahrer und Fußgänger, z. B. in Form von Tastern, vorgesehen werden • Signalmasten sollen nicht im Verkehrsraum des Radverkehrs stehen. • Für den Radverkehr sind Haltlinien vorzusehen. • Insbesondere bei langen Überquerungswegen ist eine vom Fußgängerverkehr getrennte Signalisierung mit längeren Freigabezeiten für den Radverkehr vorzusehen. • Detektoren für den Radverkehr sollten mindestens 20 bis 40 m vor der Querungsstelle angeordnet werden. siehe auch: FGSV (2006a) - RAST, FGSV (2015b) - RiLSA und FGSV (2010) -ERA

Tab. 7-4: Verlustzeiten und Hinweise zum Einsatz

belle 7-4 dargestellten Hinweisen abhängig. Darüber hinaus muss vor dem Hintergrund der Fahrzeitverkürzung auch die Summe der Verlustzeiten minimiert werden.

Anlage 3.7 zeigt die Einsatzdiagramme, wenn für den Radverkehr mindestens Qualitätsstufe C erreicht werden soll.

Der Einsatz einer signalisierten Querungsstelle ist grundsätzlich immer möglich. Die Verlustzeit unterliegt in diesem Fall neben der Verkehrsstärke auch der Freigabezeit für die Radschnellverbindung und kann entsprechend optimiert werden.

Lesebeispiel: An einer Kreuzungsstelle zwischen einer geplanten, selbstständig geführten Radschnellverbindung und einer bestehenden Straße mit Kfz-Verkehr soll die geeignete Knotenpunktform ermittelt werden. Der Knoten befindet sich innerorts. Die prognostizierte Verkehrsstärke des Radverkehrs auf der Radschnellverbindung liegt bei ca. 200 Radfahrern/h, die der Kraftfahrzeuge auf der Straße bei 700 Kfz/h. Der Schnittpunkt für dieses Wertepaar liegt außerhalb der oberen Einsatzgrenzen für die bevorrechtigte Führung der Radschnellverbindung und für die wartepflichtige Führung ohne. Er liegt innerhalb der oberen Einsatzgrenzen für den Minikreisverkehr, den kompakten Kreisverkehr mit Fahrbahnführung des Radverkehrs und für die Querung mithilfe einer Mittelinsel. Bei allen drei Fällen könnte rechnerisch auf der Radschnellverbindung die Qualitätsstufe A oder B erreicht werden. Unter Berücksichtigung der Hinweise in Tabelle 7-4, in denen der Einsatz eines Minikreisverkehrs oder Kreisverkehrs nur bei annähernd gleich verteilten Strömen erfolgen sollte, entfällt diese Knotenpunktform bei der Auswahl. Unter den nicht-signalisierten Knotenpunktformen käme in diesem Anwendungsfall – vorausgesetzt die benötigten Flächen stünden zur Verfügung – eine Querungsstelle mit Mittelinsel infrage.

Den Einsatzbereich für eine signalisierte Querungsstelle zeigt Tabelle 7-4.

Die Tabelle 7-4 führt die rechnerisch ermittelten Werte zum durchschnittlichen Zeitverlust an den Knotenpunktformen und Empfehlungen zum Einsatzbereich auf, welche auf den nach HBS ermittelten Verkehrsstärken, den Empfehlungen aus den geltenden Regelwerken und den in der Literaturanalyse festgehaltenen Erkenntnissen zur Verkehrssicherheit beruhen. Die Empfehlungen zur

Querungsstelle mit Bevorrechtigung für den selbstständig geführten Radweg lassen sich aus der hier vorliegenden Forschung ableiten. Die Zeitverluste gelten für die zuvor dargestellten Einsatzbereiche und unterliegen somit der Voraussetzung, dass die Qualitätsstufe A oder B für den Radverkehr erreicht wird. Je nach Größe des Einsatzbereichs, kann der durchschnittliche Zeitverlust eine Spannweite aufweisen. In diesem Fall gilt: Je geringer die Verkehrsbelastung am Knoten, desto geringer ist die Verlustzeit.

Mit den dargestellten Ergebnissen können Empfehlungen zur Anwendung typischer Knotenpunktformen abgeleitet werden. Außerdem können die abgeschätzten Beispielwerte der Verlustzeiten aus dem Arbeitspapier „Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen“ durch die auf Grundlage des HBS berechneten Werte ersetzt werden.

Dennoch ist zu berücksichtigen, dass die hier dargestellten Werte keiner empirischen Überprüfung unterzogen wurden. Wenn in Deutschland mehr Radschnellverbindung realisiert werden, wäre die Prüfung empfehlenswert.

8 Zusammenfassung

8.1 Hintergrund und Ziele

Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt wurde das Ziel verfolgt, praxistaugliche Berechnungsverfahren zur Bewertung von RSV (Potenzialanalyse und Nutzen-Kosten-Analyse) für RSV zu entwickeln sowie deren Entwurfs-elemente an Knotenpunkten und Strecken bzw. Führungsformen zu untersuchen. Aktuell befindet sich das entsprechende Hinweis-papier der FGSV in Überarbeitung, sodass die vorliegenden Erkenntnisse in die Überarbeitung des Regelwerkes einfließen können.

Für die Potenzialanalyse bestehen bislang keine einheitlichen Vorgaben wodurch Machbarkeitsstudien auf Grundlage unterschiedlicher Verfahren und somit unterschiedlicher Genauigkeit und Qualität entstehen. Zur wirtschaftlichen Bewertung von Radverkehrsmaßnahmen bestehen bislang die NKA-Rad mit dem Bezugsjahr 2006. Eine Aktualisierung bisheriger Berechnungsvorschriften und die Überprüfung der Vollständigkeit der Nutzen- und Kostenkomponenten ist daher erforderlich.

Für die Bewertung der Verkehrssicherheit auf Streckenabschnitten wurden an fünf deutschen und zwei niederländischen RSV-ähnlichen Strecken sowohl Verhaltensbeobachtungen und falls möglich eine Unfallanalyse durchgeführt. Ziele der Untersuchung waren die Bewertung der Interaktionen zwischen Radfahren und Fußgängern und zwischen den Radfahrern untereinander u. a. in Hinsicht auf unterschiedliche Arten der Trennung zwischen den Flächen des Rad- und Fußgängerverkehrs sowie die Ermittlung der Fahrtgeschwindigkeiten. Im Zuge von RSV treten verschiedene Knotenpunktformen auf. Für die meisten dieser Knotenpunkte liegen bereits Erkenntnisse aus der Forschung zur Verkehrssicherheit im Radverkehr vor. Im Rahmen der Literaturrecherche wurde die Querungsstelle mit Bevorrechtigung für die RSV als Knotenpunktform identifiziert, für die derzeit der vergleichsweise geringste Kenntnisstand in Hinsicht auf die Verkehrssicherheit existiert. Im empirischen Teil der Untersuchung wurden an 10 Querungsstellen sowohl Verhaltensbeobachtungen als auch Unfallanalysen durchgeführt.

Weiterhin sollte die vorliegende Untersuchung Aufschluss über die Verlustzeiten und die Einsatzbereiche typischer Knotenpunktformen im Zuge von RSV bieten, da in der Praxis derzeit häufig mit Abschätzungen gearbeitet wird. Mit diesem Ziel wurden Berechnungen des Verkehrsablaufs für die typischen Knotenpunkte gemäß FGSV 2015a durchgeführt und anschließend mit den Ergebnissen aus dem empirischen Teil der Untersuchung und den entsprechenden technischen Regelwerken verglichen. Darüber hinaus bieten über das HBS ermittelte Verlustzeiten rechnerisch gesicherte Richtwerte für die Ermittlung der durchschnittlichen, kilometerbezogenen Verlustzeiten auf RSV.

8.2 Ergebnisse

Aus dem Vergleich bestehender Ansätze sowie den Verfahren anderer Verkehrsträger zur Potenzialanalyse von RSV erfolgte die Erarbeitung zweier Verfahren. Je nach Datenverfügbarkeit kann ein detailliertes Verfahren auf Grundlage eines Verkehrsmodells oder ein überschlüssiges Verfahren auf Grundlage von Strukturdaten für die Potenzialanalyse genutzt werden. Das Ergebnis der Berechnungsverfahren umfasst in beiden Fällen alle Informationen, die für die darauf aufbauende Nutzen-Kosten-Analyse erforderlich sind.

Für die Erarbeitung der Nutzen-Kosten-Analyse wurden die Nutzen- und Kostenkomponenten der NKA-Rad sowie anderer Verkehrsträger betrachtet und für die Anwendung auf RSV diskutiert. In Abgleich mit den Ergebnissen der Potenzialanalyse erfolgte eine Aufstellung von Nutzen- und Kostenkomponenten, die verschiedene Aspekte wie Umweltwirkung, Reisezeitveränderung oder Fahrzeugbetriebskosten berücksichtigen. Ergänzend wurden deskriptive Komponenten definiert, mit denen ergänzende Eigenschaften einer RSV, die nur schwer zu monetarisieren sind, abzubilden.

Die Untersuchung zur Verkehrssicherheit auf Streckenabschnitten zeigt, dass die Breite eines selbstständig geführten RSV von mindestens 4,00 m zusätzlich eines separat geführten Gehwegs grundsätzlich geeignet ist, um hohe Radverkehrsmengen aufzunehmen, da die Interaktionen zwischen den Radfahrern untereinander, welche auf der freien Strecke dominieren, ab dieser Breite reduziert werden können. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass die Markierung einer mittleren Leitlinie sich positiv auf die Reduzierung der Interaktion zwischen entgegenkommenden Radfahrern auswirkt. Die durchschnittlichen Fahrtgeschwindigkeiten lagen auf Streckenabschnitten ohne Knotenpunkte zwischen 20 und 24 km/h. Weiterhin zeigte sich, dass sowohl die Trennung in Form eines breiten Grün- oder Schotterstreifens als auch nebeneinanderliegende Flächen für den Fußgänger- und Radverkehr mit einem Trennstreifen für RSV infrage kommen.

Aus den Ergebnissen zu Knotenpunktformen lässt sich ableiten, dass eine verkehrsrechtlich bevorrechtigte Querung einer selbstständigen RSV über eine andere Fahrbahn (innerörtliches im Erschließungsstraßennetz mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit von bis zu 30 km/h) bis zu einer Verkehrsstärke 2.000 Kfz/24h grundsätzlich sicher betrieben werden kann. Für die Bevorrechtigung der RSV an Erschließungsstraßen mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit mit 30 km/h und einer Verkehrsstärke zwischen 2.000 und 3.500 Kfz/24h müssen weitere Beobachtungen durchgeführt werden. Eine bevorrechtigte Führung der RSV ist insbesondere dann zu prüfen, wenn die untergeordnete Straße an den Nachbarknotenpunkten eine übergeordnete Führung aufweist. Insgesamt sind für die Querungsstellen ausreichende Sichtverhältnisse und eine gute Erkennbarkeit unverzichtbar und kann durch bauliche und betriebliche Elemente weiter ausgestattet.

8.3 Offene Fragen und Forschungsbedarf

In Bezug auf die Potenzialanalyse bestehen bislang keine Vorher-Nachher-Untersuchungen, die eine Evaluierung der Berechnungsverfahren ermöglichen. Die im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführte Evaluierung erfolgte auf Grundlage von anderen Modellrechnungen, mit denen darüber hinaus keine Aussage über die Verlagerungswirkung getätigt werden kann. Für beide der dargestellten Verfahren besteht somit die Notwendigkeit, die Berechnungsergebnisse nach Umsetzung einer RSV zu verifizieren.

Mit dem erarbeiteten detaillierten Verfahren zur Potenzialanalyse besteht ein Ansatz, der in ähnlicher Form auch in den Niederlanden zur Anwendung kommt. Ausgehend vom Pkw-Verkehrsaufkommen wird mit einem definierten distanzabhängigen Radverkehrsanteil das Radverkehrsaufkommen bestimmt.

Hinsichtlich einer Evaluierung des Verfahrens bestehen einzelne Auswertungen, die jedoch keine klare Aussage zur Qualität des Verfahrens zulassen. Hier besteht somit nach der Umsetzung von RSV der Bedarf einer detaillierten Evaluierung, einerseits hinsichtlich des Gesamttradverkehrsaufkommens und andererseits hinsichtlich des Verlagerungspotenzials. Dies gilt sowohl für das detaillierte als auch für das überschlägige Verfahren.

Die Veränderung im Modal-Split kann sich auch auf den öffentlichen Verkehr auswirken. Diese Wirkung ist bislang kaum zu bestimmen und daher ebenfalls im Rahmen einer Evaluierung zu betrachten.

Bislang bestehen wenig Erkenntnisse über die Auswirkungen von Pedelecs hinsichtlich größerer Reisesweiten im Radverkehr und damit auch die Wirkung auf den Umstieg auf das Fahrrad bei Umsetzung einer RSV. Hier besteht entsprechender Forschungsbedarf. Gleiches gilt für die Evaluierung der Nutzen-Kosten-Analyse. Da die Nutzen-Kosten-Analyse auf den Ergebnissen der Potenzialanalyse aufbaut, ist im Rahmen einer Evaluierung zu prüfen, wie sehr sich Unzulänglichkeiten in der Potenzialanalyse auf das Nutzen-Kosten-Verhältnis auswirken. Besonderes Augenmerk sollte hierauf auf der Komponente der Reisezeitveränderung liegen, bei der sowohl die Veränderung der Reisezeit als auch der Verkehrsmittelwahl Einfluss nehmen.

Da in Deutschland bislang nur sehr wenige realisierte RSV existieren, konnte die Untersuchung der Entwurfselemente an Knotenpunkten und Strecken nicht auf Grundlage einer breiten statistischen Basis, z. B. in Form einer Unfallanalyse umgesetzt werden. Werden in den nächsten Jahren die derzeit in Planung befindlichen RSV umgesetzt, wird es möglich sein, diese Fragen vertiefter zu untersuchen. Hierbei ist das Thema der Dunkelziffer der Radverkehrsunfälle zu beachten. Von großer Bedeutung werden in diesem Zusammenhang auch Querungsstellen mit Bevorrechtigung für die RSV außerhalb des Erschließungsstraßennetzes sein sowie Querungsstellen im Außerortsbereich. Darüber hinaus zeigt sich weiterer Untersuchungsbedarf, wie beispielsweise die Ausgestaltung der Wegweisung und die Markierung von RSV.

Literatur

- AHRENS (2013): *Mobilität in Städten – SrV 2013*, TU Dresden
- ALRUTZ, BOHLE, MÜLLER, PRAHLOW, HACKE, LOHMANN (2009): *Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern*, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Bericht V 184), Bergisch Gladbach
- ALRUTZ, STELLMACHER-HEIN, GÜNDEL (1997): *Sicherheit des Radverkehrs auf Erschließungsstraßen*, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Bericht V 37), Bergisch Gladbach
- ALRUTZ, BOHLE, MAIER, ENKE, POHLE, ZIMMERMANN, ORTLEPP, SCHREIBER (2015): *Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen*, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV, Hrsg.)
- ANGENENDT, DRAEGER, BRÄUER, WILKEN, BLASE (2001): *Fußgänger und Radfahrer an Knotenpunkten ausserhalb bebauter Gebiete: Schlussbericht, FE 02/179/1998/KGB des Bundesverkehrsministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen*; Bonn
- Arbeitsgemeinschaft fußgänger- und fahrradfreundlicher Städte, Kreise und Gemeinden (AGFS, Hrsg.) (2013): *Kriterien für Radschnellwege*, Krefeld

- ASTRA (2015): Velobahnen. Grundlagendokument. Materialien zum Langsamverkehr Nr. 136, Bern
- AXHAUSEN, GLEMSE, JÖDDEN, SAUER, EHREKE, HESS, NAGEL, WEIS (2015): Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung, TNS Infratest, IVT, ETH Zürich,
- BAIER, GÖBBELS, KLEMP-S-KOHNEN (2013): Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Bericht V 228), Bergisch Gladbach
- BAIER, LEU, KLEMP-S-KOHNEN, REINARTZ, MAIER, SCHMOTZ (2014): Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen, Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft V 240), Bergisch Gladbach
- BAIER, LEU, RITTERSHAUS (2017): Führung des Radverkehrs an Landstraßen, FE 21.0055/2013, Schlussbericht (unveröffentlicht); im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, betreut durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, Aachen
- VON BELOW (2016): Verkehrssicherheit von Radfahrern – Analyse sicherheitsrelevanter Motive, Einstellungen und Verhaltensweisen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Heft M 264), Bergisch Gladbach
- BELTER, VON HARTEN, SOROF (2012): Costs and benefits of cycling, Working Paper, 2012
- BENDIX (2013) Fietsinfrastructuur – Cycle Infrastructure, Rotterdam
- BONDZIO, ORTLEPP, SCHEIT, VOß, WEINERT (2012): Verkehrssicherheit innerörtlicher Kreisverkehre, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV, Hrsg.), Berlin
- BONDZIO, SCHEIT, BERGHAUS, BISSANTZ, BAKABA, ORTLEPP (2017): Sicherung von bevorrechtigten umlaufenden Radwegen an innerörtlichen Kreisverkehren, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV, Hrsg.), Berlin
- BULLA (2004): Geschwindigkeiten, Verzögerungen und Beschleunigungen nicht motorisierter, ungeschützter Verkehrsteilnehmer am Beispiel Fahrrad und Inlineskates. Diplomarbeit. München
- BMVBS (2010): Mobilität in Deutschland 2008. Tabellenband, bearbeitet durch infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für Verkehrsforschung, Bonn und Berlin
- BMVI (2017) Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030, FE 97.358/2015, veröffentlicht durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2017
- Capital Region of Denmark (2014): Cycle Superhighways, Kopenhagen
- CROW (2014) Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeer-stechiek: Inspiratieboek snelle fietsroutes, CROW-Publikation 340, Ede
- CHIPS-Consortium (2016): CHIPS - Cycle Highways for smarter People Transport and Spatial Planning. Fact Sheet. <https://ecf.com/sites/ecf.com/files/CHIPS%20fact%20sheet%20%28002%29.pdf> (Zugriff am 12.04.2016)
- Destatis (2018a): Bevölkerungsstand in Deutschland, Stichtag 31.12.2015
- Destatis (2018b): Krankheitskosten in Deutschland nach Diagnose, Stichtag 31.12.2015
- DIJKSTRA (2014): Naar meer veiligheid op kruispunten. Aanbevelingen voor kruispunten van 50-, 80- en 100km/uur-wegen. Heft R-2014-21, Den Haag
- FGSV (1997): Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen. EWS, FGSV-Verlag, Köln
- FGSV (2002): Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen. EVA, FGSV-Verlag, Köln
- FGSV (2006a): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen. RASt, FGSV-Verlag, Köln

- FGSV (2006b): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, FGSV-Verlag, Köln
- FGSV (2008): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung. RIN, FGSV-Verlag, Köln
- FGSV (2010): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen. ERA, FGSV-Verlag, Köln
- FGSV (2012): Merkblatt zur örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen. M Uko, FGSV-Verlag, Köln
- FGSV (2014): Arbeitspapier für Einsatz und Gestaltung für Radschnellverbindungen, FGSV-Verlag, Köln
- FGSV (2015a): Handbuch zur Bemessung von Straßen. HBS, FGSV-Verlag, Köln
- FGSV (2015b): Richtlinien für die Anlage von Signalanlagen. RiLSA, FGSV-Verlag, Köln
- GÖLZ (2007): Aufbau eines Verkehrsmodells für die Radverkehrsplanung in Stuttgart, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik der Universität Stuttgart
- HAUTZINGER (1993): Dunkelziffer bei Unfällen mit Personenschaden, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (Bericht M 13), Bergisch Gladbach
- ITP (2017): Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen im schienengebundenen öffentlichen Personennahverkehr, ITP Intraplan Consult GmbH, München, veröffentlicht durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur Stand 2016, 2017
- JUHRA, WIESKÖTTER, CHU, TROST, WEISS (2012): Bicycle accidents – Do we only see the tip of the iceberg? A prospective multi-centre study in a large German city combining medical and police data. In: *Injury*, 43(12), S. 2026-2034
- LIENHOP, THOMAS, BRANDIES, KÄMPER, JÖHRENS, HELMS (2015): Pedelec-Nutzung im Individualverkehr, herausgegeben durch Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
- LIGTERMOET (2011): Trends in Infrastructuur. In: *Fietsverkeer*, Heft 28, September 2011, S. 24-11, Ede
- Metropolregion – Kommunen in der Metropolregion e.V. (Hrsg., 2012): *Radschnellwege. Etappen auf dem Weg zur Umsetzung*, Hannover.
- Provincie Gelderland et al. (2018): *Evaluatie programma Beter Benutten Vervolg Arnhem-Nijmegen 2015-2017*, Arnhem
- PTV (2017): *Radschnellweg Euregio, Potenzialanalyse und Nutzen-Kosten-Analyse*, Düsseldorf
- RÖHLING, BURG, SCHÄFER, WALTHER (2008): *Kosten-Nutzen-Analyse: Bewertung der Effizienz von Radverkehrsmaßnahmen*, Denzlingen/Karlsruhe
- RVR (2014): *Machbarkeitsstudie Radschnellweg Ruhr RS1*
- SPAPÉ, FUCHS, GERLACH (2015): *Status Quo und Erfahrungen mit der Planung und dem Betrieb von Radschnellwegen in den Niederlanden, Dänemark, Großbritannien und Deutschland*. In: *Straßenverkehrstechnik*, Heft 10/2015, S. 639-652.
- SCHEPERS (2013): *A safer road for cyclists*, Delft 2013
- SCHLÄGER, WÜHRL, WOYWOD, FROMBERG, GWIASDA, NIKLAS, SCHREIBER, POHLE (2016): *Sicherheitsbewertung von Fahrradstraßen und der Öffnung von Einbahnstraßen*, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV, Hrsg.), Berlin
- SCHNABEL, LOHSE (1997): *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung*, Band 2, Verlag für Bauwesen, Berlin, ISBN 3-345-00567-0
- SCHNÜLL, LANGE, FABIAN, KÖLLE, SCHÜTTE (1992): *Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten*, Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen (262), Bergisch Gladbach
- SKOV-PETERSEN, JACOBSEN, VEDEL, THOMAS ALEXANDER, RASK. (2017): *Effects of upgrading to cycle highways. -An analysis of demand induction, use patterns and satisfaction before and after*. In: *Journal of Transport*

- Geography, Vol. 64, October 2017; pP. 2013-210)
- SHP (2017): Radschnellverbindungen im Berliner Stadtgebiet – Machbarkeitsstudie Potsdamer Stammbahn, Kurzfassung, bearbeitet durch SHP Ingenieure, grbv Ingenieure, Technische Universität Berlin u. a., Berlin
- Technische Universität Berlin (Hrsg.) (2014): Beschleunigung des Radverkehrs im Zuge lichtsignalisierter Streckenabschnitte auf Radverkehrsrouten hoher Bedeutung, Berlin
- SCHWERMER, MÜLLER (2012): Best-Practice-Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung – Anhang B der Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- VAN DER VOET (2012): Kurzfassung des Referats Radwege vs. Radstreifen in den Niederlanden - 'lekker fietsen' als Ausgangspunkt. In: Velokonferenz Schweiz - Infobulletin 02/2012, S. 8-9, Biel/Bienne
- VAN GOEVERDEN (2015): Interventions in bicycle infrastructure, lessons from Dutch and Danish cases. In: Transport Reserach Procedia, 10, p. 403-412.
- Verkehrsministerium des Landes Baden-Württemberg M BW (Hrsg.) (2017): Qualitätsstandards für Radschnellverbindungen, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. https://www.fahrradland-bw.de/fileadmin/user_upload_fahrradlandbw/1_Radverkehr_in_BW/i_Radschnellverbindungen/Musterloesungen_RSV_BW.pdf (Abrufdatum: 27.8.2018)
- VIA (2017): Machbarkeitsstudie für eine Radschnellverbindung zwischen den Städten Neuss, Düsseldorf, Langenfeld und Monheim am Rhein, VIA eG, 2017
- WHO (2000): Transport, Environment and health, WHO Regional Publications, European Series, No. 89, 2000, ISBN 92 890 1356 7
- WHO (2017): Health Economic Assessment tool, WHO Regionalbüro Europa
- ## Tabellen
- Tab. 2-1: Vergleich der Vorgaben in ausgewählten Bundesländern
- Tab. 2-2: Ausgewählter Kenntnisstand zur Verkehrssicherheit an typischen Knotenpunktformen
- Tab. 3-1: Parameter der drei Beispielregionen
- Tab. 3-2: Parameter der Standardfunktion und der Grenzverläufe
- Tab. 3-3: Vergleich der Verlagerungsberechnung vom Kfz zu Fahrrad
- Tab. 4-1: Mittlere Umweltkosten je Fzg-km nach Energieträger, Basisjahr 2010 [SCHWERMER et al. 2012] und eigener Berechnung
- Tab. 4-2: Angepasstes Bewertungsschema – Senkung des Flächenverbrauchs [RÖHLING et al. 2008]
- Tab. 4-3: Angepasstes Bewertungsschema – Verbesserung der Lebens- und Aufenthaltsqualität [RÖHLING et al. 2008]
- Tab. 4-4: Angepasstes Bewertungsschema – Verbesserung der Teilhabe nichtmotorisierter Personen am städtischen Leben [RÖHLING et al. 2008]
- Tab. 4-5: Angepasstes Bewertungsschema – Nutzen im Bereich Dritter [RÖHLING et al. 2008]
- Tab. 4-6: Bewertungsschema – Verbesserungen für den Fußgängerkehr
- Tab. 4-7: Kostenkomponenten und deren Nutzungsdauer
- Tab. 4-8: Nutzen-Kosten-Komponenten und deren Nutzungsdauer
- Tab. 4-9: Eingangsgrößen für die Nutzenberechnung
- Tab. 4-10: Beispielanwendung und Vergleich der Nutzen-Kosten-Verhältnisse mit anderen Verfahren
- Tab. 5-1: Systematik der Begegnungen
- Tab. 5-2: Betrachtungszeiträume bei der Unfallanalyse
- Tab. 5-3: Zusammenfassung der Ergebnisse (Strecken)

- Tab. 6-1: Ergebnisse im Überblick (Knotenpunkte)
- Tab. 6-2: Systematik der Begegnungen in Knotenpunkten
- Tab. 6-3: Betrachtungszeiträume der Unfallanalyse für Untersuchungsabschnitte
- Tab. 6-4: Ergebnisse im Überblick (Knotenpunkte)
- Tab. 7-1: Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage an Stadtstraßen [FGSV 2015a: Tabelle S5-1]
- Tab. 7-2: Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage an Landstraßen [FGSV 2015a: Tabelle L5-1]
- Tab. 7-3: Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage (FGSV 2015a, Tabelle S4-1)
- Tab. 7-4: Verlustzeiten und Hinweise zum Einsatz
- Bild 3-1: Berechnungsablauf des detaillierten Verfahrens
- Bild 3-2: Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Steigung [GÖLZ 2007]
- Bild 3-3: Radanteile nach Widerstandsverhältnis aus MiD 2008 und Verlauf Modal-Split-Funktion
- Bild 3-4: Funktionsverlauf der Standardfunktion im Vergleich zu Ergebnissen ausgewählter Mobilitätsbefragungen
- Bild 3-5: Funktionsverlauf der Standardfunktion im Umfeld der empfohlenen Ober- und Untergrenzen
- Bild 3-6: Berechnungsablauf des überschlägigen Verfahrens
- Bild 3-7: Radverkehrsanteil in Abhängigkeit der Reisezeit für überschlägiges Verfahren
- Bild 3-8: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert – Region A
- Bild 3-9: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert – Region B
- Bild 3-10: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert – Vergleich Region C

Bilder

- Bild 1-1: „Fahrradschlangen-Brücke“ in Kopenhagen [Foto: Thiemann-Linden]
- Bild 1-2: Radschnellverbindung F35 bei Hengelo, hier bahnparallel geführt [Foto: Thiemann-Linden]
- Bild 1-3: Radschnellverbindung Rijn-Waal-Pad in Lent bei Nimwegen [Foto: Thiemann-Linden]
- Bild 1-4: Cycle Superhighway Nr. 6 in London [Foto: Thiemann-Linden]
- Bild 1-5: Radschnellverbindung in der Kopenhagener Stadtregion [Foto: Thiemann-Linden]
- Bild 2-1: Schotterstreifen als Trennung [Foto: Planungsbüro VIA eG]
- Bild 2-2: Taktile Trennstreifen als Trennung [Foto: Planungsbüro VIA eG]
- Bild 2-3: Beispielrechnung für die Verlustzeiten von Knotenpunkten [FGSV 2014: 16]
- Bild 3-11: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Gesamtverkehrsaufkommen – Vergleich Region A
- Bild 3-12: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Radverkehrsaufkommen – Vergleich Region A
- Bild 3-13: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Radverkehrsaufkommen – Vergleich Region A
- Bild 3-14: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Gesamtverkehrsaufkommen – Vergleich Region B
- Bild 3-15: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Radverkehrsaufkommen – Vergleich Region B
- Bild 3-16: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Gesamtverkehrsaufkommen – Vergleich Region C
- Bild 3-17: Vergleich von Berechnungsverfahren und Modellwert Radverkehrsaufkommen – Vergleich Region C

-
- Bild 3-18: Vergleich des Radverkehrsaufkommens Bestand und Mitfall nach Distanzklassen – Detailliertes Verfahren Vergleichsregion A
- Bild 3-19: Vergleich des Radverkehrsaufkommens Bestand und Mitfall nach Distanzklassen – Detailliertes Verfahren Vergleichsregion B
- Bild 3-20: Vergleich des Radverkehrsaufkommens Bestand und Mitfall nach Distanzklassen – Detailliertes Verfahren Vergleichsregion C
- Bild 4-1: Beispielhafte Darstellung zur Übersicht der Nutzen-Kosten-Analyse
- Bild 6-1: Beispiel für eine Fahrbahnanhebung [Foto: Planungsbüro VIA eG]
- Bild 6-2: Beispiel für eine Roteinfärbung [Foto: Planungsbüro VIA eG]
- Bild 6-3: Beispiel für eine Fahrbahneinengung [Foto: Planungsbüro VIA eG]
- Bild 6-4: Beispiel für einen parallel angeordneten Fußgängerüberweg [Foto: Planungsbüro VIA eG]
- Bild 7-1: Einsatzbereiche für nicht-signalisierte Knotenpunkte an Radschnellverbindungen (innerorts)
- Bild 7-2: Einsatzbereiche für nicht-signalisierte Knotenpunkte an Radschnellverbindungen (außerorts)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2016

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

Pohle, Maier € 16,50

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

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

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

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

V 272: Einsatzkriterien für Baubetriebsformen

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

V 273: Autobahnverzeichnis 2016

Kühnen € 25,50

V 274: Liegedauer von Tausalzen auf Landstraßen

Schulz, Zimmermann, Roos € 18,00

V 275: Modellversuch für ein effizientes Störfallmanagement auf Bundesautobahnen

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

V 276: Psychologische Wirkung von Arbeitsstellen auf die Verkehrsteilnehmer

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

V 277: Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen

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

V 278: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2014

Fitschen, Nordmann € 30,50

V 279: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen

Geistefeldt, Giuliani, Busch, Schendzielorz, Haug, Vortisch, Leyn, Trapp € 23,00

2017

V 280: Demografischer Wandel im Straßenbetriebsdienst – Analyse der möglichen Auswirkungen und Entwicklung von Lösungsstrategien

Pollack, Schulz-Ruckriegel € 15,50

V 281: Entwicklung von Maßnahmen gegen Unfallhäufungsstellen – Weiterentwicklung der Verfahren

Maier, Berger, Kollmus € 17,50

V 282: Aktualisierung des Überholmodells auf Landstraßen

Lippold, Vettters, Steinert € 19,50

V 283: Bewertungsmodelle für die Verkehrssicherheit von Autobahnen und von Landstraßenknotenpunkten

Bark, Krähling, Kutschera, Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Schuckließ, Maier, Berger € 19,50

V 284: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten

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

V 285: Praxisgerechte Anforderungen an Tausalz

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

V 286: Telematisch gesteuertes Kompaktparken – Grundlagen und Entwicklung

Kleine, Lehmann € 16,50

V 287: Werkzeuge zur Durchführung des Bestandsaudits und einer erweiterten Streckenkontrolle

Bark, Kutschera, Resnikow, Follmann, Biederbick € 21,50

V 288: Überholungen von Lang-Lkw - Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf

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

V 289: Verkehrsqualität an verkehrsunabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen

Geistefeldt, Giuliani, Vieten, Dias Pais € 20,00

V 290: Fahrleistungserhebung 2014 – Inländerfahrleistung

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 19,00

V 291: Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko

Bäumer, Hautzinger, Pfeiffer, Stock, Lenz, Kuhnimhof, Köhler € 18,50

V 292: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw

Burg, Schrempp, Röhling, Klaas-Wissing, Schreiner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 293: Ermittlung der geeigneten Verkehrsnachfrage als Bemessungsgrundlage von Straßen

Geistefeldt, Hohmann, Estel
Unterauftragnehmer: Manz € 17,50

V 294: Wirtschaftlichkeitsbewertung besonderer Parkverfahren zur Lkw-Parkkapazitätserhöhung an BAB

Maibach, Tacke, Kießig € 15,50

V 295: Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss

Grotehusmann, Lambert, Fuchs, Graf € 16,50

V 296: Parken auf Rastanlagen mit Fahrzeugen und Fahrzeugkombinationen mit Übergröße

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

V 297: Sicherheitstechnische Überprüfung von Elementen plan gleicher Knotenpunkte an Landstraßen

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

V 298: Verfahren zur Zusammenführung von Informationen unterschiedlicher Netzanalysesysteme

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

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

2018

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

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

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

V 303: Psychologische Wirkungen von Arbeitsstellenlängen, -staffelung und -gestaltung auf die Verkehrsteilnehmer
Scotti, Kemper, Oeser, Haberstroh, Welter, Jeschke, Skottke € 19,50

V 304: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015
Fitschen, Nordmann € 31,00
Die Ergebnisdateien können als kostenpflichtiger Download unter: www.schuenemann-verlag.de heruntergeladen werden. € 15,00

V 305: Pilotversuche zur Behandlung der Abwässer von PWC-Anlagen
Hartmann, Londong € 16,00

V 306: Anpassung des bestehenden Straßennetzes an das Entwurfskonzept der standardisierten Straßen – Pilotprojekt zur Anwendung des M EKLBest
Lippold, Wittig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 307: Evaluation des Sicherheitsaudits von Straßen in der Planung
Baier, Baier, Klemps-Kohnen, Bark, Beaulieu, Theis € 17,50

V 308: Überarbeitung und Aktualisierung des Merkblattes für die Ausstattung von Verkehrsrechner- und Unterzentralen (MARZ 1999)
Gerstenberger, Hösch, Listl, Schwietering
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 309: Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO₂-Pilotstudie Lärmschutzwand
Baum, Lipke, Löffler, Metzger, Sauer € 16,50

V 310: Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie
Wang, Oeser, Steinauer
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 311: Feldversuch mit Lang-Lkw
Irzik, Kranz, Bühne, Glaeser, Limbeck, Gail, Bartolomaeus, Wolf, Sistenich, Kaundinya, Jungfeld, Ellmers, Kübler, Holte, Kaschner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 312: Sicherheitswirkung, Dauerhaftigkeit und Lärmemission von eingefrästen Rüttelstreifen
Hegewald, Vesper, Irzik, Krautscheid, Sander, Lorenzen, Löffler, Ripke, Bommert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2019

V 313: Tausalzverdünnung und -rückhalt bei verschiedenen Entwässerungsmethoden – Modellberechnungen
Braun, Klute, Reuter, Rubbert € 18,50

V 314: Übergreifende verkehrstechnische Bewertung von Autobahnstrecken und -knotenpunkten
Hartmann, Vortisch, Vieten, Chatzipanagiotidou, Haug, Spangler € 18,50

V 315: Telematisch gesteuertes Kompaktparken für das Lkw-Parkraummanagement auf Rastanlagen an BAB – Anforderungen und Praxiserprobung
Kappich, Westermann, Holst € 15,50

V 316: Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände
Lindner, Hartmann, Schulze, Hübelt € 18,50

V 317: Wahrnehmungspsychologische Aspekte (Human Factors) und deren Einfluss auf die Gestaltung von Landstraßen
Schlag, Anke, Lippold, Wittig, Walther € 22,00

V 318: Unfallkommissionsarbeit – Unterstützung durch einen webbasierten Maßnahmenkatalog zur Beseitigung von Unfallhäufungen
Wolf, Berger, Bärwolff € 15,50

V 319: Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen – Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen
Lippold, Veters, Ressel, Alber
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 320: Einsatzbereiche und Entwurfs Elemente von Radschnellverbindungen
Malik, Lange, Andriesse, Gwiasda, Erler, Stein, Thiemann-Linden € 18,00

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. +(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.