



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

NRVP
2020

Bettina Schröter • Stefan Huber • Regine Gerike • Sebastian Hantschel

Bewertung der Verkehrssicherheit und Attraktivität von Routen für den Radverkehr

Leitfaden für Planer*innen

Leitfaden auf Basis des Forschungsprojektes
**„Abschätzung des Einflusses der Verkehrssicherheit auf die Routenwahl im
Radverkehr anhand einer pseudo-repräsentativen Stichprobe von GPS-Daten“**
finanziert aus Mitteln zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans 2020
gefördert durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Lehrstuhl für
Verkehrsökologie



Impressum

Herausgeber

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List"
Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr
Professur für Integrierte Verkehrsplanung und Straßenverkehrstechnik

Verantwortlich

Dipl.-Ing. Bettina Schröter
Dr.-Ing. Stefan Huber
Prof. Dr.-Ing. Regine Gerike
Dr.-Ing. Sebastian Hantschel

Veröffentlicht: März 2023

Gefördert durch:



Das Projekt wird aus Mitteln zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans 2020 durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur gefördert.

Projektbegleitung:



Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	4
AUSGANGSSITUATION	4
ZIEL DES LEITFADENS	4
ERGEBNISSE DES FORSCHUNGSPROJEKTES	5
DATEN UND METHODEN	5
EINFLUSSFAKTOREN DER VERKEHRSSICHERHEIT	6
EINFLUSSFAKTOREN DER ROUTENWAHL	7
ANWENDUNGSBEISPIEL	9
AUSGANGSSITUATION – NULL-FALL	9
PROGNOSE – PLAN-FALL	11
ROUTENWAHLMODELL	11
UNFALLMODELL	14
HINWEISE ZUR ANWENDUNG DER MODELLE	16
EMPFEHLUNGEN	17

Einleitung

Ausgangssituation

Die Beliebtheit des Radfahrens ist in der jüngeren Vergangenheit gestiegen und der Trend zur häufigeren Nutzung des Fahrrads als Verkehrsmittel für alltägliche Wege hält deutschlandweit an. Um diese positive Entwicklung weiter zu fördern, müssen möglichst günstige Rahmenbedingungen für die Radfahrenden geschaffen werden, denn ein Schlüsselfaktor zur Verstetigung dieser Trends ist eine gut ausgebaute und an den Bedürfnissen der Radfahrenden orientierte Radverkehrsinfrastruktur.

Aufgrund der häufig knappen personellen und finanziellen Ressourcen, die für die Umsetzung von Maßnahmen (z.B. Umgestaltung Radverkehrsinfrastruktur) eingesetzt werden können, werden im Rahmen der Radverkehrsplanung Informationen benötigt, auf deren Grundlage die Verkehrsplaner*innen den Mitteleinsatz priorisieren können. Wesentliche Informationen sind dabei jene über die Routenwahl sowie die Verkehrssicherheit der Radfahrenden.

Informationen zu den Einflussfaktoren der Routenwahl sind von besonderer Relevanz, denn das Wissen darüber, welche Bedingungen von Radfahrenden positiv wahrgenommen werden und somit gewünscht sind (bzw. welche als negativ wahrgenommen und damit vermieden werden), kann in der Verkehrsplanung auf unterschiedliche Weise genutzt werden. Einerseits können die als positiv wahrgenommenen Faktoren gefördert und die als negativ wahrgenommenen Faktoren minimiert werden. Darüber hinaus können die aus Verhaltensanalysen zur Routenwahl resultierenden Erkenntnisse für die Modellierung potentieller Maßnahmen und die Prognose von Szenarien genutzt werden. Dies hilft, die Annahme oder Ablehnung bspw. geplanter Infrastruktur zu prognostizieren und Maßnahmen zu bewerten. Die geschilderten Sachverhalte gelten in gleichem Maße für die Verkehrssicherheit. Sind Einflussfaktoren und deren Wirkung auf das Unfallgeschehen bekannt, kann Infrastruktur entsprechend sicher geplant bzw. gestaltet werden.

Die Routenwahl für den Radverkehr wurde bisher vor allem in ausländischen Städten untersucht. Etwaige in Deutschland bestehende Analysen zum Routenwahlverhalten von Radfahrenden sind entweder nicht

ausreichend dokumentiert, zeigen Mängel bzgl. der genutzten Daten oder die resultierenden Modelle sind für Kommunen nicht zugänglich oder nicht einfach anwendbar.

Zur Verkehrssicherheit verschiedener Radverkehrsführungen gibt es zwar in Deutschland bereits Erkenntnisse, sie stützen sich jedoch entweder auf deskriptive Unfallanalysen auf Basis kleiner Stichproben oder auf Unfallmodelle, in denen lediglich Streckenabschnitte betrachtet wurden. Auch international wurden Einflussfaktoren auf die Radverkehrssicherheit bisher an eher kleinen Kollektiven untersucht.

Innerhalb des Nationalen Radverkehrsplanes wurde daher das Forschungsprojekt „Sichere Routenwahl – Abschätzung des Einflusses der Verkehrssicherheit auf die Routenwahl Radfahrender“ initiiert. Ziel des Projektes war es, die Einflussfaktoren der Routenwahl und des Unfallgeschehens im Radverkehr in Deutschland zu untersuchen und vereinfachte Modelle abzuleiten, die von kommunalen Akteur*innen genutzt werden können. Die im vorliegenden Leitfaden formulierten Ergebnisse und Empfehlungen basieren auf den Erkenntnissen dieses Forschungsprojektes.

Ziel des Leitfadens

Das Kernziel des Leitfadens besteht darin, kommunale Akteur*innen in die Lage zu versetzen, die aus dem Forschungsprojekt resultierenden Modelle zur Abschätzung der Wirkung von Planungsvorhaben zu nutzen. Dazu werden in den folgenden Kapiteln zunächst die im Forschungsprojekt genutzten Daten und Methoden sowie die zentralen Ergebnisse vorgestellt.

Kernelement des Leitfadens bildet das anschließende Anwendungsbeispiel. Dieses soll auf anschauliche Art und Weise vermitteln, wie die Ergebnismodelle des Projektes genutzt werden können, um Radverkehrsstärken und Unfallzahlen für die Wirkungsabschätzung eigener Vorhaben zu berechnen.

Der Leitfaden schließt mit Handlungsempfehlungen für die Planung, die im Wesentlichen auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes basieren. Darüber hinaus werden Handlungsempfehlungen für die Anwendung der Modelle geschildert.

Ergebnisse des Forschungsprojektes

Daten und Methoden

Das Forschungsprojekt basiert auf einer umfassenden Datenerhebung in Bezug auf Infrastrukturmerkmale, Verkehrsdaten, Unfalldaten und GPS-Routen. Die detailliertesten Daten liegen für die Kommune Dresden vor, für Darmstadt und München wurde auf kommunale und frei verfügbare Datensätze zurückgegriffen.

Für die Infrastrukturdaten wurde für einen Großteil des Hauptverkehrsstraßennetzes sowie für durch Radfahrende viel befahrene Nebennetzabschnitte Informationen z. B. zu Art und Breite von Radverkehrsanlagen, Längsneigungen und Parken erhoben und in einem Geoinformationssystem aufbereitet. Für die Knotenpunkte in diesem Netz wurde außerdem die Verkehrsregelung (z. B. Lichtsignalanlage) dokumentiert. Für Knotenpunkte in Dresden wurden darüber hinaus weitere Informationen (z. B. separate Linksabbiegephasen) für jede Zufahrt dokumentiert. Die Infrastrukturdaten dienen sowohl der Analyse von Einflussfaktoren der Verkehrssicherheit, als auch der Routenwahl.

Verkehrsstärken wurden für den Radverkehr sowie den Kfz- und Schwerverkehr erfasst. Als Kenngrößen wurden auf Streckenabschnitten die jeweilige durchschnittlich tägliche Verkehrsstärke (DTV) und an Knotenpunkten die Gesamtbelastung für jede der Verkehrsarten verwendet. Für die Knotenpunkte in Dresden liegen detaillierte Knotenstromzählungen für alle Verkehrsarten vor, aus denen richtungsfeine Verkehrsstärken abgeleitet wurden. Die ermittelten Verkehrsstärken dienen sowohl der Abschätzung des Einflusses der Exposition auf die Verkehrssicherheit als auch der Analyse der Routenwahl.

Für die Analyse des Unfallgeschehens wurden Daten aus dem [Unfallatlas](#) für einen Fünfjahreszeitraum (2016-2020) betrachtet und räumlich den jeweiligen Strecken und Knotenpunkten zugewiesen. Dabei wurden nur Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung betrachtet. Sie gehen als abzuschätzende Zielvariable in die Verkehrssicherheitsbetrachtung ein. In den Routenwahlmodellen werden sie als Einflussgröße berücksichtigt.

Die Unfalldaten und die Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen wurden mithilfe von Unfallvorhersagemodellen (Accident Prediction Models, APM) analysiert. Diese Unfallvorhersagemodelle schätzen die zu erwartenden

Unfallzahlen auf Basis der Exposition (Verkehrsstärken Rad & Kfz) sowie infrastruktureller und betrieblicher Eigenschaften ab.

Für die Routenwahlmodelle wurden Routendaten aus unterschiedlichen Forschungsprojekten der Technischen Universität Dresden verwendet. Im Rahmen des Projektes [RadVerS](#) wurden im Sommer 2018 GPS-Routendaten in einer umfangreichen Feldstudie im Stadtgebiet von Dresden erhoben. Der Datensatz wurde von 187 freiwilligen Radfahrenden aufgezeichnet. Die Teilnehmenden wurden hinsichtlich der Alters- und Geschlechtsverteilung entsprechend der Bevölkerung der Stadt ausgewählt. Die Radfahrenden nutzten eine angepasste Version der [Cyface Smartphone-App](#), um ihre Fahrten zu erfassen. Nach einer umfassenden Datenverarbeitung konnten in Dresden rund 4.000 Fahrten für die Modellschätzung verwendet werden.

Für die Kommunen Darmstadt und München wurden im Rahmen der Aktion [STADTRADELN](#) im Jahr 2019 aufgezeichnete GPS-Routendaten aus dem Forschungsprojekt [MOVEBIS](#) verwendet, welche analog zu den Daten in Dresden aufbereitet wurden. In Darmstadt standen insgesamt ca. 5.000 und in München ca. 22.000 Fahrten für die Analyse zur Verfügung. Infrastrukturmerkmale, Verkehrsstärken und Unfalldaten wurden anschließend mit den gefahrenen Routen räumlich überlagert und zur Analyse des Routenwahlverhaltens der Radfahrenden genutzt.

Die Studienteilnehmenden in Dresden führten während des Erhebungszeitraums zusätzlich ein Mobilitätstagebuch, in welchem sie für die gefahrenen Routen erlebte kritische und gefährliche Situationen festhalten konnten. Insgesamt wurden 372 kritische Situationen gemeldet, welche als Maß der subjektiven Verkehrssicherheit in den Routenwahlmodellen betrachtet wurden.

Um die Routenwahl analysieren zu können, müssen Routenalternativen erzeugt werden: Für jede gefahrene Route wurden jeweils zwei Alternativen auf Basis von Reisezeit und Reisedistanz erzeugt, die sich räumlich stark von der gewählten Route unterscheiden, sodass "echte Alternativen" entstehen. Für die Analyse der Routenwahl wurde ein multinomiales logistisches Regressionsmodell (MNL) mittels Maximum Likelihood Estimation (MLE) geschätzt.

Einflussfaktoren der Verkehrssicherheit

In den differenzierten Modellen für Dresden wurden insbesondere die Wirkung infrastruktureller Einflussgrößen auf das Unfallgeschehen mit Radverkehrsbeteiligung beschrieben. Demgegenüber beinhalten die vereinfachten Modelle, die für Dresden, München und Darmstadt berechnet werden konnten, die Überprüfung der Möglichkeit der Unfallvorhersage mit reduzierter Datenverfügbarkeit.

Aus den (differenzierten) Analysen der Strecken können folgende Erkenntnisse zusammengefasst werden:

- Auf den Streckenabschnitten existieren viele verschiedene Unfallkonstellationen mit Beteiligung von Radfahrenden. Je nach Betrachtung treten am häufigsten **Einbiegen/Kreuzen- Unfälle** zwischen Radfahrenden und Kfz sowie **Fahrnfälle** (meistens Alleinunfälle von Radfahrenden) auf. Auch **Unfälle im Längsverkehr** (zwischen Radfahrenden und Kfz, aber auch anderen Radfahrenden), **Abbiegeunfälle** und **Unfälle mit dem ruhenden Verkehr** werden häufig erfasst (Anteil der Unfalltypen am Unfallgeschehen jeweils zwischen 10 % und 25 %).
- Alle Betrachtungen zeigen einen positiv degressiven Zusammenhang zwischen **Radverkehrsstärke** und Unfallgeschehen, was den „Safety-in-Numbers“ Effekt belegt. Dieser besagt, dass die Unfallanzahl bei steigenden Radverkehrsstärken zwar zunimmt, das Unfallrisiko eines einzelnen Radfahrenden jedoch abnimmt, wenn die Radverkehrsstärke auf einem Infrastrukturelement zunimmt.
- Sowohl Strecken mit **vielen Haltestellen** als auch Strecken an denen (Straßenbahn-) **Gleise** vorliegen, weisen im Vergleich höhere Unfallzahlen auf. Dies gilt insbesondere für Fahrnfälle.
- Sowohl Strecken mit vielen **Grundstückszufahrten** als auch Strecken an denen **anteilig viele Parkmöglichkeiten für Kfz** vorliegen, zeigen mehr Unfälle (Einbiegen/Kreuzen-Unfälle bzw. Unfälle mit dem ruhenden Verkehr).

Die Betrachtung des Unfallgeschehens an Knotenpunkten und Knotenpunktzufahrten zeigt folgende Zusammenhänge:

- Das Unfallgeschehen an Knotenpunkten (alle Verkehrsregelungsarten) ist von **Einbiegen/Kreuzen-Unfällen** (>40 %) und **Abbiegeunfällen** (>30 %) dominiert. An Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen treten häufiger Abbiegeunfälle (>50 %) auf.
- Alle Betrachtungen zeigen einen Einfluss der **Radverkehrsstärke** auf das Unfallgeschehen (siehe Erkenntnisse Strecken).
- Mit steigender **Kfz- oder Schwerverkehrsstärke** steigt auch die Unfallzahl. Der Koeffizient der Kfz-Verkehrsstärke ist dabei maximal linear, was bedeutet, dass die Unfallanzahl im gleichem Maße wie die Verkehrsstärke steigt.
- **Lichtsignalgeregelte** Knotenpunktzufahrten wirken im Vergleich zu unvollständig signalisierten und **verkehrszeichengeregelten Zufahrten** sicherer (unabhängig von Rad- und Kfz-Verkehrsstärken).
- Eine **separate Signalisierung** des motorisierten Verkehrs (Links- und Rechtsabbiegeschutz) an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen verringert die Zahl der Abbiegeunfälle.
- Das Vorhandensein von **Gleisen** zeigt sich unfall erhöhend für Fahrnfälle.

Die Betrachtung der Verkehrssicherheit auf Strecken und Knotenpunkten mit reduzierter Datenverfügbarkeit (vereinfachte Modelle) zeigt folgende Einflüsse:

- Das vereinfachte Streckenmodell zeigt den Einfluss der Verkehrsstärken sowie der Radverkehrsführungsform. Führungen im Seitenraum werden hier sicherer bewertet als Führungen auf der Fahrbahn. Außerdem weisen Strecken mit Straßenbahngleisen höhere Unfallzahlen auf.
- Für das vereinfachte Knotenpunktmodell zeigen Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen ein höheres Sicherheitsniveau für den Radverkehr, wenn diese mit Radverkehrsanlagen ausgestattet sind.

Die vereinfachten Modelle weisen einen vergleichbar hohen Erklärungsgehalt wie die differenzierten Modelle auf – die Abschätzung von Unfallzahlen ist also auch bei reduzierter Datenverfügbarkeit möglich.

Einflussfaktoren der Routenwahl

In dem differenzierten Routenwahlmodell für Dresden konnten 18 Einflussgrößen berücksichtigt werden. In den vereinfachten Modellen wurde die Routenwahl auf Basis der reduzierten Datenverfügbarkeit für Dresden, Darmstadt und München analysiert. Anschließend wurden die Resultate der beiden Modellformen für Dresden sowie die vereinfachten Modelle für Dresden, Darmstadt und München miteinander verglichen.

Die Resultate des differenzierten Routenwahlmodells für Dresden werden wie folgt zusammengefasst:

- Radfahrende zeigen eine Präferenz zur Nutzung der **kürzesten Route**. Gleichzeitig sind sie bereit, längere Wege in Kauf zu nehmen, wenn diese Routen „vorteilhaft“ (ggü. der kürzesten Route) sind (z.B., wenn diese über eine bessere Radverkehrsinfrastruktur verfügen).
- Die maximal vorhandene **Längsneigung** entlang einer Route wirkt sich leicht negativ auf die Auswahl einer Route aus. Viele Streckenabschnitte mit einer Längsneigung < 2 % wirken sich hingegen deutlich positiv auf die Wahl einer Route aus.
- Das Vorhandensein von **Radverkehrsinfrastruktur** beeinflusst die Routenwahl stark positiv. Dies gilt für Radwege ebenso wie für Schutz- und Radfahrstreifen.
- Die **Oberflächenbeschaffenheit** übt einen signifikanten Einfluss aus. Vor allem hohe Anteile einer Route mit dem Oberflächentyp „Asphalt“ beeinflussen die Wahl einer Route stark positiv.
- Es konnte insgesamt kein wesentlicher Einfluss des **DTV_{Kfz}** auf die Routenwahl nachgewiesen werden.
- Eine höhere **Radverkehrsstärke** übt einen starken positiven Einfluss auf die Routenwahl aus.
- Das Vorhandensein von lediglich einem **Richtungsfahrstreifen** für den motorisierten Verkehr beeinflusst die Routenwahl signifikant positiv.
- Geringe **Fußverkehrsdichten** üben einen signifikant negativen Einfluss auf die Routenwahl aus.
- **Knotenpunkte** der Regelungsart „rechts-vor-links“ wirken sich schwach positiv auf die Routenwahl aus.

Lichtsignalgeregelter Knotenpunkte besitzen demgegenüber eine etwas stärkere positive Wirkung.

- Ein hoher **Grünflächenanteil** entlang einer Route wirkt stark positiv auf die Routenwahl.
- Für den **ruhenden Verkehr**, eine zulässige **Höchstgeschwindigkeit des Kfz-Verkehrs von bis zu 30 km/h** sowie die **Umfeldnutzung „Wohngebiet“** konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang gefunden werden.

Neben den infrastrukturell-betrieblichen Eigenschaften wurde auch der Einfluss der Sicherheitsindikatoren auf die Routenwahl geprüft. Hier zeigt sich, dass sowohl die **Unfallhäufigkeit** (objektive Sicherheit) als auch die Anzahl **kritischer Situationen** (subjektive Sicherheit) einen geringen Einfluss auf die Routenwahl der Radfahrenden ausüben.

Auf Basis der Analyse des Einflusses von Unfallgeschehen in den Routenwahlmodellen zeigt sich, dass sich die Unfallhäufigkeit (objektive Sicherheit) entlang einer Route zwar signifikant, jedoch nur schwach negativ auf die Wahl einer Route auswirkt. Dies gilt ebenso für die Betrachtung von geschlechts-, wegezweck- und radfahrertypenspezifischer Routenwahl, wobei sich zwischen den Gruppen keine Unterschiede zeigen.

Auf Basis der Analyse des Einflusses gemeldeter kritischer Situationen wird ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen Örtlichkeiten subjektiver Unsicherheit und der Routenwahl gefunden, d. h. modelltheoretisch wählen Radfahrende tendenziell häufiger Routen, an denen kritische Situationen auftraten. Dieser Zusammenhang ist kausal nur auf Basis der Datengrundlage erklärbar – an diesen Stellen wurden kritische Situationen wahrscheinlich öfter gemeldet, weil dort besonders viel Radfahrende (aus anderen Gründen) langfahren – und sollte inhaltlich nicht interpretiert werden.

Da der direkte Einfluss in den Modellen nur schwache Zusammenhänge abbildet und vermutet wird, dass andere Einflussgrößen als Stellvertretergrößen für die subjektive und objektive Verkehrssicherheit stehen, wird eine Wechselwirkung des Einflusses von Verkehrssicherheit und Routenwahl vermutet. Im Ergebnis zeigt sich, dass Radfahrende sowohl längere Strecken meiden als auch auf längeren Strecken eine höhere Unfallwahrscheinlichkeit haben.

Außerdem präferieren Radfahrende Strecken, auf denen mehr Radfahrende unterwegs sind – sie sind auf diesen durch den „Safety-in-Numbers“-Effekt auch tendenziell sicherer.

Neben Richtung und Stärke der unterschiedlichen Einflussfaktoren ist vor allem interessant, dass wenige Einflussgrößen einen Großteil der Routenwahl erklären. Das Vorhandensein von Radverkehrsinfrastruktur (23 %), geringe Längsneigung (22 %) und maximale Längsneigungen (20 %) sowie die Oberflächenqualität (16 %) entlang einer Route und die Fahrtweite (12 %) erklären insgesamt rund 94 % der Routenwahl (in Klammern jeweils Erklärungsgehalt der Routenwahl). Diese Variablen wurden genutzt, um die Routenwahl mittels vereinfachter Modelle zu untersuchen. Die vereinfachten Modelle für Dresden, Darmstadt und München zeigen ähnliche Ergebnisse für die Routenwahl auf. Der Vergleich des vereinfachten Modells mit dem differenzierten Modell (Dresden) zeigt:

- Die Koeffizienten des vereinfachten Modells stimmen größtenteils mit denen des differenzierten Modells überein.
- Dies trifft vor allem auf die Einflussfaktoren Fahrtweite, die geringe Längsneigung ($LN \leq 2\%$), der maximalen Längsneigung sowie der Präsenz anderer Radfahrender (Radverkehrsstärke) zu.
- Unterschiede bestehen vor allem in der Stärke der Wirkung der Oberflächenqualität und dem Vorhandensein von Radverkehrsinfrastruktur.

Die vereinfachten Modelle weisen insgesamt aber einen ähnlich hohen Erklärungsgehalt auf wie das differenzierte Modell. Die Analyse und Modellierung der Routenwahl ist also auch bei reduzierter Datenverfügbarkeit möglich.

Zusammenfassend hängt die Routenwahl von Radfahrenden maßgeblich von Komfortkriterien und nicht von Einflüssen der Verkehrssicherheit ab.

Anwendungsbeispiel

Die Erkenntnisse des Forschungsprojekts „Sichere Routenwahl“ konnten zunächst einen Einblick in die Wirkung der Einflussfaktoren auf die Verkehrssicherheit und die Routenwahl im Radverkehr geben. Die Modelle können sowohl für die Bewertung einzelner Routen oder Streckenabschnitte als auch für die Modellierung und Bewertung in komplexen stadtweiten Netzen genutzt werden. Damit die resultierenden Modelle in der Praxis Anwendung finden, wird in dem nachfolgenden Anwendungsbeispiel die Nutzung des Routenwahl- und Unfallmodells erläutert. Dazu werden die vereinfachten Modellversionen herangezogen, da sie ein hohes Maß an Erklärungsgehalt und Modellgüte bei gleichzeitig reduziertem Dateninput (siehe vorige Kapitel) aufweisen. Für mehr Informationen zur Herleitung der Modelle wird an dieser Stelle auf den Projektschlussbericht verwiesen. In der im Leitfaden beschriebenen Modellanwendung wird ein Null-Fall (Ausgangssituation) und ein Plan-Fall (veränderte Infrastruktur) betrachtet.

Das nachfolgend beschriebene Beispiel stellt eine Vereinfachung in einem begrenzten Raum mit bekannten Variablen dar. In der Realität ist es schwer möglich, alle Rahmenbedingungen und Einflussgrößen zu erfassen und für die Interpretation der Modellergebnisse zu Rate zu ziehen. Es wird daher empfohlen, die Ergebnisse sorgfältig zu prüfen und weitere Einflussgrößen, die für mögliche Differenzen zwischen Modellergebnissen und Referenzdaten verantwortlich sind, in der Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen.

Ausgangssituation – Null-Fall

Die Nutzung der Modelle sei an einem vereinfachten Beispiel mit der folgenden Ausgangssituation erläutert: Es wird ein Stadtbezirk betrachtet, der nördlich vom Stadtzentrum einer fiktiven Stadt liegt und sich vom Stadtzentrum bis zum Stadtrand erstreckt. Stadt und Stadtbezirk verfügen über ein Hauptverkehrsnetz mit innerstädtischer Verbindungsfunktion und ein Nebennetz, über das die Quartiere angebunden sind (siehe Abbildung 1).

In dem Stadtbezirk existiert eine Verkehrsrelation mit einem hohen Radverkehrsaufkommen ausgehend vom Stadtrand (Quelle) in die Innenstadt (Ziel). Auf dieser

Quelle-Ziel-Relation finden täglich 1.000 Radfahrten statt, für die im Wesentlichen zwei Routen genutzt werden können (siehe Abbildung 2). Beide Routen verlaufen sowohl über Strecken im Nebennetz (zu Beginn und Ende der Routen) als auch über Strecken des Hauptverkehrsnetzes (Hauptlauf der Routen).

Die einzelnen Streckenabschnitte entlang der genutzten Routen sind unterschiedlich lang (siehe Abbildung 3), verfügen jedoch über ähnlich hohe Kfz-Verkehrsstärken sowie Grund-Radverkehrsstärken aus anderen Verkehrsrelationen (siehe Abbildung 4). Da es sich um eine Stadt mit einem flachen Relief handelt, sind die Längsneigungen auf allen Strecken Null. Alle Strecken verfügen über eine gute Oberflächenbeschaffenheit. Straßenbahngleise sind auf keiner der Routen vorhanden. Die östliche Route (Route 2) ist insgesamt kürzer als die westliche Route (Route 1) und ist bereits im Null-Fall auf einem längeren Streckenabschnitt mit einem Radweg ausgestattet. Auf allen anderen Strecken wird der Radverkehr im Mischverkehr geführt. Somit fahren Radfahrende entlang der Route 1 ausnahmslos im Mischverkehr (siehe Abbildung 5).

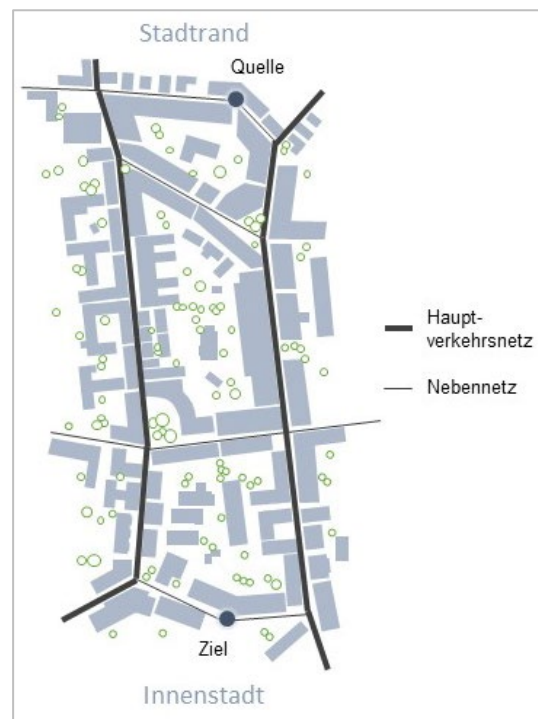


Abbildung 1: Betrachteter Stadtbezirk

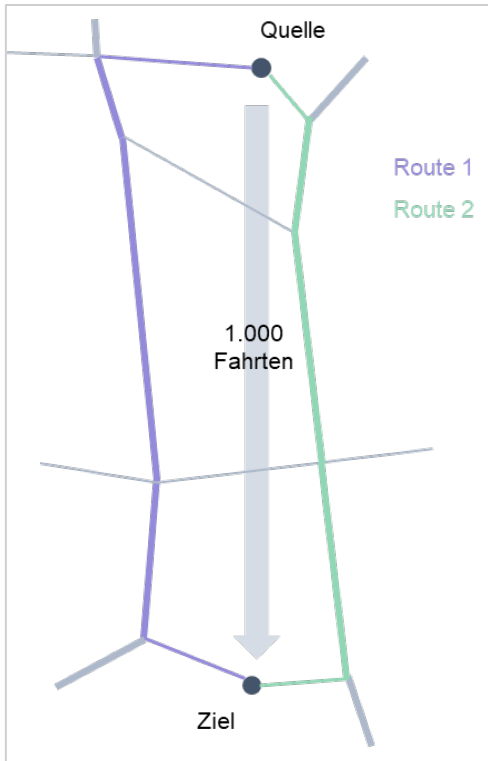


Abbildung 2: Routenalternativen der Verkehrsrelation

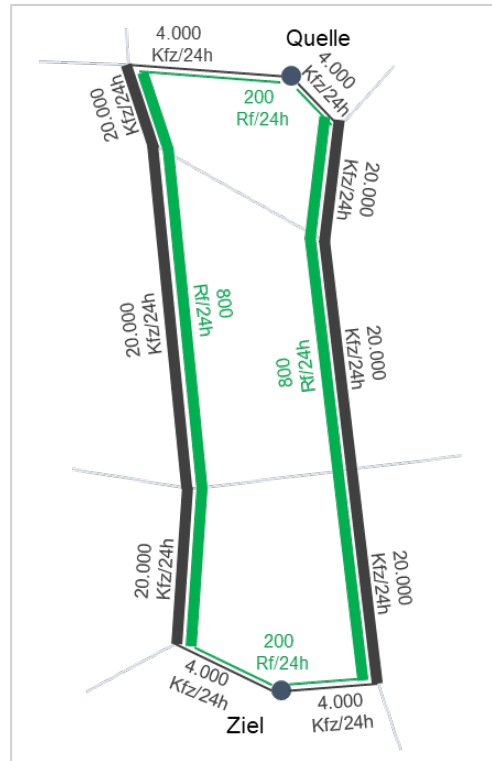


Abbildung 4: DTV entlang der Streckenabschnitte

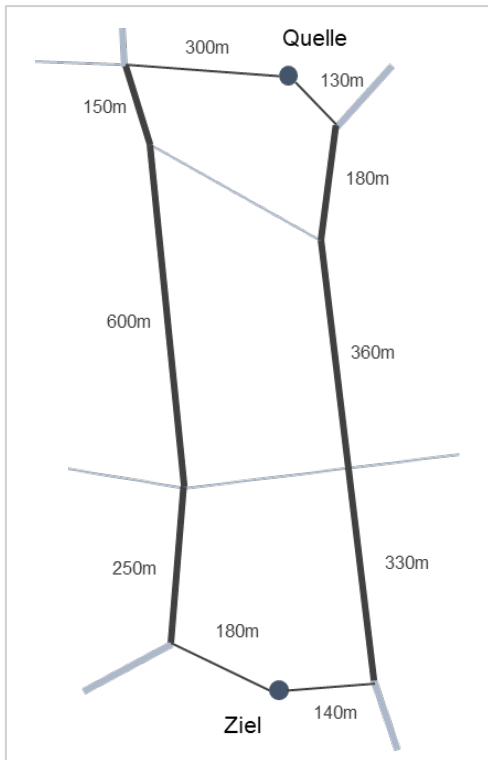


Abbildung 3: Längen der Streckenabschnitte

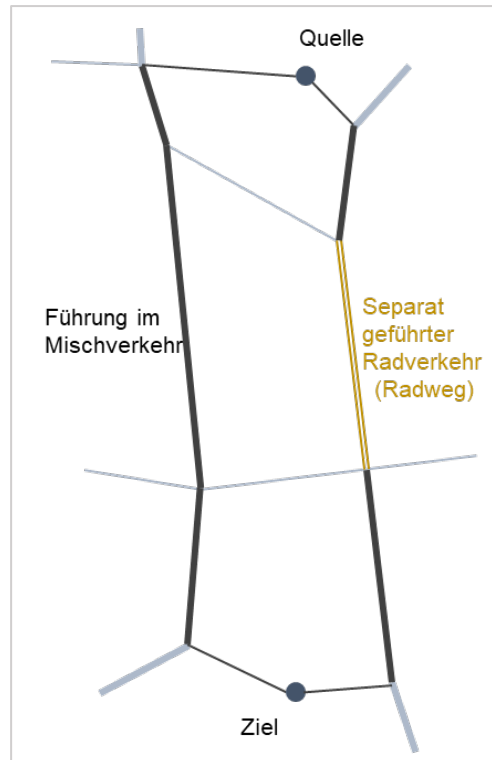


Abbildung 5: Radverkehrsführungsform im Null-Fall

Prognose – Plan-Fall

Um die Bedingungen des Radverkehrs in der Stadt zu verbessern und die Verbindungsqualität zwischen dem Stadtrand und der Innenstadt zu erhöhen, plant die Stadt die Umsetzung eines Radschnellweges entlang einer bestehenden Hauptverkehrsstraße von Nord nach Süd. Der Radschnellweg soll im Stadtgebiet als separat geführter Radweg umgesetzt werden und entlang der westlichen Route (Route 1) durch den betrachteten Bezirk verlaufen (siehe Abbildung 6). Dies bedeutet, dass alle Radfahrenden zw. Quelle und Ziel entlang dieser Route nun zu einem Großteil (ca. 68% der Gesamtstrecke) auf separat geführten Radwegen fahren. Alle anderen Eigenschaften des Verkehrsnetzes (Längen der Streckenabschnitte, Oberflächenbeschaffenheit, Längsneigungen) werden nicht verändert und die Grund-Verkehrsnachfrage (Kfz- und Rad-Verkehrsstärken) als konstant angenommen. Die Eigenschaften der beiden Routen sind, abgesehen von dem Anteil der Radverkehrsinfrastruktur (Route 1: 67,6%; Route 2: 31,6%), identisch zu denen im Null-Fall.

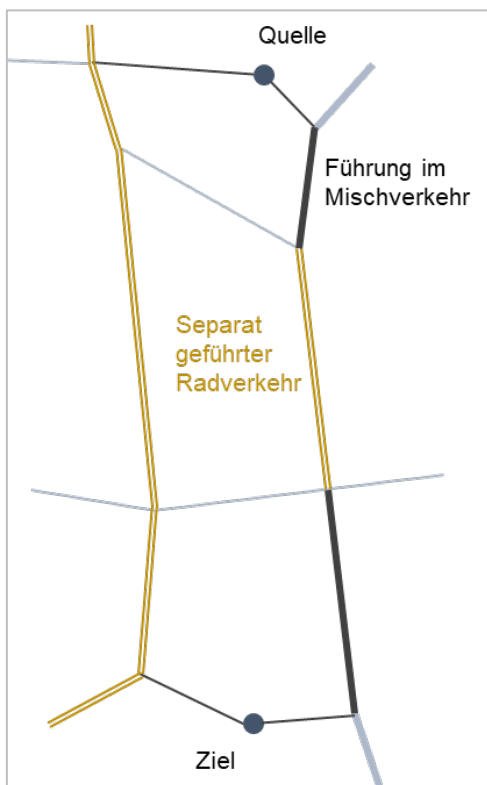


Abbildung 6: Radverkehrsführungsform im Plan-Fall

Routenwahlmodell

Um die Auswirkungen der beschriebenen Maßnahme auf die Verkehrssicherheit und die Routenwahl zu bestimmen, werden die vereinfachten Modelle angewendet. Zuerst wird die Verteilung der Radfahrten auf die zur Wahl stehenden Routen bestimmt.

Inputgrößen für das Routenwahlmodell sind die folgenden Eigenschaften der jeweiligen Route i:

- Fw_i - Fahrtweite [km]
- RI_i - Anteil Radverkehrsinfrastruktur [%]
- LN_i - Anteil geringer Längsneigung [%]
- $LNmax_i$ - Max. Längsneigung [%]
- AO_i - Anteil Asphaltoberfläche [%]
- $DTVrad_i$ - Anteil DTVrad > 500 Rad/24h [%]

Die Eigenschaften der beiden Routen lassen sich auf Basis der beschriebenen Eingangsdaten wie folgt zusammenfassen:

Eigenschaften	Null-Fall		Plan-Fall	
	Route 1	Route 2	Route 1	Route 2
Fw_i	1,48	1,14	1,48	1,14
RI_i	0,0%	31,6%	67,6%	31,6%
LN_i	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
$LNmax_i$	-	-	-	-
AO_i	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
$DTVrad_i$	67,6%	76,3%	67,6%	76,3%

Dabei werden (bis auf die Länge der Route) die Eigenschaften als längenmäßiger Anteil der Ausprägung auf der Route beschrieben. So errechnet sich bspw. für Route 2 das Merkmal Anteil der Radverkehrsinfrastruktur RI_2 nach:

$$RI_2 = \frac{0,36 \text{ km}}{1,14 \text{ km}} = 0,316 = 31,6 \%$$

Die anderen Werte werden analog berechnet.

Neben den Eigenschaften fließt für jede berücksichtigte Variable ein Koeffizient (β) in das Modell ein, der eine Gewichtung der Eigenschaft für die Bewertung bewirkt. Die Koeffizienten sind das Ergebnis der statistischen Analysen aus dem Forschungsprojekt. Die Koeffizienten des Routenwahlmodells sind in der folgenden Tabelle aufgeführt und den Eigenschaften mit den oben eingeführten Kürzeln eindeutig zuordenbar. Bei β_{BW} handelt es sich um einen fixen Koeffizienten, der die Präferenz zur Nutzung des Bestwegs (kürzeste Route) ausdrückt und nur auf die kürzeste Route angewendet wird.

Koeffizient	Wert
β_{BW}	0,7903
β_{Fw}	0,6473
β_{RI}	3,2200
β_{LN}	2,5567
β_{LNmax}	-0,0307
β_{AO}	3,0967
β_{DTVrad}	4,3233

Die aufgeführten Koeffizienten bleiben stets unverändert, weil sie den „Kern“ des Routenwahlmodells bilden, der das Wahlverhalten der Radfahrenden abbildet.

Um die Verteilung des Fahrtenaufkommens A_i (1.000 Fahrten) auf die beiden Routen zu berechnen, werden zunächst die Aufwände für beide Routen über die folgende Formel bestimmt, wobei jeweils die Eigenschaft mit dem Koeffizienten der Eigenschaft multipliziert wird:

$$A_i = \beta_{BW} + \beta_{Fw} * Fw_i + \beta_{RI} * RI_i + \beta_{LN} * LN_i + \beta_{LNmax} * LNmax_i + \beta_{AO} * AO_i + \beta_{DTVrad} * DTVrad_i$$

Mit den o.g. Variablen und Koeffizienten ergibt sich damit für den Null-Fall für Route 1:

$$A_1 = 0,6473 * 1,48 + 3,2200 * 0,0 + 2,5567 * 1 - 0,0307 * 0 + 3,0967 * 1 + 4,3233 * 0,68 = 9,53$$

und für Route 2:

$$A_2 = 0,7903 + 0,6473 * 1,14 + 3,2200 * 0,316 + 2,5567 * 1 - 0,0307 * 0 + 3,0967 * 1 + 4,3233 * 0,76 = 11,50$$

Die Berechnung für den Plan-Fall erfolgt analog unter Einbezug der neuen Variablen (im vorliegenden Bsp. ist dies im Wesentlichen der veränderte Anteil der Radverkehrsführung).

Aus den resultierenden Aufwänden wird nun der jeweilige Nutzen N_i einer Route i berechnet, nach:

$$N_i = e^{A_i}$$

Damit ergibt sich für den Null-Fall der Nutzen für Route 1 (N_1) und Route 2 (N_2) mit:

$$N_1 = e^{9,53} = 13.801,85$$

$$N_2 = e^{11,503} = 98.504,23$$

Anschließend kann aus den so ermittelten Nutzen die Auswahlwahrscheinlichkeit der jeweiligen Routen bestimmt werden. Die Wahrscheinlichkeit P einer Route i ergibt sich aus dem Quotienten des Einzelnutzens N einer Route i und dem Gesamtnutzen aller Routen auf der Relation nach:

$$P_i(N_{i-n}) = \frac{N_i}{\sum N_{i-n}}$$

Für den Null-Fall berechnen sich die Auswahlwahrscheinlichkeiten für Route 1 (P_1) und Route 2 (P_2) nach:

$$P_1 = \frac{13.801,85}{(13.801,85 + 98.504,23)} = 0,123 = 12,3 \%$$

$$P_2 = \frac{98.504,23}{(13.801,85 + 98.504,23)} = 0,877 = 87,7 \%$$

Durch Multiplikation der sich ergebenden Auswahlwahrscheinlichkeiten mit dem Gesamtfahrtenaufkommen (1.000 Fahrten) kann schließlich die Fahrtenanzahl für jede Route berechnet werden. Die Berechnungen für den Plan-Fall erfolgen analog.

Die Verteilung der Fahrten im Null-Fall sowie die Prognose der Fahrtenaufteilung im Plan-Fall werden auf der folgenden Seite dargestellt.

Ergebnis Null-Fall

Basierend auf der Ausgangssituation wurden im Null-Fall 12,3 % aller Fahrten auf der Route 1 durchgeführt. Dies entspricht 123 der insgesamt 1.000 Fahrten auf der Verkehrsrelation. Etwa 87,7 % wählten die Route 2 – dies entspricht 877 Fahrten. Die Präferenz zur Nutzung der Route 2 geht maßgeblich auf die kürzere Fahrtweite der Route (1,14 km) sowie das Vorhandensein von Radverkehrsinfrastruktur (31,6 % der Route) zurück. Die resultierenden Radverkehrsstärken sind in Abbildung 7 dargestellt.

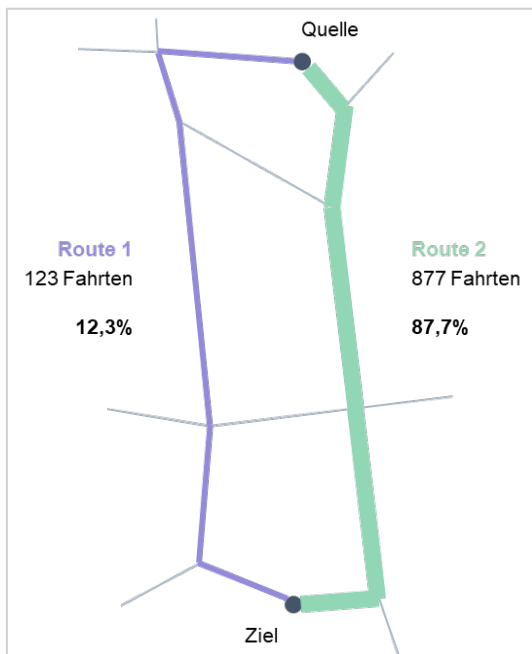


Abbildung 7: Verkehrsströme im Null-Fall

Ergebnis Plan-Fall

Durch die Umsetzung der Maßnahme (Radschnellweg entlang der westlichen Route) haben sich die Eigenschaften der Route 1 gegenüber dem Null-Fall entscheidend geändert. Zwar ist Route 1 noch immer die längere Alternative zwischen Quell- und Zielort, die Streckenabschnitte im Hauptverkehrsnetz verfügen im Plan-Fall jedoch über einen separat geführten Radweg, sodass sich die Anteile von Radverkehrsinfrastruktur entlang der Routen zu Gunsten der Route 1 verschieben. Die Auswirkung der Maßnahme zeigt sich deutlich in den Ergebnissen der Modellierung. Bei gleichbleibender Fahrtenanzahl (1.000 Fahrten) verlagern sich mehr als 2/5 aller Fahrten (43,0 %) von der Route 2 (im Null-Fall bevorzugt) auf die nun offensichtlich deutlich attraktivere Route 1, siehe Abbildung 8. Die Auswahlwahrscheinlichkeit dieser Route liegt nun bei 55,2 %, was bei dem vorliegenden Fahrtenaufkommen 552 Fahrten und damit der Mehrzahl an Fahrten auf der Quelle-Ziel-Relation entspricht. Die im Null-Fall stark präferierte Route 2 wird im Plan-Fall lediglich in 44,8 % der Fälle gewählt. Dies entspricht 448 Fahrten.

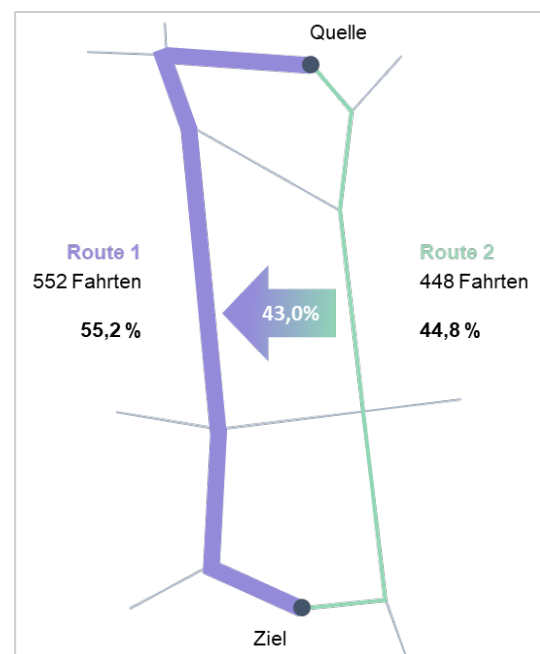


Abbildung 8: Verkehrsströme im Plan-Fall

Unfallmodell

Das Unfallmodell rechnet im Gegensatz zum Routenwahlmodell nicht routenbezogen, sondern streckenabschnittbezogen, weshalb die Eigenschaften für die jeweiligen Routen streckenabschnittsbezogen betrachtet werden. Die Unfallanzahl einer Route errechnet sich folglich aus der Summe der im Unfallmodell prognostizierten Unfallanzahl auf den Streckenabschnitten bzw. Segmenten j einer Route i . Die Eigenschaften werden als metrische Größen (z. B. m oder Kfz/24h) oder kategoriale Variablen (Führung des Radverkehrs im Mischverkehr MV vs. Führung auf dem Radweg RW; Straßenbahngleise vorhanden vs. nicht vorhanden) ausgewiesen.

Inputgrößen für das vereinfachte Unfallmodell sind die folgenden Eigenschaften der Routen bzw. Streckenabschnitte:

- L_{ij} - Länge [km]
- RI_{ij} - Radverkehrsinfrastruktur
- SBG_{ij} - Straßenbahngleise
- $DTVrad_{ij}$ - Radverkehrsstärke [Rf/24h]
- $DTVkfz_{ij}$ - Kfz-Verkehrsstärke [Kfz/24h]

Die Radverkehrsstärke weist in diesem Zusammenhang die Besonderheit auf, dass sich diese aus der Grundbelastung im Netz und der berechneten Belastung auf der Relation zusammensetzt. Als Grundbelastung sind solche Radverkehrsströme zu verstehen, die sich unabhängig der Relation bewegen (z. B. Quelle oder Ziel liegen innerhalb des Quartiers und sind auf Grund ihrer räumlichen Lage nicht beeinflusst von den Wirkmechanismen des Routenwahlmodells). Die berechneten Radverkehrsstärken auf der Relation entsprechen dem Ergebnis des Routenwahlmodells. Die in das Unfallmodell einfließende Radverkehrsstärke ergibt sich nach:

$$DTVrad_{ij} = DTVrad_{ij-Grund} + DTVrad_{ij-Relation}$$

Die Ausprägung dieser Variablen und damit die in das Unfallmodell einfließenden Werte sind in der folgenden Tabelle für jedes Segment j auf den Routen i im Null-Fall dargestellt. Auf die Aufschlüsselung des Merkmals „Straßenbahngleise“ wird hier verzichtet, da auf allen Abschnitten und Routen keine Gleise vorhanden sind.

Segment j	Eigenschaften	Null-Fall	
		Route 1	Route 2
1	Länge L [km]	0,30	0,13
	RI_i	MV	MV
	$DTVrad_i$ [Rf/24h]	200 + 123	200+ 877
	$DTVkfz_i$ [Kfz/24h]	4000	4000
2	Länge L [km]	0,15	0,18
	RI_i	MV	MV
	$DTVrad_i$ [Rf/24h]	800+ 123	800+ 877
	$DTVkfz_i$ [Kfz/24h]	20000	20000
3	Länge L [km]	0,60	0,36
	RI_i	MV	RW
	$DTVrad_i$ [Rf/24h]	800+ 123	800+ 877
	$DTVkfz_i$ [Kfz/24h]	20000	20000
4	Länge L [km]	0,25	0,33
	RI_i	MV	MV
	$DTVrad_i$ [Rf/24h]	800+ 123	800+ 877
	$DTVkfz_i$ [Kfz/24h]	20000	20000
5	Länge L [km]	0,18	0,14
	RI_i	MV	MV
	$DTVrad_i$ [Rf/24h]	200 + 123	200+ 877
	$DTVkfz_i$ [Kfz/24h]	4000	4000

Für den Plan-Fall gelten dieselben Eigenschaften, mit Ausnahme

- der Radverkehrsführung, welche für Route 1 auf Abschnitt 2,3 und 4 die Ausprägung „RW“ besitzt und
- der Radverkehrsstärke, welche durch das Routenwahlmodell geschätzt wurde.

Wie auch beim Routenwahlmodell werden die Eigenschaften durch die Koeffizienten (β) gewichtet. Die Koeffizienten sind das Ergebnis der Analysen des Forschungsprojekts. Die Koeffizienten des Unfallmodells sind in der folgenden Tabelle aufgeführt und den Eigenschaften eindeutig zuordenbar. Bei β_0 handelt es sich um einen konstanten Koeffizienten, der das Grundunfallgeschehen (unabhängig von infrastrukturellen und verkehrlichen Eigenschaften) ausdrückt.

Koeffizient	Wert
β_0	-5,244
β_{DTVrad}	0,402
β_{DTVkfz}	0,261
β_{RI}	MV: 0
	RW: -0,223
β_{SBG}	Nicht vorhanden: 0
	Vorhanden: 0,608

Die prognostizierte Anzahl der Unfälle mit Personenschaden und Radverkehrsbeteiligung für ein Segment j einer Route i ergibt sich mittels der Eigenschaften und Koeffizienten zu:

$$U_{ij} = L_j e^{\beta_0} * DTVrad_j^{\beta_{DTVrad}} * DTVkfz_j^{\beta_{DTVkfz}} * e^{\beta_{RI}} * e^{\beta_{SBG}}$$

Somit ergibt sich beispielsweise auf Segment 1 der Route 1 die Unfallzahl zu:

$$U_{1,1} = 0,3 \text{ km} * e^{-5,244} * (200+123 \text{ Rf}/24 \text{ h})^{0,402} * 4.000 \text{ Kfz}/24 \text{ h}^{0,261} * e^0 * e^0 = 0,14 \text{ U(P)}_{Ri}/\text{Jahr}$$

Mit den ermittelten Unfallzahlen der weiteren Segmente ergibt sich die Unfallzahl für Route 1 unter den getroffenen Annahmen zu:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_{1,1} + U_{1,2} + U_{1,3} + U_{1,4} + U_{1,5} \\ &= 0,14 + 0,16 + 0,65 + 0,27 + 0,08 \\ &= 1,31 \text{ U(P)}_{Ri}/\text{Jahr}. \end{aligned}$$

Der Koeffizient der kategorialen Variable fließt in den letzten Term exponentiell ein, was beispielhaft für Segment 3 der Route 2 im Null-Fall dargestellt wird als:

$$U_{2,3} = 0,36 \text{ km} * e^{-5,244} * (800+877 \text{ Rf}/24 \text{ h})^{0,402} * 20.000 \text{ Kfz}/24 \text{ h}^{0,261} * e^{-0,223} = 0,40 \text{ U(P)}_{Ri}/\text{Jahr}$$

Die Berechnungen für den Plan-Fall erfolgen analog.

Ergebnis Null-Fall

Für **Route 1** ergibt sich eine Unfallzahl von **1,31 Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung /Jahr** und für **Route 2** ebenso eine Unfallzahl von **1,31 Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung /Jahr**. Die Unfallzahlen sind zwar auf beiden Relationen gleich, auf Route 1 führt jedoch die geringere Radverkehrsstärke zu der Unfallanzahl. Auf Route 2 liegt trotz deutlich höherer Radverkehrsstärke das gleiche Sicherheitsniveau vor, da die Radfahrenden durch die kürzere Länge der Route und die (teilweise) Führung auf dem Radweg weniger Unfällen ausgesetzt sind.

Ergebnis Plan-Fall

Im Unfallmodell resultiert die Anlage des Radwegs und die dadurch veränderten Radverkehrsstärken auf den Routen (siehe *Ergebnis Plan-Fall* im *Routenwahlmodell*) in Veränderungen der prognostizierten Unfallanzahl. Auf **Route 1** wird eine Unfallanzahl von **1,33 Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung/Jahr** ermittelt. Für **Route 2** ergibt sich eine Unfallanzahl von **1,15 Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung /Jahr**.

Dabei treten bei der Unfallprognose im Plan-Fall für Route 1 zwei gegenläufige Effekte auf: die höhere Radverkehrsstärke resultiert in höheren Unfallzahlen, gleichzeitig erhöht die Anlage des Radwegs auf den Abschnitten der Hauptverkehrsstraßen die Sicherheit, was die prognostizierte Unfallzahl reduziert. Im Resultat beider Effekte steigt die Unfallanzahl auf Route 1 von **1,31** im Null-Fall zu **1,33** im Plan-Fall, wobei sich durch die höhere Anzahl an Radfahrenden auf der Route im Plan-Fall das Unfallrisiko für die einzelnen Radfahrenden ($U(P)_{Ri}/DTVrad$) senkt. Auf Route 2 führt die reduzierte Radverkehrsstärke auf allen Segmenten zur Prognose einer geringeren Unfallzahl (**1,31** im Null-Fall zu **1,15** im Plan-Fall).

Durch den Umbau reduziert sich die Gesamtunfallzahl im betrachteten Netz von ($1,31 + 1,31 =$) **2,62 Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung/Jahr** im Null-Fall zu ($1,33 + 1,15 =$) **2,48 Unfälle mit Radverkehrsbeteiligung/Jahr** im Plan-Fall. Die angestrebte Maßnahme erhöht somit sowohl die Attraktivität als auch die Verkehrssicherheit auf den betrachteten Netzabschnitten.

Hinweise zur Anwendung der Modelle

Die Modelle basieren auf den im Projektabschlussbericht beschriebenen Daten und den wissenschaftlich untersuchten Präferenzen der Nutzenden sowie Auswirkungen auf die Unfallzahlen und sollen eine maßgebliche Tendenz der Auswirkung von Radverkehrsplanung aufzeigen. Es ist zu beachten, dass ein Modell stets ein vereinfachtes Abbild der Realität darstellt und damit das Verhalten von Radfahrenden und die Auswirkung auf die Verkehrssicherheit nicht zu 100% genau bzw. realistisch abbilden kann. Die Modelle liefern zwar exakte Werte für Wahrscheinlichkeiten und Unfallzahlen, basieren jedoch auf den für die Analyse genutzten Daten. Bei der Anwendung der Modelle sind also stets Abweichungen zu erwarten, weil es sich um statistische Modelle handelt, die Größenordnungen und Richtungen der Änderungen nur mit einer gewissen Genauigkeit bzw. Sicherheit aufzeigen können.

Die Darstellung der Modellanwendung erfolgt hier zugunsten der Lesbarkeit sehr reduziert. Für die Anwendung der Routenwahlmodelle können auch die anderen Einflussgrößen (z. B. Oberflächen, Steigungen usw.) entsprechend den realen Umständen in die Modellanwendung (Prognose) einfließen. Für die Anwendung der Unfallmodelle kann ebenso auch die Sicherheitswirkung der Anlage von Straßenbahngleisen geprüft werden.

Eine Nutzung der Modelle wird empfohlen, um Änderungen zwischen dem Null- und dem Plan-Fall deutlich zu machen. Die resultierenden relativen Änderungen in der Verkehrsnachfrage können einen Einblick in die Wirkung von Maßnahmen geben.

In jedem Fall erfordert das Arbeiten mit den Modellen eine gewisse Datenverfügbarkeit. Daten zur Verkehrsnachfrage können aus Zählungen, Dauerzählstellen

oder Verkehrsnachfragemodellen stammen. Daten zu Infrastruktur und Betrieb liegen den Kommunen in der Regel vor.

Es wird empfohlen, die erzeugten Modellergebnisse (z.B. für den Null-Fall) mit erhobenen Daten zu validieren. Im Rahmen der Validierung werden sehr wahrscheinlich Differenzen zwischen den Modellergebnissen und den erhobenen Daten auftauchen, die u. a. durch den Modellcharakter und abweichende Gegebenheiten vor Ort begründet sind (s. o.). Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Modelle keine validen Ergebnisse erzeugen. Es empfiehlt sich in diesem Fall die Modellergebnisse zu gewichten bzw. ins Verhältnis zu den Referenzdaten zu setzen, um den relativen Änderungen (vom Null- zum Plan-Fall) aus den Modellen absolute Werte (Referenzdaten) zu geben.

Weiterhin ist anzumerken, dass durch Verbesserungen in der Infrastruktur langfristig auch Veränderungen in der Radverkehrsstärke auf der Relation entstehen können z. B. durch induzierten Verkehr oder wegen veränderter Verkehrsmittelwahl von Verkehrsteilnehmenden. Diese Effekte sind in dem Rechenbeispiel nicht abgebildet.

Die Unfallmodelle sind ebenso ein vereinfachtes Abbild der Realität. Diese bilden nur das Unfallgeschehen an Streckenabschnitten ab, das Unfallgeschehen an Knotenpunkten ist in dieser Betrachtung nicht enthalten. Weiterhin sind nicht alle infrastrukturellen Eigenschaften, welche das Radunfallgeschehen beeinflussen, in den Modellen enthalten. So können beispielsweise infrastrukturelle Besonderheiten, wie ungünstige Sichtbeziehungen zwischen den Verkehrsteilnehmenden, zu einer höheren realen Unfallzahl führen. Die Modelle dienen damit vor allem der Abschätzung von Richtungen und Größenordnungen der Auswirkungen von Verkehrsverlagerungen oder Infrastrukturmaßnahmen auf das Unfallgeschehen.

Empfehlungen

Verkehrssicherheit

Die Attraktivierung des Radverkehrs und damit Erhöhung von Radverkehrsstärken führt auch zu Verringerung des Unfallrisikos für einzelne Verkehrsteilnehmende (Safety-in-Numbers). Radverkehrsförderung ist somit auch Verkehrssicherheitsförderung.

Radfahrende präferieren vom Kfz-Verkehr getrennte Anlagen. Die Trennung des Radverkehrs vom Kfz-Verkehr kann auf Strecken auch objektiv sicher sein. Wichtig ist hier die potentiellen Konfliktpunkte, z. B. Grundstückzufahrten und Einmündungen, so gering wie möglich zu halten, an diesen gute Sichtbeziehungen zwischen Radfahrenden und Kfz-Führenden zu gewährleisten (z. B. durch die Anordnung von Parkverboten) oder Radverkehrsanlagen an den entsprechenden Stellen deutlich zu kennzeichnen. Wo dies nicht möglich ist, sollten die Ströme mit Lichtsignalanlagen getrennt werden.

An Kreuzungen mit Lichtsignalanlagen wird der zeitlichen Trennung zwischen Radverkehr und Kfz-Verkehr (separate Phasen) eine besondere Relevanz zugeschrieben. Nach dem Prinzip „Verkehrssicherheit vor Leistungsfähigkeit (Vision Zero)“ sollen separate Abbiegephasen auch dann vorgesehen werden, wenn dies die Leistungsfähigkeit des Kfz-Verkehrs beeinträchtigt.

Ein relevanter Anteil von Radverkehrsunfällen steht in Zusammenhang mit parkenden Kfz. Zur Erhöhung der Sicherheit der Radfahrenden (Verbesserung von Sichtverhältnissen, Vermeidung von Dooring Unfällen) sollte wo möglich das Parken im Straßenraum minimiert werden. Dies gilt besonders, wenn Radfahrende im Mischverkehr geführt werden und Straßenbahngleise vorliegen – Straßenbahngleise haben einen signifikanten Einfluss auf Fahrunfälle von Radfahrenden: Hier kann der Radverkehr durch die Anordnung von Parkverboten von Straßenbahngleisen geschützt geführt werden.

Routenwahl

Zur Attraktivierung des Radverkehrs empfiehlt sich netzplanerisch die Schaffung von möglichst direkten Routen - aber nicht um jeden Preis. Wenn die Infrastruktur auf den direkten Routen nicht den Präferenzen der Radfahrenden entspricht, sind diese gewillt für attraktive Routen auch Umwege aufzunehmen.

Die Längsneigung hat einen großen Einfluss auf die Routenwahl und sollte wo möglich minimiert werden. Da dies in bestehenden Straßenräumen schwer möglich ist,

sollte dieser Fakt bei der Planung z. B. planfreier Knotenpunkte bzw. Über- und Unterführungen beachtet werden. Es ist anzunehmen, dass sich dieser Einfluss mit der zunehmenden Nutzung von Pedelecs verringert.

Insgesamt sollten, wann immer möglich, Radverkehrsanlagen geschaffen werden. Bei der Umplanung von Strecken ohne Radverkehrsanlagen sollte die Wegnahme von Fahrstreifen zugunsten der Anlage von Radverkehrsanlagen geprüft werden.

Die Radverkehrsanlagen sollten möglichst Oberflächen aufweisen, die einen hohen Fahrkomfort gewährleisten (z. B. Asphalt). Zudem kann eine ansprechende Gestaltung der Straßenräume helfen, dass Erlebnis Radfahren positiv zu prägen (gefühlte Sicherheit, Begrünung usw.) und die Radverkehrsnachfrage zu steigern.

Synthese Verkehrssicherheit & Routenwahl

Radfahrende zeigen zwar klare Tendenzen in der Präferenz bestimmter Routen, sie bewegen sich jedoch in allen Abschnitten des Netzes. Die sichere Führung des Radverkehrs ist somit auch außerhalb von Haupttrouten zu beachten. Eine Möglichkeit ist die Bündelung von Radverkehrsströmen im Radhauptnetz mit Radverkehrsanlagen. Die Präsenz weiterer Radfahrender wird hier stark positiv wahrgenommen. Zudem kann die erhöhte Sichtbarkeit und verbesserte Wahrnehmung zu einer objektiv höheren Verkehrssicherheit führen. Neben diesen Haupttrouten nutzen Radfahrende das Nebenetz (z. B. zur Erschließung) in dem sie durch die Minimierung der Interaktionen mit dem motorisierten Verkehr (mittels Geschwindigkeitsbeschränkungen oder Anordnung von Parkverboten) sicher geführt werden.

Modellanwendung

Die Modelle können so wie im Leitfaden kombiniert oder auch unabhängig voneinander verwendet werden. So kann bspw. auch nur die Attraktivität einer Planungsmaßnahme mittels Routenwahlmodell dargestellt werden. Die Modelle können damit auch als Grundlage für verkehrspolitische Diskussionen genutzt werden.

Am besten eignen sich die Modelle zum Vergleich klar definierter Routen und Alternativen. Wenn dies nicht der Fall ist, können andere Effekte zu Differenzen zwischen modellierten Ergebnissen und Referenzdaten führen. Bei der Interpretation der Modellergebnisse sollte daher berücksichtigt werden, dass andere (nicht betrachtete) Effekte die Ergebnisse überlagern können.

