

---

## **Integration des Radverkehrs in makroskopische Verkehrsmodelle**

Christian Weiß

*Siehe AutorInnenangaben*

---

### Abstract

---

Das Fahrrad ist ein Verkehrsmittel mit zunehmender Bedeutung. Folglich gewinnt die wirklichkeitsnahe Abbildung des Radverkehrs in Verkehrsmodellen an Relevanz. In diesem Artikel werden die spezifischen Anforderungen der Modellierung des Radverkehrs dargelegt. Ihnen werden verschiedene Ansätze und Lösungsmöglichkeiten aus der Modellierungspraxis gegenübergestellt. Diese entstammen den Verkehrsmodellen der Städte Dresden, Augsburg, Rostock und Wolfsburg. Ein Ausblick auf Möglichkeiten zur Weiterentwicklung der Radverkehrsmodellierung schließt den Artikel ab.

**Schlagwörter / Keywords:**

Radverkehr, Fahrrad, Verkehrsmodellierung, Verkehrsmodell, Verkehrsplanung

---

### **1. Relevanz der Thematik**

Der Radverkehr ist der Modus, dessen Beliebtheit und dessen Nutzungshäufigkeit im vergangenen Jahrzehnt am schnellsten und stärksten gewachsen ist (vgl. Ahrens et al. 2014, Gerike et al. 2021). Der Radverkehr wird aufgrund seiner Klimafreundlichkeit und seiner Umweltverträglichkeit mit dem Ziel einer weiteren Zunahme seines Anteils am Modal-Split besonders gefördert (vgl. BMU 2018). Auf Grund seines steigenden Anteils am Modal-Split und der stetigen Förderung nimmt folglich seine Bedeutung in der Verkehrsplanung, und somit die Relevanz seiner wirklichkeitsnahen Modellierung in Verkehrsmodellen, zu. Dieser Aufgabe und den in den vergangenen Jahren erzielten Fortschritten ist dieser Artikel gewidmet.

### **2. Grundlagen**

Dieser Artikel thematisiert den Überschneidungsbereich der Themen Radverkehr und makroskopische Verkehrsmodellierung. Daher werden diese beiden Themen in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

#### **2. 1. Radverkehr**

Der Radverkehr ist einer der Modi des Personenverkehrs. Er wird dem nichtmotorisierten Individualverkehr zugeordnet. Vom MIV unterscheidet sich der Radverkehr durch eine niedrigere Geschwindigkeit

sowie geringere Anschaffungs- und Instandhaltungskosten. Zudem ist er umweltfreundlicher. Ein weiterer Vorteil ist die positive Wirkung des Radfahrens auf die Gesundheit der RadfahrerInnen. Diese und weitere Gründe haben dazu beigetragen, dass der Anteil des Radverkehrs am Modal-Split in den letzten Jahren gewachsen ist.

#### **2. 2. Verkehrsmodelle**

Verkehrsmodelle sind Werkzeuge in der Verkehrsplanung. In ihnen werden die Mobilitätsentscheidungen der Bevölkerung und die sich daraus ergebenden Verkehrszustände in den realen Verkehrssystemen nachgebildet. Darauf aufbauend kann z. B. die Wirkung geplanter bzw. gewünschter verkehrlicher Maßnahmen oder externer Entwicklungen abgeschätzt werden. Sie unterstützen somit die Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung. Mit Verkehrsmodellen kann der Verkehr von Räumen unterschiedlicher Größe, von Gemeinden bis zu ganzen Ländern, abgebildet werden. Verkehrsmodelle bestehen in der Regel aus zwei Teilmodellen.

Das Angebotsmodell bildet die Verkehrsinfrastruktur mit ihren Eigenschaften vereinfacht ab. Es wird erstellt, um die Aufwände und die Widerstände der Ortsveränderungen und der Wahlalternativen zu quantifizieren.

Das zweite Teilmodell ist das Nachfragemodell. In ihm werden die Wahlentscheidungen der Verkehrs-

teilnehmerInnen nachgebildet. Für jede Ortsveränderung wird die Wahl des Ziels, des Modus und der Route modelliert.

Zu den Ergebnissen eines Verkehrsmodells gehören u. a. die Verkehrsmengen auf den betrachteten Straßen und Wegen. Diese können anschließend z. B. zur Dimensionierung von Verkehrsanlagen oder Berechnungen von Emissionen verwendet werden.

### 3. Integration des Radverkehrs in Verkehrsmodelle

Aus Kapitel 2 lässt sich ableiten, dass die wirklichkeitsnahe Abbildung des Radverkehrs in Verkehrsmodellen für die Verkehrsplanung wichtig ist. In den folgenden Abschnitten werden, basierend auf dem state of the practice in der Mitte der 2010er Jahre, die Schritte zur Integration des Radverkehrs erläutert.

#### 3. 1. Die Ausgangslage

Bis in die Mitte der 2010er Jahre entsprach es mehrheitlich dem state of the practice den Radverkehr in Verkehrsmodellen vereinfacht abzubilden. Er war als eigenständiger Modus neben dem MIV und ÖV sowie dem Fußverkehr vorhanden. Ein Angebotsmodell wurde jedoch meist nur für den MIV und den ÖV erstellt. Verkehrswege, die nur vom Radverkehr befahrbar sind (z. B. Trampelpfade und straßenunabhängige Radwege), waren in der Regel nicht oder nur unvollständig enthalten. Die Kenngrößenmatrizen des Radverkehrs wurden auf der Grundlage von Luftlinienentfernungen oder dem Netz des Kfz-Verkehrs berechnet. Die Geschwindigkeit des Radverkehrs hing nicht von verschiedenen Streckeneigenschaften wie z. B. der Längsneigung oder der Oberfläche (z. B. Kopfsteinpflaster) ab. Weitere für den Radverkehr relevante Eigenschaften, wie die z. B. die Führungsform des Radverkehrs, wurden im Modell nicht berücksichtigt.

Für den Radverkehr wurden im Rahmen der Nachfragemodellierung Nachfragematrizen berechnet. Diese wurden jedoch nicht auf das Netzmodell umgelegt. Verkehrsstärken des Radverkehrs lagen somit nicht als Modellergebnis vor.

Ausgehend von dieser vereinfachten Abbildung fand in den letzten Jahren in den meisten Modellen eine Vertiefung der Radverkehrsmodellierung statt.

#### 3. 2. Das Netzmodell

Das Netzmodell ist der zentrale Bestandteil eines Angebotsmodells. Es besteht u. a. aus den Strecken, welche die realen Straßen und Wege repräsentieren, sowie den Knoten, welche die Kreuzungen und die Knotenpunkte zwischen den Strecken darstellen.

Soll der Radverkehr wirklichkeitsnah abgebildet werden, ist festzulegen, welche Straßen und Wege

für den Radverkehr relevant sind. Diese sollen als Strecken im Netzmodell enthalten sein. Folglich sind sie bei einer Modellfortschreibung nachzupflegen und beim Neuaufbau eines Modells von Anfang an zu integrieren. Die Folge der vertieften Modellierung des Radverkehrs ist somit ein dichteres/größeres Netzmodell.

Ein Beispiel aus der Praxis zeigt die Fortschreibung des Verkehrsmodells Dresdens durch die PTV Transport Consult GmbH, welche u.a. die vertiefte Modellierung des Radverkehrs beinhaltete. Den ersten Schritt bildete die Verdichtung des Netzmodells für den Radverkehr. Ergänzt wurden u. a. alle Straßen und Wege, über die eine Route des Dresdner Radverkehrskonzepts oder eine touristische Route des SachsenNetzRad führten. Dadurch können mit dem Verkehrsmodell für alle Radrouten Verkehrsmengen berechnet werden. Des Weiteren wurden aufgrund ihrer hohen Attraktivität alle Verkehrswege mit einer eigenen Radverkehrsanlage und straßenunabhängige Fuß- und Radwege ergänzt. Die für den Radverkehr ergänzten Strecken sind in Abbildung 1 zur Veranschaulichung in grün dargestellt. Die im Ausgangsnetz vorhandenen Strecken sind schwarz dargestellt.



**Abbildung 1: Im IVM Dresden für den Radverkehr ergänzte Strecken (eigene Darstellung auf der Grundlage des integrierten Verkehrsmodells der Stadt Dresden)**

Durch die Ergänzungen konnten im gesamten Stadtgebiet Lücken im Netzmodell geschlossen werden. Seine Repräsentativität für das reale Verkehrsnetz ist somit gestiegen. Die Wahrscheinlichkeit, dass aufgrund fehlender Strecken unplausible Aufwände berechnet werden, ist gesunken. Das Netzmodell ist nun besser für die Quantifizierung der Aufwände der Ortsveränderungen geeignet.

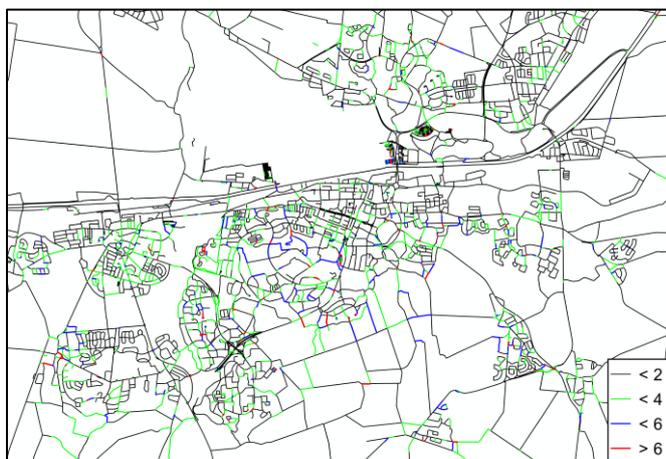
#### 3. 3. Attributierung des Netzmodells

Im Rahmen der Erstellung des Angebotsmodells sind den Netzelementen als nächstes die zur Beschreibung der Angebotsqualität relevanten Eigenschaften zuzuschreiben.

Dazu sind die relevanten Eigenschaften zu definieren. Die Grundlage dafür ist die Fachliteratur zur Rou-

tenwahl des Radverkehrs und zur Modus- bzw. Zielwahl. Die Literatur zeigt, dass mehrere Eigenschaften die Routenwahl der RadfahrerInnen beeinflussen. Die am häufigsten genannten Streckeneigenschaften sind die Längsneigung, die Führungsform des Radverkehrs (z. B. Radweg, Mischverkehr, Radschutzstreifen...), die Art der Oberfläche (z. B. Asphalt, Kopfsteinpflaster ...) und die Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs (vgl. Broach et al. 2011, Huber 2022, Lißner et al. 2018). Im Sinne einer wirklichkeitsnahen Abbildung des Radverkehrs sind sie bei seiner Modellierung zu berücksichtigen. Die Mehrzahl dieser Eigenschaften sind für den Kfz-Verkehr und den öffentlichen Verkehr nicht relevant. Daher sind sie in der Regel nicht in Verkehrsmodellen enthalten. Folglich sind geeignete Datenquellen zu finden, aus denen die benötigten Informationen in ein Netzmodell übertragen werden können. Dies ist die Voraussetzung für ihre Berücksichtigung bei der Modellierung des Radverkehrs.

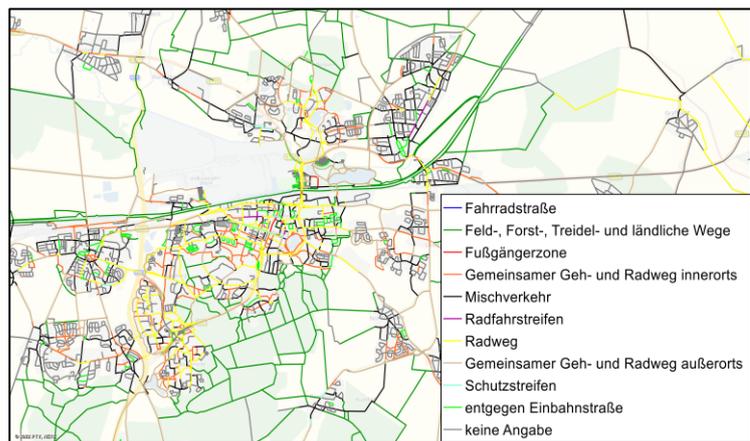
Für die Berechnung der Längsneigung der Strecken sind den Knoten ihre Höhenkoordinaten zuzuschreiben. Dafür haben sich die in Kommunen und Ländern gepflegten digitalen Geländemodelle bewährt. Ihr Vorteil ist ihre hohe Genauigkeit. Eine Alternative bietet die Nutzung frei verfügbarer Daten, wie z. B. das digitale Geländemodell des Copernicus-Landüberwachungsdiensts der EU. Diese Datenquelle wurde beispielsweise zur Erstellung der Verkehrsmodelle für den Regionalverband Großraum Braunschweig, die Stadt Braunschweig und die Stadt Wolfsburg herangezogen. Die Übertragung der Höhenkoordinaten an die Knoten erfolgte mit der Software QGIS. Die resultierenden Längsneigungen in Wolfsburg sind in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 2: Längsneigungen [%] in Wolfsburg im Verkehrsmodell (eigene Darstellung auf der Grundlage der Verkehrsmodelle für den Regionalverband Großraum Braunschweig, die Stadt Braunschweig und die Stadt Wolfsburg)**

Die Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs ist ein Ergebnis des Verkehrsmodells. Sie ist nicht aus externen Datenquellen zu ermitteln.

Für die Attributierung der Strecken mit der Führungsform des Radverkehrs, der Art der Oberfläche und ggf. weiteren Eigenschaften muss eine mit dem Netzmodell bzw. dem Netzgraphen kompatible Datenquelle vorliegen. Die Beschaffung dieser Daten bzw. das Finden geeigneter Quellen ist eine grundlegende Aufgabe. Bei der Beschaffung dieser Datensätze sollten die amtlichen Daten der städtischen oder der regionalen Planungsämter die erste Wahl sein. Geeignete Quellen können auch öffentlich zugänglichen Daten wie z. B. OpenStreetMap oder Luftbilder sein. Bei der Erstellung der Verkehrsmodelle für den Regionalverband Großraum Braunschweig, die Stadt Braunschweig und die Stadt Wolfsburg wurde auf die Daten der Kommunen und des Regionalverbands zurückgegriffen. Die resultierende Attributierung des Netzmodells mit der Führungsform des Radverkehrs ist in Abbildung 3 für die Stadt Wolfsburg dargestellt.



**Abbildung 3: Führungsformen des Radverkehrs in Wolfsburg im Verkehrsmodell (eigene Darstellung auf der Grundlage der Verkehrsmodelle für den Regionalverband Großraum Braunschweig, die Stadt Braunschweig und die Stadt Wolfsburg)**

Bei der Modellierung des Radverkehrs werden nur die Eigenschaften von Strecken und von Knoten berücksichtigt, die zwei Voraussetzungen erfüllen. Zum einen muss für sie in der Fachliteratur ein Einfluss auf die Entscheidungen der VerkehrsteilnehmerInnen nachgewiesen sein. Zum anderen müssen geeignete Eingangsdaten für die Attributierung des Netzmodells vorliegen.

### 3. 4. Definition der Widerstände und der Kenngrößen

Der nächste Schritt ist die Definition des Widerstands der Netzelemente für die Modellierung der Routenwahl und der Kenngrößen für die Modellierung der Ziel- und Moduswahl. Dabei sind die radverkehrsspezifischen Determinanten der Routen- und der Moduswahl (z. B. die Führungs-

form des Radverkehrs, die Längsneigung, die Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs etc.) zu berücksichtigen.

Bei der Definition des Widerstands der Strecken für die Modellierung der Routenwahl haben sich zwei Ansätze entwickelt. Der eine ist die Berechnung eines subjektiven, empfundenen Widerstandes. Der andere Ansatz ist die Berechnung einer objektiven Streckengeschwindigkeit und -fahrzeit. Die beiden Ansätze werden im Folgenden vorgestellt.

Der empfundene Widerstand der Strecken vereint die Fahrzeit als den grundlegenden Widerstand im Verkehrssystem mit Attraktivitätsmerkmalen, wie z. B. der Führungsform des Radverkehrs oder der Längsneigung. Er ist ein Wert, der die subjektive Attraktivität der Strecken für die RadfahrerInnen berücksichtigt und im Modell abbildet. Ein Praxisbeispiel für diesen Ansatz ist das Verkehrsmodell Augsburg, welches die PTV Group von 2019 bis 2020 fort-schrieb.

Bei der Berechnung des empfundenen Widerstands wird zuerst aus der Streckenlänge die Streckenfahrzeit berechnet. Bei der Definition der Geschwindigkeit werden die relevanten Einflussfaktoren wie z. B. die Längsneigung oder die Oberfläche in der Regel nicht berücksichtigt. So beträgt die Geschwindigkeit im Verkehrsmodell Augsburg netzweit 15 km/h.

Aus der Fahrzeit wird anschließend, unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren, der empfundene Widerstand berechnet. Im Verkehrsmodell Augsburg wurden fünf Einflussfaktoren auf die Attraktivität einer Strecke für den Radverkehr berücksichtigt: Die Führungsform des Radverkehrs, die Längsneigung [%], die Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs [Kfz/24h] sowie die Oberfläche und die Breite des Verkehrsweges. Den Ausprägungen dieser Streckeneigenschaften bzw. der Attribute wurden Widerstandsfaktoren mit einem Wertebereich von 0,8 bis 1,6 zugeordnet. Je unattraktiver eine Ausprägung ist, desto höher ist der ihr zugeordnete Widerstandsfaktor.

Besitzt das Streckenattribut des Einflussfaktors diskrete Ausprägungen (z. B. die Führungsformen des Radverkehrs oder die Oberflächenarten) werden diesen diskrete Widerstandsfaktoren zugeordnet. Im Verkehrsmodell Augsburg beträgt der Widerstandsfaktor eines Radwegs 1,0, der eines Radfahrstreifens 1,2 und der des Mischverkehrs 1,6. Für Asphalt beträgt der Widerstandsfaktor 1,0, für Kies 1,1 und für Kopfsteinpflaster 1,4.

Der Widerstandsfaktor von Einflussfaktoren mit einem stetigen Verlauf (z. B. die Längsneigung der Strecken oder die Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs) kann mit einer Formel aus dem Wert des Attributs berechnet werden. Alternativ können Klassen definiert werden (z. B. 0 % bis 2 %, 2 % bis 5 % ...) denen diskrete Widerstandsfaktoren zugeordnet werden. Letzteres

wurden im VM Augsburg getan. Für stark befahrene Straßen (Kfz/24h > 7.500) wurde im Verkehrsmodell Augsburg ein Widerstandsfaktor von 1,6 definiert und für wenig befahrene Straßen (Kfz/24h < 259) ein Widerstandsfaktor von 0,8.

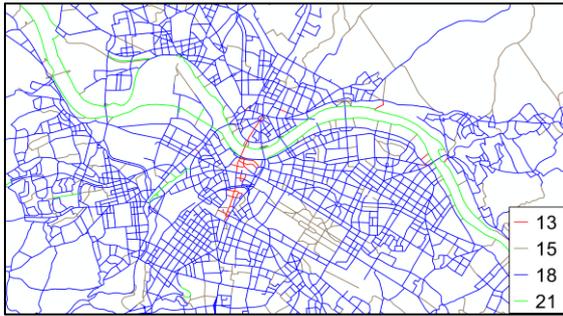
Aus den Widerstandsfaktoren der Streckenattribute und der Streckenfahrzeit wird anschließend der empfundene Widerstand berechnet. Im Verkehrsmodell Augsburg werden die fünf Widerstandsfaktoren miteinander und mit der Fahrzeit multipliziert. Alternativ können die Widerstandsfaktoren additiv zu einem Widerstandsfaktor verknüpft werden. Dabei kann den Widerstandsfaktoren ein Gewicht zugewiesen werden. Dieser Ansatz wurde im Verkehrsmodell München umgesetzt. Dort wurde dem Widerstandsfaktor des Kfz-Verkehrs ein Gewicht von 0,6 zugewiesen und dem Widerstandsfaktor der Ausgestaltung der Strecke ein Gewicht von 0,4. Der resultierende Widerstandsfaktor wird zuletzt mit der Fahrzeit multipliziert.

Auf der Grundlage des resultierenden empfundenen Streckenwiderstandes werden die Routenwahl des Radverkehrs modelliert und seine Verkehrsstärken auf den Strecken des Netzmodells berechnet. Zudem ist der empfundene Widerstand der maßgebliche Aufwand der Raumüberwindung bei der Modellierung der Ziel- und Moduswahl.

Der zweite Ansatz ist die Berechnung einer objektiven Streckengeschwindigkeit und -fahrzeit. Dabei sind verschiedene Einflussfaktoren, wie z. B. die Längsneigung, zu berücksichtigen.

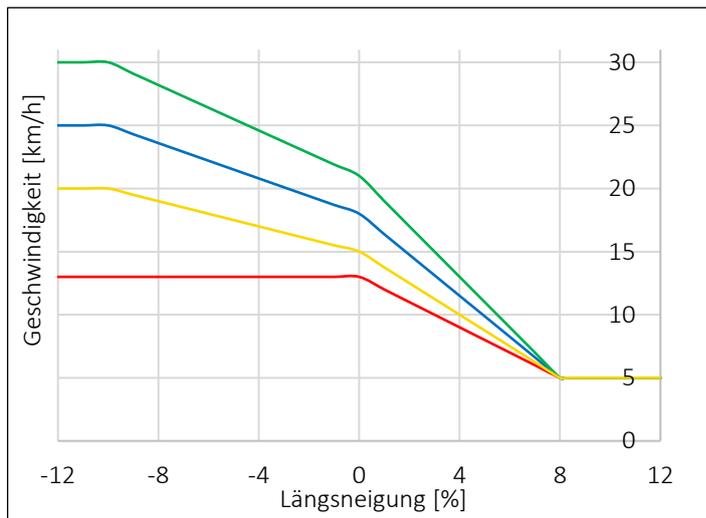
In den betrachteten Anwendungsfällen dieses Ansatzes wurden drei Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeit berücksichtigt: Die Art der Radverkehrsanlage bzw. des Verkehrsweges, die Längsneigung und die Oberfläche. Wie sie berücksichtigt werden wird in den folgenden Abschnitten am Beispiel des integrierten Verkehrsmodells (IVM) Dresden erläutert.

Im ersten Schritt wurde jeder Strecke eine Grundgeschwindigkeit des Radverkehrs zugewiesen. Sie basiert auf der Art des Verkehrsweges bzw. der Radverkehrsanlage. Es empfiehlt sich, Klassen von Strecken bzw. Grundgeschwindigkeiten zu bilden. Im dem für das IVM Dresden entwickelten Ansatz wurden vier Geschwindigkeitsklassen definiert: Schnelle Strecken (21 km/h, z. B. der Elberadweg), normale Strecken (18 km/h, die Mehrzahl der Haupt- und Nebenstraßen), langsame Strecken (13 km/h, z. B. von Fußgängern hochfrequentierte Bereiche im Stadtzentrum) sowie Strecken durch Parks und Trampelpfade (15 km/h). Die Attributierung des Netzmodells mit diesen Geschwindigkeiten ist in Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 4: Grundgeschwindigkeit des Radverkehrs im IVM Dresden (eigene Darstellung auf der Grundlage des IVM Dresden)**

Im zweiten Schritt wird aus der Grundgeschwindigkeit und der Längsneigung eine längsneigungsabhängige Geschwindigkeit berechnet. Die Grundgeschwindigkeit stellt die Geschwindigkeit in der Ebene dar. Die Formel zur Berechnung der längsneigungsabhängigen Geschwindigkeit unterscheidet sich zwischen den Geschwindigkeitsklassen. So können die Spezifika der unterschiedlichen Streckenarten berücksichtigt werden. Für jede Geschwindigkeitsklasse ist eine maximale Geschwindigkeit im Gefälle und eine minimale Geschwindigkeit auf Steigungen zu definieren. Die minimale Geschwindigkeit entspricht für alle Klassen der Gehgeschwindigkeit (die RadfahrerInnen steigen ab und schieben). Die maximale Geschwindigkeit unterscheidet sich zwischen den Geschwindigkeitsklassen. So kann im Modell abgebildet werden, dass auf bestimmten Streckenarten (z. B. Fußgängerzonen) aufgrund geschwindigkeitshemmender Faktoren im Gefälle nicht schneller gefahren werden kann. Einige beispielhafte Längsneigung-Geschwindigkeit-Funktionen sind in Abbildung 5 dargestellt.



**Abbildung 5: Beispielhafte Längsneigung-Geschwindigkeit-Funktionen (eigene Darstellung)**

Im dritten Schritt wird die resultierende Geschwindigkeit mit einem Faktor der Oberfläche multipliziert. So wird im Modell abgebildet, dass bestimmte Ober-

flächenarten (z. B. Kopfsteinpflaster) eine verlangsamernde Wirkung aufweisen (vgl. Stentebjerg et al. 2012). Im IVM Dresden beträgt der Faktor von Asphalt und Beton 1,0. Diese Oberflächen weisen keine verlangsamernde Wirkung auf. Bei ungebundenen Decken und Pflaster ist dies anders. Daher beträgt der Faktor von ungebundenen Decken und Kleinpflaster 0,93. Der Faktor von Groß- und Wildpflaster beträgt 0,75.

Mit der resultierenden Geschwindigkeit wird die Streckenfahrzeit berechnet. Auf der Grundlage dieser Fahrzeit werden die Routenwahl des Radverkehrs modelliert und seine Verkehrsstärken auf den Strecken des Netzmodells berechnet. Zudem fließt die Streckenfahrzeit in die Berechnung der Reisezeitmatrizen für die Modellierung der Ziel- und Moduswahl ein.

Die beiden erläuterten Ansätze weisen Vor- und Nachteile auf. In den empfundenen Widerstand sind alle objektiven und subjektiven Einflussfaktoren integriert. Er ist der Streckenwiderstand des Radverkehrs in der Routenwahl und seine maßgebliche Kenngröße bei der Modellierung der Ziel- und Moduswahl. Diese Integration aller objektiven und subjektiven Einflussfaktoren in einen Kennwert erhöht die Übersichtlichkeit des Modells.

Dem gegenüber ist beim Ansatz der objektiven Geschwindigkeit noch ein Weg zu finden, wie die subjektiven Bewertungen durch die RadfahrerInnen im Modell abgebildet werden. Zum Beispiel unterscheidet sich die Geschwindigkeit der RadfahrerInnen im Mischverkehr auf der Fahrbahn nicht wesentlich von der Geschwindigkeit auf einer eigenen Radverkehrsanlage (vgl. Alrutz et al. 2015, Schleinitz et al. 2017). Diese bevorzugen jedoch eine eigene Radverkehrsanlage (vgl. Broach et al. 2011, Huber 2022, Lißner et al. 2018). Eine Straße ist für den Radverkehr umso unattraktiver je höher die Belastung des Kfz-Verkehrs ist (vgl. Broach et al. 2011). Dem gegenüber war ein Nachweis des Einflusses letzterer auf die Geschwindigkeit des Radverkehrs in der Fachliteratur nicht zu finden.

Ein weiterer Vorteil des empfundenen Widerstands ist, dass er einfach um einen weiteren Einflussfaktor erweitert werden kann. Dazu sind Widerstandsfaktoren für die Ausprägungen des neuen Einflussfaktors zu definieren. Der nächste Schritt ist die Integration in die Formel zur Berechnung des resultierenden Faktors. Dem gegenüber ist die Berechnung der objektiven Geschwindigkeit komplexer. Die Reihenfolge der Berücksichtigung der Determinanten ist festgelegt. Sollen weitere Determinanten berücksichtigt werden ist die Berechnungsvorschrift zu überarbeiten.

Die Berechnung des empfundenen Widerstandes ist transparenter und einfacher nachzuvollziehen. Beim dreistufigen Ansatz der objektiven Geschwindigkeit kann die Berechnungsreihenfolge und die Funktion der verschiedenen Geschwindigkeiten schwer nachzuvollziehen sein.

Nachteilig am Ansatz des empfundenen Widerstandes ist, dass die objektive und die subjektive Wirkung der Determinanten nicht unterschieden werden kann. Beim Ansatz der objektiven Geschwindigkeit sind die subjektiven Wirkungen dafür noch nicht enthalten. Sie sind noch ins Modell zu integrieren.

Beim Ansatz des empfundenen Widerstandes wird die Geschwindigkeit einheitlich gesetzt und nicht differenziert. Dieser Ansatz ist daher für die Auswertung von Fahr- und Reisezeiten aus dem Modell weniger geeignet. Dem gegenüber wird die Geschwindigkeit im zweiten Ansatz differenziert berechnet. Für die Auswertung von Fahr- und Reisezeiten und den Vergleich mit erhobenen Fahr- und Reisezeiten ist der zweite Ansatz besser geeignet.

### 3. 5. Validierung und Kalibrierung

Nachdem der Ansatz für die Modellierung des Radverkehrs implementiert wurde, können die ersten Modellergebnisse berechnet werden. Diese sind anschließend zu validieren und zu kalibrieren. Die Validierung bezeichnet die Überprüfung der Modellparameter, der Modellergebnisse und des Modellverhaltens mit geeigneten Gütemaßen (z. B. empirischen Erhebungsergebnissen) und Tests (vgl. Friedrich et al. 2019). Die Kalibrierung bezeichnet die Einstellung der Modellparameter (z. B. der Streckengeschwindigkeiten), so dass die Modellergebnisse mit der beobachteten Realität übereinstimmen (vgl. Friedrich et al. 2019).

Das Ergebnis der Modellierung der Ziel- und Moduswahl sind die Nachfragematrizen der Modi. Sie werden z. B. durch den Vergleich mit Reiseweiten- und Reisezeitverteilungen sowie Angaben zum Modal-Split aus Mobilitätsbefragungen validiert (vgl. Friedrich et al. 2019). An diesem Punkt unterscheidet sich der Radverkehr nicht von anderen Modi. Daher wird nicht weiter auf die Kalibrierung der Ziel- und Moduswahl eingegangen.

Ein Ergebnis der Modellierung der Routenwahl sind die Verkehrsstärken auf den Strecken des Netzmodells (in den folgenden Abschnitten als Streckenbelastungen bezeichnet). Sie sind zu validieren und zu kalibrieren. Die Vergleichswerte sind erhobene Verkehrsstärken (z. B. durch Dauerzählstellen) oder aus diesen berechnete Verkehrsstärken (z. B. zum DTV hochgerechnete Kurzzeitzählungen). Die Qualität der Validierung und der Kalibrierung hängt vom Vorliegen einer ausreichenden Zahl geeigneter Vergleichswerte mit einer möglichst hohen Aussagekraft ab.

Die Erfahrung aus verschiedenen Modellierungsprojekten zeigt, dass die Datengrundlage für die Validierung der Streckenbelastungen des Radverkehrs in der Regel schlechter ist als die Datengrundlage für die Validierung der Streckenbelastungen des Kfz-Verkehrs. Die benötigten Vergleichswerte lagen in diesen Projekten nicht in der benötigten, flächendeckenden Menge und mit der benötigten Aussagekraft vor.

Auf der Grundlage der Erfahrungen werden in den folgenden Abschnitten die Datenquellen für die Validierung der Streckenbelastungen des Radverkehrs vorgestellt.

Mehrere Kommunen (z. B. Dresden, Berlin ...) verfügen über Dauerzählstellen für den Radverkehr. Aus ihren Ergebnissen lassen sich Vergleichswerte ableiten. Die Dauerzählstellen sind in der Regel jedoch nicht flächendeckend vorhanden (wie z. B. die Dauerzählstellen der BAST auf Bundesautobahnen und -straßen). Eine netzweite Validierung auf ihrer Grundlage ist nicht möglich. Zudem können einige Dauerzählstellen umfahren werden. Dies kann z. B. vorkommen, wenn die Dauerzählstelle in den Radfahr- oder den Radschutzstreifen eingebaut ist, die RadfahrerInnen jedoch parallel zu diesem auf dem Gehweg oder auf den Fahrstreifen für den Kfz-Verkehr fahren können. In diesen Fall wird ein Teil der RadfahrerInnen nicht erfasst. Diese Dauerzählstellen verlieren dadurch an Aussagekraft. Bei der Validierung des Verkehrsmodells Dresden wurden die Daten solcher Dauerzählstellen den Streckenbelastungen gegenübergestellt. Letztere lagen deutlich höhere als erstere. Daraus wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass die Daten der betroffenen Dauerzählstellen nur eingeschränkt für die Validierung geeignet sind.

Eine andere Quelle für Vergleichswerte sind Kurzzeitzählungen. Für den Radverkehr liegen diese in der Regel jedoch nur in geringer Menge vor, da der Radverkehr bei Zählungen des Kfz-Verkehrs nicht immer mitgezählt wird. Somit sind sie in der Regel nicht flächendeckend vorhanden.

In Verkehrsmodellen wird in der Regel der Verkehr einer bestimmten Tagesgruppe (z. B. mittlere Werktag) abgebildet. Für den Vergleich mit den Modellwerten empfiehlt es sich daher die Ergebnisse der Kurzzeitzählungen auf einen für diese Tagesgruppe repräsentativen Vergleichswert (z. B. den DTVw) hochzurechnen. Das Aufkommen des Radverkehrs wird maßgeblich vom Wetter beeinflusst und ist volatiler als das des Kfz-Verkehrs. Folglich ist die Hochrechnung anspruchsvoller. Es gibt dafür kein etabliertes und allgemein akzeptiertes Verfahren. Daher können die Ergebnisse der Kurzzeitzählungen entweder ohne Hochrechnung als Vergleichswert verwendet werden oder sie werden vereinfacht hochgerechnet. In beiden Fällen weisen sie nicht den gewünschten Inhalt und die erforderliche Aussagekraft auf.

Dadurch verliert der Vergleich mit den Modellergebnissen an Aussagekraft.

Ein Verkehrsmodell, in dem die Streckenbelastungen des Radverkehrs anhand von Vergleichswerten validiert und kalibriert wurden ist das Verkehrsmodell Augsburg. Es lagen über 1.200 Vergleichswerte aus Kurzzeitzählungen vor. Somit waren ausreichend Vergleichswerte gegeben und das Gebiet der Stadt Augsburg flächendeckend versorgt. Die gezählten Verkehrsmengen wurden für die Validierung des Verkehrsmodells mit einem dafür entwickelten Verfahren zum DTVw hochgerechnet. Somit weisen sie die optimale Aussagekraft auf.

Für die Validierung wurden aus den über 1.200 Vergleichswerten 666 relevante Vergleichswerte ausgewählt. Diese wurden zur Priorisierung in drei Kategorien eingeteilt. Die Abweichung zwischen Modell- und Vergleichswert wurde mit dem GEH-Wert quantifiziert. Dieser wird für den Kfz-Verkehr zur Quantifizierung der Abweichung verwendet und hat sich dafür bewährt. Der zu erreichende GEH-Wert bzw. die zulässige Abweichung ist umso niedriger je höher die Priorität der Zählstelle ist. Die Validierung des Radverkehrs orientiert sich somit an der des Kfz-Verkehrs oder ÖVs.

Die Kalibrierung der Routenwahl bzw. der Streckenbelastungen geschah durch das Anpassen von Modellparametern. Zum einen wurden die Parameter des Routensuch- und Routenwahlalgorithmus angepasst. Zum anderen wurden die Parameter und Komponenten der Widerstandsdefinition verändert. Dabei wurden z. B. die Widerstandsfaktoren der Ausprägungen der berücksichtigten Attribute angepasst. Zudem wurden für ausgewählte Strecken, abweichend von den Standardwerten der Ausprägungen, individuelle Widerstandsfaktoren vergeben. Zuletzt wurde ein Zusatzwiderstand für Brücken und Unterführungen eingeführt.

Mit diesen Anpassungen wurde ein zufriedenstellendes Maß an Übereinstimmung der Modellergebnisse mit den Vergleichswerten erreicht. Die zulässige Abweichung des Modell- vom Vergleichswert wird an 88 % der ausgewählten Vergleichswerte eingehalten.

Mit der beschriebenen Datenbasis an Vergleichswerten ist das Verkehrsmodell Augsburg eine Ausnahme. Für die meisten Modelle liegen Vergleichswerte nicht flächendeckend vor. In diesem Fall muss die Validierung auf einer anderen Grundlage erfolgen. An dieser Stelle haben sich Verkehrsmengenkarten aus dem Forschungsprojekt MOVEBIS bewährt.

Das Forschungsprojekt MOVEBIS baut auf der Kampagne Stadtradeln auf. Diese Kampagne soll die VerkehrsteilnehmerInnen motivieren möglichst viele Kilometer mit dem Fahrrad zu fahren (vgl. Klima-Bündnis 2022). Im Rahmen der Kampagne konnten die

TeilnehmerInnen ihre Routen per App erfassen lassen. Die erfassten Routen wurden im Projekt MOVEBIS ausgewertet (vgl. BMDV 2021). Aus ihnen können u. a. Heatmaps und Verkehrsmengenkarten erstellt werden. Diese können mit den Streckenbelastungen verglichen werden.

Der Vorteil dieser Daten liegt in ihrer freien Verfügbarkeit. Im Datenportal mCloud des BMDV können sie kostenlos für ganz Deutschland heruntergeladen werden (vgl. mcloud 2022). Ein weiterer Vorteil ist die hohe Netzabdeckung. Die Erhebung der Radrouten war nicht räumlich begrenzt (wie z. B. eine Kurzzeitzählung). Es wurden für alle teilnehmenden Gemeinden (und ihr Umland) Daten erhoben.

Der Nachteil der Daten aus MOVEBIS ist ihre eingeschränkte Repräsentativität. Die TeilnehmerInnen der Kampagne sind nur eine Teilmenge der Bevölkerung. Somit sind die absoluten Verkehrsmengen aus dem Verkehrsmodell und aus MOVEBIS nicht vergleichbar. Zudem beinhalten die Verkehrsmengen von MOVEBIS den Verkehr am Wochenende. Dieser wird in Verkehrsmodellen in der Regel nicht abgebildet. Des Weiteren sind die TeilnehmerInnen von Stadtradeln nicht repräsentativ für die gesamte Bevölkerung Deutschlands. Für die Stadt Dresden wurden Daten der Mobilitätsbefragung SrV mit Daten von Stadtradeln verglichen (vgl. TU Dresden et al. 2019). Es zeigte sich, dass unter den TeilnehmerInnen von Stadtradeln die Altersgruppen der unter 19-Jährigen und der über 54-Jährigen unterrepräsentiert sind. Zudem wurde die Verteilung der Reiseweiten verglichen. Für alle Reiseweitenklassen länger als 3 km weist Stadtradeln einen höheren Anteil auf, für alle Reiseweitenklassen kürzer als 3 km das SrV. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die TeilnehmerInnen der Kampagne Stadtradeln eher sportlich und radaffin sind und mit dem Rad auch längere Wege fahren. Für einen Vergleich mit den Streckenbelastungen des Verkehrsmodells sind die Daten aus MOVEBIS daher nur eingeschränkt geeignet.

Die Heatmap der Stadt Dresden für das Jahr 2019 ist in Abbildung 6 dargestellt.



Abbildung 6: Heatmap der Stadt Dresden aus Movebis 2019 (Quelle: TU Dresden et al. 2019)

Die Streckenbelastungen können mit den Grafikoptionen der Modellierungssoftware PTV Visum in ähnlicher Weise dargestellt werden. Somit ist ein visueller Vergleich zwischen dem Verkehrsmodell und MOVEBIS möglich. Dabei können die relative Verteilung der RadfahrerInnen auf die Straßen und Wege und somit die Haupt- und Nebenachsen des Radverkehrs verglichen werden. Auf der Grundlage dieses visuellen Vergleichs wurden die Modellierung der Routenwahl und die Streckenbelastungen validiert und kalibriert. Das Ziel der Kalibrierung war eine visuelle Übereinstimmung. Das Muster von Haupt- und Nebennetz, dass sich in der Heatmap von MOVEBIS zeigt, sollte sich im IVM Dresden ergeben.

Im Rahmen der Kalibrierung wurden Modellparameter angepasst. Zum einen wurden die Parameter des Routensuch- und Routenwahlalgorithmus verändert. Zum anderen wurden die Widerstände der Strecken, genauer gesagt die Geschwindigkeiten, angepasst. Die resultierenden Streckenbelastungen im Verkehrsmodell sind in Abbildung 7 im Stile der Heatmap von MOVEBIS beispielhaft dargestellt.



**Abbildung 7: Streckenbelastungen des Radverkehrs im IVM Dresden (eigene Darstellung auf der Grundlage des integrierten Verkehrsmodells der Stadt Dresden)**

Ihr Vergleich mit der in Abbildung 6 dargestellten Heatmap von MOVEBIS zeigt ein zufriedenstellendes Maß an Übereinstimmung.

### 3. 6. Anwendungsmöglichkeiten eines Verkehrsmodells für den Radverkehr

Nachdem ein Verkehrsmodell validiert und kalibriert wurde ist seine Erstellung/Fortschreibung abgeschlossen. Es kann dann für verkehrsplanerische Untersuchungen angewendet werden. In diesem Bereich liegen vielfältige Praxiserfahrungen vor. Zum Beispiel führte die PTV Transport Consult GmbH für die Bundesländer Sachsen und Brandenburg eine Potenzialanalyse für Radschnellverbindungen auf der Grundlage eines Verkehrsmodells durch. Für die Hamburg Port Authority wurden mit einem Verkehrsmodell verschiedene Varianten einer Radverkehrsquerung durch den Hamburger Hafen untersucht,

verglichen und bewertet. Mit einem Verkehrsmodell wurde eine Potentialanalyse für den Radschnellweg westliches Münsterland und das geplante Radschnellwegekonzept der Hansestadt Rostock durchgeführt.

Bei letzterem wurden die Streckenbelastungen für den Analysezustand und den Planfall mit Radschnellweg ermittelt (vgl. Malik et al. 2016). Es wurden sowohl die Verlagerungen von anderen Verkehrsträgern zum Radverkehr als auch die Verlagerungen vom umliegenden Straßennetz auf den Radschnellweg modelliert. Die resultierenden Streckenbelastungen des Radschnellweges sind beispielhaft in Abbildung 8 dargestellt.



**Abbildung 8: Streckenbelastungen der Radschnellwege (eigene Darstellung auf der Grundlage des Verkehrsmodells Rostock)**

Aufbauend auf der Potentialanalyse wurde eine volkswirtschaftliche Nutzen-Kosten-Analyse durchgeführt. Basierend auf der Potentialanalyse und einem Umsetzungsplan konnten die Verkehrsplaner der Hansestadt Rostock eine erfolgreiche Bundesförderung für den Ausbau des Radschnellwegenetzes bewirken.

Dieses Beispiel zeigt, dass mit Verkehrsmodellen für den Radverkehr verkehrsplanerische Untersuchungen und Potentialanalysen erfolgreich durchgeführt werden können.

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurde die Weiterentwicklung der Modellierung des Radverkehrs in den letzten Jahren erläutert. Zum Abschluss wird diese zusammengefasst. Darauf aufbauend werden weitere Entwicklungsmöglichkeiten dargelegt.

### 4. 1. Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurde in mehreren Verkehrsmodellen die Abbildung des Radverkehrs vertieft. Da-

von waren alle Ebenen der Modellerstellung betroffen. Bei der Erstellung des Netzmodells werden nun Verkehrswege integriert, die nur vom nichtmotorisierten Verkehr befahrbar sind (z. B. straßenunabhängige Fuß- und Radwege). Somit wurden die Netzmodelle dichter. Im Rahmen der Attributierung des Netzmodells sind den Strecken nun Attribute zuzuspielen, die für den Radverkehr zu berücksichtigen sind (z. B. die Führungsform des Radverkehrs oder die Längsneigung). Die Grundlage dafür ist die Verfügbarkeit der Daten aus externen Quellen. Für die Modellierung der Ziel-, Modus- und Routenwahl sind der Widerstand und die Kenngrößen zu definieren. Dabei ist die primäre Aufgabe die Integration der objektiven und subjektiven Einflussfaktoren auf die Routenwahl der RadfahrerInnen und die Moduswahl. Bei der Validierung und Kalibrierung der Routenwahl liegen die benötigten Zählraten in der Regel nicht in der benötigten Quantität und mit der benötigten Aussagekraft vor. Daher wurden alternative Datengrundlagen erschlossen und verwendet, z. B. Heatmaps aus MOVEBIS. Verkehrsmodelle wurden bereits erfolgreich für Potentialanalysen und Variantenvergleiche für den Radverkehr angewandt.

#### 4. 2. Weitere Entwicklung der Radverkehrsmodellierung

Die Integration des Radverkehrs in strategische Verkehrsmodelle hat sich in den letzten Jahren weiterentwickelt. Dennoch gibt es Punkte, an denen eine weitere Entwicklung möglich ist. Einige werden zum Abschluss dieses Artikels betrachtet.

Die Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs wird in Verkehrsmodellen in der Regel in Abhängigkeit der Streckenauslastung berechnet. Für den Radverkehr entspricht dies nicht der Modellierungspraxis. In den Spitzenstunden erfahren auch RadfahrerInnen auf einigen Verkehrswegen aufgrund einer hohen Auslastung Einschränkungen in ihrer Geschwindigkeitswahl. Im Hinblick auf die zu erwartende weitere Zunahme des Radverkehrs ist die Integration der Auslastung in die Berechnung der Geschwindigkeit eine mögliche Entwicklungsrichtung.

In den letzten Jahren haben Pedelecs und Lastenräder an Bedeutung gewonnen. Eine Umkehr dieser Entwicklung in den kommenden Jahren ist nicht zu erwarten. Vor diesem Hintergrund ist die Abbildung des Pedelec- und des Lastenradverkehrs im Verkehrsmodell eine weitere mögliche Entwicklungsrichtung.

Neben den verschiedenen Fahrradarten haben die Nachfragesegmente Bike&Ride und Bikesharing an Bedeutung gewonnen. Diese Nachfragesegmente werden in der Regel nicht oder nur vereinfacht in Verkehrsmodellen abgebildet. In ihrer vollständigen Integration ins Verkehrsmodell besteht eine weitere Entwicklungsmöglichkeit für die Radverkehrsmodellierung.

#### Literatur

Ahrens, Prof. Dr.-Ing. Gerd-Axel; Ließke, Dr.-Ing. Frank; Wittwer, Dr.-Ing. Rico; Hubrich, Dipl.-Ing. Stefan; Wittig, Dipl.-Ing. Sebastian (2014): Methodenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2013“ URL: [https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/2013/uebersichtsseite/Methodenbericht\\_SrV2013.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/2013/uebersichtsseite/Methodenbericht_SrV2013.pdf?lang=de) (abgerufen am 20.12.2022).

Alrutz, Dankmar; Bohle, Wolfgang; Maier, Reinhold; Enke, Markus; Pohle, Maria; Zimmermann, Frank; Ortlepp, Jörg; Schreiber, Marcel (2015): Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen URL: <https://docplayer.org/24980728-Einfluss-von-radverkehrsaufkommen-und-radverkehrsinfrastruktur-auf-das-unfallgeschehen.html> (abgerufen am 20.12.2022).

BMDV (2021): Auswertung von Crowdsourced-Daten zur Verbesserung der kommunalen Fahrradinfrastruktur – MOVEBIS, URL: <https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/verbesserung-der-fahrradinfrastruktur-movebis.html> (abgerufen am 20.12.2022).

BMU (2018): Bundesumweltministerium baut Förderung des Radverkehrs aus, URL: <https://www.bmu.de/pressemitteilung/bundesumweltministerium-baut-foerderung-des-radverkehrs-aus/> (abgerufen am 20.12.2022).

BMU (2018): Förderprogramm, URL: <https://nationaler-radverkehrsplan.de/de/bund/foerderprogramm> (abgerufen am 20.12.2022).

Broach, Joseph; Dill, Jennifer; Gliebe, John (2011): Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data, URL: [https://ppms.trec.pdx.edu/media/project\\_files/TRB2011\\_Bicycle%20route%20choice%20model%20developed%20using%20revealed%20preference%20GPS%20data.pdf](https://ppms.trec.pdx.edu/media/project_files/TRB2011_Bicycle%20route%20choice%20model%20developed%20using%20revealed%20preference%20GPS%20data.pdf) (abgerufen am 20.12.2022).

Friedrich, Prof. Dr.-Ing. Markus; Pestel, Dipl.-Ing. Eric; Heidl, Dipl.-Wi.Ing. Udo; Pillat, Dr.-Ing. Juliane; Schiller, PD Dr.-Ing. habil. Christian; Simon, Dipl.-Ing. Robert (2019): Anforderungen an städtische Verkehrsnachfragemodelle. URL: <https://fops.de/wp-content/uploads/2021/02/FE-70.0919-2015-Anf-an-staedt-Verkehrsnachfragemodelle-Schlussbericht.pdf> (abgerufen am 20.12.2022).

Grike, Regine; Ließke, Dr.-Ing. Frank; Wittwer, PD Dr.-Ing. Rico; Hubrich, Dipl.-Ing. Stefan; Wittig, Dipl.-Ing. Sebastian (2021): Methodenbericht zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten – SrV 2018“, URL: [https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2018\\_Staedtevergleich.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/bu/verkehr/ivs/srv/ressourcen/dateien/SrV2018_Staedtevergleich.pdf?lang=de) (abgerufen am 20.12.2022).

Huber, Stefan (2022): Analyse des Routenwahlverhaltens von Radfahrenden auf Grundlage GPS basierter Daten zum real beobachteten Verkehrsverhalten. URL: <https://tud.gucosa.de/api/gucosa%3A79035/attachment/ATT-0/> (abgerufen am 20.12.2022).

Klima-Bündnis (2022): Stadtradeln. URL: <https://www.stadtradeln.de/darum-geht-es> (abgerufen am 20.12.2022).

Lißner, Sven; Francke, Angela; Becker, Thilo (2018): Big Data im Radverkehr - Mit Smartphones generierte Verhaltensdaten im Radverkehr. URL: [https://tud.gucosa.de/landing-page/?tx\\_dlf\[id\]=https%3A%2F%2Ftud.gucosa.de%2Fapi%2Fgucosa%253A31011%2Fmets](https://tud.gucosa.de/landing-page/?tx_dlf[id]=https%3A%2F%2Ftud.gucosa.de%2Fapi%2Fgucosa%253A31011%2Fmets) (abgerufen am 20.12.2022).

Malik, Jan; Lange, Peter (2016): Hansestadt Rostock Potenzialanalyse für das geplante Rad-schnellwegkonzept. URL: [https://rat-haus.rostock.de/media/rostock\\_01.a.4984.de/datei/PotenzialanalyseRSWHRO2016.pdf](https://rat-haus.rostock.de/media/rostock_01.a.4984.de/datei/PotenzialanalyseRSWHRO2016.pdf) (abgerufen am 20.12.2022).

mcloud (2022): Radverkehrsmengenkarte, URL: <https://www.mcloud.de/web/guest/suche/-/results/suche/relevance/movebis/0/detail/ECF9DF02-37DC-4268-B017-A7C2CF302006> (abgerufen am 20.12.2022).

Schleinitz, K.; Petzold, T.; Franke-Bartholdt, L.; Krems, J.; Gehlert, T. (2017): The German Naturalistic Cycling Study - Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles, URL: <https://doi.org/10.1016/j.j.ssci.2015.07.027> (abgerufen am 20.12.2022).

Stentebjerg, Kristoffer Guldbæk; Hansen, Lars Kristian Engelsby; Poulsen, Mathias Kofoed; Hansen, Thomas Ertmann (2012): Optimizing Bicycle Route Planning - With Focus On Finding The Fastest Route. URL: <http://dx.doi.org/10.3233/978-1-61499-419-0-1149> (abgerufen am 20.12.2022).

TU Dresden; Klima-Bündnis; Cyface (2019): MOVE-BIS. Kurzbericht für die Pilotkommune Dresden.

## **AutorInnenangaben**

Christian Weiß  
PTV Transport Consult GmbH  
Cunnersdorfer Straße 25, 01189 Dresden  
E-Mail: [Christian.weiss@ptvgroup.com](mailto:Christian.weiss@ptvgroup.com)