



Deutsche
Verkehrswissenschaftliche
Gesellschaft e.V.

Journal für Mobilität und Verkehr

Radverkehr



Inhaltsverzeichnis

Editorial <i>Stefan Tritschler</i>	1
PendlerRatD „Umdenken – Umsteigen – Mitradeln“: Vorgehen und Ergebnisse eines Projekts zur Förderung des Fahrradpendleranteils <i>Jana Heimel*, Isabell Balzer, Benedikt Krams</i>	2
Integration des Radverkehrs in makroskopische Verkehrsmodelle <i>Christian Weiß</i>	8
Pedelecs und Cargo-Pedelecs als umweltfreundliche Mobilitätsalternative in urbaner Umgebung <i>Roman Rinberg*, Markus Hartenstein, Lothar Kroll, Ilka Pfisterer</i>	18

*Korrespondierende Autor:in

Wachsende Rolle des Radverkehrs in der Mobilität

Stefan Tritschler

Das Radfahren ist ein wichtiger Bestandteil der individuellen Mobilität. Mehr als ein Drittel der Menschen in Deutschland nutzen regelmäßig, d. h. mindestens einmal in der Woche, das Fahrrad. Knapp 30 % sind gelegentliche Nutzer:innen, die seltener als wöchentlich mit dem Rad unterwegs sind. Lediglich ein Drittel der Bevölkerung fährt so gut wie nie mit dem Rad.¹ Die Gründe für das Radfahren sind vielfältig.

Für Strecken bis zu einigen Kilometern ist es häufig die schnellste Möglichkeit, um von A nach B zu kommen. Dies gilt insbesondere in den Ballungsräumen während der Hauptverkehrszeit. Die Nutzung des Rads ist ressourcenschonend, klima- und umweltfreundlich sowie gut für Fitness und Gesundheit. Darüber hinaus eröffnet das Rad als „Zubringer“ zum öffentlichen Verkehr auch bei längeren Strecken eine hohe Flexibilität jenseits der Nutzung eines Pkw.

Die Wahrnehmung des Radfahrens hat sich in den letzten Jahren gewandelt, das Rad wird neben dem motorisierten Individualverkehr und dem öffentlichen Verkehr verstärkt als ernsthafte Mobilitäsalternative wahrgenommen. Sowohl im Freizeit- als auch im Berufsverkehr bestehen große Potentiale der Verlagerung von bislang motorisierten Fahrten auf das Rad. Mit der Frage, wie Berufspendler:innen motiviert werden können, zukünftig das Rad zu nutzen, befasst sich das Projekt Pendlerrad, über das Jana Heimel, Isabell Balzer und Benedikt Krams in ihrem Beitrag „Pendlerrad, Umdenken – Umsteigen – Mitradeln“: Vorgehen und Ergebnisse eines Projekts zur Förderung des Fahrradpendleranteils“ berichten.

Eine wachsende Zahl von Radfahrenden erfordert eine nachfragegerechte Anpassung der Radinfrastruktur. Dabei besteht häufig noch ein Nachholbedarf, da der Radverkehr bei der Aufteilung des Verkehrsraums bislang meist unterrepräsentiert ist. Für die Verkehrsplanung in diesem Bereich ist es von großer Bedeutung, Informationen über die Zahl der mit dem Rad zurückgelegten Wege sowie die nachgefragten Relationen zu erhalten. Die Grundlage dafür

bilden Verkehrsmodelle, in denen der Radverkehr in der Vergangenheit in der Regel nur vereinfacht abgebildet wurde. Eine Vertiefung der Radverkehrsmodellierung ist somit ein wichtiger Schritt für den Planungsprozess der Radinfrastruktur. Interessante Informationen dazu liefert hierzu Christian Weiß in seinem Beitrag „Integration des Radverkehrs in makroskopische Verkehrsmodelle“.

Die bereits angesprochene Schonung der Umwelt und der Ressourcen durch den Radverkehr spielt nicht nur im Personenverkehr, sondern auch in der Logistik eine Rolle. Unternehmen der KEP-Branche (Kurier-, Express- und Paketdienst) setzen verstärkt auf den Einsatz von Cargo-Pedelecs, um möglichst klimaneutrale Dienstleistungen anbieten zu können. Einen Überblick über die Entwicklungen in diesem Bereich gibt der Beitrag „Pedelecs und Cargo-Pedelecs als umweltfreundliche Mobilitäsalternative in urbaner Umgebung“ von Roman Rinberg, Markus Hartenstein, Lothar Kroll und Ilka Pfisterer.

Wir hoffen, dass die verschiedenen Beiträge aus dem Bereich Radverkehr Ihr Interesse finden und wünschen eine spannende Lektüre.

¹ infas, DLR, IVT und infas 360 (2018): Mobilität in Deutschland (im Auftrag des BMVI)

PendlerRatD „Umdenken – Umsteigen – Mitradeln“: Vorgehen und Ergebnisse eines Projekts zur Förderung des Fahrradpendleranteils

Jana Heimel*, Isabell Balzer, Benedikt Krams

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Das Forschungsprojekt „PendlerRatD“ verfolgt das Ziel, motorisierte Berufspendler*innen zum Umstieg auf das Fahrrad zu bewegen. Der Bewusstseinswandel steht dabei im Vordergrund. Unterstützt wird dieser Wandel durch eine native App mit einem Bonus- und Challengesystem. Damit können Arbeitgeber gezielt Anreize zum täglichen Pendeln mit dem Fahrrad setzen. Dieser Artikel stellt das Vorgehen im Projekt sowie ausgewählte Studienergebnisse dar.

Schlagwörter / Keywords:

Fahrrad, Pendeln, Bewusstseinswandel, Anreize, nachhaltige Mobilität

1. Einführung

In Deutschland werden insgesamt ca. 11 % der Wege mit dem Fahrrad zurückgelegt (vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022, S. 14). Für den Großteil der Wege wird ein motorisiertes Verkehrsmittel gewählt. So entfallen 57 % aller zurückgelegten Wege auf das Auto. Im ländlichen Raum wird das Auto für 70 % der Wege genutzt (vgl. Nobis & Kuhnimhof, 2018, S. 3-4).

Dies gilt nicht nur für Freizeitfahrten oder den Weg zum Einkaufen. Auch Pendelstrecken werden zu großen Teilen mit motorisierten Verkehrsmitteln wie Autos und Motorrädern absolviert. Die SINUS Umfrage 2021 zeigt, dass der Anteil der Fahrradpendler, die regelmäßig (also mindestens ein paar Mal pro Woche) mit dem Rad zur Arbeit pendeln bei ca. 22 % liegt (vgl. Sinus Markt- und Sozialforschung GmbH, 2021, S. 111).

Aktuelle weltpolitische Geschehnisse wie die Corona-Pandemie und die Energiekrise tragen zur Einstellungsverbesserung gegenüber dem Fahrrad bei. So geben 25 % der Befragten der SINUS Umfrage 2021 an, häufiger mit dem Fahrrad zu fahren als vor der Corona-Pandemie (vgl. Sinus Markt- und Sozialforschung GmbH, 2021, S. 7).

Zwar ist das Fahrrad das Fortbewegungsmittel mit dem höchsten Wachstumspotenzial und verdeutlicht damit die Relevanz der aktiven Ansprache und Motivation potentieller Fahrradfahrer. Dennoch ist der Trend hin zum Fahrrad kein Selbstläufer. So hat sich die Bundesregierung zum Ziel gesetzt, Deutschland bis 2030 zum Fahrradpendlerland auszubauen und das Fahrrad als „Verkehrsmittel der Wahl“ für den Arbeitsweg zu etablieren (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022, S. 63). Hierfür wurden bereits im Nationalen Radverkehrsplan (NRVP) 2020 die ersten Weichen gestellt und im Rahmen dessen das Projekt „PendlerRatD“ durchgeführt. Es zeigt, wie es gelingen kann, von überzeugten Autopendlern Hemmnisse abzubauen und sie zum Umstieg auf das Fahrrad zu motivieren.

2. Über das Projekt „PendlerRatD“

PendlerRatD wird durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) und Partnern aus der Wirtschaft (u.a. Dieter Schwarz Stiftung, Landesbank Baden-Württemberg, Bosch e-Bike Systems, AOK Heilbronn-Franken und IBES Baugrundinstitut GmbH) gefördert. Es wurde 2018 ins Leben gerufen und bis 2021 zunächst in den Regionen Stuttgart und

*Korrespondierende(r) Autor(in):

E-Mail: info@pendlerratd.de

Heilbronn durchgeführt. Aufgrund der vielversprechenden Projektergebnisse erfolgt eine Anschlussfinanzierung von 2022 bis Juni 2024 unter anderem zur Erzielung einer überregionalen Etablierung sowie Verstärkung des Projektes.

PendlerRatD verfolgt einen Multi-Stakeholder-Ansatz, bei dem sowohl Fahrrad- als auch Autofahrerverbände/-vereine, Unternehmen diverser Branchen (u.a. Automobilzulieferer), Anbieter des öffentlichen Personen(nah)verkehrs sowie Städte und Kommunen als Projektpartner aktiv bei der Realisierung der Projektziele unterstützen. Sie leisten einen wesentlichen Beitrag bei der Konzeption der Mobilitätsbefragung und deren Streuung innerhalb ihrer Organisation, der Rekrutierung von Testpersonen, der Koordination und Durchführung von Pilotphasen sowie der Entwicklung der PendlerRatD-App. Zudem unterstützen sie durch die Bereitstellung von Boni für teilnehmende Testradler.

Übergeordnetes Projektziel von PendlerRatD ist es, motorisierte Berufspendler zum Wechsel auf nachhaltige Alternativen zu motivieren. Das Projekt beinhaltet eine forschungs- und technologiebasierte Informations- und Kommunikationskampagne zur Verbesserung der Verkehrsverhältnisse und Sicherung nachhaltiger Mobilität. Entgegen gängiger Forschungspraxis stellt PendlerRatD damit nicht explizit auf die Optimierung der Infrastruktur als vielmehr auf

3. Methodische Aufbau

3.1 Mehrstufiges Vorgehen

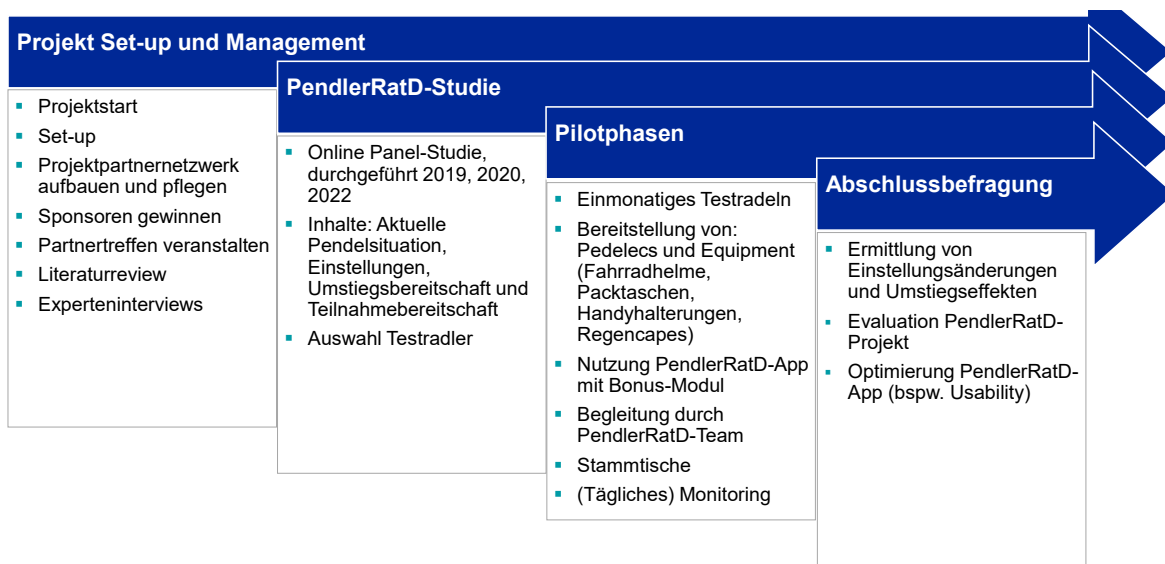
Bei der Umsetzung des PendlerRatD-Projektes kommt ein mehrstufiges Vorgehen mit folgenden Phasen zum Einsatz: 1. Projekt Set-up (mit Literaturreview, Experteninterviews etc.), 2. PendlerRatD-Studie, 3. Pilotphasen (u.a. mit Testradeln, Testung der PendlerRatD-Plattform & -App und Fokusgruppengesprächen) sowie 4. einer abschließenden Evaluation (siehe Abbildung 1). Diese werden im Folgenden kurz skizziert, wobei der Fokus hier auf der Mobilitätsbefragung (der „PendlerRatD-Studie“) und der Pilotphasen, dem Testradeln, liegt.

3.2 Konzeption und Inhalte der PendlerRatD-Studie

Auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche kombiniert mit Experteninterviews erfolgte die Konzeptionierung der PendlerRatD-Studie. Bei der PendlerRatD-Studie handelt es sich um eine wiederkehrende schriftliche Datenerhebung in Form einer Online-Befragung.

Die Inhalte der Studien basieren zu einem Großteil auf Fragestellungen existierender Studien (bspw. MiD, SINUS) und wurden um spezifische Arbeitgeberanforderungen von den Projektpartnern ergänzt und auf das Pendelverhalten hin angepasst.

Abbildung 1: Vorgehen im Projekt "PendlerRatD"



den Bewusstseinswandel von Individuen ab. Im Rahmen des Projektes wird eine App entwickelt, die Transparenz über die Vorteile des Pendelns mit dem Fahrrad schafft und zugleich durch spielerische Ansätze Anreize zum Fahrradpendeln setzt.

Neben Inhalten die aktuelle Pendelsituation und die Einstellung zum Pendeln betreffend, wird in der Umfrage die favorisierte Verkehrsmittelwahl untersucht. Zudem dient die Befragung der Identifikation von Probanden, den „Testradlern“, für die Pilotphasen. Studienteilnehmer wurden nach ihrem Interesse an der Teilnahme in einer Pilotphase befragt und konnten sich so auf die Interessentenliste potenzieller Testradler einschreiben.

3.3 Vorgehen in den Pilotphasen

Die im Rahmen der PendlerRatD-Studie identifizierten potenziellen Testradler wurden zu einer Pilotphase eingeladen. Es handelt sich dabei um eine einmonatige Testphase, in der den Teilnehmenden (einstige autofahrende Berufspendler) ein Pedelec mit entsprechendem (Fahrrad-)Zubehör (wie bspw. Packtaschen, Handyhalterung, Regencapes, Putz- und Reparatursets) zur Verfügung gestellt wird. Final wurden 21 solcher Pilotphasen mit insgesamt 634 Testradlern an 12 verschiedenen Standorten zumeist in Süddeutschland durchgeführt.

Während einer Pilotphase sind die Testradler angehalten, die PendlerRatD-App mit Tracking- und Bonusmodul zu verproben. Das Trackingmodul ermöglicht es den Radlern ihre gefahrenen Strecken aufzuzeichnen. Auf diese Weise werden Fahrten und Kilometer gesammelt, welche im Bonusmodul in Boni, wie bspw. ein Kantinenessen oder ein Fahrradhelm, eingetauscht werden können. Feedback zu den Entwicklungsständen der App wird per E-Mail und Telefoninterviews gesammelt.

Die Testradler werden während der Pilotphase intensiv sowohl seitens des PendlerRatD-Projektteams, des (Fahrrad-)Mobilitätsmanagers des Arbeitgebers und den Paten begleitet. Paten, die sogenannten „Eigenradler“, pendeln bereits seit geraumer Zeit mit dem Rad zur Arbeit und stehen den Testradlern als Ansprechpartner zur Verfügung.

Das PendlerRatD-Team steht „Nine-to-five“ den Testradlern telefonisch und per Mail als Ansprechpartner zur Verfügung. Beantwortet werden beispielsweise Fragen die App betreffend, Fragen zu Unsicherheiten bei Unfällen/Schäden/Diebstählen etc. Feedback die Infrastruktur beim Arbeitgeber aber auch die Kommune betreffend wird aufgenommen. Das PendlerRatD-Team organisiert für jede Pilotgruppe Stammtische, bei denen Testradler ihre Erfahrungen teilen und sich untereinander austauschen können. Ferner erforscht das Team das sogenannte Monitoring: Über kurze tägliche Befragungen werden das Stresslevel während der Pendelfahrt oder Gründe gegen die Nutzung des Fahrrads für Pendelfahrten abgefragt.

Am Ende der Pilotphasen werden im Rahmen einer Abschlussbefragung Einstellungsänderungen eruiert und Umstiegseffekte ermittelt. Auf diese Weise ist eine Gesamtevaluation des Projektes möglich.

4. Ergebnisdarstellung

4.1 Datengrundlage der PendlerRatD-Studie

Die PendlerRatD-Studie ist eine Panel-Studie, die bereits zum dritten Mal in Unterstützung mit dem

Projektpartner Netzwerk durchgeführt wurde. Die Stichprobe umfasst in 2019 2.785, in 2020 1.285 und in 2022 4.372 Teilnehmer. Der nachfolgende Abschnitt fokussiert auf die Ergebnisdarstellung der jüngsten Erhebung in 2022.¹ Sie fand im Zeitraum von März bis September 2022 statt und wurde mittels Onlinebefragung durchgeführt.

4.2 Datengrundlage der Pilotphasen

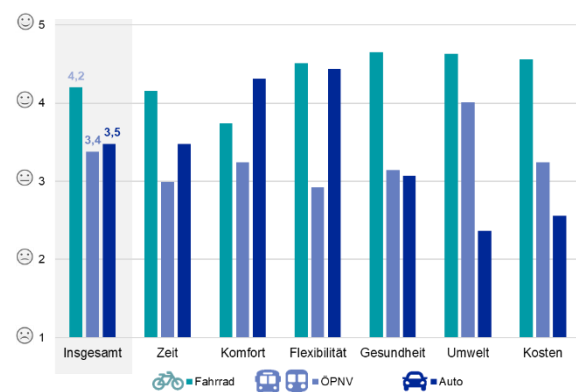
Im Rahmen von der bisherigen Projektlaufzeit wurden 21 Pilotphasen in Esslingen, Stuttgart, Heilbronn, Ludwigshafen, Neustadt an der Weinstraße, Frankfurt am Main, Neckarsulm, Forchheim, Augsburg und Regensburg mit 634 Radlern durchgeführt. Davon 514 mit Leihrad (e-Bike) und 120 mit eigenem Rad. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse basieren auf den in 2022 veranstalteten Pilotphasen. Diese fanden zwischen April und Oktober 2022 in acht verschiedenen Städten statt. Insgesamt nahmen 222 Testradler daran teil, 41 mit dem eigenen Rad und 181 mit einem Leihrad.

4.3 Ergebnisse der PendlerRatD-Studie 2022

Die Studienergebnisse zeigen, dass Fahrradpendler die zufriedensten Pendler sind (siehe Abbildung 2).

Nebst Vorteilen die Umwelt, Gesundheit und Kosten betreffend wissen Radfahrer auch die zeitliche Taktung und Flexibilität mehr zu schätzen als andere Verkehrsteilnehmer. Lediglich hinsichtlich des Komforts schneidet das Auto besser ab als das Fahrrad.

Abbildung 2: Zufriedenheit von Pendlern mit ihrem Verkehrsmittel (N = 3.690), eigene Darstellung

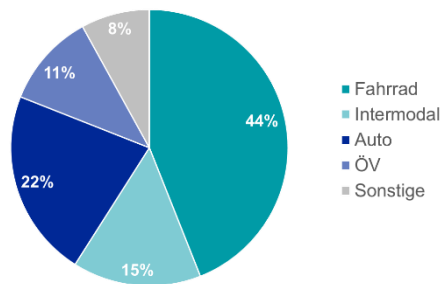


Das Fahrrad ist das favorisierte Verkehrsmittel bei den Befragten. Abbildung 3 zeigt, dass nicht nur Fahrradfahrer am liebsten mit dem Rad pendeln möchten. 44 % der Autopendler würden ebenfalls lieber mit dem Fahrrad zur Arbeit pendeln (vgl. Reidl, 2022). Lediglich bei intermodalen Pendlern (Antwortkategorie „Kombination Pendler“) teilt sich das Fahrrad den

¹ Für alle drei Datenerhebungen liegen Ergebnisberichte vor, die unter <https://pendlerratd.com/studienbericht/> abgerufen werden können.

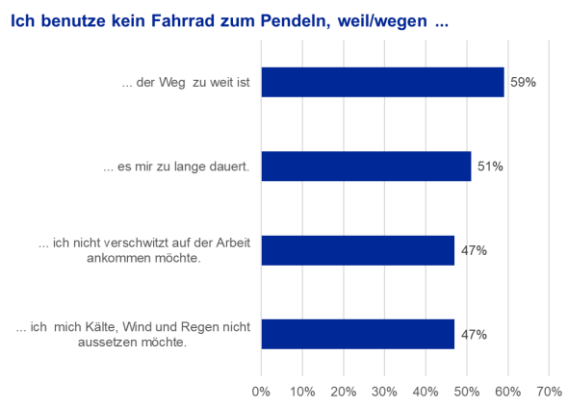
ersten Platz mit der Kombination verschiedener Verkehrsmittel. Insgesamt belegt intermodales Pendeln den zweiten Platz. Jedoch gibt es deutliche Unterschiede zwischen den Pendelgruppen. So belegt intermodales Pendeln bei Autofahrern und ÖPNV-Pendlern lediglich Platz drei, sie ziehen ihr bisheriges Verkehrsmittel vor.

Abbildung 3: Bevorzugtes Verkehrsmittel nach Hauptverkehrsmittel 2022 (N=3.676), eigene Darstellung



Obwohl die Mehrheit der Befragten am liebsten mit dem Fahrrad pendeln möchte, existieren verschiedene Gründe gegen die Nutzung des Rades. Für 59 % der Befragten ist der Weg zu weit und 51 % der Befragten geben an, dass es ihnen zu lange dauert. An dritter Stelle stehen die Bedürfnisse, nicht verschwitz am Arbeitsplatz anzukommen (47 %) und sich Kälte, Wind und Regen auszusetzen (46 %) (siehe Abbildung). Die Studienteilnehmer geben zudem an, dass Pendeln einfach und unkompliziert funktionieren soll, sie flexibel sein können und schnellstmöglich ans Ziel gelangen wollen.

Abbildung 4: Hinderungsgründe für das Pendeln mit dem Fahrrad (N = 2.099), eigene Darstellung



4.4 Ergebnisse der Pilotphasen 2022

PendlerRatD möchte diese Hemmnisse während der Pilotphasen abbauen und aufzeigen, wie flexibel und schnell man mit dem Fahrrad am Arbeitsplatz sein kann. Speziell zur Überwindung weiter Wege

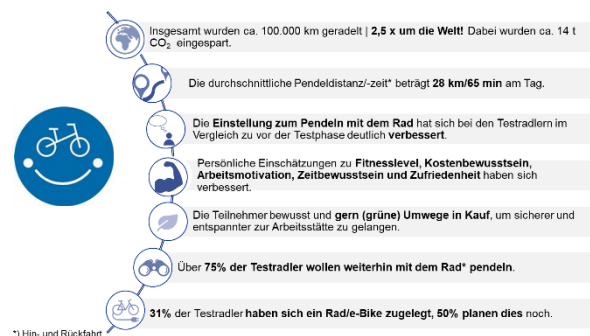
bieten sich e-Bikes und Pedelecs an, was die PendlerRatD-Studie 2020 verdeutlicht (vgl. Brinkmann, 2021). Im Durchschnitt absolvierten die Testradler mit den e-Bikes eine einfache Pendeldistanz von 17 km. Die psychologische Hemmschwelle bei „Bio-Radpendlern“ hingegen liegt im Durchschnitt bei eher 9 km (vgl. Heimel, 2019, S. 6, 2020, S. 5; Brinkmann, 2021).

Nach den Pilotphasen bestätigen die Testradler, dass sich ihre Einstellung zum Fahrradpendeln deutlich verbessert hat. Viele geben an, das Testradeln als Möglichkeit des Ausprobierens wahrgenommen zu haben, bei dem sie austesten können, ob sie die Distanzen tatsächlich (regelmäßig) überwinden können. Die native PendlerRatD-App mit ihrem Bonusmodul trägt dazu bei, dass sich Testradler auch an Schlechtwettertagen für das Fahrrad entscheiden.

Außerdem berichten die einstigen Autofahrer von einer Verbesserung ihrer Fitness, ihrer Arbeitsmotivation und ihrer Zufriedenheit mit dem Pendeln. Sofern während der Pilotphasen das Rad nicht genutzt wurde, lag es zumeist an unpassenden Wegeketten.

Der Erfolg des Vorgehens bei PendlerRatD manifestiert sich in den finalen Umstiegseffekten. Vorläufige Ergebnisse (mit Daten bis August 2022) zeigen, dass mehr als 70 % der Testradler nach den Pilotphasen weiterhin mit dem Fahrrad pendeln möchten. Dafür haben sich beispielsweise bereits 12 % der Testradler ein e-Bike und 32 % ein konventionelles Fahrrad zugelegt. Die aktuellen Ergebnisse aus 2022 bestätigen Ergebnisse aus den Vorjahren, bei denen Umstiegseffekte von 85% erzielt wurden. Abbildung gibt eine Übersicht über die wesentlichen Ergebnisse der Pilotphasen mit einstigen Autofahrern.

Abbildung 5: Wesentliche Ergebnisse der PendlerRatD-Pilotphasen



5. Fazit und Ausblick

Der Beitrag liefert einen Überblick über das Vorgehen und die Ergebnisse des PendlerRatD-Projektes. Das mehrstufige Vorgehen mit Einbezug von Arbeitgebern ermöglicht eine umfassende Bewertung der Potenziale für regelmäßiges Pendeln mit dem Fahrrad und die Ausgestaltung potenzieller Anreiz- und Motivationssysteme. Die PendlerRatD-Studie zeigt das Potenzial des Fahrrades als Verkehrsmittel zum

Pendeln im Gegensatz zu motorisierten Verkehrsmitteln auf. Insgesamt stellt das Fahrrad das favorisierte Verkehrsmittel dar. Mehr als 40 % der Autofahrenden gibt an, die Pendelfahrten am liebsten mit dem Fahrrad absolvieren zu wollen.

Einmonatige Testphasen ermöglichen den Teilnehmenden ohne finanzielle Risiken ihre Erfahrungen beim Fahrradpendeln zu sammeln und individuell zu bewerten. Speziell die Möglichkeit des Ausprobierens wird von den Testpersonen als sehr positiv bewertet, was sich wiederum in der Umstiegsbereitschaft niederschlägt. Die Mehrheit der Testradler möchte auch nach der Pilotphase weiterhin mit dem Fahrrad pendeln. PendlerRatD sorgt somit für einen Bewusstseinswandel bei den Individuen. Ihre Einstellung gegen über dem Fahrrad als Pendelfahrzeug hat sich durch die Teilnahme am Projekt verändert. Die Studienteilnehmer stehen dem Fahrrad positiver gegenüber.

Arbeitgeber nehmen eine Schlüsselrolle bei diesem Umstieg ein. So sollten Arbeitgeber ihre Mitarbeiter gezielt auf nachhaltige Mobilitätsangebote hinweisen und diese entsprechend fördern. Zudem trägt der Arbeitgeber durch die Einrichtung von fahrradfreundlicher Infrastruktur, wie bspw. ausreichend Stellplätzen und e-Bike-Ladestationen, aktiv zum Wandel bei.

Zudem trägt die PendlerRatD-App, im Speziellen das Bonusmodul mit seinen Boni und Gutscheinen, maßgeblich zur Motivation der Nutzung des Fahrrades bei. Arbeitgeber erhalten so die Möglichkeit ihre Mitarbeitenden beim Umstieg auf nachhaltige Mobilitätsformen zu unterstützen.

Limitierungen im Projekt sind hinsichtlich des Panels anzuführen. Es handelt sich bei den Studienteilnehmenden hauptsächlich um Mitarbeitende von Unternehmen und Organisationen, die aktiv Informationskampagnen für das Projekt betrieben haben. Es kann daher nicht von einer zwangsläufigen Repräsentativität ausgegangen werden.

Nichtsdestotrotz weisen die Ergebnisse von PendlerRatD eine wissenschaftliche, aber auch hohe praktische Relevanz auf. Die Durchführung von insgesamt drei Mobilitätsbefragungen und Pilotphasen in variierenden Städten, die alle ähnliche Ergebnisse hervorbringen, verdeutlicht die Aussagekraft und den Realitätsgehalt der Ergebnisse.

Weitere Studien und Pilotphasen sowie die Etablierung des Projektes an verschiedenen Standorten soll zukünftig zu weiteren Erkenntnissen und zur Bestätigung der Ergebnisse führen. Darüber hinaus soll die PendlerRatD-App kontinuierlich weiterentwickelt werden. Sie soll künftig ein Ticketing-Modul enthalten, welches zum Vereinfachten intermodalen Pendeln beiträgt.

Das Vorgehen im PendlerRatD-Projekt, über die kostenlose Bereitstellung von Pedelecs und die Be-

reitstellung der PendlerRatD-App, Hemmnisse abzubauen und Anreize zu setzen erweist sich insgesamt als zielführend, um den Wechsel zu nachhaltiger Mobilität voranzutreiben und Lust aufs Fahrrad als Pendelfahrzeug zu machen (vgl. Reidl, 2022). Schlussendlich zeigt sich, dass Appetit machen sich lohnt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Umstieg zu nachhaltigen Mobilitätsformen einfach zu erreichen ist, indem man die Zugangsmöglichkeiten dazu erleichtert. Das beinhaltet die Reduktion von Hemmnissen, das Appetitmachen durch Verprobungen innerhalb von Testphasen, Darbietung von Möglichkeiten, das Setzen von Anreizen. Auch die Schaffung von Transparenz über Vorteile des Fahrradfahrens hat sich im Projekt durch Entwicklung einer PendlerRatD-Bilanz als wesentlicher Hebel für den Umstieg auf das Fahrrad bestätigt.

Literatur

Brinkmann, T. (2022) Darum steigen diese Pendler aufs Fahrrad um [Online], Verfügbar unter <https://www.spiegel.de/auto/e-bike-statt-auto-darum-steigen-diese-pendler-aufs-fahrrad-um-a-ef234b48-6860-4542-9928-e9cfd00ee317>.

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) (2022) Nationaler Radverkehrsplan 3.0: Fahrradland Deutschland 2030 [Online], Berlin. Verfügbar unter https://zukunft-radverkehr.bmvi.de/bmvi/de/home/file/fileId/421/name/Nationaler%20Radverkehrsplan%203.0/BMDV_Deutsch_barrierefrei.pdf.

Heimel, J. (2019) PendlerRatD-Studie 2019: Ergebnisbericht [Online], Verfügbar unter https://pendler-ratd.com/wp-content/uploads/2020/07/2019_PendlerRatD_Studie_Ergebnisbericht_final.pdf.

Heimel, J. (2020) PendlerRatD-Studie 2020: Ergebnisbericht [Online], Verfügbar unter <https://pendler-ratd.com/wp-content/uploads/2021/10/pendler-ratd-studie-2020-ergebnisbericht.pdf>.

Nobis, C. & Kuhnimhof, T. (2018) Mobilität in Deutschland - MiD: Ergebnisbericht (Studie von infas, DLR, IVT und infas 360) [Online], Bonn, Berlin, Verfügbar unter http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf.

Reidl, A. (2021) Wie aus Autofahrern Radfahrer werden [Online], Verfügbar unter <https://www.zeit.de/mobilitaet/2021-12/radfahren-verkehrswende-auto-pendler-rad>.

Sinus Markt- und Sozialforschung GmbH (2021) Fahrrad-Monitor Deutschland 2021 [Online], Verfügbar unter <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/fahrrad-monitor-2021.pdf?blob=publicationFile>.

AutorInnenangaben

Prof. Dr. Jana Heibel
Forschungsprofessorin, Projektleiterin PendlerRatD
Fakultät für International Business, Hochschule
Heilbronn, Max-Planck-Str. 39, 74081 Heilbronn

E-Mail: jana.heibel@hpendlerratd.de

Isabell Balzer
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Fakultät für International Business, Hochschule
Heilbronn, Max-Planck-Str. 39, 740801 Heilbronn

E-Mail: info@pendlerratd.de

Dr. Benedikt Krams
Managing Partner
Match Rider UG
Ziegelhäuser Landstraße 39, 69120 Heidelberg

E-Mail: benedikt.krams@hs-heilbronn.de

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.

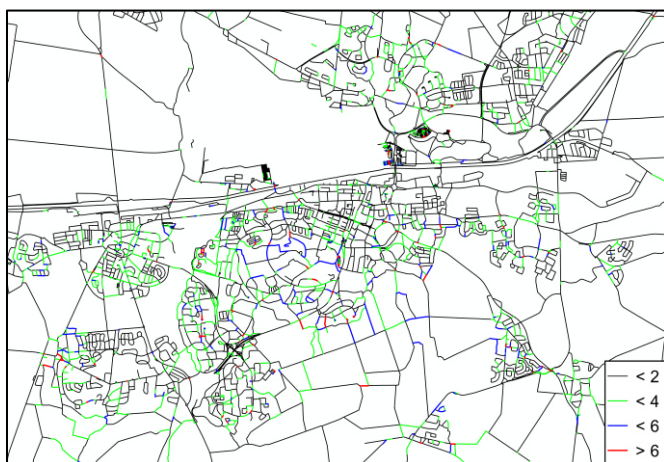


Abbildung 2: Längsneigungen [%] in Wolfsburg im Verkehrsmodell (eigene Darstellung auf der Grundlage der Verkehrsmodelle für den Regionalverband Großraum Braunschweig, die Stadt Braunschweig und die Stadt Wolfsburg)

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.

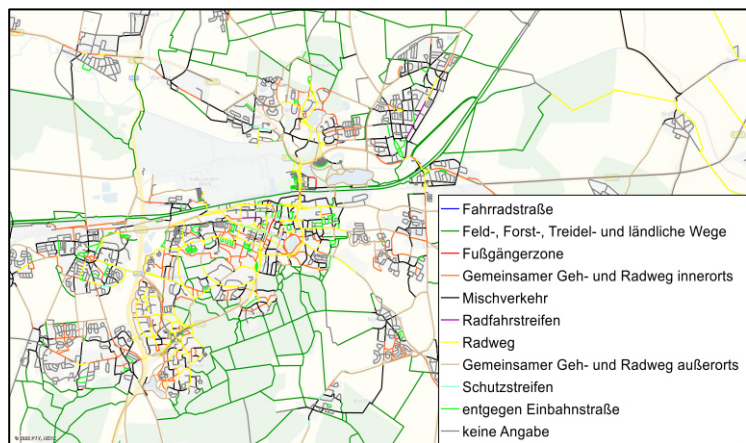


Abbildung 3: Führungsformen des Radverkehrs in Wolfsburg im Verkehrsmodell (eigene Darstellung auf der Grundlage der Verkehrsmodelle für den Regionalverband Großraum Braunschweig, die Stadt Braunschweig und die Stadt Wolfsburg)

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.

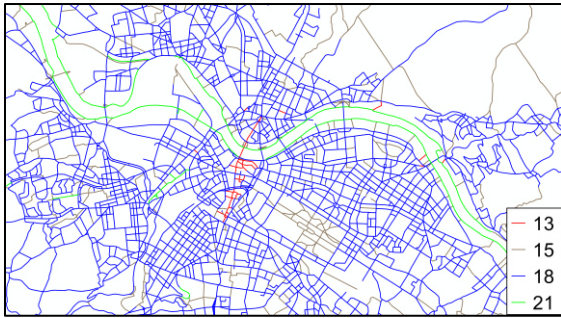
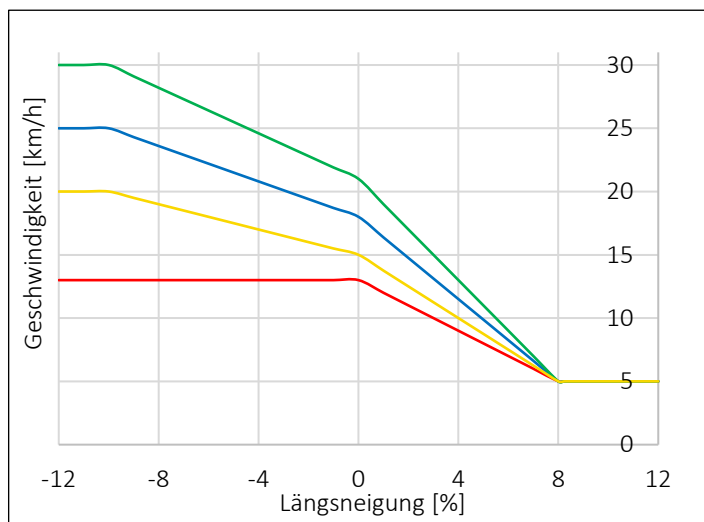


Abbildung 4: Grundgeschwindigkeit des Radverkehrs im IVM Dresden (eigene Darstellung auf der Grundlage des IVM Dresden)

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.



stellt.

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 (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 (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 (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 (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

Pedelecs und Cargo-Pedelecs als umweltfreundliche Mobilitätsalternative in urbaner Umgebung

Roman Rinberg*, Markus Hartenstein, Lothar Kroll, Ilka Pfisterer

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

In Zeiten knapper werdender Ressourcen, steigender Luftverschmutzung, überlasteter Verkehrsinfrastruktur und des Klimawandels wird der Bedarf an effizienten und zugleich differenzierten Mobilitätskonzepten für urbane Umgebung besonders deutlich. Pedelecs und Cargo-Pedelecs bieten hier eine interessante Alternative für persönliche Mobilität und innerstädtische Logistik. Die Vorteile liegen in der emissionsfreien Fortbewegung und den günstigen Anschaffungskosten. Bei den verwendeten Materialien liegt ökologisches Optimierungspotenzial vor.

Schlagwörter / Keywords:

Pedelec, Logistik, Nachhaltigkeit, Recycling, CO₂, Composite

1. (Cargo-)Pedelecs in Deutschland

Um den Herausforderungen unserer Zeit wie der Verknappung von Ressourcen, globaler Abhängigkeiten der Lieferketten, Umweltverschmutzung und dem Klimawandel etc. gerecht zu werden, sind alternative Lösungen auf nahezu allen Ebenen des alltäglichen Lebens, inkl. Verkehrsmittel, dringend erforderlich. Dies schließt auch zulassungsfreie Fahrzeuge wie Fahrräder, Pedelecs und Cargo-Pedelecs mit ein.

Wie technische Innovation und Marktentwicklung bei Pedelecs und Cargo-Pedelecs den City-Verkehr beeinflussen, macht sich zunehmend vielerorts bemerkbar. Laut der Marktdatenerhebung des Zweirad-Industrie-Verbandes stieg allein in Deutschland die Zahl der verkauften Pedelecs in den letzten Jahren deutlich: von 1,36 Millionen in 2019 auf 1,95 Mio. in 2020 und erneut auf 2 Mio. in 2021 (vgl. ZIV (2022)). Im Zeitraum 2011–2021 belief sich die Verkaufsmenge auf insgesamt 9,76 Mio. Pedelecs – eine durchaus beachtliche Zahl. Bei der Herstellung kommen hier nicht nur Stahl und Aluminium, sondern zunehmend Kunststoffe und Kunststoffrecyklate zur Anwendung, wie in Abbildung 1 repräsentativ dargestellte Modelle von CIP Group und IGUS verdeutlichen.

Gerade im urbanen Umfeld gewinnt die Nachfrage an emissionsfreien, flexibel einsetzbaren Fahrzeugen immer mehr an Bedeutung. Cargo-Pedelecs adressieren vor allem Lieferdienste und Fahrzeugflotten von

Unternehmen. Aber auch Privathaushalte steigen immer öfter vom klassischen Verbrenner-Pkw auf diese zulassungsfreien Fortbewegungsmittel um. Ist der Anspruch an Zuladung und Warentransport gering, kommen vorzugsweise Pedelecs ohne Cargo-Ausstattung aufgrund ihrer kompakteren Bauweise und relativ günstigen Anschaffungskosten in Betracht.



Abbildung 1: Vollkunststoff-Pedelecs MOCCI (oben, Quelle: CIP Group) und IGUS-Bike (unten, Quelle: IGUS)

2. Zunehmende Bedeutung von KEP-Diensten

Die vom Bundesverband Paket und Expresslogistik im Juni 2022 veröffentlichte Studie von KE-CONSULT Kurte&Esser zur Analyse des deutschen Kurier-, Express- und Paketmarktes (KEP) zeigt über den Zeitraum 2011–2021 ein 80%iges Wachstum (s. BIEK (2022)). Besonders in den letzten, pandemiegeprägten Jahren ist ein steiler Anstieg der KEP-Dienste mit einem Rekordhoch von +14,3 % im Jahre 2021 festzustellen (s. Abbildung 2). Demnach wird allein in Deutschland der KEP-Markt in 2021 mit insgesamt ca. 26,9 Mrd. € gewertet, wobei der Kuriermarkt mit 5,1 Mrd. €, der Expressmarkt mit 5,6 Mrd. € und der Paketmarkt mit 16,2 Mrd. € beziffert werden. Die Ergebnisse für 2021 bestätigen den Wachstumstrend und deuten für die nächsten Jahre sogar auf eine überproportionale Entwicklung gegenüber den Vorjahren hin.

Ausgewählte Großunternehmen des KEP-Marktes wie z. B. Hermes, GLS, DPD, UPS etc. führen bereits Pilotprojekte zum Einsatz moderner 2–4rädiger Cargo-Pedelecs für die Sendungszustellung zu den Endkunden durch. Nach der o. g. Marktdatenerhebung des deutschen Zweirad-Industrie-Verbandes ist in 2020 die Stückzahl der elektrisch angetriebenen Lasten- und Transportfahrräder auf 120.000 angewachsen, wobei weitere 47.000 Einheiten ohne E-Antrieb hinzukommen. Dies entspricht einem 62%igen Zuwachs gegenüber dem Vorjahr, wobei auch 2020 mit einem 40%igen Anstieg gegenüber 2019 einherging (s. BIEK (2022)).

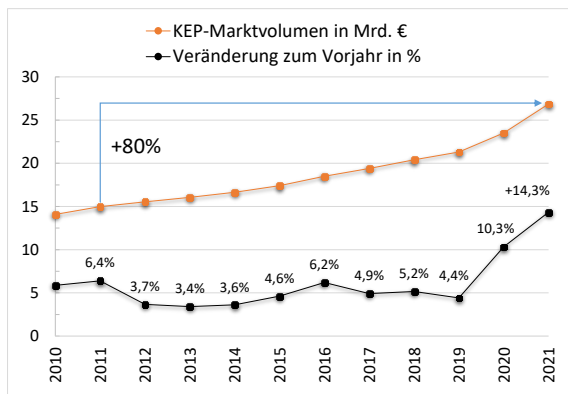


Abbildung 2: Entwicklung des deutschen KEP-Marktes in den letzten 10 Jahren (modifizierte Darstellung nach BIEK (2022))

Die Beschäftigtenzahl in der KEP-Branche wächst stetig, was als zukunftsweisender Trend einzustufen ist. Sozial gesehen eröffnet eine mit KEP-Pedelecs ausgestattete Logistikbranche neue Jobmöglichkeiten für Menschen, die aus verschiedenen Gründen keinen KFZ-Führerschein besitzen. Dies kann darüber hinaus bei wenig qualifizierten Arbeitskräften zu einer Entspannung der Arbeitslage bzw. zur Steigerung der Flexibilität führen. Auch die gesellschaftliche Integration von Einwanderern lässt sich grundsätzlich

damit fördern, wenn sie durch derartige Tätigkeiten (z. B. als Zusteller etc.) in soziale Interaktionen mehr einbezogen werden.

Seit dem Ausbruch des Krieges zwischen Russland und der Ukraine steigen die Preise für Benzin und Diesel enorm. Ein fortlaufender Umstieg auf eine elektrisch angetriebene (Klein-)Logistik kann sich vorteilhaft auf die Minimierung der Abhängigkeit von ausländischen Treibstofflieferanten auswirken und so in manchen Fällen politisches Handeln erleichtern.

Innerhalb Deutschlands sind die Rahmenbedingungen durch die eingeschlagenen Wege der Elektromobilität und der Biologisierung der Wirtschaft sowie diverse Förderungen bei der Markteinführung von Elektrofahrzeugen und klimaneutralen Waren/Dienstleistungen günstig. Vor diesem Hintergrund sind regionale Wertschöpfungs- und Lieferketten mit geringer Importabhängigkeit schon jetzt von hohem Stellenwert und werden künftig an Bedeutung gewinnen.

3. Marktakzeptanz rund ums Thema Nachhaltigkeit und (Klein-)Logistik

In der Studie der DZ BANK AG (Deutsche Zentral-Genossenschaftsbank) „Branchenanalysen – Deutscher Mittelstand schätzt Nachhaltigkeit“, die im August 2021 veröffentlicht wurde und die Umfrageergebnisse von 1000 mittelständigen Unternehmen in Deutschland analysiert, ist das Bestreben der Unternehmen deutlich erkennbar, die Angebote um nachhaltige Produkte zu erweitern und Lieferanten nach Nachhaltigkeitskriterien auszuwählen (DZ BANK (2021)). Vor allem bei den großen Mittelständlern mit einem Jahresumsatz von mehr als 50 Mio. Euro weist die Angebotspalette mittlerweile einen 50%igen Anteil an nachhaltigen Produkten auf. Bei den kleineren und kleinen Mittelständlern liegt der Anteil bei ca. 40 %. Branchenmäßig stechen Chemie- und Ernährungsindustrie sowie Handel hervor.

Auch firmeninterne Logistik stellt in Bezug auf nachhaltige Mobilitätskonzepte einen wachsenden Markt dar, sodass der Megatrend Nachhaltigkeit nahezu alle Branchen durchdringt. In Abbildung 3 sind die ermittelten Prozentzahlen der Befragten zur Nutzung nachhaltiger Mobilitätskonzepte sowie des Recyclings und Abfallmanagements nach Branche und Unternehmensgröße ersichtlich. Das Dienstleistungsgewerbe und die Elektroindustrie übernehmen demnach bei den nachhaltigen Mobilitätskonzepten mit jeweils 64 % die Vorreiterrolle, wobei die größeren Mittelständler mit einem Jahresumsatz 25–50 Mio. € besonders hervorstechen. Im Unterschied hierzu ist die Nutzung nachhaltiger Mobilitätskonzepte bei den kleineren Unternehmen mit einem jährlichen Umsatz von weniger als 5 Mio. € deutlich geringer.

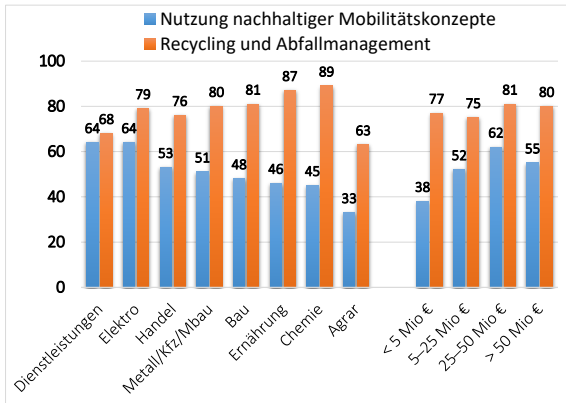


Abbildung 3: Branchenübersicht zur Nutzung nachhaltiger Mobilitätskonzepte sowie des Recyclings und Abfallmanagements in % der befragten Unternehmen (modifizierte Darstellung nach DZ BANK (2021))

Besonders umweltfreundlich und wirtschaftlich kann ein KEP-Dienst mit dem steigenden Grad der Urbanisierung betrieben werden, also in den Großstädten und größeren Mittelstädten mit mehr als 50.000 Einwohnern. Dies bestätigen u. a. mehrere unabhängige Pilotprojekte aus Nürnberg und Stuttgart. Eine erfolgreiche Umsetzung der modernen Logistikkonzepte würde die Entlastung der Innenstädte und die

Verbesserung der Umweltsituation erheblich fördern.

4. Moderne Cargo-Pedelecs für die KEP-Branche

Die Analyse der Wettbewerbslösungen bei KEP-Fahrzeugen lässt zwar einen dynamischen Markt mit hohen Wachstumsraten, aber einer überschaubaren Anzahl von Wettbewerbern vorfinden. Einige Beispiele dieser zulassungsfreien KEP-Fahrzeuge sind in Abbildung 4 dargestellt und jeweils mit einer kurzen Charakteristik ergänzt.

Das Fahrzeug-Eigengewicht liegt im Bereich 100–150 kg und die maximale Zuladung zwischen 200 kg und 335 kg bei einer maximalen Reichweite von 60 km bis 100 km. Die vier dargestellten KEP-Fahrzeuge verfügen über vergleichbare Features bei den Assistenzsystemen wie elektrische Anfahrhilfe bis 6 km/h, Wegfahrsperrung, Lichtanlage, GPS-Tracking etc., unterscheiden sich jedoch hinsichtlich des Designs, der Konstruktion, der Fahreigenschaften und der Ergonomie. Das Fahrzeug Mubea Urban M in Abbildung 4 (links) profitiert von einem intelligent stabilisierten Fahrwerk, einem niedrigen Eigengewicht, einem ergonomischen beidseitigen Fahrerzustieg und einem leichten geräumigen Laderaum. Das Fahrzeug ONO MotionLab (s. Abbildung 4, 2. von links)

Mubea Urban M	ONO Berlin MotionLab	Citkar Loadster Delivery	Schaeffler Bio-Hybrid
<p>Kurzbeschreibung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eigenmasse 115 kg • Max. Zuladung 335 kg • Reichweite 100 km • Fahrwerk mit Doppelquerlenkerachsen, Dämpfern und Stabilisatoren • Sitzposition • Wetterschutz • Lichtanlage 	<p>Kurzbeschreibung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eigenmasse 150 kg • Max. Zuladung 300 kg • Reichweite 100 km • Rückwärtsgang • Wetterschutz durch geschlossene Kabine • Lichtanlage • GPS-Tracking • RFID-Schließsystem 	<p>Kurzbeschreibung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eigenmasse 150 kg • Max. Zuladung 300 kg • Reichweite 60 km • Rückwärtsgang • Wetterschutz • Lichtanlage • GPS-Tracking • RFID-Schließsystem 	<p>Kurzbeschreibung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eigenmasse 100 kg • Max. Zuladung 200 kg • Reichweite 100 km • Rekuperation • Rückwärtsgang • Wetterschutz mit Scheibenwischer • Lichtanlage • Keyless Go • Connectivity Wi-Fi/4G/Bluetooth/GPS

Abbildung 4: Ausgewählte KEP-Fahrzeuge im Mobilitätsmarkt mit Kurzbeschreibung

punktet mit einem umfassenden Wetterschutz, wobei dadurch der Fahrerzustieg nur einseitig vorgesehen ist, und einem Wechselkofferkonzept, das jedoch durch das Eigengewicht die Nutzlast um ca. 90 kg minimiert und die Bodenfreiheit einschränkt. Das Fahrzeug Citkar Loadster Delivery (s. Abbildung 4, 3. von links) weist ein ebenso hohes Eigengewicht wie ONO MotionLab und einen eher einfach ausgeführten Stahlrahmen auf, allerdings sind die wesentlich größere Bodenfreiheit und Kippsicherheit durch die 4rädige Ausführung von Vorteil. Das Fahrzeug Schaeffler Bio-Hybrid (s. Abbildung 4, rechts) ist hier mit lediglich 100 kg Eigengewicht das leichteste Pedelec, das als Cargo-Variante nur 200 kg Maximalzuladung erlaubt. In Bezug auf Ergonomie (Fahrerzustieg, Bedienbarkeit etc.) und Design stellt das Bio-Hybrid ein ausgereiftes Konzept dar. Der Hersteller, die Bio-Hybrid GmbH hat jedoch in 2021 Insolvenz angemeldet.

In Anbetracht der o. g. Fahrzeuggröße und -masse (vor allem mit Zuladung) stellt sich natürlich die Frage nach der Interaktion der Cargo-Pedelecs mit dem Straßenverkehr. Seitens des Gesetzgebers sind nach § 32 StVZO die Abmessungen von mehrspurigen Fahrrädern auf Maximalmaße 2,0 m Breite, 4,0 m Länge und 2,5 m Höhe geregelt. Die Nutzung von Radwegen mit derart großen Fahrrädern ist nicht möglich. Ebenso problematisch erweist sich das Befahren von Einbahnstraßen in entgegengesetzte Richtung, was für Fahrräder an sich erlaubt ist. Fachleute erwarten in naher Zukunft eine Neuregelung der Verhältnisse oder Etablierung einer neuen zulassungsfreien Fahrzeugklasse für KEP-Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht bis 500 kg und einer Antriebsleistung über 0,25 kW, da bisher nach DIN 79010:2020-02 nur die Lastenräder mit einer dauerhaften Antriebsleistung bis 0,25 kW und einem Gesamtgewicht bis 300 kg genormt sind. Im Unterschied hierzu gestaltet sich die Einführung von Pedelecs für die private Mobilität deutlich einfacher. Hier ist dennoch zu beachten, dass durch die effiziente Unterstützung des verbauten Elektromotors ein Pedelec-fahrender auf den Straßen wesentlich schneller unterwegs ist. Dies erscheint einerseits vorteilhaft, erhöht andererseits womöglich die Unfallgefahr. Eine angemessene Nachjustierung der STVO kann hier Abhilfe schaffen.

5. Schonung der Umwelt und der Ressourcen

Bei all den aufgeführten Vorteilen und dem Marktpotential ist allen vorgestellten KEP-Fahrzeugen gemein, dass sie weder aus biobasierten Werkstoffen bestehen noch eine regionale, importunabhängige Wertschöpfung umsetzen. Dennoch liegt der Gedanke nahe, auch bei der Herstellung dieser neuen Fahrzeugart auf umweltfreundlichere Materialien und Technologien zurückzugreifen, was ausgereifte und bezahlbare Werkstoffkonzepte voraussetzt. Im

Bereich der einspurigen Pedelecs sind fortschrittliche Ansätze bereits vorzufinden.

In Bezug auf die Umweltschonung und Klimaneutralität stellt die Nutzung nachwachsender anstatt fossiler Rohstoffe einen wesentlichen Baustein der Gesamtstrategie zur Einsparung von Treibhausgasen dar. Dies betrifft nicht nur die Energieerzeugung und -speicherung, sondern auch verwendete Konstruktionsmaterialien und Herstellungsprozesse für Bauteile und Fahrzeuge. Auch in Hinblick auf die weltweit steigenden Probleme mit Kunststoffabfällen können Kunststoffzyklate und Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, wie etwa biobasierte Kunststoffe und Bio-Verbundwerkstoffe, einen wichtigen Beitrag für nachhaltiges Wirtschaften leisten. Das ist im Schwerpunktprogramm der Bundesregierung zur Umsetzung der Bioökonomie fest verankert und entspricht den Zielen des europäischen „Green Deals“ zur effizienten Ressourcennutzung vollumfänglich. Erst mit einer biobasierten Wertschöpfung lässt sich eine von fossilen Rohstoffen weitgehend unabhängige Kreislaufwirtschaft aufbauen, um so die von der Staatengemeinschaft geforderte neutrale CO₂-Bilanz umzusetzen.

In heutigen Ökobilanzen stellt die Materialherstellung meist den größten Anteil an den CO₂-Emissionen dar, während die thermische Verwertung nur einen kleinen Teil der Gesamtbilanz einnimmt. Dies ist in der Erteilung von Gutschriften durch die Energieerzeugung begründet. Bei der thermischen Verwertung von Kunststoffen entsteht zwar CO₂, allerdings kann die gewonnene Energie in Wärme und Strom umgewandelt werden, was den Verbrauch anderer Energieträger reduziert.

In Abbildung 5 sind die CO₂-Emissionen für die Herstellung bzw. thermische Verwertung einiger verbreiteter Kunststoffe wie Polypropylen (PP), Polyethylenterephthalat (PET), Polycarbonat (PC), Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) und Polyamid 6 (PA6) ersichtlich.

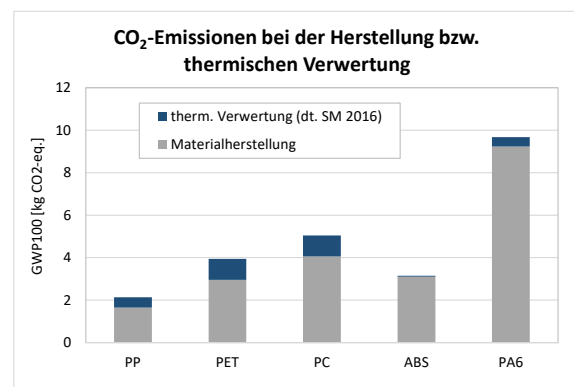


Abbildung 5: CO₂-Emissionen aus Materialherstellung und thermischer Verwertung unter Nutzung des deutschen Strommix 2016

Aufgrund des hohen Heizwerts vieler Kunststoffsorten ist hier die Energieerzeugung effektiver als die Verstromung von Braunkohle. Die eingesparten CO₂-

Emissionen durch die Substitution fossiler Energieträger werden in der Ökobilanz i.d.R. gutgeschrieben, sodass die thermische Verwertung nur einen geringen Anteil an den Gesamt-CO₂-Emissionen eines Produkts verantwortet. Mit zunehmendem Einsatz von erneuerbaren Energien wird sich die Gutschrift aus der Energiegewinnung jedoch reduzieren und die CO₂-Emissionen aus der thermischen Verwertung werden steigen. In Abbildung 6 ist die Höhe der Gutschrift ausgewählter Kunststoffsorten anhand verschiedener Strommixe dargestellt.

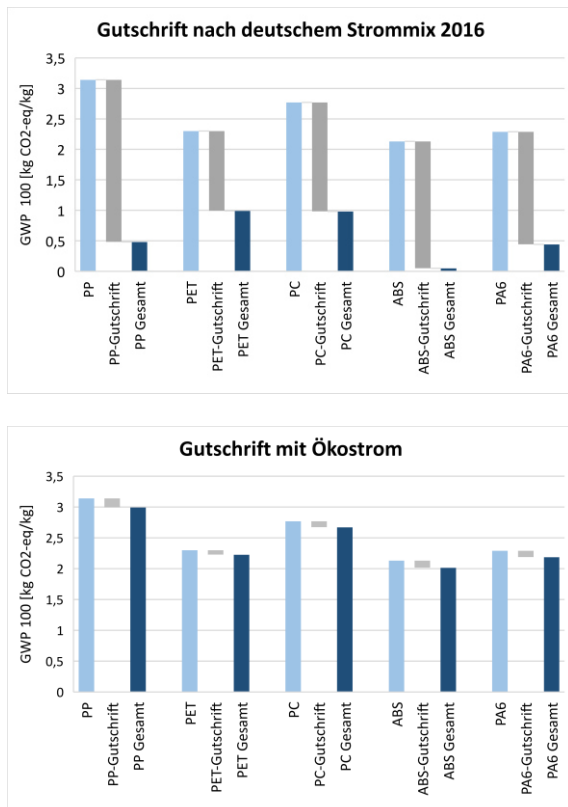


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Höhe an CO₂-Emissionen bei der thermischen Verwertung und die resultierenden Gutschriften aus der Substitution bestehender Energieträger für den deutschen Strommix 2016 (oben) bzw. die Verwendung von Ökostrom (unten)

Paradoxaerweise kann also die Energiewende rechnerisch zu höheren CO₂-Bilanzen von Kunststoffprodukten führen. Um dem entgegenzuwirken und Pedelecs ökologisch vorteilhafter auszulegen, sind grundsätzlich Forderungen nach dem Einsatz von Kunststoffzyklat, nachwachsenden Rohstoffen sowie der Verwendung von rezyklierbaren Materialien und entsprechenden Bauteilkonzepten zur Schaffung einer Kreislaufwirtschaft schon in der Konzeptphase zu berücksichtigen.

Besonders wichtig bei der Recyclingfähigkeit ist die Sortenreinheit von Materialien. Den höchsten Grad an Recyclingfähigkeit besitzen Spritzgießkomponenten aus reinen Polymeren. Aus eigenen Untersuchungen geht hervor, dass reines PP bei geeigneter Additivierung ca. 10mal rezyklierbar ist, ohne dass eine

wesentliche Veränderung des Eigenschaftsprofils eintritt. Im Bereich der Composites kann die Faserverstärkung schnell zu einer Einschränkung der Recyclingfähigkeit führen. Beispielsweise hat sich bei Spritzgießbauteilen aus glasfaserverstärktem Polypropylen das mechanische Materialverhalten schon nach drei Recyclingzyklen verändert. Dies kann primär auf die Verkürzung der Glasfasern durch die mechanische Belastung bei der Verarbeitung zurückgeführt werden. (s. Pfisterer et al. (2021)) Auch Kohlenstofffasern sind sehr spröde und quer zur Faser weniger fest, sodass hier ein ähnliches Verhalten wie bei Glasfasern zu erwarten ist. Dennoch weisen faserverstärkte Kunststoffe gegenüber den reinen Polymeren ein höheres Eigenschaftsniveau bei Festigkeit und Steifigkeit auf und vermindern dadurch den erforderlichen Materialeinsatz im Bauteil. Dies verkompliziert nicht nur die Ökobilanzierung, sondern auch die Materialauswahl in der Konzeptphase.

Naturfasern neigen aufgrund ihrer hohen Biegsamkeit auch bei einem mehrfachen Recycling weniger zum Brechen und behalten ihre Restfaserlänge bei (vgl. Endres et al. (2014)). Die Verstärkung von Kunststoffen durch Naturfasern bietet somit eine geeignete Möglichkeit sowohl fossile Rohstoffe durch nachwachsende zu ersetzen (Ouali et al. (2017)), als auch die Recyclingfähigkeit der Komponenten zu erhöhen. Allerdings behindern derzeit andere Aspekte wie Feuchtigkeitsaufnahme, Aufquellen, Witterungsbeständigkeit, Geruchsentwicklung etc. den Einsatz von Naturfasern in technischen Bauteilen.

Die im Februar 2022 veröffentlichte Pressemitteilung von Composites Germany, welche die Befragungsergebnisse der drei großen Trägerverbände AVK, Leichtbau Baden-Württemberg und VDMA-Arbeitsgemeinschaft Hybride Leichtbau Technologien widerspiegelt, offenbart aktuelle Kennzahlen zum Markt für faserverstärkte Kunststoffe (s. Composites Germany (2022)). In Bezug auf Material lässt sich gem. Abbildung 7 festhalten, dass naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) einen ebenso hohen Marktanteil von 12 % aufweisen wie carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Als Wachstumstreiber in 2021 identifiziert die Studie glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK), welche jedoch in zahlreichen Anwendungen durch NFK erfolgreich substituiert werden können, wenn die hierfür notwendigen qualitativ hochwertigen Naturfasern wie etwa Flachs- oder Hanffasern zu konkurrenzfähigen Preisen zur Verfügung stehen. Darüber hinaus lässt das gestiegene Kunden- und Produzentenbewusstsein für Umwelt und Nachhaltigkeit einen weiteren Anstieg der Anteile von NFK branchenübergreifend prognostizieren.

Und die Haltbarkeit und Wiederverwertung der mobilen Energiespeicher, mit denen die Pedelecs bestückt sind?

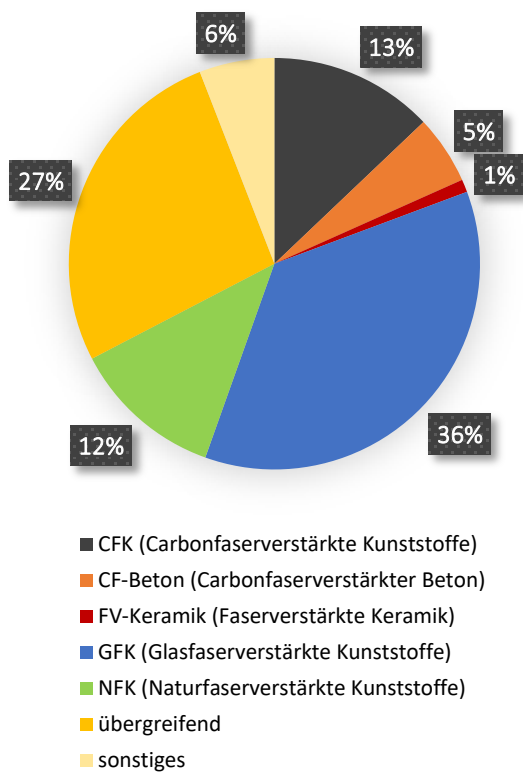


Abbildung 7: Material als Wachstumstreiber im globalen Composites-Markt (zusammengeführte Darstellung der beiden Halbjahresergebnisse nach Composites Germany (2021))

Im Unterschied zu E-Autos können die hier beschriebenen KEP-Fahrzeuge dank einer geringeren erforderlichen Stromstärke vorteilhafterweise über einfach erreichbare Haushaltssteckdosen schnell geladen werden. Wichtig ist die Erkenntnis, dass moderne Stromspeicher für mobile Anwendungen bis zu 2500 Ladezyklen ohne massive Leistungsverluste aushalten können, was bei einem täglichen Vollladen einer Lebensdauer von ca. 7 Jahren entspricht. Der Automobilhersteller Toyota Lexus gibt schon heute sogar eine Garantie über 10-Jahre oder 1-Mio-km auf die verbaute Autobatterie. Dies belegt, dass die verwendeten Speicher länger halten als anfänglich vermutet und ist auch eine direkte Folge von intensiver Entwicklungsarbeit an Überwachung und Management des Batteriespeichers. Die Frage, inwiefern diese fortschrittlichen Energiespeicher-Technologien auf deutlich kleinere fahrrad- bzw. lastradgerechte Akkus wirtschaftlich zu übertragen sind, wird in der Industrie noch geprüft.

Nach der Nutzungsphase können aus den ausgedienten Zellen der Akkus wichtige Rohstoffe zurückgewonnen werden. Dafür sind mittlerweile hydro- bzw. pyrometallurgische Methoden etabliert. Grundsätzlich ist das Recycling von Alt-Akkus großtechnisch umsetzbar, aber nicht in jedem Fall wirtschaftlich, was nach Meinung der Experten in einem sinkenden

Kobaltgehalt begründet ist. Derzeit sind in Deutschland Recyclingbetriebe für lithiumhaltige Batterien mit einer Gesamtkapazität von mindestens 20.000 Jahrestonnen vorhanden. Ein weiterer Ausbau dieser Kapazitäten ist eine Aufgabe, die eine gesamtstrategische Lösung zur Wiederverwendung und Wiederverwertung von modernen mobilen Energiespeichern erfordert. Wesentliche Aspekte im Umgang mit den Nachhaltigkeitsfragen der Elektromobilität und des Batterierecyclings sind in der Dokumentation der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages zusammengefasst (s. Deutscher Bundestag (2021)).

6. Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der schnelle Anstieg der Verkaufszahlen bei Pedelecs und Cargo-Pedelecs zu einer Umstellung im Straßenverkehr vor allem in deutschen Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern führen wird und vor allem größere mehrspurige Cargo-Pedelecs in der stark wachsenden KEP-Branche verstärkt eingesetzt werden. Die Pedelecs lassen sich zwar als umweltfreundliche Mobilitätsalternative in urbaner Umgebung einstufen, sollen jedoch hinsichtlich der Bauweise und der verwendeten Materialien genauer analysiert und kritisch bewertet werden. Denn schon heute sind hilfreiche Methoden der Ökobilanzierung und umweltfreundliche Materialkonzepte vorhanden, welche die noch nicht ausgeschöpften Umweltvorteile zugänglich machen können.

Die hier vorgestellten Ergebnisse entstammen der Studie "Sustainable Materials for Micro Mobility and Transport", die im Rahmen des RUBIN-Projektes SuMaTra (Aktenzeichen: 03RU2K13C) vom BMBF gefördert wurde, sowie weiteren eigenen Arbeiten. Die Autoren danken dem Fördermittelgeber für die gewährte finanzielle Unterstützung.

Literatur

BIEK (2022): Impulsgeber mit Innovationskraft, KEP-Studie 2022 – Analyse des Marktes in Deutschland. Bundesverband Paket und Expresslogistik e. V. (BIEK), KE-CONSULT Kurte&Esser GbR, Berlin, Köln 2022.

Deutscher Bundestag (2021): Dokument. WD 8 - 3000 - 100/21: Einzelfragen zum Recycling von Elektrofahrzeugen, Dez 2021.

DZ BANK (2021): Branchenanalysen – Deutscher Mittelstand schätzt Nachhaltigkeit. DZ Bank AG, Research-Publikation, 19.8.2021.

A.-A. Ouali et al. (2017): Natural unidirectional sheet processes for fibre reinforced bioplastics. AIP Conference Proceedings 2017, 1914 (1): 60005. ISBN: 978-0-7354-1606-2, DOI: 10.1063/1.5016725.

I. Pfisterer et al. (2021): Investigation of material degradation during multiple recycling loops of a glass

fiber reinforced polypropylene compound to evaluate life cycle analysis based on mechanical properties. Technologies for Lightweight Structures 5(1) (2021), pp. 61-68.

H.-J. Endres et al. (2014): Bio im Kunststoff – Naturfaserverstärkte Kunststoffe und mineralhaltige Verbundwerkstoffe im Vergleich. Plastverarbeiter 09/2014, S. 88-91

Composites Germany (2022): Pressemitteilung Nr. 1/2022, 18. Composites-Markterhebung, Feb 2022.

ZIV (2022): Marktdaten Fahrräder und E-Bikes 2021. Zweirad-Industrie-Verband (ZIV), Pressekonferenz am 16.03.2022 in Berlin.

AutorInnenangaben

Dr.-Ing. Roman Rinberg
Institut für Strukturleichtbau
Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer
Str. 31/33, 09126 Chemnitz
E-Mail: roman.rinberg@mb.tu-chemnitz.de

Marcus Hartenstein
Institut für Strukturleichtbau
Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer
Str. 31/33, 09126 Chemnitz
E-Mail: marcus.hartenstein@mb.tu-chemnitz.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Kroll
Institut für Strukturleichtbau
Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer
Str. 31/33, 09126 Chemnitz
E-Mail: lothar.kroll@mb.tu-chemnitz.de

Ilka Pfisterer
Mercedes-Benz AG, RD/KIC Vorentwicklung Cockpit
und Türverkleidung, 71059 Sindelfingen
E-Mail: ilka.pfisterer@mercedes-benz.com