

Einfluss des Wetters auf das Verkehrsverhalten

empirische Auswertungen von Mobilitätsbefragungen und Open Data

Der Einfluss des Wetters auf das Verkehrsverhalten wird bisher in der Verkehrsplanung kaum beachtet. Literaturanalysen zeigen, dass besonders die Fahrradnutzung wettersensitiv ist. Eigene Analysen werden mit zwei unterschiedlichen empirischen Datensätzen durchgeführt: Erstens zeigen Daten des Deutschen Mobilitätspanels von 1995 bis 2018 einen deutlichen Zusammenhang zwischen Temperatur und Fahrradnutzung sowie deutliche personengruppenspezifische Reaktionen auf unterschiedliches Wetter (Alter, Mobilitätstyp, räumlicher Kontext des Wohnorts). Zweitens werden die Werte von verschiedenen in Deutschland verteilten Fahrradzählstellen analysiert. Hierbei zeigt sich ein besonders deutlicher Zusammenhang zwischen Jahreszeit bzw. Temperatur und Niederschlag und den Verkehrsmengen des Radverkehrs: bis zu 80 % weniger Radverkehrsaufkommen im Winter im Vergleich zum Sommer sowie eine Abnahme der Radverkehrsmengen an Tagen mit Niederschlag um bis zu 35 %. Mit zunehmendem Radverkehr wird der Einfluss des Wetters auf das Verkehrsgeschehen in Zukunft noch relevanter.

The influence of the weather on travel behavior has hardly been considered in traffic planning so far. A literature review shows that especially the use of bicycle is sensitive to weather conditions. Our own analyses are conducted with two different empirical data sets: First Data from the German Mobility Panel from 1995 to 2018 show a clear correlation between temperature and bicycle use as well as distinct person groupspecific reactions to different weather (age, mobility type, spatial context of residence). Second, the values from different bicycle counting stations distributed in Germany are analyzed. Here, a particularly clear correlation between season or temperature and precipitation with the traffic volumes of bicycle traffic is revealed: up to 80 % less bicycle traffic volume in winter compared to summer as well as a decrease of bicycle traffic volumes on days with precipitation by up to 35 %. With increasing bicycle traffic, the influence of weather on traffic volumes will become even more relevant in the future.

1 Einleitung

Analysen des Verkehrsverhaltens und des Verkehrsaufkommens bilden die Grundlage jeder verkehrlichen Planung. Bei den meisten Untersuchungen, beispielsweise zur Dimensionierung von Infrastrukturen, werden Kenngrößen wie der Mittelwert der Verkehrsmenge über alle Tage oder alle Werkstage eines Jahres (DTV, DTVW) verwendet („mittlerer Tag“). Jedoch ist offensichtlich, dass bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen und im Jahresverlauf unterschiedliche Verkehrsmittel bevorzugt genutzt werden. Bei Sonnenschein und warmen Temperaturen erscheint eine Fortbewegung an der frischen Luft zu Fuß oder mit dem Fahrrad attraktiver als bei Regenwetter. In der Konsequenz stellen sich Fragen zur Dimensionierung und dem Einfluss dieser Effekte auch auf die notwendige Infrastruktur. Doch wie groß sind die Unterschiede zwischen Jahreszeiten und Wetterbedingungen auf das Verkehrsgeschehen und damit auch die Infrastrukturauslastung? Gibt es Unterschiede bei der Wetteranfälligkeit zwischen unterschiedlichen Personengruppen und Regionen?

Im Folgenden werden aktuelle Erkenntnisse hierzu dargestellt. Als Datenbasis werden Verkehrsverhaltensdaten aus dem Längsschnitt des Deutschen Mobilitätspanels (MOP) von 1995 bis 2018 sowie öffentlich zugängliche Daten von Fahrradzählstellen verwendet. Das Ziel ist es, Wetter als Einflussfaktor in makroskopische und agentenbasierte Verkehrsnachfragemodelle zu integrieren und damit Entscheidungsunterstützung beispielsweise zur Dimensionierung von Infrastruktur zu leisten.

2 Literatur

Zu Wettereinflüssen im Mobilitätsverhalten existieren bereits einzelne Forschungsarbeiten. Räumliche Schwerpunkte der Untersuchungen bilden auf europäischer Ebene vor allem die Niederlande und Schweden (Sabir 2011; Liu et al. 2015), Forschungsarbeiten aus Deutschland behandeln bislang vor allem die Auswertung von Radzählstellen (Goldmann, Wessel 2021) bzw. den Modal Split in Abhängigkeit von einem Wetterindex (Gerike, Hubrich et al. 2020). Um die Einflüsse von Wetterparametern auf die Mobilität zu quantifizieren, werden Wegetagebücher aus

Panelbefragungen, Zählstellendaten oder auch Fahrgastzahlen genutzt. Diese berichteten Wege bzw. Zählraten werden mit Wette-

Verfasser

M. Sc. Gabriel Wilkes
gabriel.wilkes@kit.edu

M. Sc. Pia Tulodetzki
pia.tulodetzki@student.kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Verkehrswesen
Kaiserstraße 12
D-76131 Karlsruhe

Dr.-Ing. Tim Hilgert
tim.hilgert@inovaplan.de

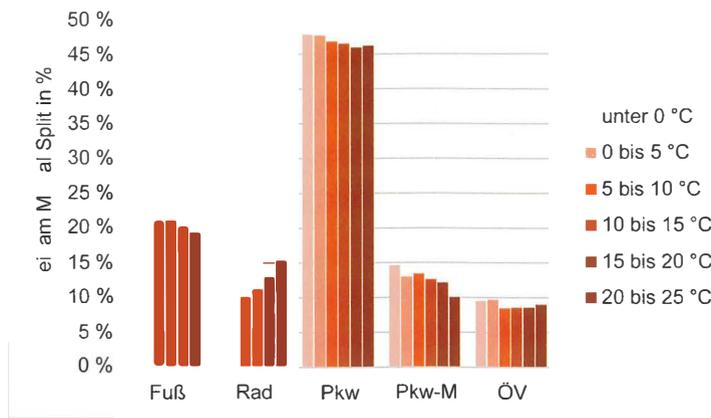
B. Sc. Till Günther
till.guenther@inovaplan.de

INOAPLAN GmbH
Degenfeldstraße 3
D-76131 Karlsruhe

PD Dr.-Ing. Martin Kagerbauer
martin.kagerbauer@kit.edu

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Institut für Verkehrswesen
Kaiserstraße 12
D-76131 Karlsruhe

Bild 1: Modal Split nach Tagesdurchschnittstemperatur (Quelle: Institut für Verkehrswesen, KIT)



Informationen, in der Regel von der nächsten Wetterstation, ergänzt (Saneinejad, Rooda et al. 2012). Untersucht werden dabei vor allem die Parameter Temperatur, Niederschlag, Wind und vereinzelt auch die Sonnenscheindauer und der Grad der Bewölkung. Grundsätzlich werden dabei häufig tägliche Durchschnittswerte (Temperatur) bzw. Summen (Niederschlag) verwendet (Liu et al. 2015). Im Folgenden werden die zentralen Erkenntnisse dieser Untersuchungen kurz zusammengefasst.

2.1 Temperatur

Die Temperatur ist, über die meisten Untersuchungen hinweg, der relevanteste Wetterparameter in Bezug auf das Verkehrsmittelwahlverhalten. Aktive Verkehrsmittel wie das Zufußgehen und das Fahrradfahren verzeichnen tendenziell einen wachsenden Anteil am Modal Split bei steigenden Temperaturen. Der Anteil des Zufußgehens nimmt jedoch auch bei Temperaturen unter 0 zu und ist bei höheren Temperaturen gleichbleibend. Der Einfluss auf die Fahrradnutzung scheint linear zum Temperaturverlauf und weist die stärksten Veränderungen auf. Deshalb ist das Fahrradfahren nach aktuellem Forschungsstand das sensitivste Verkehrsmittel (Sabir 2011). Gleichzeitig beschreiben weitere Studien, wie z. B. Ahmed et al. (2010), dass ein Kipppunkt zwischen 25 und 28 °C existiert, ab dem die Fahrradnutzung wieder abnimmt. Komplementär zum Fahrrad nimmt die Pkw-Nutzung mit steigender Temperatur ab. Faber (2019) und Faber, Jonkeren et al. (2022) zeigen, dass Fahrrad und Pkw in Abhängigkeit vom Wetter häufig im Wechsel genutzt werden, bei dem das Fahrrad von gutem und der Pkw von schlechtem Wetter profitiert. Hinsichtlich der Nutzung des öffentlichen Verkehrs (ÖV) gibt es keine eindeutigen Erkenntnisse – so steigt die Fahrgastzahl in manchen Studien bei hö-

heren Temperaturen (Wie, Liu 2022), verringert sich aber in anderen (Böcker et al. 2016). Dies lässt darauf schließen, dass lokale Unterschiede hinsichtlich der ÖV-Nutzung existieren, die verschiedene Verhaltensweisen bei unterschiedlichen Temperaturen hervorrufen. Ergebnisse aus der Studie „SrV – Mobilität in Städten“ weisen in Bezug auf deutsche Städte darauf hin, dass aktive Verkehrsmittel grundsätzlich von gutem Wetter und der öffentliche Verkehr sowie der Pkw von schlechtem Wetter profitieren und verstärkt genutzt werden (Gerike, Hubrich et al. 2020).

2.2 Niederschlag

Bei zunehmendem Niederschlag zeigt sich eine Verschiebung von aktiven Verkehrsmitteln hin zum Pkw (Liu et al. 2017). Auch hier ist eine Substitution des Fahrrads durch den Pkw erkennbar, insbesondere bei zusätzlichem Wind (Faber 2019). Dabei spielt sowohl die Regenmenge als auch die Regendauer eine Rolle. Allerdings ist die Relevanz der Temperatur insgesamt höher – bei wärmeren Temperaturen sind die negativen Effekte auf die aktiven Verkehrsmittel abgeschwächt. Dies betrifft insbesondere das Zufußgehen (Nordbakke et al. 2019). Während sich die Nutzung des Pkw bei Regen erhöht, können bei Niederschlag in Form von Schnee gegensätzliche Trends erkannt werden und der Pkw wird weniger genutzt (Cools, Moons et al. 2010). Dies könnte auf Sicherheitsaspekte beim Autofahren zurückgeführt werden, die durch Glätte beeinträchtigt sind. Bezüglich des ÖV zeigen sich erneut widersprüchliche Erkenntnisse. Sowohl eine erhöhte als auch eine verringerte Nutzung sind in verschiedenen Studien zu beobachten (Gerike, Hubrich et al. 2020; Wei, Liu 2022). Dabei ist festzustellen, dass Fahrten an Wochenenden stärker von Niederschlag beeinflusst werden, möglicherweise durch flexiblere Abfahrtszei-

ten oder Verschiebungen auf niederschlagsfreie Zeiten. Ein deutlicheres Bild zeigt sich bei multimodalen Personen: Durch ihre flexiblere Nutzung von Verkehrsmitteln wechseln sie deutlich häufiger zum ÖV, wenn es regnet, als beispielsweise Personen, die ausschließlich Pkw und Rad nutzen (Faber, Jonkeren et al. 2022).

2.3 Sensitivität

Eine der wenigen deutschen Studien in dem Themenbereich (Goldmann, Wessel 2021) beschäftigt sich mit dem Thema der Mobilitätskultur. Nach Auswertung von 122 Radzählstellen in 30 deutschen Städten kommen sie zu dem Ergebnis, dass Städte mit einer „Fahrradkultur“ weniger sensitiv auf Wetterveränderungen reagieren als solche, bei denen das Fahrradfahren weniger selbstverständlich ist. Des Weiteren stellen sie fest, dass die Qualität der Radinfrastruktur sowie die Altersverteilung der Stadt einen starken Einfluss auf die Sensitivität gegenüber Wetterbedingungen haben. So wird in weiteren Arbeiten wie Cools, Moons et al. (2010) oder Helbich et al. (2014) nicht nur klar, dass Pendelnde aufgrund der Routine des Weges weniger auf Wetterveränderungen reagieren, sondern auch, dass Menschen in Städten mit ähnlichem Klima mitunter sehr unterschiedlich auf Wettereinflüsse reagieren (Liu et al. 2015). Dies lässt den Schluss zu, dass Gewohnheiten, sowohl hinsichtlich der eigenen Verkehrsmittelwahl auf bestimmten Wegen als auch der gewohnten Wettereinflüsse am eigenen Wohnort, eine hohe Relevanz besitzen. Diese Erkenntnis unterstreicht die Komplexität des Themengebiets „Wetter und Mobilität“ und zeigt auch, dass sich Ergebnisse aus einzelnen Untersuchungen nur schwer auf andere Länder und Städte übertragen lassen. Zusammenfassend kann auf Basis der Literatur festgestellt werden, dass Korrelationen zwischen Wetter und Verkehrsmittelwahl bestehen, welche insgesamt jedoch komplex sind. Das Fahrrad stellt insgesamt das sensitivste Verkehrsmittel dar, der Pkw profitiert tendenziell von schlechten Wetterbedingungen. Des Weiteren stellen sich Aspekte wie Routinen, Zwecke und die vorhandene Infrastruktur als mögliche Einflussfaktoren heraus.

3 Analysen mit Daten aus Mobilitätsbefragungen

Das Deutsche Mobilitätspanel (MOP) ist eine jährlich durchgeführte Längsschnitterhebung,

bei der die Befragten ein einwöchiges Wege-tagebuch ausfüllen. Ergänzend geben diese Angaben zum Haushalt sowie zu ihrer Soziodemografie an. Die Erhebung wird seit 1994 jährlich durchgeführt und umfasst aktuell ca. 3.000 Personen pro Jahr. Jede Person bleibt für maximal drei Jahre in Folge in der Erhebung, ein Teil der Stichprobe wird jährlich erneuert (Panellerhebung). Die Erhebungen finden normalerweise in den Monaten September bis November statt und bilden damit den meteorologischen Herbst ab. In Ausnahmefällen wurde im Dezember erhoben (weniger als 1 % der Wege) (Ecke, Chlond et al. 2020).

3.1 Methodik

In den folgenden Analysen werden die Daten aus den Jahren 1995 bis 2018 verwendet, die etwa 12.000 Haushalte, 22.000 Personen und insgesamt ca. 1,1 Mio. Wege mit den Verkehrsmitteln Fuß, Rad, Pkw als Fahrende, Pkw als Mitfahrende und dem öffentlichen Verkehr umfassen. Wege mit über 100 km Länge oder mit anderen Verkehrsmitteln wurden für die Analyse ausgeschlos-

sen. Aus Datenschutzgründen liegen für die Lokalisierung der Personen nur eine gekürzte Information der Postleitzahl sowie die Kreiskennziffer des Wohnorts vor. Zur Zuordnung der Wetterinformationen werden die Daten daher selbst erstellten Raumeinheiten zugeordnet, die die jeweilige Kombination aus Kreiskennziffer und gekürzter Postleitzahl darstellen. Zur Abfrage der Wetterparameter wurde das Reanalyse-Wettermodell COSMO-REA6 des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung genutzt (Bollmeyer et al. 2015), dessen historische Daten für den Zeitraum 1995 bis 2019 frei zugänglich sind. Diese Daten liegen in stündlicher Auflösung für verschiedene Wetterparameter vor, es wird sich in dieser Arbeit allerdings auf Analysen zu Temperatur und Niederschlag beschränkt.

3.2 Einfluss der Wetterlage auf das Mobilitätsverhalten

Zunächst soll der Einfluss der Parameter Temperatur und Niederschlag auf das Mobilitätsverhalten auf Tagesebene analysiert werden.

3.2.1 Temperatur

Bild 1 zeigt die Modal-Split-Anteile nach Durchschnittstemperatur des Tages, an dem der Weg zurückgelegt wurde.

Es zeigt sich, dass sich die Fahrradnutzung mit höheren Temperaturen am stärksten verändert und sich der Anteil am Modal Split von unter 5 % (unter 0 °C) auf mehr als 15 % (ab 20 °C) mehr als verdreifacht. Der erhöhte Anteil des Fahrrads lässt sich dabei für alle Wegezwecke feststellen (nicht im Bild darge-

stellt), so reduziert sich der Fahrradanteil bei Arbeitswegen um 6 Prozentpunkte und steigt bei Freizeitwegen um 8 Prozentpunkte. Dies zeigt, dass nicht nur zusätzliche Freizeitwege mit dem Rad getätigt werden, sondern ein Wechsel des Verkehrsmittels stattfindet. Das Zufußgehen verringert sich nur noch geringfügig, sobald die Temperaturen über 0 °C steigen. Insgesamt sinkt der Anteil mit steigender Temperatur von 21,4 % auf 19,4 %. Es zeigt sich, dass der Anteil des Zufußgehens allgemein stabil bleibt, allerdings lässt sich ein Rückgang der zu Fuß getätigten Freizeitwege innerhalb der Daten feststellen (- 6 Prozentpunkte). Ähnlich homogen stellt sich der

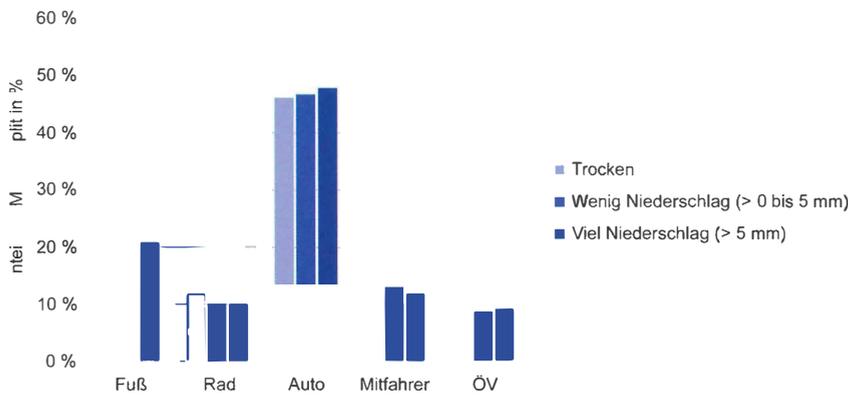


Bild 2: Modal Split nach Tagessumme des Niederschlags (Quelle: Institut für Verkehrswesen, KIT)

Anteil der ÖV-Nutzung dar. Der Pkw, sowohl als Fahrende als auch als Mitfahrende, verzeichnet eine leichte Abnahme bei steigenden Temperaturen.

3.2.2 Niederschlag

Neben der Temperatur wurde auch der Einfluss des Niederschlags untersucht. Bild 2 zeigt den Modal Split in Abhängigkeit von der täglichen Niederschlagsmenge am Tag des berichteten Weges. Auch hier erweist sich das Fahrrad als das sensitivste Verkehrsmittel. Es gibt eine Abnahme von 11,9 %

zu 10,3 % am Modal Split bei Tagen mit Niederschlag im Vergleich zu trockenen Tagen, d. h. eine relative Reduktion von etwa 14 %. Bemerkenswert ist dabei, dass gesteigerte Niederschlagsmengen praktisch keine weitere Reduktion bewirken. Weitere Untersuchungen ergeben, dass auch die Anzahl der Stunden mit Niederschlag keine weitere Relevanz besitzt. Der Pkw und der ÖV werden mit steigender Regenmenge mehr genutzt, wohingegen die Anteile des Fußverkehrs und der Mitfahrenden keine klare Tendenz zeigen.

Wird zusätzlich die Verbindung von Niederschlag und Temperatur analysiert (nicht im Bild dargestellt), so wird deutlich, dass der Anteil des Fahrrads mit steigender Temperatur wenig vom Niederschlag beeinflusst wird und lediglich bei Temperaturen von unter 0 °C starke Abnahmen bei gesteigerten Niederschlagsmengen zu verzeichnen sind. Der Anteil des Zufußgehens hingegen bleibt über alle Temperaturen und Niederschlagssummen ähnlich, beim ÖV ist kein Muster hinsichtlich der Kombination dieser beiden Parameter zu erkennen.

Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass Niederschlag zwar relevant ist, die Temperatur aber die maßgebendere Größe ist, wenn Menschen ihre Verkehrsmittel anpassen.

3.3 Einfluss soziodemografischer Eigenschaften

Soziodemografische Eigenschaften lassen sich durch die Datengrundlage des MOP ebenfalls auswerten. Beispielhaft werden im Folgenden Zusammenhänge von Wetterparametern und den Aspekten Alter, Größe des Wohnorts sowie Pkw-Verfügbarkeit dargestellt.

Bild 3: Modal Split nach Altersklasse und Tages-durchschnittstemperatur (Quelle: Institut für Verkehrswesen, KIT)

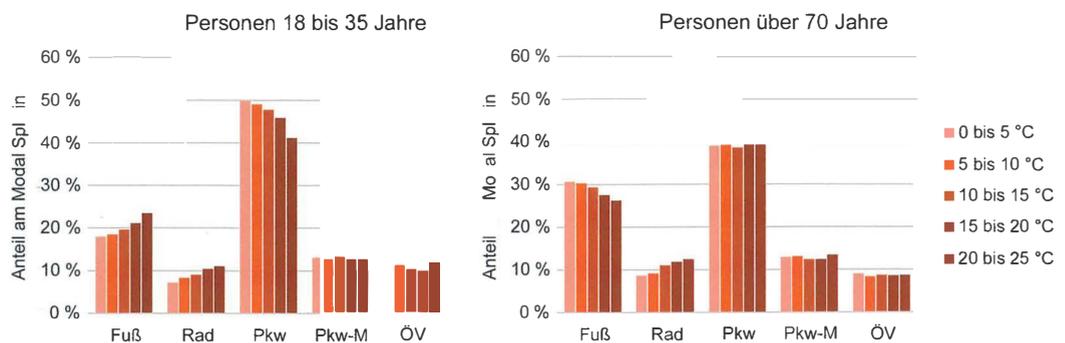


Bild 4: Modal Split nach Pkw-Verfügbarkeit in Abhängigkeit von der Tages-durchschnittstemperatur (Quelle: Institut für Verkehrswesen, KIT)

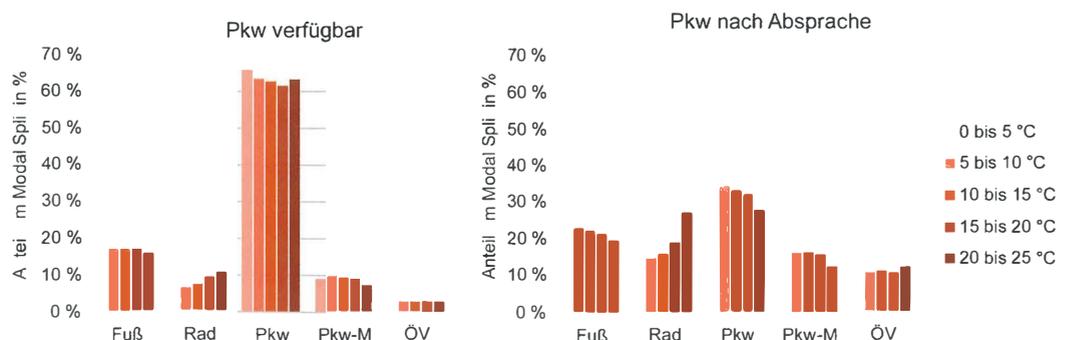


Bild 5: Modal Split nach Wohnortgröße in Abhängigkeit von der Tagesdurchschnittstemperatur (Quelle: Institut für Verkehrswesen, KIT)

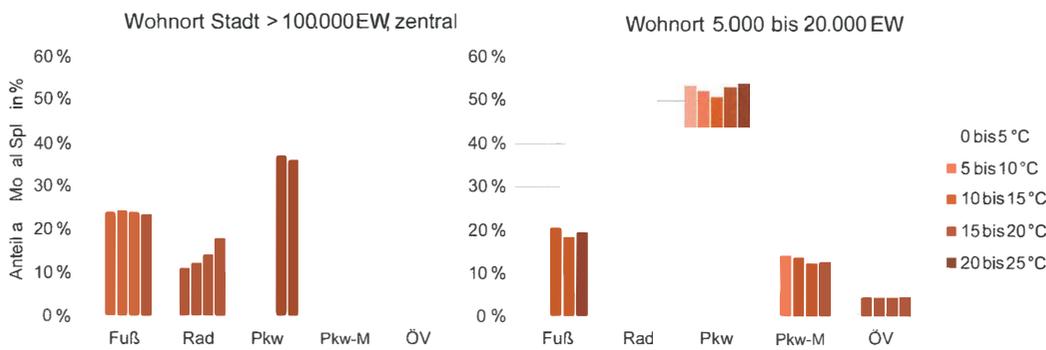


Tabelle 1: Datenübersicht zu Fahrradzählstellen (Quelle: INOVAPLAN GmbH)

Stadt	# Zählstellen	Zeitraum	Wetterdaten ¹	Quelle
Freiburg	3 Stellen	01.2021–08.2022	ergänzt	https://www.mobidata-bw.de/dataset/eco-counter-fahrradzahler
Hamburg	1 Stelle	01.2015–10.2022	ergänzt	https://geoportal-hamburg.de/verkehrsportal/
Heidelberg	7 Stellen	01.2021–08.2022	ergänzt	https://www.mobidata-bw.de/dataset/eco-counter-fahrradzahler
Ludwigsburg	10 Stellen	01.2021–08.2022	ergänzt	https://www.mobidata-bw.de/dataset/eco-counter-fahrradzahler
München	6 Stellen	01.2017–12.2021	vorhanden	https://opendata.muenchen.de/dataset?tags=Fahrrad

3.3.1 Alter

Wird die Verkehrsmittelnutzung bei Personen verschiedener Altersklassen im Verhältnis zur Tagesdurchschnittstemperatur betrachtet, sind gegenläufige Trends zu erkennen. Bild 3 zeigt, dass die Altersklasse der 18- bis 35-jährigen Personen ihr Wahlverhalten mit steigenden Temperaturen stark verändert. Das Zufußgehen nimmt zwischen 0 bis 5 °C und 20 bis 25 °C relativ betrachtet etwa um 30 % und das Fahrrad um ca. 50 % zu, während die Pkw-Nutzung anteilig um fast 18 % sinkt. Anders sieht es bei Personen über 70 Jahren aus. In dieser Gruppe verringert sich der Anteil des Zufußgehens relativ gesehen um ca. 14 %. Auch in dieser Altersklasse nimmt der Anteil des Fahrrads zu; linear mit steigender Temperatur um insgesamt ca. 44 %. Die Nutzung des Pkw sowohl als Fahrende als auch als Mitfahrende sowie die ÖV-Nutzung bleiben nahezu konstant.

Diese Ergebnisse lassen auf eine insgesamt routiniertere Verkehrsmittelwahl älterer Menschen schließen, die bei wärmeren Temperaturen vor allem zwischen dem Fahrrad und dem Zufußgehen wechseln. Im Gegensatz dazu reduzieren junge Menschen mit steigenden Tagestemperaturen vor allem ihre Pkw-Nutzung und erhöhen das Zufußgehen und

Radfahren. Dies zeigt, wie unterschiedlich sich die verkehrlichen Reaktionen auf Wetter zwischen verschiedenen Personengruppen darstellen.

3.3.2 Pkw-Verfügbarkeit

Auch die Verfügbarkeit der Verkehrsmittel kann das Verkehrsmittelwahlverhalten bei unterschiedlichen Wetterzuständen bestimmen. Beispielhaft wird der Einfluss der Pkw-Verfügbarkeit dargestellt. Deutliche Unterschiede lassen sich hinsichtlich der Veränderung der Pkw-Nutzung erkennen (Bild 4): Während Menschen mit einem immer verfügbaren Pkw ihre Pkw-Nutzung mit der Temperatur nur wenig verändern, nimmt die Pkw-Nutzung der Gruppe mit eingeschränkter Pkw-Verfügbarkeit (verfügbar nach Absprache) von 35 % auf 28% ab. Der Anteil des Fahrrads nimmt bei Personen mit ständig verfügbarem Pkw um 8 Prozentpunkte zu, während in der anderen Gruppe dieser um 14 Prozentpunkte zunimmt. Auch beim Zufußgehen sind Personen, die einen Pkw nur nach Absprache nutzen können, wettersensitiver. Dies lässt darauf schließen, dass Menschen, die nur nach Absprache einen Pkw nutzen können, ihr Verkehrsmittelwahlverhalten flexibler an das Wetter anpassen.

3.3.3 Größe des Wohnorts

Als letzter Aspekt wird die Größe des Wohnorts betrachtet. Bild 5 zeigt den Modal Split von allen Befragten, deren Wohnort in einer Stadt mit über 100.000 Einwohnenden liegt, sowie von allen Befragten, die in Orten mit 5.000 bis 20.000 Einwohnenden leben, jeweils in Abhängigkeit von der Temperatur. Abgesehen von den grundsätzlichen Unterschieden zwischen der Verkehrsmittelverteilung fallen vor allem sich in Abhängigkeit von der Temperatur verändernde Pkw- und Radanteile auf. Während die Radnutzung in Städten mit steigender Temperatur stark zunimmt und sich insgesamt nahezu verdoppelt, steigt sie in ländlichen Gebieten weniger stark, insgesamt von 7,7% auf 11,7%, an. Gleichzeitig sinkt der Anteil des Pkw in Städten mit steigender Temperatur (hier insgesamt von 39,8 % auf 36,1 %), während er in ländlichen Gebieten zunächst etwas ab- und dann wieder zunimmt. Dies kann auch durch weiter entfernte Wege zu Freizeitaktivitäten an wärmeren Tagen in ländlichen Gebieten erklärbar sein, da sich der Anteil der Wege mit dem Pkw mit einer Länge über 20 km bei steigenden Temperaturen deutlich erhöht.

¹ Falls notwendig, wurden die Wetterdaten über historische Daten des Deutschen Wetterdienstes der nächstgelegenen Station zugespielt.

Bild 6: Radverkehrsstärke (Anzahl gezählter Fahrräder) nach Stadt im Jahresverlauf (Quelle: INOVAPLAN GmbH)

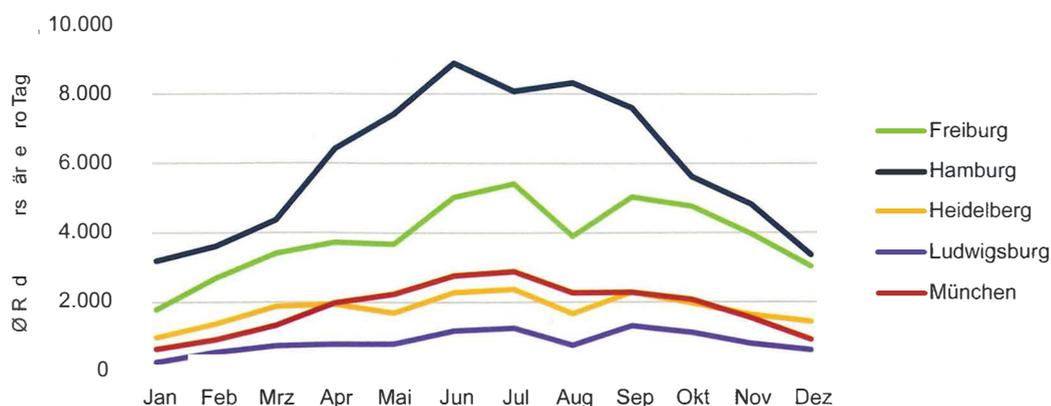
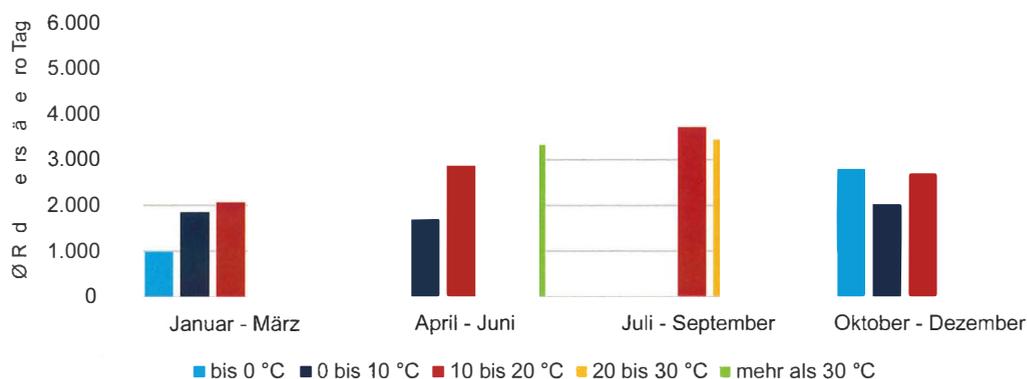


Tabelle 2: Betrachtung Abweichung Radverkehrs-stärken (Quelle: INOVAPLAN GmbH)

	Freiburg	Hamburg	Heidelberg	Ludwigsburg	München
Maximum [Rad/Tag]	5.400 Juli	8.900 Juni	2.400 Juli	1.300 September	2.900 Juli
Minimum [Rad/Tag]	1.800 Januar	3.200 Januar	1.000 Januar	300 Januar	700 Januar
Relative Abweichung	-67 %	-64 %	-59 %	-80 %	-77 %

Bild 7: Einfluss von Temperatur auf Radverkehrsstärke (Quelle: INOVAPLAN GmbH)



4 Analysen mit Daten aus Radverkehrszählstellen

Ergänzend zu Daten aus Mobilitätsbefragungen können Daten aus Verkehrszählstellen, beispielsweise für den Radverkehr, analysiert werden. Hieraus können neue Erkenntnisse gewonnen werden, da Daten an lokal begrenzten Stellen (jeweils einer Zählstelle) über einen sehr langen Zeitraum erhoben werden können. Bei der Analyse von Zählstellen wird der tatsächlich realisierte Verkehr an lokal begrenzten Stellen betrachtet, d. h., Informationen zu Quelle und Ziel oder Wegezweck der erfassten Personen sind nicht vorhanden. Nichtsdestotrotz können aus der Literatur oder den Daten der Mobilitätsbefragungen beobachtete Effekte mithilfe der Zählstellendaten geprüft sowie ggf. neue Effekte im Jahreszeitenverlauf beobachtet werden.

4.1 Methodik/Datenumfang

Für die durchgeführten Analysen wurden Daten von verschiedenen Radverkehrszählstellen verwendet, die alle über Open-Data-Portale zugänglich sind. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Teilweise sind Daten in sehr feiner zeitlicher Auflösung (z. B. 15-Minuten-Intervalle) vorhanden. Die folgenden Analysen beschränken sich auf Tagessummen. Jeder Tag jeder Zählstelle geht damit mit einem Wert in die Auswertung ein. Aufgrund von Unplausibilitäten in den Daten, wie beispielsweise durch Baustellen an der Zählstelle oder defekte Sensoren, werden stellenweise Tage aus der Betrachtung herausgenommen, sodass in Einzelfällen keine vollständigen Tagesreihen vorliegen. Die Verkehrsmengen (Anzahl Radfahrende) der entsprechenden Tage werden

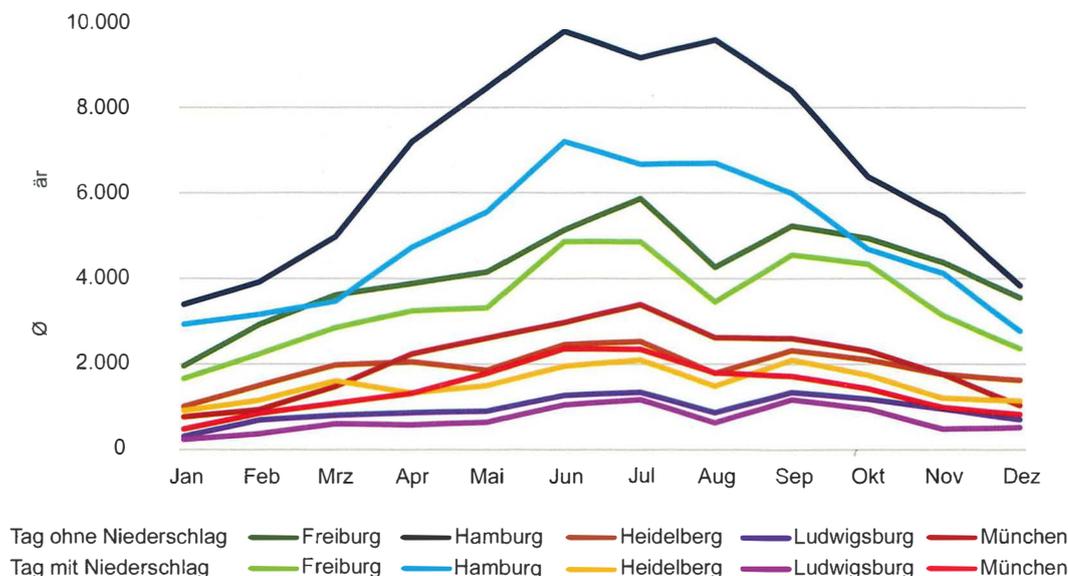
für die Auswertung mit tagesspezifischen Informationen (Feier- und Ferientage in den jeweiligen Bundesländern) sowie insbesondere mit Wetterdaten verknüpft. Diese waren zum Teil direkt in den zum Download verfügbaren Daten enthalten, andernfalls wurden sie über historische Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes der nächstgelegenen Wetterstation zugespielt. Für die Auswertungen werden die folgenden Wetterinformationen je Tag in die Betrachtung einbezogen:

- Mittlere Temperatur [Grad Celsius]
- Niederschlagsmenge des Tages [mm]
- Niederschlag am Tag [ja/nein].

4.2 Auswertungen

Bild 6 stellt Daten von Radverkehrszählstellen für verschiedene Städte im Jahresverlauf dar. Je Monat und Stadt (teilweise enthalten

Bild 8: Einfluss von Niederschlag auf Radverkehrsstärke
(Quelle: INOVAPLAN GmbH)



Durchschnittliche Abweichung der Radverkehrsmenge an Tagen ohne und mit Niederschlag
(Mittelwert über alle Monate, Angabe in Prozent Tage mit Niederschlag ggü. ohne Niederschlag)

	Freiburg	Hamburg	Heidelberg	Ludwigsburg	München
Abweichung an Tagen mit Niederschlag [%]	-19 %	-27 %	-21 %	-26 %	-30 %

Tabelle 3: Abweichungen Tage mit/ohne Niederschlag nach Städten (Quelle: INOVAPLAN GmbH)

Durchschnittliche Abweichung der Radverkehrsmenge an Tagen ohne und mit Niederschlag
(Mittelwert über alle Städte, Angabe in Prozent Tage mit Niederschlag ggü. ohne Niederschlag)

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
Abweichung an Tagen mit Niederschlag [%]	-20 %	-24 %	-24 %	-32 %	-27 %	-18 %
	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Abweichung an Tagen mit Niederschlag [%]	-21 %	-25 %	-19 %	-23 %	-35 %	-27 %

Tabelle 4: Abweichungen Tage mit/ohne Niederschlag nach Monaten (Quelle: INOVAPLAN GmbH)

die Daten einer Stadt mehrere Zählstellen, siehe Tabelle 1) wird dabei die mittlere Radverkehrsstärke pro Tag (Anzahl gezählter Fahrräder) ausgewiesen. Unterschiede im Jahresverlauf, insbesondere zwischen Winter und Sommer, sind deutlich zu erkennen. Die Radverkehrsstärken sind bis zur Jahresmitte ansteigend, erreichen ihre Spitze in den Sommermonaten und sinken bis zum Jahresende wieder ab. Je nach betrachteter Stadt unterscheiden sich die beobachtbaren Radverkehrsstärken stark, hierbei könnten zum einen die konkreten Positionierungen der Zählstellen, zum anderen auch die allgemeine Fahrradnutzung in den Städten eine Rolle spielen.

Die Unterschiede zwischen dem Monat mit geringstem und dem mit höchstem durchschnittlichen Tagesaufkommen sind in allen Städten ähnlich: Der minimale Wert beträgt zwischen 20 und 41 % des maximalen Ta-

geswerts (siehe Tabelle 2). Während sich die absoluten Radverkehrsstärken demnach stark nach betrachteter Stadt unterscheiden, sind die Amplituden innerhalb der betrachteten Städte im Jahresverlauf vergleichbar. Zudem sind Ferienzeiten (besonders Sommerferien) durch temporäre Abnahme der Radverkehrsstärke in allen betrachteten Städten erkennbar. Auf die absolute Höhe des Radverkehrsaufkommens wird daher im Folgenden nicht weiter eingegangen.

4.2.1 Einfluss von Temperaturen auf Radverkehrsstärken

Bild 7 zeigt die durchschnittliche tägliche Radverkehrsstärke aller untersuchten Radzählstellen, differenziert nach Quartalen und Tageshöchsttemperaturen. Es ist zu erkennen, dass sich die Radverkehrsstärke, in Übereinstimmung mit Erkenntnissen aus der Literatur sowie den Analysen des MOP, mit stei-

gender Temperatur erhöht. Der Anstieg der Radverkehrsstärke fällt dabei in den Quartalen allerdings unterschiedlich aus. Während in der zweiten Jahreshälfte weniger Veränderungen mit steigender Temperatur erkennbar sind, verhalten sich die Radfahrenden in den Monaten Januar bis Juni deutlich sensibler. Insgesamt erkennt man in den Sommermonaten erneut die höchsten Radverkehrsmengen.

4.2.2 Einfluss von Niederschlag auf Radverkehrsstärken

In Bild 8 sind die Radverkehrsmengen verschiedener Städte im Jahresverlauf dargestellt. Hierbei wird differenziert zwischen Tagen ohne und mit Niederschlag. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Vorliegen von Niederschlag an einem Tag und der Radverkehrsmenge an den Zählstellen ist klar zu erkennen. Während sich absolute Radver-

kehrsmengen je nach untersuchtem Raum stark unterscheiden, ist die Abnahme der Radverkehrsstärke an Tagen mit Niederschlag regionsunabhängig erkennbar.

Zur weiteren Untersuchung dieses Aspekts stellt Tabelle 3 die jeweiligen Abweichungen zwischen Tagen mit und ohne Niederschlag je Stadt und Monat dar. Dazu werden jeweils die in Bild 8 dargestellten Werte je Monat miteinander in Beziehung gesetzt und je Stadt gemittelt. Im Mittel werden damit an einem Tag mit Niederschlag in Freiburg durchschnittlich 19% weniger Radfahrende an den Zählstellen erfasst als an einem Tag ohne Niederschlag, in München sind es 30% weniger. Dies deutet beispielsweise auf eine höhere Wetterresistenz der Radfahrenden hin, kann aber auch mit entsprechenden Alternativen zum Rad oder unterschiedlichen Nutzengruppen in den Städten erklärt werden. Insgesamt zeigen sich in der relativen Betrachtung der Abweichungen in Tabelle 3 jedoch über alle Städte hinweg ähnliche Ergebnisse. An Tagen mit Niederschlag ist mit ca. einem Viertel weniger Radverkehr zu rechnen gegenüber Tagen ohne Niederschlag.

Tabelle 4 zeigt die Auswertung der Abweichungen zwischen Tagen mit und ohne Niederschlag nach Monaten gemittelt über alle Städte an. In den eher wärmeren Monaten Juni, Juli und September ist die Abweichung am geringsten, die Radverkehrsmengen fallen demnach auch an Regentagen weniger ab. Auch im Januar zeigt Niederschlag jedoch eine besonders geringe Auswirkung auf die Radverkehrsmengen. Die stärksten Abweichungen sind in den Monaten April, Mai, November und Dezember erkennbar. Die Sensitivität gegenüber Niederschlag scheint demnach in den Monaten mit wechselhafter Witterung besonders groß zu sein.

5 Diskussion & Fazit

Die durchgeführten Analysen haben auf verschiedenen Ebenen deutliche Zusammenhänge zwischen Wetterparametern und dem Verkehrsverhalten gezeigt. Die aus der Literatur gewonnenen Erkenntnisse eines hohen Einflusses der Temperatur auf durchgeführte Wege mit dem Fahrrad können sowohl auf Basis der Analysen mit den Daten des MOP als auch mit Analysen von Fahrradzählstellendaten bestätigt werden. Der Einfluss von Niederschlag auf die Fahrradnutzung zeigt sich stärker in den Daten der Zählstellen als in der Haushaltserhebung. Aus den Analysen

des MOP kann zudem ein hoher Einfluss von personenbezogenen Eigenschaften wie beispielsweise Alter auf Verkehrsmittelwahlentscheidungen in Abhängigkeit vom Wetter konstatiert werden. Insgesamt bieten die betrachteten Datenquellen des MOP und der Fahrradzählstellen gute Möglichkeiten, Zusammenhänge zu analysieren. Da der Einfluss des Wetters besonders auf den Fuß- und Radverkehr wirkt, ist bei einer steigenden Bedeutung aktiver Mobilitätsformen mit einer steigenden Relevanz des Themas zu rechnen.

Die dargestellten Auswertungen sind eine wichtige Grundlage im Rahmen des Projekts DAKIMO (Daten und KI als Befähiger für nachhaltige, intermodale Mobilität). Das von 2021 bis 2024 durch das BMBF geförderte Forschungsprojekt zielt darauf ab, datengetriebene Aspekte zur Verbesserung der Verkehrsplanung einzusetzen. Diese Verbesserungen betreffen sowohl nutzerseitige Aspekte wie die Verbesserung von Verbindungsvorschlägen in Auskunftsans als auch betreiber-/planungsseitige Aspekte wie die Verbesserung von Verkehrsmodellen im Allgemeinen. Dabei wird durch die Autoren unter anderem der Einfluss von Wetter und Informiertheit in sowohl makroskopische als auch agentenbasierte Verkehrsnachfragemodelle integriert. Neben den in diesem Fachbeitrag dargestellten Daten werden verschiedene weitere Datenquellen verwendet – sowohl jene der Verkehrsnachfrage als auch solche, die weitere Umgebungseinflüsse beschreiben. Das bisher häufig verwendete Konzept des „mittleren Tags“ der Verkehrsplanung, um verschiedene Wetterzustände zu ergänzen und damit planungsrelevante Aussagen zu erwartbaren Infrastrukturauslastungen o. Ä. treffen zu können, kann perspektivisch eine Verbesserung der Planungsinformationen bei Kommunen oder Betreibern von Mobilitätslösungen bewirken.

Danksagung

Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt DAKIMO (dakimo.server.de) wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literaturverzeichnis

Ahmed, F.; Rose, G.; Jacob, C. (2010): Impact of weather on commuter cyclist behaviour and im-

plications for climate change adaptation. In: 33rd Australasian Transport Research Forum (ATRF), Canberra, Australien

Böcker, L.; Dijst, M.; Faber, J. (2016): Weather, transport mode choices and emotional travel experiences. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 94, S. 360–373

Bollmeyer, C.; Keller, J. D.; Ohlwein, C.; Wahl, S.; Crewell, S.; Friedrichs, P. et al. (2015): Towards a high-resolution regional reanalysis for the European CORDEX domain. In: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 141 (686), S. 1–15

Cools, M.; Moons, E.; Creemers, L.; Wets, G. (2010): Changes in Travel Behaviour in Response to Weather Conditions. In: *Transportation Research Record* 2157 (1), S. 22–28

Ecke, L.; Chlond, B.; Magdolen, M.; Vortisch, P. (2020): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen Bericht 2019/2020. Institut für Verkehrswesen, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Faber, R. (2019): The Influence of weather on travel behaviour – a multi-method analysis (Masterarbeit). Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, TU Delft

Faber, R.; Jonkeren, O.; Haas, M. C. de; Molin, E. J. E.; Kroesen, M. (2022): Inferring modality styles by revealing mode choice heterogeneity in response to weather conditions. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 162, S. 282–295

Gerike, R.; Hubrich, S.; Liebke, F.; Wittig, S.; Wittwer, R. (2020): Mobilität in Städten – SV 2018. Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, Technische Universität Dresden

Goldmann, K.; Wessel, J. (2021): Some people feel the rain, others just get wet: An analysis of regional differences in the effects of weather on cycling. In: *Research in Transportation Business & Management* 40, S. 100541

Helbich, M.; Böcker, L.; Dijst, M. (2014): Geographic heterogeneity in cycling under various weather conditions: evidence from Greater Rotterdam. In: *Journal of Transport Geography* 38, S. 38–47

Liu, C.; Susilo, Y. O.; Karlström, A. (2015): Investigating the impacts of weather variability on individual's daily activity-travel patterns: A comparison between commuters and non-commuters in Sweden. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 82, S. 47–64

Liu, C.; Susilo, Y. O.; Karlström, A. (2017): Weather variability and travel behaviour – what we know and what we do not know. In: *Transport Reviews* 37 (6), S. 715–741

Nordbakke, S.; Dale T.; Olsen, S. (2019): Who are most likely to adapt their travel behaviour to changes in weather conditions? A study of weather tolerance and travel behaviour in Norway. In: *European Journal of Sustainable Development (EJSD)* 8 (1), S. 69–81

Sabir, M. (2011): Weather and travel behaviour (Dissertation). Vrije Universiteit Amsterdam

Saneinejad, S.; Roorda, M. J.; Kennedy, C. (2012): Modelling the impact of weather conditions on active transportation travel behaviour. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 17 (2), S. 129–137

Wei, M.; Liu, X. (2022): How wet is too wet? Modelling the influence of weather condition on urban transit ridership. In: *Travel Behaviour and Society* 27, S. 117–127