

Abschlussbericht

ÖPNV-Wetter

Einfluss des Wetters auf die Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs in Berlin am Beispiel der BVG

Dr. Katrin Nissen, Janice Scheffler, Prof. Uwe Ulbrich, Dr. Nico Becker (Freie Universität Berlin)

Dr. Manfred Rabe, Marcel Solle, Olaf Dähne (Berliner Verkehrsbetriebe)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhalt

Zusammenfassung.....	3
Einleitung.....	3
Untersuchungsgebiet	4
Daten	5
Nachfragedaten.....	5
Verkaufsstückzahlen.....	5
Ein- und Aussteigerzählungen	6
Wetter	7
Radfahrer.....	8
Methoden.....	9
Vergleich von Medianen	9
Generalisierte lineare Modelle.....	9
Wie lässt sich der Einfluss des Wetters in einem offenen ÖPNV-System untersuchen, für das nur eingeschränkt Fahrgastzahlen vorliegen?	10
Wetterunabhängige Variabilität der Verkaufsstückzahlen	10
Wetterunabhängige Variabilität der Einsteiger	11
Welche Wetterparameter sind relevant?	13
Verkäufe	13
Einsteiger	17
Auf welcher zeitlichen und räumlichen Skala lassen sich Einflüsse des Wetters auf die Verkaufsstückzahlen nachweisen?.....	18
Die räumliche Komponente:	18
Verkäufe	19
Einsteiger	19
Die zeitliche Komponente:	19
Verkäufe	19
Einsteiger	20
Unterscheidet sich der Einfluss des Wetters zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln?	21
Lassen sich wetterbedingte Verkaufsschwankungen vorhersagen?.....	22
Das Potential von Wettervorhersagen.....	22
Prognose des Nutzungsverhaltens	24
Welche Wetterabhängigkeit besteht auf ausgewählten touristischen, bzw. für die Freizeit genutzten Linien?	25
Wie kann die Datenerfassung optimiert werden, um wetterbedingte Einflüsse auf den ÖPNV in Berlin besser untersuchen zu können?	29
Wie können Wetterinformationen im ÖPNV genutzt werden?.....	29

Kurz- und mittelfristiger Nutzen der Ergebnisse	29
Nutzbarmachung für langfristige Konzepte	31
Ausblick	32
Veröffentlichung von Ergebnissen und Daten	33
Erfolg des Projektes und Verwendung von Projektmitteln	33
Literaturverzeichnis	33
Abkürzungsverzeichnis	35
Anlage: Erfolgskontrollbericht.....	36
Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen.....	36
Wissenschaft-technisches Ergebnis und gesammelte wissenschaftliche Erfahrungen	36
Fortschreibung des Verwertungsplans.....	36
Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben	36
Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer.....	36
Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung.....	36

Zusammenfassung

Diese Studie untersucht den Einfluss des Wetters auf die Nutzung des ÖPNV in Berlin. Dafür wurden Verkaufsstückzahlen aus dem Verkauf von Fahrausweisen der Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) und Einsteigerzahlen von Verkehrsmitteln der BVG analysiert und Wetterdaten gegenübergestellt. Während die Verkäufe von Fahrscheinen lückenlos, sowie zeitlich und räumlich hoch aufgelöst erfasst werden, existierten für die Ein- und Aussteiger nur stichprobenartige Zählungen. In dieser Studie werden Verkaufsstückzahlen von Einzel- und Tagesfahrausweisen stellvertretend für die Anzahl an Gelegenheitsfahrer ausgewertet, während die Einsteigerzahlen die erhobene Gesamtnachfrage abbilden. Die Wetterdaten stammen von 16 über das Stadtgebiet verteilten Wetterstationen, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) und von der Freien Universität (FU) Berlin betrieben werden. Dazu kommen 44 Niederschlagsstationen der Berliner Wasserbetriebe und Radarbeobachtungen des DWD.

Eine Abhängigkeit zwischen der Anzahl der verkauften Fahrscheine zu Wetterereignissen in den Untersuchungsgebieten konnte statistisch sicher nachgewiesen werden. Dies betrifft zum einen sehr hohe Temperaturen, die sich in zurückgehenden Verkaufsstückzahlen an Werktagen äußern und zum anderen sehr niedrige Temperaturen, die mit steigenden Verkaufsstückzahlen an Werktagen einhergehen. Die Größenordnungen der Auswirkungen liegen an Werktagen im Bereich von bis zu +40% für Temperaturen unterhalb von -5°C und -5% für Temperaturen von mehr als 28°C. Auch Niederschlag hat einen Einfluss auf die Verkaufsstückzahlen. An Werktagen werden bei Regen Berlinweit bis zu 5% mehr Fahrausweise verkauft als bei Trockenheit. Die Sonnenscheindauer beeinflusst die Verkaufsstückzahlen im Ausflugsverkehr.

Ausgehend von den in Omnibussen der BVG stichprobenhaft gezählten Ein- und Aussteigerzahlen konnten Anzeichen auf einen Zusammenhang zwischen ÖPNV-Nachfrage und Wetterereignissen identifiziert, aber aufgrund der noch kurzen Zeitreihe nicht statistisch sicher nachgewiesen werden.

Der Ausflugsverkehr muss gesondert betrachtet werden. Hier ist bereits der qualitative Effekt des Wetters ein anderer als für sonstige ÖPNV Linien. Während „gutes“ Wetter auf den anderen Linien zu einem Rückgang der Nachfrage führt, steigen die Passagierzahlen auf den Ausflugslinien an. Zusätzlich ist auch die Stärke des Wettereinflusses auf den Ausflugslinien höher. Für den Buszubringer zum Strandbad Wannsee, beispielsweise, nehmen die Passagierzahlen in den Sommerferien mit jedem Grad Temperaturanstieg um etwa 30% zu.

Anhand des flächendeckenden lückenlosen Datensatzes der Verkaufsstückzahlen konnte gezeigt werden, dass Vorhersagen von Nachfrageänderungen aufgrund des Wetters mit einem statistischen Modell möglich sind. Durch gezielte Fahrzeugdisposition kann damit die Auslastung optimiert und die Benutzerzufriedenheit verbessert werden.

Einleitung

Aus dem betrieblichen Alltag eines Nahverkehrsunternehmens und der individuellen Beobachtung des Verkehrsgeschehens ist es bekannt, dass das Wetter mit großer Wahrscheinlichkeit einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten hat. Für einige Regionen sind dazu auch bereits Untersuchungen veröffentlicht worden. Die Untersuchungsmethoden reichen von stichprobenartigen Fahrgastbefragungen (Khattak und De Palma, 1997), über die Auswertung von aggregierten Fahrgastzahlen (Stover und McComarck, 2012) bis hin zu stündlichen und stationsgenauen Auswertungen von elektronischen Ticketsystemen (Zhou et al. 2017). Das Fazit dieser Studien ist jedoch oft rein qualitativer Art. So wird oft ein Rückgang der Fahrgastzahlen an Wochenenden bei Regen beobachtet (z.B. Guo et al. 2007; Kalkstein et al. 2009; Tao et al. 2018). Bisher eher weniger bekannt ist die quantitative Bedeutung des Wettereinflusses auf die ÖPNV-Nachfrage, zumal diese regionale Unterschiede aufweisen und auch von den verkehrlichen Rahmenbedingungen abhängig sein dürfte. So sind beispielsweise Freizeitverkehre anders zu bewerten als Ausbildungs- oder Berufsverkehre. Für das als Fahrradstadt geltende Münster mit ca.

300.000 Einwohnern konnte z. B. eine starke Abhängigkeit der ÖPNV Nutzung vom Wetter festgestellt werden (Adorf et al. 2019). Bei morgendlichem Regen steigt die Anzahl an Gelegenheitsfahrer um 130% und die Anzahl der regelmäßigen Nutzer um 30%. Diese Zahlen können jedoch nicht einfach auf Berlin übertragen werden, da hier der Anteil an Fahrradfahrern geringer und die zurückzulegenden Entfernungen höher sind.

Die vorliegende Untersuchung soll möglichen Abhängigkeiten zwischen Wetterereignissen und ÖPNV-Nachfrage in Berlin auf den Grund gehen und quantitative Abhängigkeiten analysieren. Sie erfolgt in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Meteorologie an der Freien Universität Berlin und der BVG. Da die Verkehrsnachfrage in Berlin von vielen Faktoren abhängig ist, die Stadt polyzentral strukturiert ist und sich zahlreiche Verkehrsströme überlagern, wurden Untersuchungen auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalen durchgeführt

Im Folgenden werden zunächst das Untersuchungsgebiet Berlin und die Charakteristika der Bezirke, die für regionale Analysen ausgewählt wurden, beschrieben. Es folgt eine Vorstellung der ausgewerteten Daten und der verwendeten Methoden. Der Ergebnisteil ist nach den Fragestellungen gegliedert, die während des Projektes untersucht wurden. Der Bericht schließt mit einem Ausblick.

Untersuchungsgebiet

Die Fläche von Berlin beträgt knapp 892 km². Auf diesem Gebiet leben 3,7 Millionen Menschen. Zusätzlich reisen jedes Jahr etwa 13,5 Millionen Besucher in die Stadt. Für etwa 27% aller Fahrten werden die öffentlichen Verkehrsmittel genutzt (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2019a). Der überwiegende Anteil des ÖPNV in Berlin (Bus, U-Bahn, Tram, Fähren) wird von der BVG betrieben. Dazu kommen noch die S-Bahn und die Regionalbahn. Die BVG beförderte im Jahr 2018 1.064 Millionen Fahrgäste.

In dieser Studie untersuchen wir sowohl den mittleren Einfluss des Wetters auf das gesamte Stadtgebiet als auch auf ausgesuchte Teilgebiete und einzelne Linien. Als Teilgebiet wurde zunächst der Berliner Bezirk Spandau gewählt, um Störungen aus überlagernden Verkehrsströmen benachbarter Bezirke möglichst auszuschließen. Spandau liegt am westlichen Stadtrand Berlins und hat durch seine periphere Lage zwischen dem Flusslauf der Havel mit ihren Seen, der Stadtgrenze nach Brandenburg und der zentralen Ausrichtung auf die nahezu mittig gelegene Altstadt einen hohen Binnenverkehrsanteil. Die Anbindung an den Schienenverkehr aus Fern-, Regional-, S- und U-Bahn erfolgt im Wesentlichen über den zentral am Rand der Altstadt gelegenen Bahnhof (Rathaus) Spandau. Die U-Bahn-Linie 7 übernimmt darüber hinaus die Erschließung der östlich an die Altstadt angrenzenden Industrie- und Gewerbegebiete sowie die Anbindung an das Berliner U-Bahnnetz. Der ÖPNV im Bezirk Spandau wird abgesehen von einer Fährverbindung nach Berlin-Wannsee ansonsten ausschließlich mit dem Omnibus abgewickelt. Vergleichsweise verlaufen viele der Omnibuslinien in Spandau hauptsächlich innerhalb des Bezirks und sind auf dessen Zentrum ausgerichtet. Der Bezirk Spandau hat für sich bereits eine Einwohnerzahl von rd. 250.000 und erreicht damit den Umfang von Städten wie Braunschweig, Kiel und Aachen.

Um die Übertragbarkeit der für Berlin-Spandau erzielten Ergebnisse auf andere Stadtgebiete Berlins zu untersuchen, wurde mit Berlin-Neukölln ein zweiter Stadtbezirk ausgewertet. Würden sich die Ergebnisse für Berlin-Spandau bestätigen, könnten die Vergleichswerte durch Analogieschlüsse für weitere Dateninterpretationen sinnvoll verwendet werden. Der ÖPNV in diesem Bezirk ist zum einen radial in die Innenstadt ausgerichtet, zum anderen durch eine Großzahl ein- und ausbrechender S- und U-Bahn- sowie vor allem Omnibuslinien geprägt.

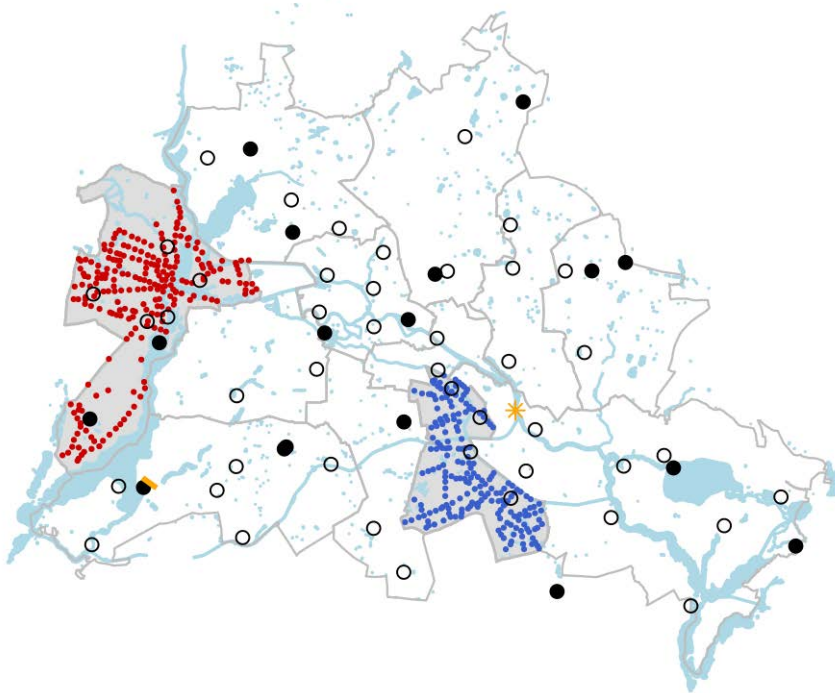


Abbildung 1: Karte von Berlin und seinen Bezirken. Die Bezirke Spandau und Neukölln sind grau schattiert. Bushaltestellen in Spandau sind mit roten Punkten gekennzeichnet und Bushaltestellen in Neukölln mit blauen Punkten. Die Buslinie 312 im Südwesten Berlins ist durch die kurze orange Linie markiert und die Fähre F11 durch einen orangen Stern. Die Lage der Messstationen von DWD und FU Berlin ist mit ausgefüllten schwarzen Kreisen gekennzeichnet und Niederschlagsmessstellen der Berliner Wasserbetriebe sind durch leere schwarze Kreise markiert.

Daten

Nachfragedaten

Die Nutzung Öffentlicher Nahverkehrsmittel kann zum einen mittels Ein- und Aussteigerzählungen in den Fahrzeugen erfasst, zum anderen über die Auswertung der Verkaufsstückzahlen von Fahrausweisen näherungsweise abgebildet werden. Fahrgastzählungen erfolgen bei den Berliner Verkehrsbetrieben (BVG) stichprobenartig mit automatischen Fahrgastzählgeräten (AFZG), und zusätzlich in weitaus geringerem Umfang auch manuell, z. B. auf Linien, die mit Fahrzeugen ohne Fahrgastzählgeräte bedient werden.

Verkaufsstückzahlen und Einsteigerzahlen wurden für alle Abbildungen normiert. Dafür wurden sie jeweils durch den Gesamtmedian des jeweils ausgewerteten Datensatzes dividiert und mit 100 multipliziert. Der Gesamtmedian liegt damit jeweils bei 100. Differenzen dazu können als prozentuale Abweichungen interpretiert werden.

Verkaufsstückzahlen

In Berlin werden rund zwei Drittel der Fahrausweisverkäufe durch die BVG abgewickelt. Alle Fahrausweisverkäufe der BVG werden zeitlich und räumlich detailliert erfasst. Das heißt die Verkaufsstückzahlen liegen vollständig, flächendeckend und lückenlos vor. Verkäufe über die Ticket-Apps, an stationären Automaten, an personalbedienten Verkaufsstellen und Barverkäufe in Bussen können über eine Datenbank separat abgefragt werden. Die Daten der stationären Automaten, der personalbedienten Verkaufsstellen und der Busverkäufe können dabei berlinweit oder nur für definierte Regionen abgerufen werden. Außerdem kann zwischen den verschiedenen Fahrkarten und Zeitkarten unterschieden werden. Fahrkartenverkäufe liegen ab dem 01.01.2016 in stündlicher Auflösung vor. Eine Ausnahme sind Käufe an den Automaten in den Straßenbahnen, die nur mit

täglicher und nicht mit stündlich zeitlicher Auflösung gespeichert werden und in dieser Studie daher nicht berücksichtigt werden.

Aufgrund des im Verkehrsverbund Berlin Brandenburg (VBB) geltenden Tariffsystems sind für die Gegenüberstellung mit den Wetterdaten einige Rahmenbedingungen zu beachten: Die Fahrausweise können im Vorverkauf als Zeitkarten und nicht entwertete Fahrscheine ohne Fahrtbindung erworben werden. Nur beim Barverkauf in den Fahrzeugen besteht ein Zusammenhang zwischen Fahrausweiserwerb und sofortigem Fahrtantritt. Bei den Erwerbern dieser Fahrausweise dürfte es sich in erster Linie um Gelegenheitskunden handeln. Es besteht jedoch keine technische Erfassung des Zu- oder Ausstiegs der Fahrgäste. Nur der Zeitpunkt des Fahrscheinerwerbs in Fahrzeugen und an stationären Automaten bzw. Verkaufseinrichtungen wird erfasst. Die Stückzahlen aus dem Verkauf von Zeitkarten für Stammkunden, die in Berlin etwa drei Viertel der ÖPNV-Fahrten ausmachen, werden ebenfalls nur zum Zeitpunkt des Erwerbs erfasst und nicht fahrtspezifisch zugewiesen. Das Verhältnis von Berlinern mit Zeitkarten zu solchen, die Einzel- oder Tageskarten erwerben beträgt im Mittel 1:2.

Die Bearbeitung des Projektes wurden Verkaufsstückzahlen von Einzelfahrscheinen und Tageskarten ausgewertet, die an stationären Automaten, an personalbedienten Verkaufsstellen, im Bus oder über die Ticket App verkauft wurden. Bei der Bereitstellung der Daten standen die Verkaufsstückzahlen und die Verkaufserlöse zur Auswahl. Die Wahl fiel auf die Verkaufsstückzahlen, da diese in der Höhe nicht durch unterschiedliche Preise beeinflusst werden. Beispielsweise spielt es bei der Bereitstellung der Daten keine große Rolle ob zehn Einzelfahrscheine oder zehn Tageskarten verkauft werden. Als Wert fließen jeweils zehn Fahrausweise in die Datenaufbereitung. Dagegen würden sich bei den Verkaufserlösen zwischen zehn Einzelfahrscheinen und zehn Tageskarten aufgrund der unterschiedlichen hohen Bepreisung erhebliche Unterschiede ergeben. So ergeben zehn Einzelfahrscheine Berlin AB Regeltarif einen Umsatz von 28 Euro und zehn Tageskarten Berlin AB Regeltarif einen Umsatz von 70 Euro. Somit würden bei gleicher Anzahl verkaufter Fahrscheine sehr unterschiedliche Umsätze in der Datenbereitstellung einfließen und womöglich etwaige Effekte verdecken oder gar verstärken. Anhand dieses Beispiels wird verdeutlicht, dass bei diesem Projekt die Verwendung der Verkaufsstückzahl zielführender ist.

Ausgewertet wurden Daten für den Zeitraum vom 01.01.2016 bis zum 31.03.2019. Für die S-Bahn, die nicht von der BVG betrieben wird, sondern vom Konzern der Deutschen Bahn betrieben wird, standen über ganz Berlin aggregierte, monatliche Daten zu Verkäufen zur Verfügung.

Ein- und Aussteigerzählungen

Ergänzend zu den Verkaufsstückzahlen wurden zusätzlich Ein- und Aussteigerzahlen aus Verkehrserhebungen in den Fahrzeugen der BVG für die Untersuchung herangezogen. Die Anzahl der damit ausgerüsteten Busse steigt nach und nach an (Abbildung 2). Inzwischen hat die BVG etwa 25 Prozent ihrer Fahrzeuge mit automatischen Fahrgastzählgeräten ausgerüstet. Die Fahrgastzählungen erfolgen stichprobenartig. Fahrten, die außerhalb des Stichprobenkonzeptes, und damit zusätzlich erhoben werden, fließen zusätzlich in die Datenauswertung ein. Für die Untersuchung im Rahmen dieser Studie wurden geprüfte, nicht hochgerechnete Rohdaten zu Verfügung gestellt.

Die Ein- und Aussteiger werden mittels Infrarotsensoren, die über den Fahrzeugtüren installiert sind, gezählt. Es werden ein- und aussteigende Personen mit einer Körpergröße ab 1,20 Meter erfasst. Die Datenausbeute des Zählsystems liegt bei etwa 65 Prozent. Die Zählraten werden vom Fahrzeugrechner (OBU) mit wesentlichen Fahrtdaten (z. B. Linie, Umlauf, Fahrzeugnummer, Datum, Zeit) attribuiert und per Datenübertragung dem AFZS-Hintergrundsystem zur weiteren Verarbeitung, insbesondere für die Qualitätsprüfung, zur Verfügung gestellt. Es werden nur solche Daten verwertet, die je nach Fahrzeugtyp einen maximalen Zählfehler von zwei Prozent aufweisen.

Die Einsteiger wurden für den Zeitraum vom 01.01.18 bis 31.05.19 für die Stadtbezirke Spandau und Neukölln ausgewertet. Eingeflossen sind im o. g. Zeitraum die Einsteigerzahlen an allen fahrgastrelevanten Haltestellen der ggf. auch nur auf Teilabschnitten im Bezirk verkehrenden Linien. Für die Hochrechnung der Daten wurden die entsprechenden Linienfahrpläne bereitgestellt. Hochgerechnet wurden die Daten, indem zunächst für jede Haltestelle stündliche Einsteigerzahlen bestimmt wurden. Dabei wurde für jeden Bus ohne Zählsystem die mittlere Einsteigerzahl an dieser Haltestelle, diesem Tag und zu dieser Stunde angesetzt. Anschließend wurden die Einsteigerzahlen auf die Fläche extrapoliert, in dem an allen nicht von einem AFZS-Bus angefahrenen Haltestellen die mittlere Einsteigerzahl der anderen Haltestellen zum jeweiligen Zeitpunkt und Datum verwendet wurde.

Darüber hinaus wurden für die Untersuchung des Ausflugsverkehrs Zählraten der Omnibuslinie 312, die das Berliner Strandbad Wannsee an den S-Bahnhof Nikolassee anbindet und nur in den Berliner Sommerferien verkehrt, ausgewertet.

Zusätzlich wurden die Daten der Fährlinie F11 ausgewertet. Die Auswahl fiel auf diese Linie, weil hier tagesscharfe Zählraten für den gesamten Zeitraum zur Verfügung standen.

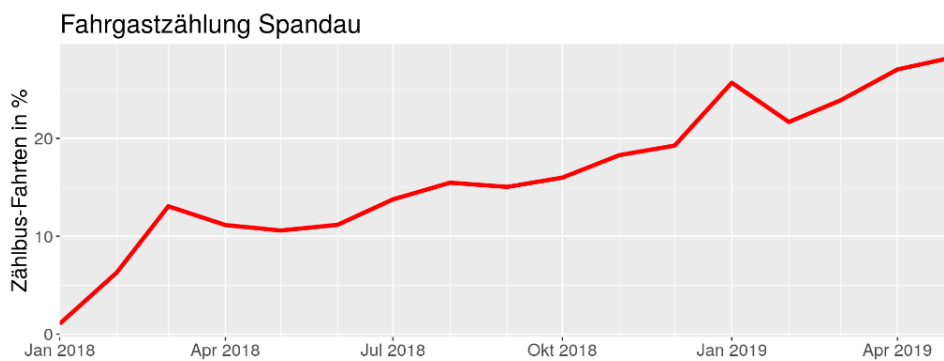


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der durchschnittlichen Anzahl ausgewerteter Fahrten von Bussen mit Zählautomatik im Bezirk Spandau

Wetter

In dieser Studie wurde der Einfluss von Niederschlag, Temperatur, Sonnenscheindauer, Schneefall und Wind untersucht. Passend zur zeitlichen Auflösung der BVG-Daten wurden auch die Wetterdaten auf stündlicher Basis ausgewertet.

Wetterparameter werden in Berlin an einer Reihe verschiedener Stationen gemessen (Abbildung 1). Für diese Studie haben wir Wetterdaten des Berliner Stadtmessnetzes und des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Um den Niederschlag, der oft kleinräumig ist, besser erfassen zu können wurden auch die Niederschlagsmessungen an den Stationen der Berliner Wasserbetriebe ausgewertet. Außerdem wurden an Niederschlagsdaten angeeichte Radarmessungen über die gesamte Stadtfläche herangezogen, die eine räumliche Auflösung von 1 km x 1 km und eine zeitliche Auflösung von 1 Stunde besitzen (Weigl und Winterrath, 2009). Als Stunde mit Niederschlag wurde jede Stunde definiert, während der die Radarmessungen in dem betrachteten Gebiet und/oder die Stationsbeobachtungen eine von Null verschiedene Niederschlagsmenge verzeichnet haben. Die durchgeführten Sensitivitätsstudien mit verschiedenen Schwellwerten haben gezeigt, dass mit dieser Definition das deutlichste Signal für den Wettereinfluss auf die ÖPNV Nachfrage isoliert werden kann.

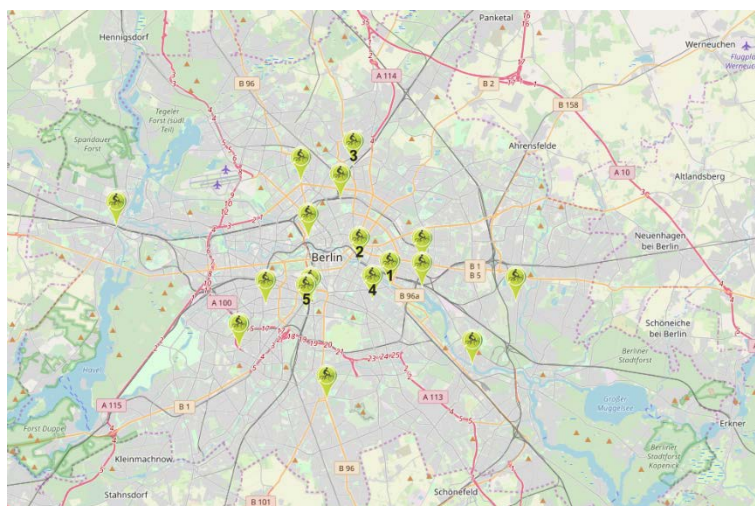
Ob es sich bei dem gemessenen Niederschlag ganz oder teilweise um Schneefall handelt wird von den Stationen des DWD nur einmal täglich gemeldet. Für die Auswertung in dieser Studie wurde daher angenommen, dass an diesen Tagen sämtlicher Niederschlag an der Station in Form von Schnee fiel.

Windmessungen für Berlin werden nur an den (ehemaligen) Flughäfen Tempelhof und Tegel und dem Umlandflughafen Schönefeld durchgeführt. Für diese Untersuchung wurden die Messungen aus Tegel für den Bezirk Spandau und die aus Tempelhof für das Gesamtberliner Gebiet und den Bezirk Neukölln herangezogen. Um auch die Windvariabilität zu berücksichtigen, wurde das Stundenmaximum der 10-minütlichen Mittel verwendet.

Zusätzlich zu den Beobachtungen wurden historische Wettervorhersagen mit dem hochaufgelösten Modellensemble COSMO-DE EPS ausgewertet. Für die operationelle Wettervorhersage wurden mit diesem Modell alle 3 Stunden 20 neue Vorhersagesimulationen bis maximal 21 Stunden in die Zukunft gerechnet. Die Idee von Ensemblesimulationen ist es, Unsicherheiten in der Vorhersage abzuschätzen, indem verschiedene mögliche zeitliche Entwicklungen des Wetters mit mehreren Vorhersageläufen erfasst werden (hier 20). Dabei wird versucht das Ensemble von Simulationen so zu konstruieren oder nachzubearbeiten, dass die Häufigkeit des Auftretens einer Wettersituation im Ensemble der Wahrscheinlichkeit entspricht, dass die vorhergesagte Situation tatsächlich eintritt. Da alle 3 Stunden weitere 20 Modellläufe gestartet werden umfasst das Modellensemble, das für die Vorhersage einer Stunde zur Verfügung steht, bis zu 140 Mitglieder. Das Modell, mit dem die Ensemblevorhersage berechnet wurde, besitzt eine räumliche Auflösung von 2,8 km x 2,8 km und ist damit konvektionserlaubend. Das heißt konvektive Prozesse müssen in einem solchen Modell nicht parametrisiert werden, was für die Niederschlagsvorhersage günstig ist. 2018 wurde das Modell für den operationellen Betrieb durch COSMO-D2 EPS ersetzt, so dass in die Untersuchung nur Vorhersagen bis Ende 2017 eingegangen sind. Ausgewertet wurden stündliche Vorhersagen in einem Gebiet von 28x28 km rund um die Berliner Stationen des Deutschen Wetterdienstes.

Radfahrer

Nutzer des ÖPNV, die ihr Mobilitätsverhalten vom Wetter abhängig machen haben die Optionen gar nicht zu fahren, zu einem anderen Zeitpunkt zu fahren, ein anderes Verkehrsmittel zu wählen oder zu Fuß zu gehen. Man kann vermuten, dass unter den Gelegenheitsfahrern viele Radfahrer sind, die nur bei widrigen Wetterbedingungen den ÖPNV nutzen. Um diese Hypothese zu testen, wurde in dieser Studie auch Daten der automatischen Dauerzählstellen für den Radverkehr in Berlin ausgewertet, die auf stündlicher Basis frei verfügbar sind (Senatsverwaltung für Verkehr und Klimaschutz, 2019b). Die Radfahrer werden mit Hilfe von Induktionsschleifen an 17 Zählstellen (Abbildung 3) in beiden Fahrtrichtungen erfasst.



Methoden

Vergleich von Medianen

Besonders anschaulich visualisieren lässt sich der Effekt einzelner Einflussgrößen auf Verkaufsstückzahlen und Passagiere mit einem Vergleich von Medianen. Dafür werden die Verkäufe bzw. Passagierzahlen basierend auf der zu untersuchenden Einflussgröße (z.B. Regen/kein Regen) in zwei Gruppen geteilt, für die dann jeweils der Median bestimmt wird. Mediane eignen sich für diesen Vergleich besser als Mittelwerte, da letztere zu stark von einzelnen Extrema beeinflusst werden können (z.B. Großereignissen mit stark erhöhten Zahlen an ÖPNV Nutzern).

Für die Differenzen zwischen zwei Medianen wurde außerdem geprüft, ob diese statistisch signifikant sind. Dafür wurde ein sogenanntes Monte-Carlo-Verfahren angewendet: Die in die Untersuchung eingegangenen Daten wurden zufällig in zwei Gruppen geteilt, wobei die Größe der zufällig zusammengestellten Gruppen der Größe der Gruppen entspricht, für die der Test durchgeführt werden soll. Für die beiden zufällig erstellten Gruppen wird die Differenz berechnet. Zufällige Aufteilung und Differenzbestimmung werden vielmals wiederholt (hier 1000 Mal). Nur wenn die zu prüfende Differenz außerhalb des Bereichs liegt, in dem 95% der durch zufällige Verteilung erzeugten Differenzen befinden, wird sie als statistisch signifikant angesehen.

Generalisierte lineare Modelle

Statistische Modelle können die Auswirkungen mehrerer Prädiktorvariablen auf eine Zielvariable beschreiben. Zielvariablen in dieser Studie sind Verkaufsstückzahlen und Einsteigerzahlen. Allerdings haben die Untersuchungen gezeigt, dass die vorhandene Stichprobe der Einsteigerzahlen für die statistische Modellierung noch zu klein ist, so dass wir hier nur die Verkaufsstückzahlen modellieren konnten. Für die Modellierung verwenden wir generalisierte lineare Regressionsmodelle (GLMs). Da man bei diesen statistischen Modellen anhand der geschätzten Modellkoeffizienten direkt Rückschlüsse auf die Zusammenhänge zwischen Prädiktor- und Zielvariablen ziehen kann, eignen sie sich für die in diesem Projekt durchgeführten Untersuchungen. Das einfachste GLM ist das lineare Modell. Man verwendet es für normalverteilte Zielvariablen. Außerdem setzt man voraus, dass die die Fehler (Residuen) nach der Anpassung ebenfalls normal verteilt sind. Für die Anpassung wird die Summe der quadratischen Abweichungen minimiert. Da es sich bei der Zielvariablen in dieser Untersuchung um Zählungen (Verkaufsstückzahlen) handelt, die keine negativen Werte annehmen können, ist das lineare Modell zunächst jedoch nicht geeignet. Eine anerkannte Wahl für Zählvariablen ist das Poisson-Modell mit logarithmischer Link-Funktion. Bei dieser GLM Variante darf der Fehlerterm eine Verteilung aus der Klasse der Exponentialfamilie besitzen.

Die Modellierung erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurde die wetterunabhängige Variabilität mit dem Poisson-Modell modelliert. Hierfür wurden der Wochentag, Uhrzeit, Jahresgang und Informationen über Schulferien und Feiertage (sowie Wechselwirkungen zwischen diesen Einflussfaktoren) als Prädiktoren verwendet. Die Motivation diese Einflussgrößen zunächst separat zu modellieren ergibt sich aus der Tatsache, dass die Variabilität, die durch die Kalendervariablen verursacht wird, durch geeignete Fahrpläne im operationellen Betrieb bereits berücksichtigt wird. Im zweiten Modellierungsschritt wurde anschließend ein lineares Regressionsmodell verwendet, um den Einfluss des Wetters auf die Schwankungen der Verkaufserlöse zu bestimmen, die nicht durch Datum und Uhrzeit erklärt werden können (die Residuen aus dem ersten Modellierungsschritt). Um zu entscheiden welche Prädiktorvariablen tatsächlich benötigt werden, um die beobachteten Verkaufsschwankungen zu beschreiben, wurde das Bayessche Informationskriterium (BIC) verwendet.

Außerdem wurde die Güte des statistischen Modells mit Hilfe einer Kreuzvalidierung bestimmt. Hierfür wurde die Zeitreihe der beobachteten Verkaufserlöse in einen Trainingsdatensatz und einen Testdatensatz aufgeteilt. Aus jedem Monat wurden jeweils 7 Tage (4 Montage-Donnerstage, 1 Freitag, 1 Samstag, 1 Sonntag) zufällig für den Testdatensatz ausgewählt. Das statistische Modell wurde mit Hilfe der übriggebliebenen Tage trainiert (d. h. die Regressionskoeffizienten wurden bestimmt) und anschließend dazu verwendet, die Verkäufe an den Testtagen vorherzusagen. Je kleiner der mittlere quadratische Fehler (RMSE) einer solchen Vorhersage ist, desto besser ist das statistische Modell. Die Kreuzvalidierung wurde jeweils 10-mal wiederholt. Durch sukzessives Hinzufügen und Weglassen einzelner Wettervariablen wurde auf diese Art die beste Kombination von Wetterprädiktoren ermittelt (die Kombination mit dem kleinsten RMSE).

Wie lässt sich der Einfluss des Wetters in einem offenen ÖPNV-System untersuchen, für das nur eingeschränkt Fahrgastzahlen vorliegen?

In Berlin wird der ÖPNV in offenen Systemen betrieben, d. h. die Fahrgäste werden nicht individuell registriert, sodass keine systematische Erfassung von Fahrgastzahlen durchgeführt wird. Eine Möglichkeit der Abschätzung des Fahrgastaufkommens ist die Nutzung von Verkaufsdaten. Man kann davon ausgehen, dass Einzelfahrscheine und Tageskarten vor allem von Gelegenheitsfahrern gekauft werden, während regelmäßige Benutzer Zeitkarten besitzen. Da Dauerkartennutzer nicht bezogen auf ihre Einzelfahrten erfasst werden, werten wir nur die Verkaufsstückzahlen von Einzelfahrscheinen (inkl. 4-Fahrten-Karten) und Tageskarten aus (im Folgenden als Gesamtverkaufsstückzahlen der Gelegenheitsfahrer bezeichnet). Hierbei muss berücksichtigt werden, dass in Berlin an Automaten oder Verkaufsstellen erworbene Fahrkarten nicht notwendigerweise am selben Tag genutzt werden. Wie groß dieser Effekt ist, kann mit Hilfe der Verkäufe von Einzelfahrscheinen im Bus abgeschätzt werden, da diese nur zum direkten Fahrtantritt gekauft werden können. Der Vergleich zeigt, dass sich die zeitlichen Variationen in den Gesamtverkaufsstückzahlen der Gelegenheitsfahrer nicht wesentlich von denen der Busverkäufe unterscheiden (ohne Abbildung) und man somit davon ausgehen kann, dass die überwiegende Zahl der verkauften Einzelfahrausweisen und Tageskarten zum sofortigen Fahrtantritt verwendet wird.

Variationen in den Verkaufsdaten auf monatlicher Basis zeigen zwischen den BVG-Verkehrsmitteln und der S-Bahn einen ähnlichen Verlauf. Wie gehen daher davon aus, dass die Ergebnisse, die sich aus der Auswertung der BVG-Verkaufsstückzahlen ableiten lassen, sich auch auf die S-Bahn Nutzer übertragen lassen.

Um abzuschätzen, inwieweit die Ergebnisse aus der Auswertung der Verkaufsstückzahlen auch für die Gesamtnachfrage repräsentativ sind, vergleichen wir hier zunächst die wetterunabhängige Variabilität der Verkaufsstückzahlen mit der wetterunabhängigen Variabilität der Gesamtnutzernachfrage soweit sie sich aus den Hochrechnungen der stichprobenartigen Einsteigerzählungen ableiten lässt.

Wetterunabhängige Variabilität der Verkaufsstückzahlen

Ein großer Teil der zeitlichen Variabilität der Verkaufsstückzahlen wird von Faktoren bestimmt, die wetterunabhängig sind. Gezeigt werden in den folgenden Abbildungen Stückzahlen von Verkäufen für verschiedene Tage und Uhrzeiten. Die einflussreichsten wetterunabhängigen Faktoren sind die Tageszeit und der Wochentag. Hierbei verhalten sich die Werktage von Montag bis Donnerstag vergleichbar. Freitags werden die meisten Fahrkarten verkauft und sonntags die wenigsten.

Deutlich sind in den Darstellungen für Montag bis Donnerstag und Freitag typische Tagesganglinien mit zwei mehr oder weniger ausgeprägten Spitzen am Vor- und am Nachmittag zu erkennen (Abbildung 4). Der Verlauf der Tagesganglinie am Sonntag ist gegenüber den Werktagen deutlich abgeschwächt und weist nicht die beiden Tagesspitzen auf. Das Hauptverkehrsaufkommen tritt

sonntags zwischen ca. 10 und 18 Uhr auf und ist vergleichsweise gleichmäßig auf niedrigerem Niveau als montags bis freitags über die Stunden verteilt.

Ein weiterer wetterunabhängiger Faktor, der einen Teil der Variabilität in den Verkäufen erklärt, sind die Schulferien (Abbildung 6a). Während der Ferien verschieben sich die Tagesganglinien um etwa eine Stunde nach hinten. Im Winter, Frühling und Herbst steigen die Verkaufsstückzahlen während der Schulferien an.

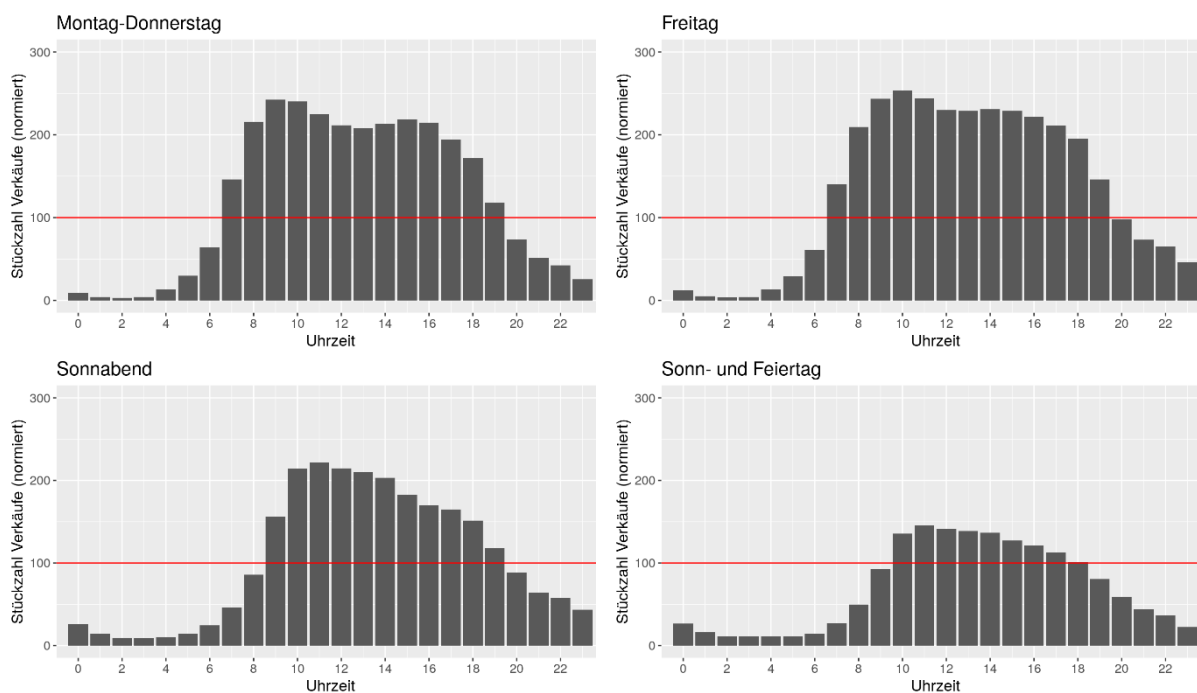


Abbildung 4: Median der Verkaufserlöse der Gelegenheitsfahrer nach Wochentag und Stunde für die gesamte Stadt Berlin (normiert). Die rote Linie markiert den normierten Median über die Verkäufe aller Stunden zwischen dem 1.1.2016 und dem 31.3.2019.

Die Abbildungen verdeutlichen, wie wichtig es ist, die wetterunabhängigen Effekte zu eliminieren um den Einfluss des Wetters untersuchen zu können. So weist zum Beispiel der konvektive Niederschlag einen deutlichen Tagesgang mit einem Maximum am Nachmittag auf. Nachmittags liegt der Median der Verkäufe unabhängig vom Wetter über dem Gesamtmedian für alle Stunden (rote Linie in Abbildung 4). Ein Vergleich der Verkaufsstückzahlen zwischen Regentagen und trockenen Tagen würde (möglicherweise fälschlich) suggerieren, dass die Verkaufsdaten bei Regen stark ansteigen.

Wetterunabhängige Variabilität der Einsteiger

Unterschiede im Nutzerverhalten zwischen Zeitkartenbesitzern und Gelegenheitsfahrern zeigen sich im Vergleich der Verkaufsstückzahlen mit der Gesamtnachfrage (Einsteigerzahlen). Der Unterschied ist an Werktagen besonders groß. Zwischen 7 und 8 Uhr (vor Schulbeginn) erkennt man bei den Gesamtkunden einen starken Anstieg der Fahrgastzahlen (Abbildung 5). Die Vormittagsspitzen der Verkaufsstückzahlen treten erst zwei Stunden später auf (Abbildung 5, oben links). Dies erklärt sich aus zum Teil unterschiedlichen Fahrtzwecken. Es ist davon auszugehen, dass viele Omnibusnutzer im

Schüler-/Ausbildungs- und Berufsverkehr Zeitkartenbesitzer sind, während die Gelegenheitsfahrer vor allem im Freizeit- und Einkaufsverkehr zu erwarten sind. Im Mittel kaufen etwa 4% aller Einsteiger beim Busfahrer einen Fahrschein.

Während der Schulferien steigt die Zahl der Gelegenheitsfahrer, während die Zahl der im Bus gezählten Fahrgäste zurückgeht (Abbildung 6).

Die Tagesganglinien der Einsteigerzahlen sind regional unterschiedlich. So ist zum Beispiel das Niveau der Einsteigerzahlen in der vormittäglichen Nebenverkehrszeit in Berlin-Neukölln deutlich höher in Relation zum übrigen Tagesverlauf als in Berlin-Spandau. Dies lässt sich durch die unterschiedlichen Verkehrsaufgaben in den beiden Bezirken erklären. So erwartet man in Neukölln mehr Einkaufs- und Freizeitverkehr durch innerstädtische Strukturen am Hermannplatz und in Richtung City Ost/West.

Erfolgt eine Fahrt regelmäßig wie der Weg von und zur Arbeit, führt eben dieser Fahrtzweck bei Stammkunden zu einer geplanten Basisnachfrage. In solchen Fällen kann eine solche Fahrt normalerweise nicht wetteranfällig sein. In Betracht kommen Extremereignisse des Wetters, die vermutlich aber nur zu einer zeitlichen Verschiebung führen. Insoweit ist es sinnvoll, die anfälligen Reiseanlässe weitmöglichst freizuschneiden und sich bei den zu erklärenden Daten vorrangig auf Verkaufsdaten zu beziehen, ohne dabei potenziell ergänzende Informationen aus Zähldaten zu vernachlässigen.

Die als Grundlage für die Untersuchung herangezogenen Verkaufsstückzahlen und Nachfragedaten entsprechen bezüglich der Tagesverläufe den Erwartungen aus verkehrlicher und betrieblicher Sicht. Sie weisen keine unerklärlichen Besonderheiten auf und können somit als Grundlage für die Untersuchungen möglicher Abhängigkeiten zu Wetterereignissen Verwendung finden.

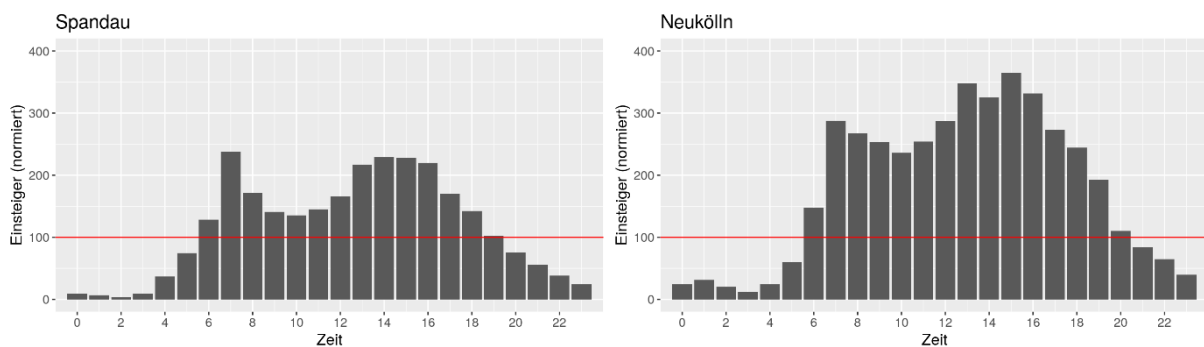
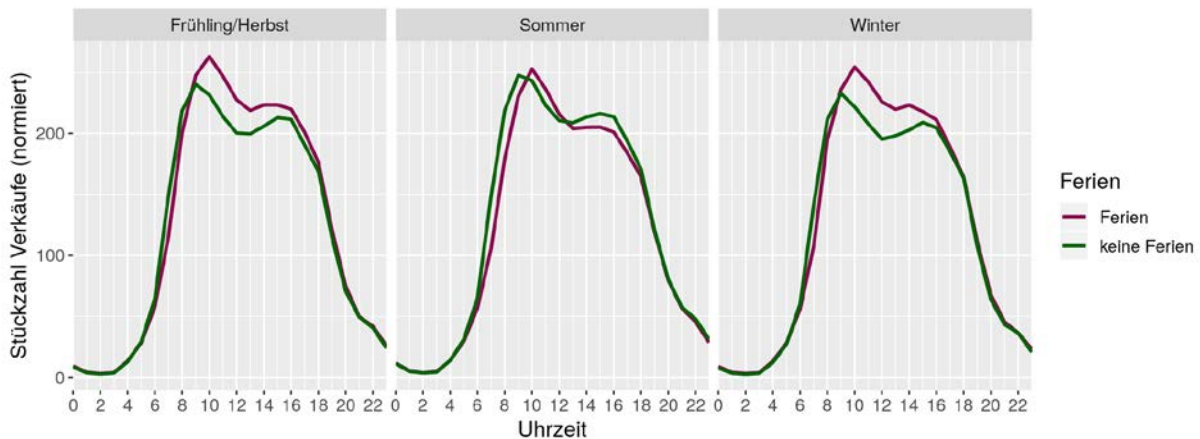


Abbildung 5: Median der Anzahl Einsteiger pro Stunde im Bus von Montag-Donnerstag Links: im Bezirk Spandau. Rechts: im Bezirk Neukölln. Die Mediane wurden hochgerechnet und normiert.

a)



b)

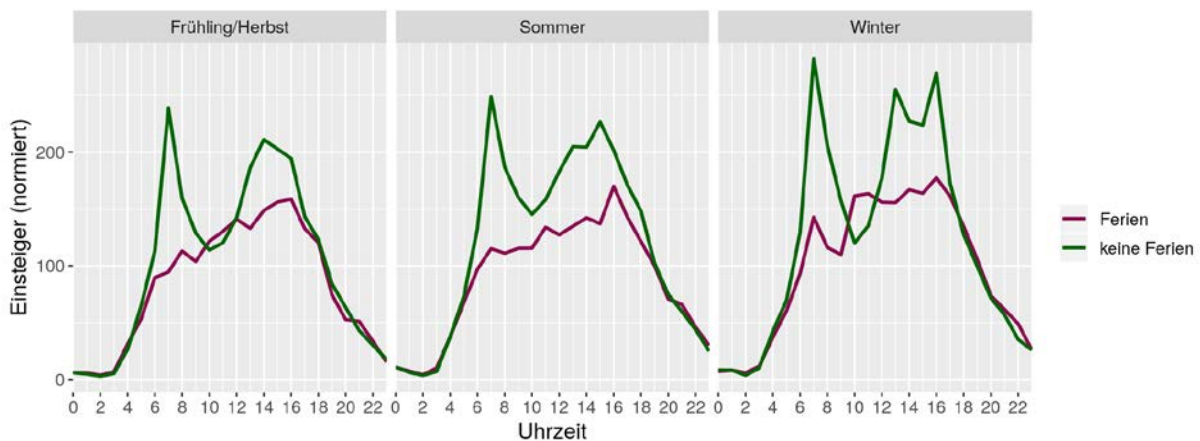


Abbildung 6: Median der a) Stückzahlen von Verkäufen b) Einsteiger in den Bus im Bezirk Spandau für die Wochentage von Montag bis Donnerstag. Mediane wurden normiert.

Welche Wetterparameter sind relevant?

In dieser Studie untersuchen wir den Einfluss von Niederschlag, Temperatur, Windstärke, Sonnenscheindauer und Schnee auf die Nutzung des ÖPNV. Zunächst werden die Mediane der Verkaufsstückzahlen bei verschiedenen Wetterbedingungen verglichen. Da die Mediane stark von wetterunabhängigen Faktoren beeinflusst werden, werden jeweils nur gleiche Wochentagstypen und Stunden miteinander verglichen. Dies wird auch als „freischneiden“ der Daten bezeichnet.

Verkäufe

Bezüglich des Niederschlags sind verschiedene Reaktionen der ÖPNV-Gelegenheitsfahrer denkbar. Einige Beispiele:

- Während es regnet steigt man vermehrt auf den ÖPNV um, statt z.B. das Rad zu nutzen oder zu laufen
- man verschiebt geplante Fahrten und tritt die Fahrt erst an, wenn es aufgehört hat zu regnen,
- wenn es morgens regnet entscheidet man sich dafür, den ganzen Tag über den ÖPNV zu nutzen.

Änderungen in den Verkaufsstückzahlen nach dem Ende einer Regenperiode (b) waren an Werktagen nicht festzustellen. Morgendlicher Regen (irgendwann zwischen 6 und 10 Uhr) hat einen schwächeren

Einfluss auf die Verkaufsstückzahlen als instantaner Regen. Beide bewirken an Werktagen eine Zunahme der Verkaufsstückzahlen (Abbildung 7). Im Winter und in den Übergangsjahreszeiten sind die Differenzen in den Verkaufsstückzahlen überwiegend statistisch signifikant, im Sommer dagegen nur am frühen Nachmittag. Sonn- und Feiertage verhalten sich anders als Werktage; hier werden tendenziell mehr Fahrkarten verkauft, wenn der Tag durchgängig trocken ist, sowie mittags, wenn der Regen gerade aufhört. Diese Ergebnisse sind jedoch statistisch nicht signifikant (ohne Abbildung). Ein Vergleich mit den Medianen der Radfahrer, die an den Radfahrzählstellen erfasst werden, deutet darauf hin, dass die Zunahme der Verkaufsstückzahlen bei Niederschlag zumindest zum Teil auf Radfahrer zurückzuführen ist, die bei Regen auf den ÖPNV umsteigen (Abbildung 8).

Auch die Lufttemperatur beeinflusst die Käufe der Gelegenheitsfahrer. Auswirkungen sind sowohl bei besonders hohen, als auch bei besonders tiefen Temperaturen zu beobachten. Bei Temperaturen über 28°C geht die Anzahl der Gelegenheitsfahrer an Werktagen zurück (Abbildung 9). An Sonn- und Feiertagen steigt sie dagegen an, was jedoch zu keiner Zeit statistisch signifikant ist. Dieser Effekt scheint sich mit weiter zunehmender Temperatur jedoch nicht zu verstärken (ohne Abbildung).

Bei besonders niedrigen Temperaturen ist der Effekt an Werktagen sowie Sonn- und Feiertagen gleich. Die Zahl der Gelegenheitsfahrer steigt an (Abbildung 10). Der Effekt ist bereits bei Temperaturen wenige Grad unter dem Gefrierpunkt zu beobachten (Abbildung 11) und wird mit weiter abnehmenden Temperaturen größer.

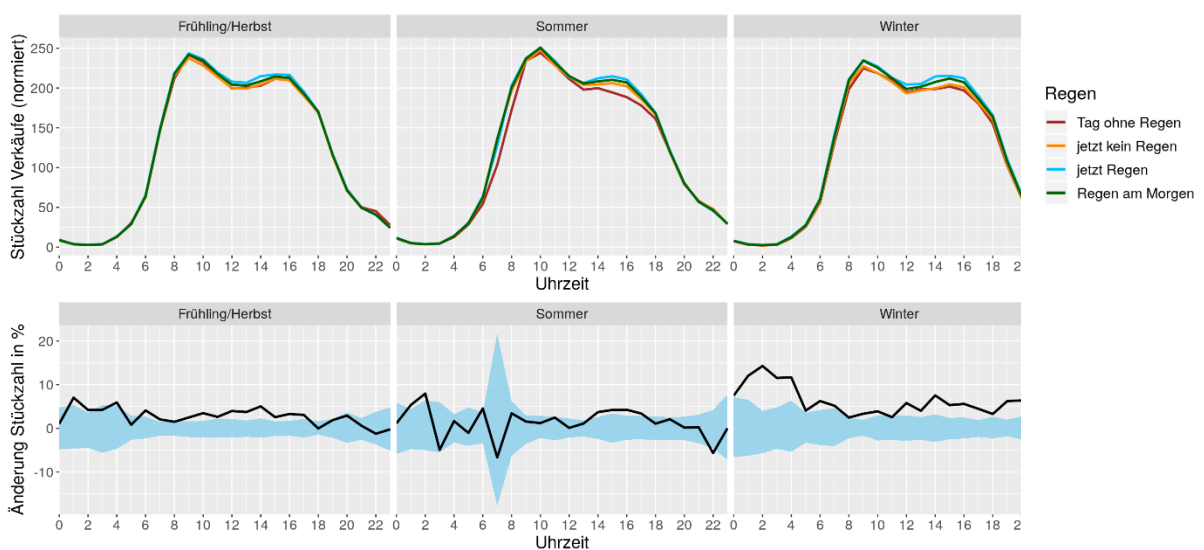


Abbildung 7: Oben: Median der Verkaufsstückzahlen für die gesamte Stadt Berlin bei verschiedenen Regensituationen an den Werktagen Montag-Donnerstag. Unten: Unterschied in Prozent zwischen trockenen und regnerischen Stunden schwarze Linie. Blau schraffiert ist der Bereich, in dem die Änderungen statistisch nicht signifikant sind.

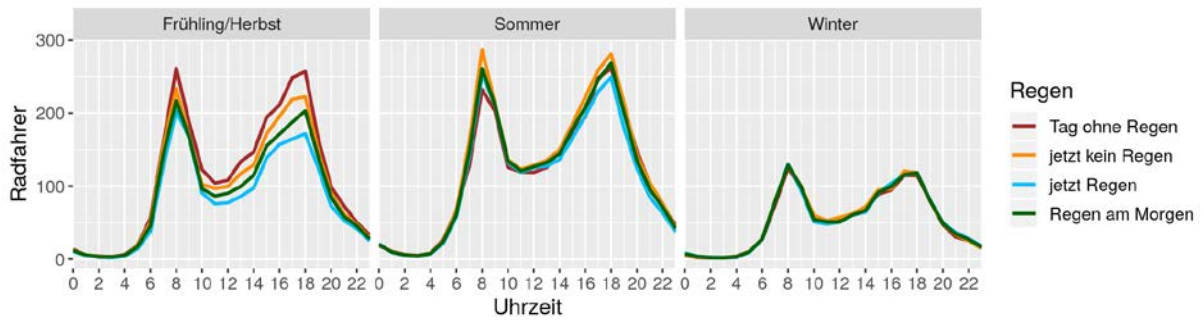


Abbildung 8: Median der Zahl der Radfahrer an den Berliner Radzählstellen für die gesamte Stadt Berlin bei verschiedenen Niederschlagsituationen an den Werktagen Montag-Donnerstag.

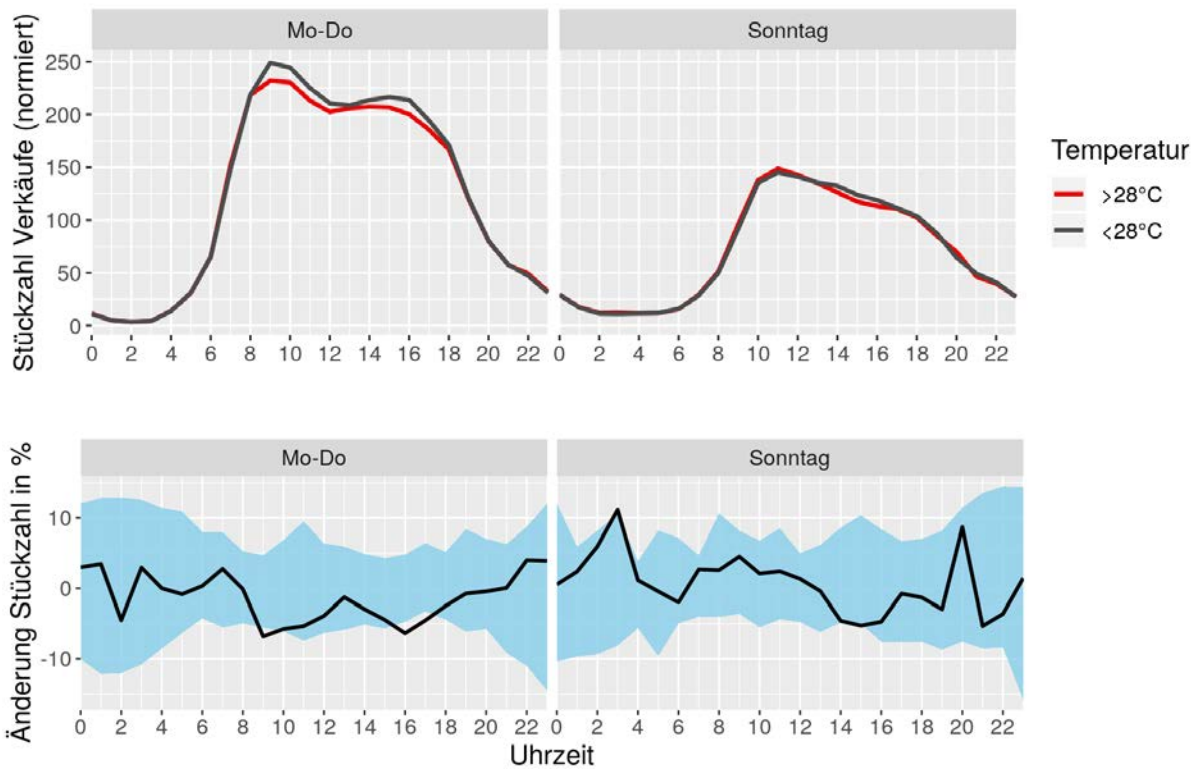


Abbildung 9: Oben) Median der Verkaufsstückzahlen für die gesamte Stadt Berlin für Tage, an denen die Temperatur 28°C überschreitet (rot) im Vergleich zu den anderen Tagen (grau). Ausgewertet wurden nur die Sommermonate. Von Montag bis Donnerstag wurden nur Tage außerhalb der Schulferien berücksichtigt. Unten) Unterschied in Prozent. Blau schraffiert ist der Bereich, in dem die Änderungen statistisch nicht signifikant sind.

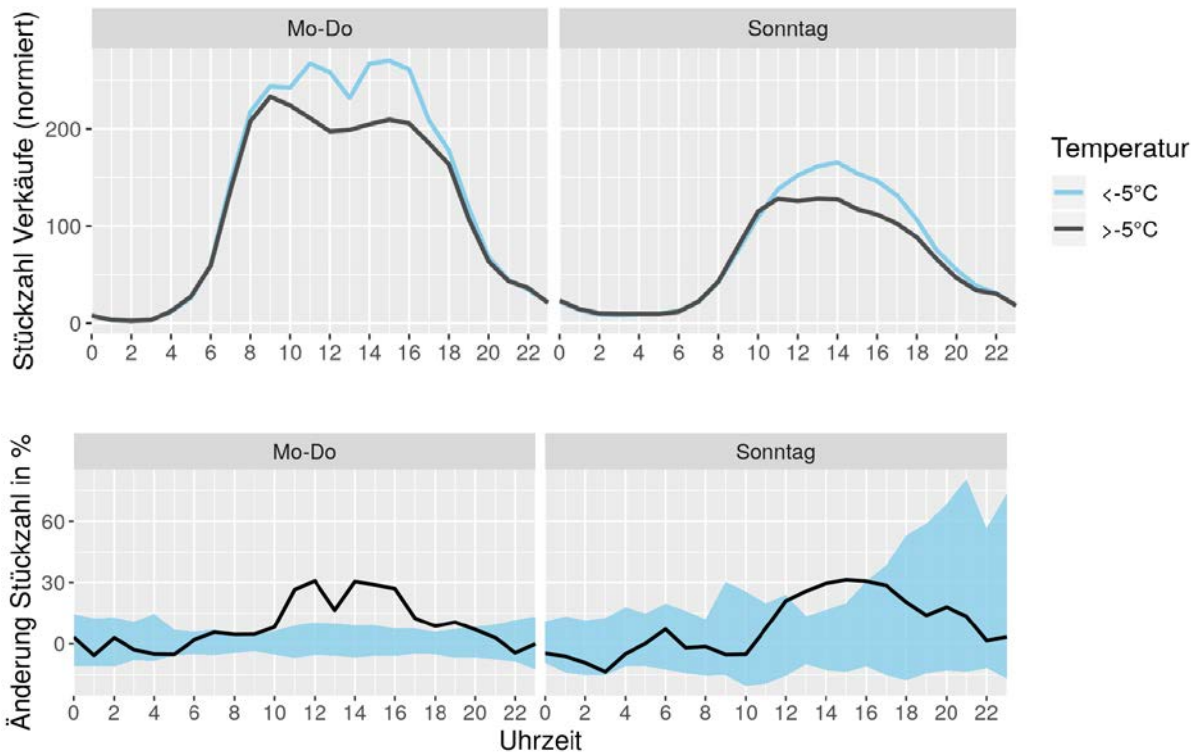


Abbildung 10: Oben) Median der Verkaufsstückzahlen für gesamt Berlin für Stunden, in denen die Temperatur -5°C unterschreitet (blau), im Vergleich zu den anderen Stunden (grau). Ausgewertet wurden nur die Wintermonate von Dezember bis Februar. Unten) Unterschied in Prozent. Blau schraffiert ist der Bereich, in dem die Änderungen statistisch nicht signifikant sind.

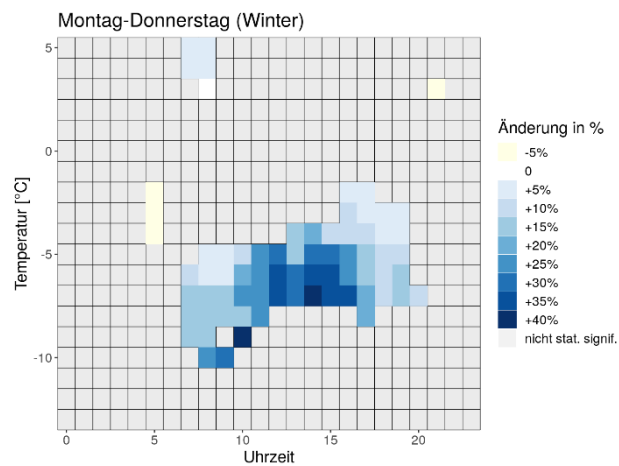


Abbildung 11: Änderung der Verkaufsstückzahlen in % für Werkzeuge (Montag-Donnerstag) in den Wintermonaten (Dez-Feb) in Abhängigkeit von der instantanen Temperatur und der Uhrzeit.

Für Schnee konnte kein statistisch signifikanter Einfluss auf die Verkaufsstückzahlen ermittelt werden. Moderater Wind hat ebenfalls keinen Einfluss auf die Verkaufsstückzahlen. Extreme Ereignisse traten in dem untersuchten Zeitraum zu selten auf, um sie statistisch untersuchen zu können. Die Fälle, die später in Zusammenhang mit den Unterschieden zwischen den Verkehrsmitteln genauer beschrieben werden, zeigen jedoch, dass zumindest die Einstellung des Busverkehrs aufgrund von Sturm

Auswirkungen auf die Verkaufsstückzahlen hatte (Abbildung 17). Ob die ansonsten hohe Nachfrage an Fahrscheinen am 5.10.2019 auf Kunden zurückzuführen ist, die aufgrund der Sturmwarnung des Deutschen Wetterdienstes auf den ÖPNV umgestiegen sind, oder ob es sich um höhere Touristenzahlen handelt, die den 5. Oktober als Brückentag für einen Berlinbesuch genutzt haben, kann nicht beantwortet werden.

Um die Auswirkungen mehrerer Prädiktorvariablen auf die Verkaufsstückzahlen zu untersuchen, eignen sich statistische Modelle. Durch einen Vergleich verschiedener statistischer Modelle mit unterschiedlichen Wettervariablen als Prädiktoren konnte mit Hilfe der Kreuzvalidierung (siehe Seite 9) ein optimales Modell ermittelt werden. Die Auswertung ergibt, dass der wichtigste Prädiktor für das statistische Modell die Temperatur ist, die sowohl linear als auch quadratisch in das Modell eingeht. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die binäre Information, ob es in Berlin Niederschlag gibt ein besserer Prädiktor für die Verkaufsstückzahlen ist als die Niederschlagsmenge, die betroffene Fläche oder die Information, ob es morgens zwischen 6 und 10 Uhr regnet. Auch die Einbeziehung der Sonnenscheindauer verbessert das Modell. Die Wirkung des Wetters ist dabei abhängig vom Wochentag und der Tageszeit sowie den Schulferien.

Einsteiger

Differenzen in den Medianen bei verschiedenen Wetterbedingungen wurden auch für die Einsteigerzahlen im Omnibus in Neukölln und Spandau berechnet (Abbildung 12). Die Differenzen sind nur statistisch signifikant, wenn sie außerhalb des farblich passend schattierten Wertebereichs liegen. Statistisch signifikant sind hier also nur die Abnahme der Einsteigerzahlen in Spandau bei Niederschlag zu den beiden Nachfragespitzen an Werktagen und die Abnahme der Verkaufsstückzahlen an Werktagen in Neukölln bei hohen Temperaturen. Besonders verwunderlich ist die Abnahme der Einsteigerzahlen bei Niederschlag in Spandau, da die Verkaufsstückzahlen in Spandau (Abbildung 13a), Neukölln (Abbildung 13b) und Gesamtberlin (Abbildung 7), sowie die Einsteigerzahlen in Neukölln (Abbildung 12a) bei Niederschlag an den Werktagen alle eine Zunahme der Nachfrage zeigen. Obwohl das Signal für den Niederschlag in Spandau formal statistisch signifikant ist, versuchen wir an dieser Stelle keine Interpretation des ungewöhnlichen Ergebnisses, da der ausgewertete Zeitraum gerade bezüglich des Niederschlags keinesfalls repräsentativ war. Die 17 Monate, für die Einsteigerdaten zur Auswertung zur Verfügung standen, waren ungewöhnlich trocken (siehe auch UFZ, 2019), so dass der Median für die Niederschlagsstunden nur aus wenigen Datenpunkten bestimmt werden konnte. Insbesondere die Sommermonate waren hier stark unterrepräsentiert, was das unerwartete Signal erklären könnte.

Abbildung 12 zeigt, dass sich der Einfluss des Wetters auf die Gesamtnachfrage möglicherweise zwischen den Bezirken unterscheidet. Als Referenz sind in schwarz in Abbildung 12 auch die Differenzen eingefügt, die man für die Verkaufsstückzahlen in Berlin erhält, wenn man die Zeitreihe auf 17 Monate kürzt (die Zeitspanne für die die Einsteigerdaten zur Verfügung stehen). An dieser Referenz sieht man, dass die Verkürzung der Zeitreihe dazu führt, dass die ermittelten Differenzen dann auch für die Verkaufsstückzahlen nicht mehr statistisch signifikant sind.

Es war nicht möglich, die Einsteigerzahlen analog zu den Verkaufsstückzahlen statistisch zu modellieren, da die Datengrundlage hierfür zu gering war.

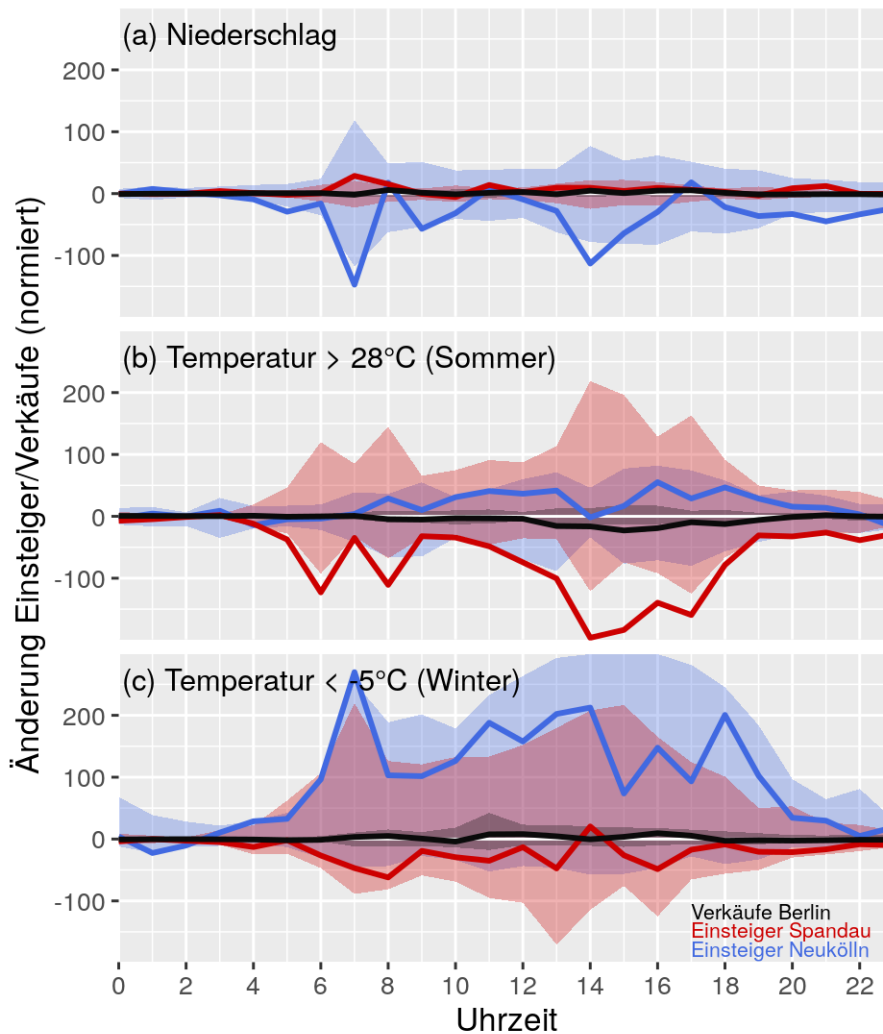


Abbildung 12: Änderungen im Tagesgang des Medians von rot) Einsteigern in den Bus in Spandau, blau) Einsteigern in den Bus in Neukölln, schwarz) Verkäufe in ganz Berlin für eine 17-monatige Periode. Die Zahlen sind normalisiert. a) Differenz zwischen Stunden mit Niederschlag und ohne Niederschlag. b) Differenz zwischen Tagen mit Maximaltemperaturen $>28^{\circ}\text{C}$ und Tagen mit Maximaltemperaturen $\leq 28^{\circ}\text{C}$ für die Sommerferien. c) Differenz zwischen Stunden an denen die Temperatur -5°C unterschreitet und allen anderen Wintertagen (DJF). In der entsprechenden Farbe schattiert sind die Wertebereiche innerhalb derer die Differenzen nicht statistisch signifikant auf dem 95% Level sind.

Auf welcher zeitlichen und räumlichen Skala lassen sich Einflüsse des Wetters auf die Verkaufsstückzahlen nachweisen?

Zur Beantwortung dieser Fragestellung vergleichen wir Auswertungen auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Aggregationsstufen.

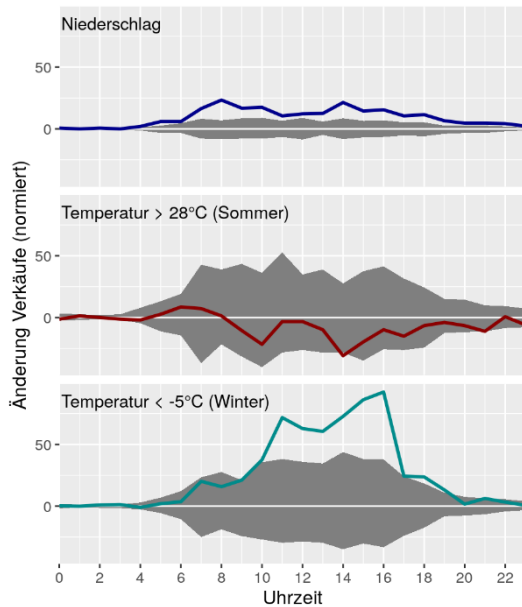
Die räumliche Komponente:

Bezüglich der räumlichen Komponente vergleichen wir Auswertungen für die gesamte Stadt Berlin mit Auswertungen für die Bezirke Spandau und Neukölln. Zusätzlich wird in einem späteren Abschnitt (Seite 25) gezeigt, dass sich die Nachfrage auch auf einzelnen Linien deutlich vom Gebietsmittel unterscheiden kann.

Verkäufe

Der Einfluss des Wetters auf die Verkaufsstückzahlen unterscheidet sich qualitativ nicht, wenn man ganz Berlin oder nur einzelne Bezirke betrachtet (Abbildung 13). Bei Regen und kalten Temperaturen werden mehr Fahrkarten und an heißen Tagen weniger Fahrkarten verkauft.

a) Spandau (Montag-Donnerstag)



b) Neukölln (Montag-Donnerstag)

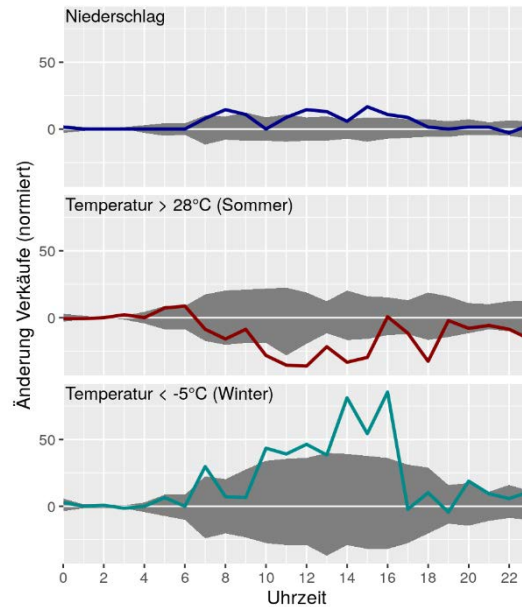


Abbildung 13: Änderungen im Tagesgang des Medians der Verkaufsstückzahlen an Werktagen (Montag-Donnerstag) für ausgesuchte Wettersituationen. a) für Buslinien, deren Haltestellen sich überwiegend in Spandau befinden, b) für Buslinien, deren Haltestellen sich überwiegend in Neukölln befinden. (Oben) Unterschied zwischen Stunden mit und ohne Niederschlag, (Mitte) Unterschied zwischen heißen Tagen mit einer Tageshöchsttemperatur von 28°C und sonstigen Tagen während der Sommerferien, (unten) Unterschied zwischen Stunden, an denen die Temperatur -5°C unterschreitet und anderen Stunden während der Wintermonate (DJF). Die Änderungen sind statistisch signifikant auf dem 95%-Niveau, wenn die farbige Linie den schattierten Wertebereich verlässt. Die Verkaufsstückzahlen wurden normiert.

Einsteiger

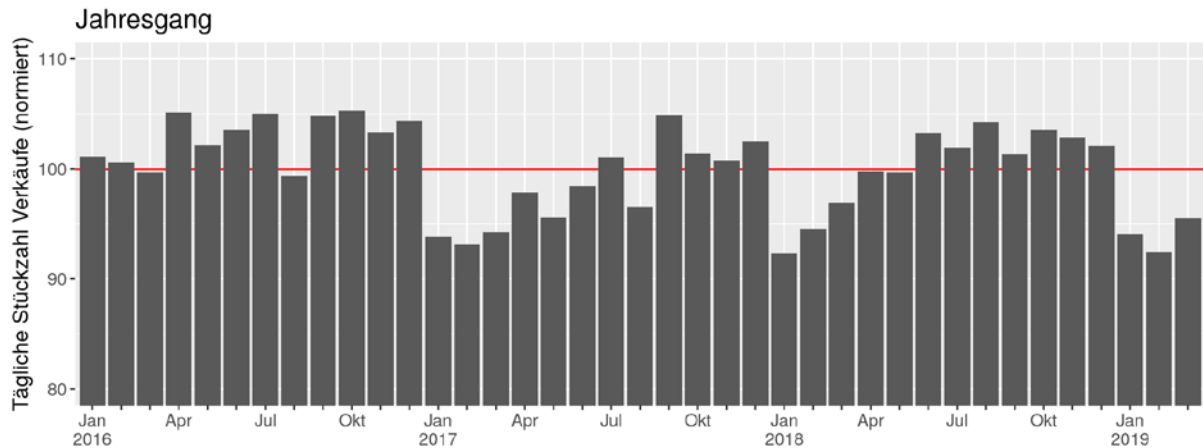
Bereits ohne den Einfluss des Wetters zu berücksichtigen, unterscheidet sich der Tagesgang der Einsteiger zwischen den Bezirken (Abbildung 5 und zugehörige Beschreibung auf Seite 11). Dass sich der Einfluss des Wetters in verschiedenen Bezirken möglicherweise ebenfalls unterschiedlich auf die Einsteigerzahlen auswirkt, wurde im vorherigen Abschnitt demonstriert (Abbildung 12).

Die zeitliche Komponente:

Verkäufe

Mögliche zeitliche Aggregationsstufen sind monatliche, tägliche und stündliche Verkaufsdaten. Bereits auf monatlicher Ebene gibt es Hinweise auf einen Einfluss des Wetters auf die Verkäufe (Abbildung 14). In der Abbildung fallen die verhältnismäßig hohen Verkaufsstückzahlen Anfang des Jahres 2016 im Vergleich zu den Anfangsmonaten der Jahre 2017 bis 2019 auf (Abbildung 14a). Eine mögliche Ursache könnten besonders niedrige Temperaturen sein, vielleicht auch verbunden mit Glatteis, die Radfahrer zum Umsteigen auf den ÖPNV bewegt haben. Die prozentuale Anzahl an Froststunden zeigt jedoch, dass es Anfang 2016 nicht kälter war als in den anderen Jahren (Abbildung 14b). Einen starken Unterschied zu anderen Jahren sieht man jedoch bei der prozentualen Anzahl an Regenstunden. 2016 war in Berlin ein sehr regnerisches Jahr, was vermutlich zu der höheren Anzahl an Gelegenheitsfahrern in den öffentlichen Verkehrsmitteln beigetragen hat. Auch subjektive Faktoren, also z. B. Bequemlichkeitsüberlegungen bei der Fahrradnutzung, könnten ein Übriges beigetragen haben. Solche Umstände sind aber nicht standardisierbar.

a)



b)

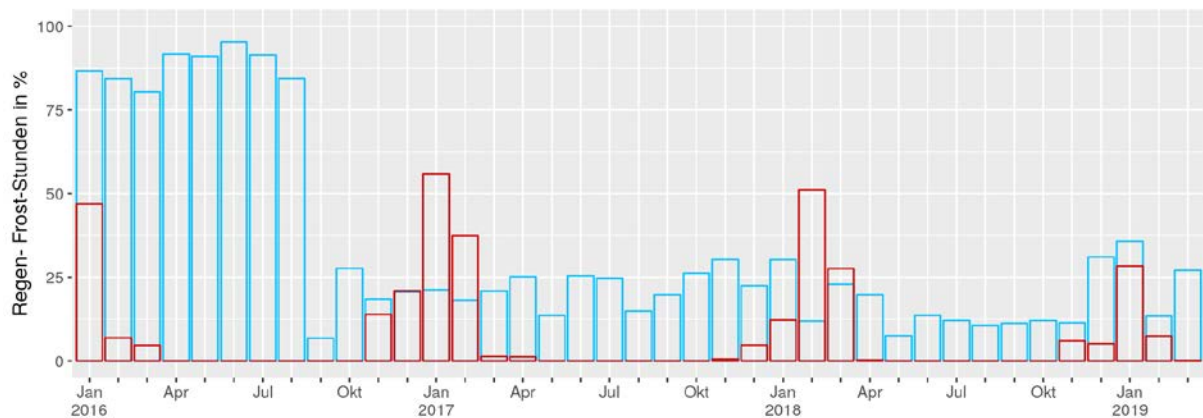


Abbildung 14 a) Mittlere tägliche Stückzahl von Verkäufen in allen Monaten zwischen Januar 2016 und März 2019. b) rot: Froststunden, blau: Regenstunden in % aller Stunden des Monats.

Eine Auswertung auf der Basis von täglichen Daten kann, wie bereits am Beispiel des Niederschlags in Zusammenhang mit Abbildung 4 erläutert wurde, zu ungerechtfertigten Schlüssen führen, da sowohl Wetterdaten als auch die Verkäufe einen ausgeprägten Tagesgang aufweisen. Detailliertere Untersuchungen wurden in dieser Studie daher auf Stundenbasis durchgeführt.

Einsteiger

Wie auch die Verkaufsstückzahlen weisen die Einsteigerzahlen einen Jahresgang auf (Abbildung 15 für Spandau). Anders als die Verkäufe, die in den Wintermonaten besonders niedrig sind, steigen die Einsteigerzahlen in den Wintermonaten an und nehmen im Sommer ab. Es ist zu vermuten, dass diese Änderungen mit der Temperatur in Zusammenhang stehen, die im Winter niedriger ist als im Sommer. Wahrscheinlich ist es auch, dass der Rückgang der Anzahl der Einsteiger zumindest teilweise durch einen Umstieg von BVG-Kunden auf das Rad erklärt werden kann, denn die Radfahrerzahlen, die an den automatischen Berliner Radfahrzählstellen registriert wurden, zeigen einen deutlichen Jahresgang mit niedrigen Zahlen im Winter und hohen Zahlen im Sommer (Abbildung 16).

Deutlich zu erkennen ist noch ein wetterunabhängiger Einflussfaktor auf die Einsteigerzahlen. Besonders niedrige Werte können für die Monate mit den Sommerferien beobachtet werden.

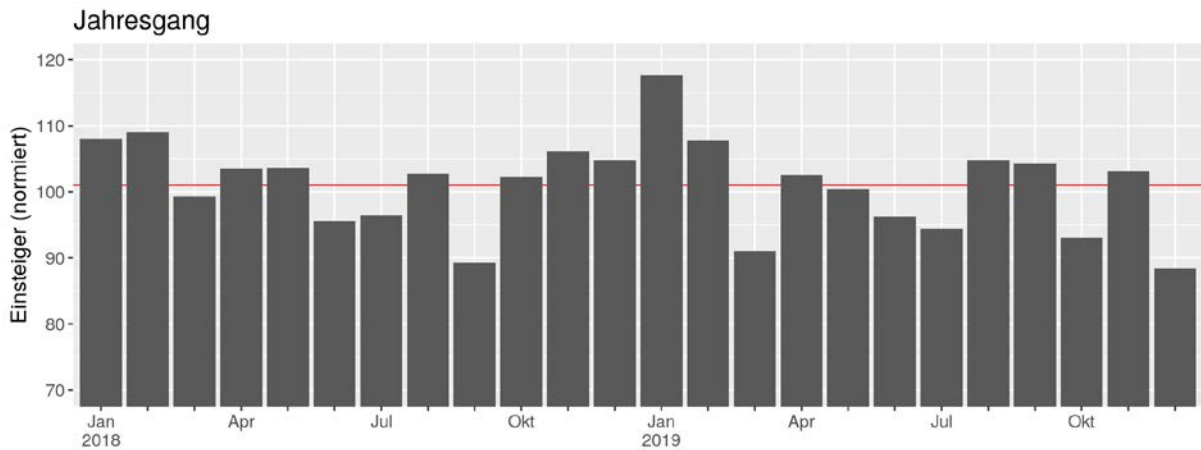


Abbildung 15 a) Mittlere tägliche Einsteigerzahl in Spandau hochgerechnet und normiert. Für alle Monate zwischen Januar 2018 und Mai 2019.

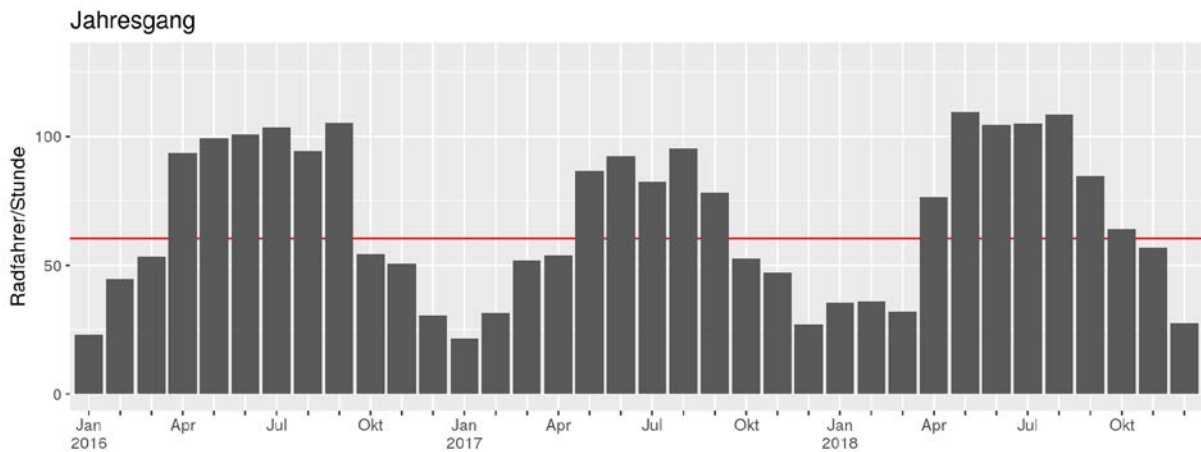


Abbildung 16: Jahresgang der an den Berliner Radzählstellen erfassten Radfahrer

Unterscheidet sich der Einfluss des Wetters zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln?

Die vorhandenen Daten erlauben einen Vergleich zwischen Fahrkarten, die im Bus gekauft wurden und solchen, die an stationären Automaten im U-Bahnhof erworben wurden. Bei der Auswertung konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verkehrsmitteln festgestellt werden. Eine Ausnahme sind jedoch die Extremwetersituationen zu denen es im ausgewerteten Zeitraum kam. So wurde während des Sturmtiefs Xavier am Donnerstag, den 5. Oktober 2017, der Busverkehr ab 17 Uhr komplett eingestellt. Lediglich die U-Bahn fuhr noch auf den unterirdischen Strecken (Abbildung 17). Von den Starkniederschlägen in Zusammenhang mit Tiefdruckgebiet Rasmus am Donnerstag, den 29. Juni 2017, war dagegen auch eine unterirdische U-Bahnstrecke betroffen. Der Verkehr auf der U9 wurde ab 10 Uhr zwischen Walther-Schreiber-Platz und Zoologischer Garten eingestellt. Dies wird jedoch durch die hohen Verkaufsstückzahlen an den anderen U-Bahnlinien mehr als ausgeglichen (Abbildung 18). Die hohen Verkaufsstückzahlen in der U-Bahn und die leicht unterdurchschnittlichen Verkaufsstückzahlen im Bus am Nachmittag des 29.6. lassen vermuten, dass die Kunden bei den hohen Regenmengen die trockenen U-Bahnhöfe den Bushaltestellen vorgezogen haben.

Für die Einsteiger ist ein Vergleich zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln aufgrund der Datenlage bisher nicht möglich.

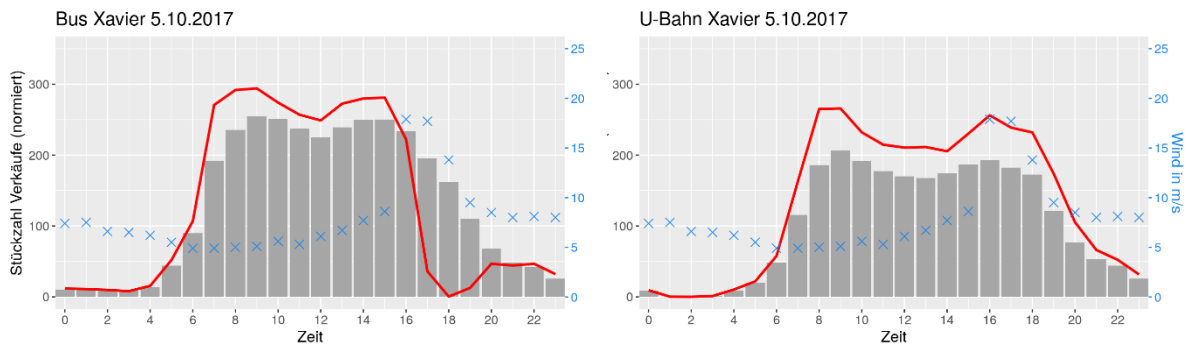


Abbildung 17: Normierte Verkaufsstückzahlen für den Bus (links) und die U Bahn (rechts) für Gesamtberlin. Graue Balken zeigen den Median für Werktage (Montag-Donnerstag) in den Übergangsjahreszeiten (März, April, Mai, September, Oktober, November). Die rote Linie zeigt den Median für den 5.10.2017. Windgeschwindigkeiten an der Station Berlin Tempelhof sind in blau angegeben.

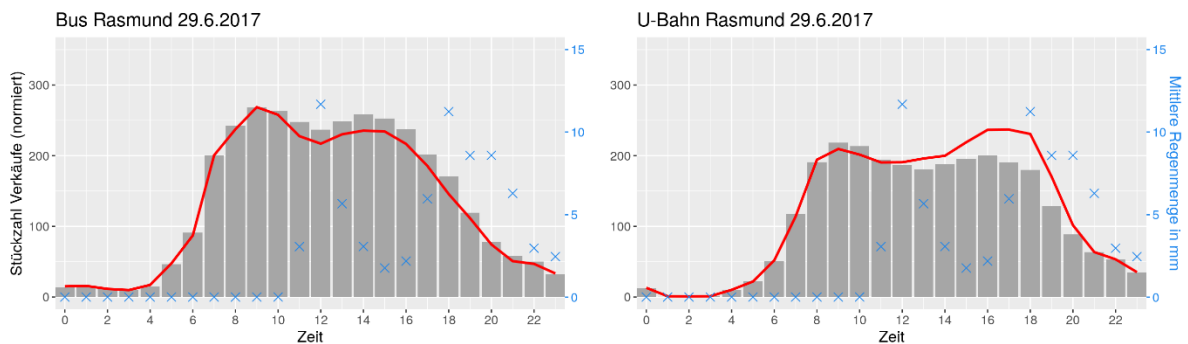


Abbildung 18: Normierte Verkaufsstückzahlen für den Bus (links) und die U Bahn (rechts) für Gesamtberlin. Graue Balken zeigen den Median für Werktage (Montag-Donnerstag) in den Sommermonaten (Juni, Juli, August). Ferientage wurden nicht berücksichtigt. Die rote Linie zeigt den Median für den 29.6.2017. Die mittlere Regenmenge im Stadtgebiet an diesem Tag wurde aus RADOLAN-Daten ermittelt und ist blau dargestellt.

Lassen sich wetterbedingte Verkaufsschwankungen vorhersagen?

Bei dieser Fragestellung spielen zwei Aspekte eine Rolle. Zum einen kann mit Hilfe von Wettervorhersagedaten untersucht werden wie gut und mit welchem Vorhersagezeitraum sich mögliche Auswirkungen des Wetters auf die Verkaufsstückzahlen vorhersagen lassen. Ein weiterer Aspekt, der untersucht werden kann ist die Auswirkung, die eine Wettervorhersage für einen bestimmten Tag auf das Nutzungsverhalten der Fahrgäste haben kann, wenn diese ihren Tagesablauf auf Basis der Vorhersagen planen (unabhängig davon, ob die Vorhersage richtig oder falsch war).

Das Potential von Wettervorhersagen

Um zu untersuchen, ob sich mit Wetterprognosemodellen Auswirkungen des Wetters auf die Verkaufsstückzahlen vorhersagen lassen, wurde ein hochaufgelöstes Ensemble historischer Wettervorhersagedaten ausgewertet (siehe Seite 7). Die maximale Vorhersagezeit des hier ausgewerteten Ensembles beträgt 21 Stunden. Für die Berechnung der Mediane (Abbildung 19) wurde für die Stunden ein Ereignis (z. B. Regen oder Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes) als prognostiziert eingestuft, in denen mehr als die Hälfte der Ensemblemitglieder um eine oder mehrere Berliner Stationen dieses Ereignis simulierten. Für Frühling, Herbst und Winter entsprechen die Variationen in den Medianen der Verkaufsstückzahlen aufgrund der Regenprognose den tatsächlich beobachteten Ergebnissen (an Werktagen ein erhöhter Fahrkartenverkauf, wenn Regen prognostiziert

wurde). Dies trifft jedoch nicht für die Sommermonate zu. Die Abbildung legt nahe, dass Regen in den Sommermonaten oft nicht korrekt prognostiziert wird. Dieses Problem der Wettervorhersage ist bekannt. In den Sommermonaten wird Regen oftmals durch konvektive Ereignisse verursacht. Diese sind kleinräumig und kurzlebig. Die genaue Eintrittszeit und der Auftrittsort können für diese Ereignisse nicht exakt vorhergesagt werden.

Besonders große Effekte auf die Verkaufsstückzahlen zeigten sich bei sehr niedrigen gemessenen Temperaturen (Abbildung 9). Diesen Effekt würde man unterschätzen, wenn man ihn mit den Rohdaten aus den Simulationen des Regionalensembles vorhersagen würde (Abbildung 20). An dieser Stelle ist es wichtig nicht zu vergessen, dass die Simulationen der Wettervorhersagemodelle anders als in dieser Auswertung noch mit Hilfe des MOS (Model Output Statistics) Verfahren aufbereitet und damit in der Regel verbessert werden, bevor sie über die Medien oder Wetter-Apps verbreitet werden. Oftmals werden dabei auch Simulationen verschiedener Modelle und statistische Verfahren kombiniert. Das Vorgehen unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Anbietern von Wetterdienstleistungen und konnte daher hier nicht allgemeingültig untersucht werden. Außerdem macht es einen Unterschied, mit welchem zeitlichen Vorlauf der Nutzer seine Fahrten plant. Je nachdem ob die Fahrt schon am Vortag oder erst am Morgen geplant wird, gehen unterschiedliche Modellsimulationen von unterschiedlichen Vorhersagemodellen in die Prognose ein was ebenfalls Auswirkungen auf die Prognosegüte hat.

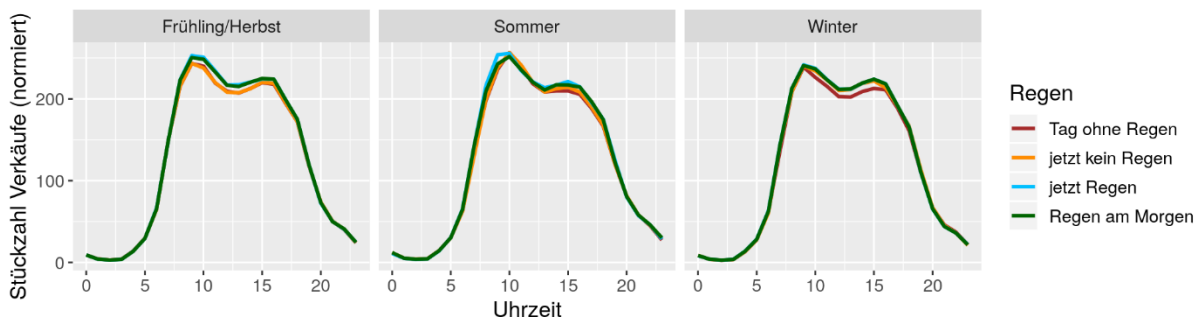


Abbildung 19: Median der Verkaufsstückzahlen in Abhängigkeit von Wetterprognosen für den Niederschlag. An Werktagen (Montag-Donnerstag)

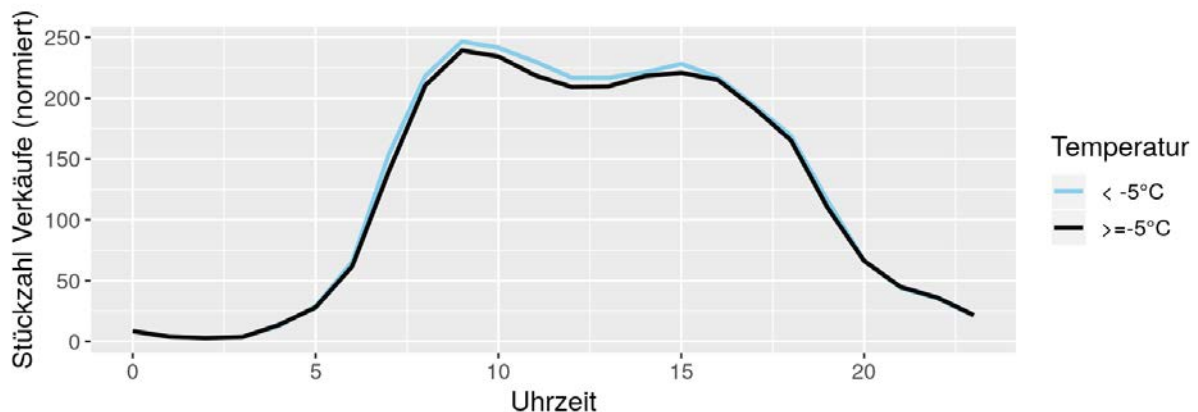


Abbildung 20: Median der Verkaufsstückzahlen in Abhängigkeit von Wetterprognosen für die Temperatur an Werktagen (Montag-Donnerstag). Blau: Median für Stunden mit Vorhersagen für eine Temperatur < -5°C. Schwarz: Median für alle übrigen Stunden.

Prognose des Nutzungsverhaltens

Welche Änderungen im Nutzungsverhalten der Fahrgäste zu erwarten sind, wenn diese ihren Tagesablauf auf Basis einer Wettervorhersage planen (unabhängig davon, ob die Vorhersage richtig oder falsch war), kann man mit Hilfe des auf Seite 9 beschriebenen statistischen Modells ermitteln.

Als Eingangsgrößen für eine Vorhersage der zu erwartenden Verkaufsstückzahlen benötigt das statistische Modell das Datum, die Uhrzeit, sowie Temperatur, Sonnenscheindauer und Regenprognose für die vorherzusagende Stunde. In welcher Art und Weise die prognostizierten Verkäufe von der Temperatur und dem Niederschlag abhängen, ist in Abbildung 21 dargestellt. Als Uhrzeit wurde für das Beispiel der frühe Nachmittag um 14 Uhr gewählt. Man sieht, dass die Anzahl der Verkäufe zu dieser Zeit an Werktagen mit steigender Temperatur zurückgeht. Wenn es regnet, werden mehr Fahrausweise verkauft als bei Trockenheit. Am Wochenende werden die wenigsten Fahrausweise bei Regen in Verbindung mit sehr warmen oder kalten Temperaturen verkauft. Jahresgang und Sonnenscheindauer beeinflussen die Verkaufsprognose ebenfalls. Wenn man für diese beiden Parameter in dem, in Abbildung 21 gezeigten Beispiel, analog zur Uhrzeit einen festen Wert auswählen würde, würde sich der Zusammenhang zwischen Temperatur und Verkaufsstückzahlen als Linie darstellen. Stattdessen zeigt Abbildung 21 einen (blau bzw. orange schattierten) Bereich, der anzeigt in welchen Rahmen sich Variationen der Sonnenscheindauer und Saison auf die Vorhersage der Verkaufsstückzahlen auswirken. Als Referenz zeigt die Abbildung zusätzlich noch die tatsächlich gezählten Verkäufe um 14 Uhr in 5° Temperaturintervallen bei Regen und Trockenheit. Der Median ist als Symbol dargestellt (Kreise: Werktage, Dreiecke: Sonntage) mit dem Maximum und Minimum aller Beobachtungen um 14 Uhr in diesem Temperaturbereich als vertikale Linie. Man kann feststellen, dass das statistische Modell die tatsächlich beobachteten Verkäufe gut abbildet.

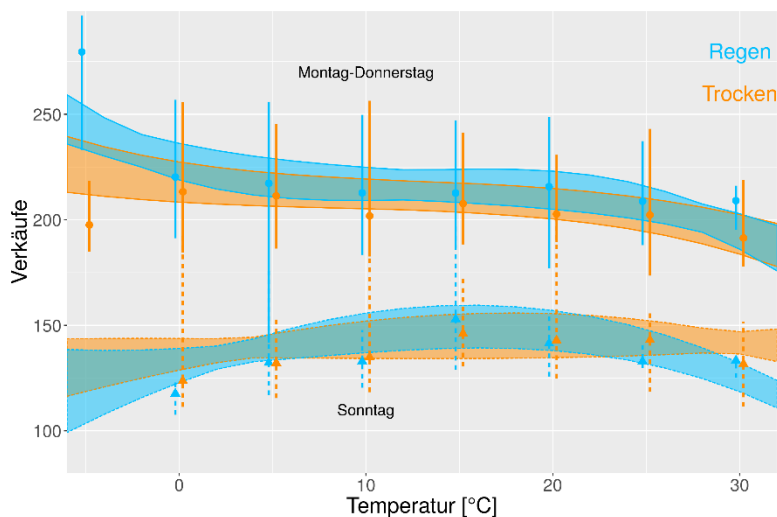


Abbildung 21 Vorhergesagte Verkaufsstückzahlen um 14 Uhr in Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlag (orange: trocken, blau: Niederschlag. Durchgezogene Linien Werktage von Montag bis Donnerstag, gestrichelte Linien Sonntage). Der Bereich zwischen der höchsten und niedrigsten möglichen Prognose aufgrund von Sonnenscheindauer und Jahresgang ist schattiert (blau und orange) dargestellt. Der Median der tatsächlichen Verkäufe in 5°C Abständen ist mit Symbolen markiert (Kreise: Werktage, Dreiecke: Sonntage) und höchster und niedrigster Wert der tatsächlichen Verkaufszahlen durch vertikale Linien visualisiert.

Welche Wetterabhängigkeit besteht auf ausgewählten touristischen, bzw. für die Freizeit genutzten Linien?

Für die über ein größeres Gebiet (Berlin, Spandau, Neukölln) gemittelten Verkaufs- und Nutzungszahlen wurde ein charakteristischer Tagesgang festgestellt, der sich aus dem Zusammenspiel von Schüler-/Ausbildungs- und Berufsverkehr sowie Einkaufs- und Freizeitverkehr zusammensetzt. Im Gegensatz dazu dient die Buslinie 312 ausschließlich dem Freizeitverkehr. Hier kann eine höhere Abhängigkeit vom Wetter erwartet werden.

Die Linie fährt nur während der Berliner Schulferien und bedient die Stationen S Nikolassee und Strandbad Wannsee (Abbildung 1). Auf dieser Linie fahren täglich zwei Busse. Zeitweise wurden im Beobachtungszeitraum auch Fahrzeuge mit Fahrgastzähleinrichtungen eingesetzt. Ausgewertet wurden Daten für die Berliner Schulferien 2018 (5.7.-17.08.2019) und 2019 (20.6.-2.8.2019). Alle Einsteigerzahlen wurden analog zu den vorherigen Auswertungen normiert.

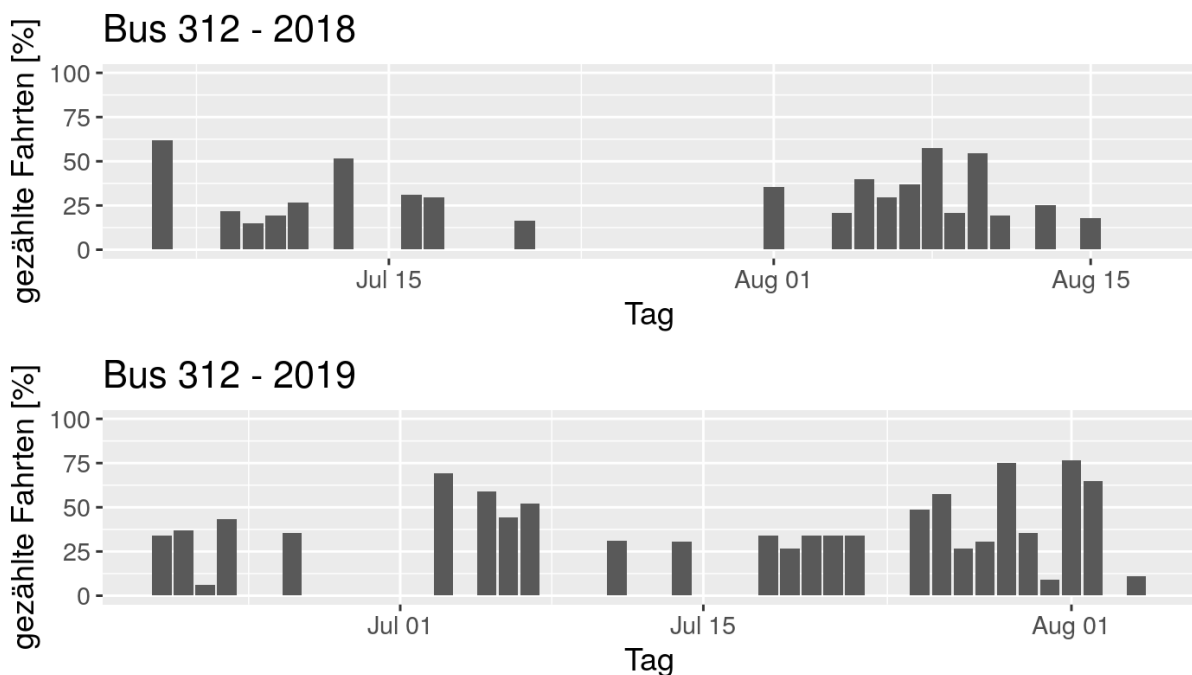


Abbildung 22: Anteil der Zählfahrten an durchgeführten Fahrten der Buslinie 312 für die Sommerferien 2018 und 2019.

Der Anteil der Zählfahrten für die Buslinie 312 in den Sommerferien ist in Abbildung 22 dargestellt. Beträgt der Anteil an gezählten Fahrten über 50%, so sind am jeweiligen Tag beide fahrende Busse mit einem Zählsystem ausgestattet gewesen.

Für meteorologische Daten wurde die Wetterstation Wannsee aus dem Berliner Stadtmessnetz genutzt. Die Station liegt direkt am Großen Wannsee auf dem Gelände des Wassersportzentrums der FUB und liegt westlich der Station S Nikolassee und südlich des Strandbades Wannsee. An der Station werden minütlich Temperatur, relative Feuchte, Niederschlagsdauer, Sonnenscheindauer, Wassertemperatur, mittlere Windgeschwindigkeit, Windrichtung und maximale Windgeschwindigkeit gemessen. Für diese Analyse wurden Temperatur, Niederschlagsdauer und Sonnenscheindauer

ausgewertet. In den Sommerferien 2018 und 2019 gab es nur wenig Niederschlag. Insgesamt gab es nur 3 Tage, an welchen sowohl Regen während der Öffnungszeiten des Strandbades Wannsee gefallen ist als auch Zählerfahrten der Linie 312 durchgeführt wurden. Diese 3 Tage liegen allesamt im Jahr 2019. An ihnen wurden sehr wenige Einsteiger gezählt (Abbildung 24).

An den meisten Wochentagen wurden Einsteiger auf mindestens 50% der Fahrten gezählt. Eine Ausnahme ist der Dienstag. Von den 12 Dienstagen in den Ferien 2018 und 2019 gab es nur an 4 Tagen Zählerfahrten. Es wurden hier also nur 1/3 der durchgeführten Fahrten gezählt.

Der Tagesgang der Einsteiger pro Bus ist in Abbildung 23 gezeigt. Es wird deutlich, dass die Rückfahrt vom Strandbad Wannsee gegen 12 beginnt und zwischen 17 bis 19 Uhr am stärksten ist. Die Hinfahrt zum Wannsee, also Einstieg an der Station S Nikolassee ist über den Tag breiter verteilt. Die höchsten Einsteigerzahlen wurden zwischen 10 und 15 Uhr verzeichnet.

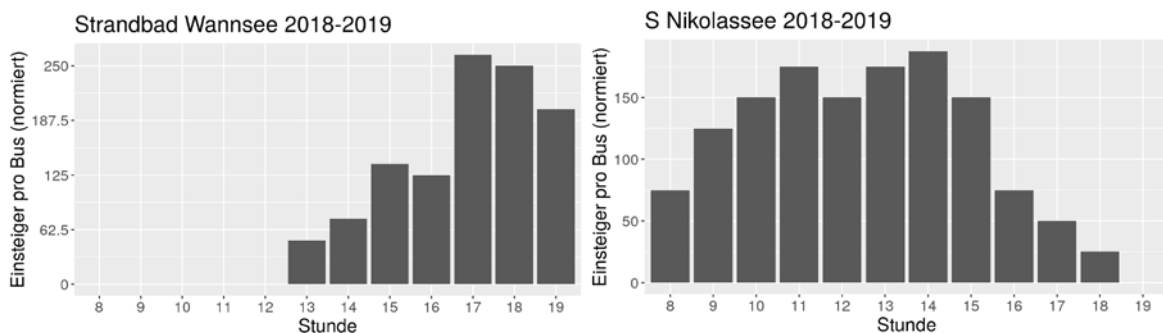


Abbildung 23: Median der Einsteiger pro Bus im Tagesgang über alle gezählten Tage für die Station Strandbad Wannsee (links) und die Station S Nikolassee (rechts)

Die Temperaturabhängigkeit der Nutzerzahlen kann anhand von Streudiagrammen visualisiert werden. Abbildung 24 zeigt den Median der Passagiere pro Bus in Abhängigkeit der Tagesmitteltemperatur für die Station S Nikolassee. Die Temperaturabhängigkeit kann quantifiziert werden, in dem man ein generalisiertes lineares Poisson Regressionsmodell an die Beobachtungen anpasst ($Einsteiger = \beta_0 + e^{\beta \cdot Temperatur}$). Das Ergebnis ist die durchgezogene Linie in Abbildung 24. Da nicht alle Nutzer des Strandbades Wannsee während der Schulferien unter der Woche Freizeit haben, kann vermutet werden, dass es in der Nutzung der Linie Unterschiede zwischen Werk- und Wochenendtagen gibt. Die Regressionslinien für Werktage (Mo-Fr, rot) liegt immer unterhalb der Regressionslinie für die Wochenenden (Sa und So, blau). An Wochenenden sind in der Regel also mehr Passagiere in Richtung Wannsee unterwegs als unter der Woche. Der Koeffizient der Poisson-Regression β kann genutzt werden, um die Änderung der erwarteten Einsteigerzahl mit steigender Tagesmitteltemperatur abzuschätzen. Wird die Temperatur um 1°C erhöht, so wird der Wert für Passagiere pro Bus mit e^β multipliziert. Für Wochenenden erhöht sich die Passagieranzahl bei 1°C höherer Tagesmitteltemperatur also um 25%, an Werktagen um 33%. An Wochenenden gibt es jedoch nur 14 Datenpunkte, unter der Woche 31. Außerdem gab es im betrachteten Zeitraum für das Wochenende nur zwei Tage mit einer Tagesmitteltemperatur über 25°C . Für die Gegenrichtung mit Station am Strandbad Wannsee wurden für e^β Werte von 1,17 für Sa-So und 1,21 für Mo-Fr errechnet. Werden alle Wochentage gemeinsam betrachtet, erhält man für e^β an der Station Nikolassee den Wert 1,27 und an der Station Strandbad Wannsee einen Wert von 1,2.

Bei 1°C höherer Tagesmitteltemperatur gibt es folglich eine 20-30% höhere Nutzung der Buslinie 312 pro Tag.

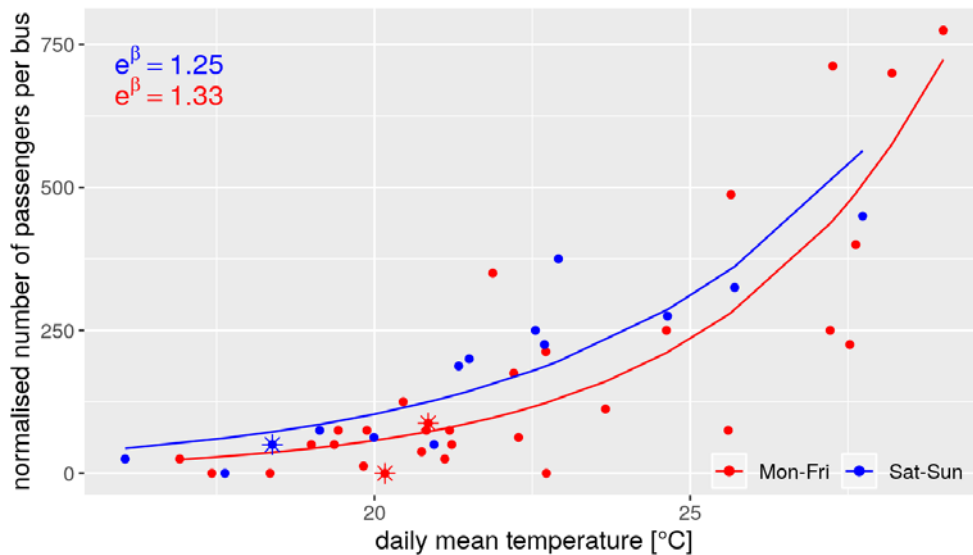


Abbildung 24: Streudiagramm für Passagiere pro Bus in Abhängigkeit von der mittleren Tagestemperatur [°C] für die Tage Montag bis Freitag (rot) und Samstag bis Sonntag (blau). Tage mit Niederschlag während der Öffnungszeiten des Strandbades Wannsees sind mit einem Stern gekennzeichnet. Das Ergebnis der Anpassung einer Regressionskurve mit dem Poisson Modell ist als Linie dargestellt.

Eine zweite Linie, die potentiell für Ausflüge und touristische Ziele genutzt wird, ist die Fährlinie F11. Sie verkehrt ganzjährig zwischen Baumschulenweg und Oberschöneweide (siehe Abbildung 1). Für die Fähre liegen Tagessummen der Nutzerzahlen für Personen und Fahrräder vom 01.01.2018 bis 31.05.2019 vor. Alle Nutzerzahlen wurden für die Darstellung normiert. Es gibt einen klaren Jahresgang in der Nutzung der Fähre mit einem Minimum von November bis März und maximaler Nutzung in den Monaten von April bis Oktober. Am Wochenende wird die Fähre häufiger genutzt als werktags.

Als meteorologischen Daten wurden hier Daten der DWD-Station Tempelhof ausgewertet. Untersucht wurden Temperatur, Sonnenscheindauer und Anzahl der Stunden am Tag, an denen es geregnet hat.

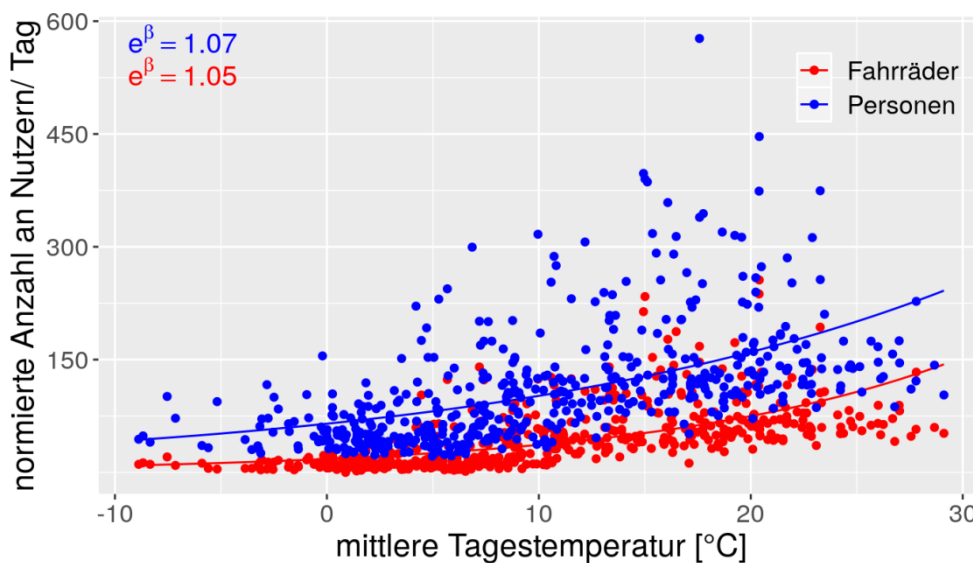


Abbildung 25: Streudiagramm der Fährnutzer pro Tag in Abhängigkeit der mittleren Tagestemperatur für Personen (blau) und Fahrräder (rot)

Die Abhängigkeit der Nutzung der Fähre für Personen und Fahrräder von der mittleren Tagestemperatur ist in Abbildung 25 gezeigt. Für beide Gruppen gibt es nur eine geringe Abhängigkeit von der mittleren Tagestemperatur. Betrachtet man die Temperaturabhängigkeit der Nutzung für das Wochenende in Abhängigkeit des Monats, sind Unterschiede für die verschiedenen Monate zu erkennen. Eine Temperaturabhängigkeit von 5-7% erhöhter Nutzung bei 1°C höherer Tagesmitteltemperatur ist in den Monaten Februar bis Mai und Oktober bis Dezember zu erkennen (Siehe Tabelle 1).

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mo-Fr	1,02	1,03	1,05	1,03	1,03	1,01	0,98	0,99	0,97	1,06	1,06	1,05
Sa-So	1,01	1,07	1,06	1,05	1,07	1,02	0,97	1,02	0,99	1,06	1,05	1,06

Tabelle 1: Werte für e^{β} für die Fähre F11 in Abhängigkeit von Monat und Wochentag.

Die Abhängigkeit von der Temperatur ist für die Fähre relativ schwach. Man erkennt unter der Woche ganzjährig eine temperaturunabhängige Nutzung, die vermuten lässt, dass die Fähre wochentags selten für Ausflüge genutzt wird. Die Abhängigkeit von der Sonnenscheindauer ist hingegen in einigen Monaten stärker. Abbildung 26 zeigt die Streudiagramme der Nutzer pro Tag in Abhängigkeit von der Sonnenscheindauer jeweils für Wochenenden in den einzelnen Monaten. Es ist in einigen Monaten eine stärkere Abhängigkeit von der Sonnenscheindauer zu erkennen als in anderen. So fahren insbesondere im Mai, August, September und Oktober bei längerer Sonnenscheindauer mehr Personen mit der Fähre. In der Gesamtnutzung der Fähre an den Wochenenden im Juni und Juli fällt auf, dass insbesondere sonntags die Fähre in diesen beiden Monaten weniger stark genutzt wird als in den Monaten April, Mai, August und September.

Bei der Anzahl an Regenstunden ist mit längerer Niederschlagsdauer eine Abnahme der Nutzer zu erkennen. Pro zusätzlicher Stunde am Tag, in der es geregnet hat, nimmt die Fährnutzung um 8% bei Personen und um 5% bei Fahrrädern ab.

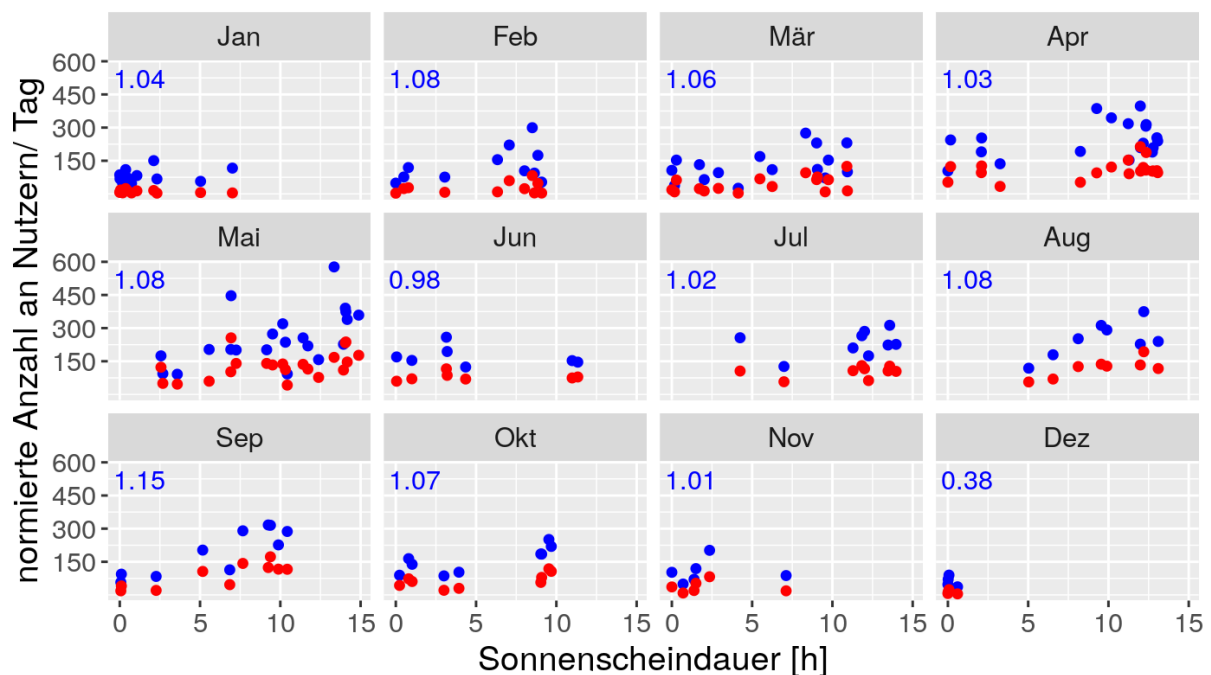


Abbildung 26: Streudiagramme für Nutzer pro Tag in Abhängigkeit der Sonnenscheindauer für Samstag und Sonntag für die verschiedenen Monate.

Insgesamt scheint die Wetterabhängigkeit der Nutzung der Fähre F11 weniger stark ausgeprägt zu sein als die der Buslinie 312. Die Fähre F11 wird an allen Wochentagen und in allen Monaten wetterunabhängig genutzt. Darüber hinaus gibt es vor allem an Wochenenden in den Frühlings- und Spätsommer- und Herbstmonaten eine verstärkte Nutzung, die vor allem mit höherer Sonnenscheindauer und teils mit höherer Tagesmitteltemperatur zunimmt.

Wie kann die Datenerfassung optimiert werden, um wetterbedingte Einflüsse auf den ÖPNV in Berlin besser untersuchen zu können?

Die zuvor beschriebenen Ergebnisse zeigen, dass sich Verkaufsstückzahlen eignen, um das Verhalten von Gelegenheitsfahrern in Abhängigkeit verschiedener Wetterbedingungen zu untersuchen. Die Ergebnisse lassen sich jedoch nicht einfach auf die größere Gruppe der Stammkunden übertragen. Um den Einfluss des Wetters auf die Stammkunden untersuchen zu können, werden Fahrgastzahlen benötigt. Die BVG hat bereits begonnen Fahrgastzahlen mit AFZ Systemen zu erfassen. Im Rahmen des Projektes haben wir exemplarisch für zwei Berliner Bezirke überprüft, ob sich diese automatischen Fahrgastzählungen für eine solche Untersuchung eignen. Es zeigte sich, dass die bisher verfügbare Zeitreihe noch zu kurz und lückenhaft für statistisch belastbare Ergebnisse ist, aber prinzipiell für eine Auswertung der wetterbedingten Variabilität der ÖPNV Nutzung geeignet ist. So entsprachen z. B. die Tagesverläufe den Erwartungen aus verkehrlicher und betrieblicher Sicht.

Die Daten aus dem AFZ System eignen sich auch für weiterführende Auswertungen. So können sie z. B. durch einen Abgleich mit Fahrplänen auch dafür verwendet werden, den Einfluss des Wetters auf die Pünktlichkeit zu untersuchen, da sie minuten- und haltestellengenau vorliegen.

Die Verwertbarkeit der Daten und Informationen kann noch verbessert werden. Dazu trägt der stetige Ausbau des Automatischen Fahrgastzählsystems der BVG zur Vergrößerung der Datenbasis bei. Es werden laufend neue Fahrzeuge mit Fahrgastzählgeräten ausgestattet. Die derzeit in Auslieferung befindlichen Elektrobusse werden zu 100 Prozent ausgestattet. Die Ausrüstungsquote der Busflotte wird sich in den nächsten Jahren deutlich erhöhen. Bei U-Bahn und Straßenbahn bleibt die Ausrüstungsquote von 25 Prozent unverändert. Da auch die Datenausbeute aus den Bestandsfahrzeugen stabilisiert werden konnte, wird in Zukunft für weitere Untersuchungen auf der Nachfrageseite eine solide Datenbasis verfügbar sein. Um die Abhängigkeit von Wetter und ÖPNV-Nachfrage statistisch sicher abzubilden trägt bereits die Verlängerung der Datenreihe bei, die die Stichprobengröße für verschiedene Wetterereignisse erhöht (insbesondere die Zahl an Regentagen hat seit Herbst 2019 zugenommen).

Wie können Wetterinformationen im ÖPNV genutzt werden?

Kurz- und mittelfristiger Nutzen der Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchung konnte eine Abhängigkeit zwischen der Anzahl der verkauften Fahrscheine zu Wetterereignissen in den Untersuchungsgebieten statistisch sicher nachgewiesen werden. Dies betrifft zum einen sehr hohe (um 28°C) bzw. niedrige Temperaturen (kleiner als -2°C), die sich auf die Ticketverkäufe im ÖPNV der BVG einerseits in zurückgehenden, andererseits in steigenden Verkaufsstückzahlen auswirken. Die Größenordnungen der Auswirkungen können zu bestimmten Tageszeiten bis zu 40% erreichen (siehe Abbildung 11).

Ausgehend von den in Omnibussen der BVG gezählten Ein- und Aussteigerzahlen konnten Anzeichen auf einen Zusammenhang zwischen ÖPNV-Nachfrage und Wetterereignissen identifiziert, aber aufgrund der Datenlage infolge zu weniger Regentage bzw. unzureichender Anzahl von Zählergebnissen an Regentagen nicht statistisch sicher nachgewiesen werden.

Der ansatzweise Einfluss von Regen auf die Einsteigerzahlen im nachmittäglichen Verkehr zeigen Möglichkeiten auf, in naher Zukunft zu bestimmten Verkehrszeiten eine Steuerungsfunktion auszuloten. Hieraus kann sich ein intelligenter Ansatz für die Fahrzeugdisposition entweder netzweit oder auch nur auf ausgewählten Linien folgern lassen. In der Kombination mit einem heterogenen Fahrzeugpark und einer hinreichend belastbaren Voraussage für das Wetterereignis „Regen“ könnte ein Fahrzeugdisponent eines Betriebshofes unter der Voraussetzung frei verfügbarer Fahrzeuge, was eher in Ausnahmefällen gegeben sein dürfte, einen ökonomisch sinnvolleren Fahrzeugeinsatz gestalten. Unter dem Eindruck der Verkehrswende ist auch der zunehmende Einsatz von Elektromobilmfahrzeugen zu bedenken. Deren Durchdringung im Fuhrpark wird nur schrittweise erfolgen und bei geringerer Fahrzeugreichweite zu einem höheren Dispositionsaufwand führen müssen. Die sich ergebenden Zielkonflikte wären dann optimal aufzulösen, sofern die Einwirkung der Wettereffekte auf die Nachfrage abzubilden ist.

Die gewonnenen Erkenntnisse können im ÖPNV nutzbringend Verwendung finden. Im Folgenden sind dazu Beispiele aufgeführt, ohne dass mit der Darstellung der Anspruch auf Vollständigkeit verbunden ist.

- Fahrzeugdisposition

Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt ist mit einer Zunahme der Fahrgastzahlen im ÖPNV zu rechnen. Bei ausreichender Fahrzeugreserve könnten bei sinkenden Temperaturen gezielt größere Fahrzeuge zum Einsatz kommen, um die erwartete, größere Fahrgastnachfrage abzudecken. Wenn dazu aufgrund optimierter Fahrzeugbestände zu Hauptnachfragezeiten nicht die Möglichkeit besteht, könnte dieses Erkenntnis zu nachfrageschwächeren Zeiten, z. B. am Wochenende, der Attraktivitätssteigerung des ÖPNV-Angebotes dienen, indem beispielsweise kurze Fahrzeuge durch längere ersetzt werden. Entsprechend könnten Züge des Schienenpersonennahverkehrs gestärkt werden.

Im Fall steigender Temperaturen käme eine Schwächung der Fahrzeugkapazitäten in Frage, nicht jedoch bei Ausflugs- und insbesondere Bäderverkehren die dann eher stärker nachgefragt werden.

Die Grenzen der Flexibilität herkömmlicher ÖPNV-Systeme werden vor allem auch durch die Dienstplangestaltung für das Fahrpersonal gesetzt. Dienstpläne werden mehrere Wochen im Voraus erstellt, mitbestimmt und festgesetzt. Die vorausschauende Planung erfolgt über einen Zeitraum, der deutlich größer ist, als der Zeitraum, in dem verlässliche Wetterprognosen erstellt werden können. Dieser hängt von der Wetterlage ab und liegt bei 5-10 Tagen. Selbst bei größter Sicherheit eintretender Wetterprognosen könnte ein Verkehrsunternehmen nur in Ausnahmefällen auf derart kurzfristige Ereignisse durch zusätzliche Fahrten oder die Ausdünnung des Fahrplans reagieren, zumal Letzteres dem Kunden kaum erklärbar wäre und der Zustimmung des Aufgabenträgers bedürfte.

Im Hinblick auf autonome Nahverkehrssysteme ergäben sich vielfältige Möglichkeiten der Fahrzeugdisposition, da die Abhängigkeit des Fahrzeugeinsatzes von der Dienstplangestaltung entfällt. So könnten bei nachfragesteigernden Wetterereignissen nicht nur Fahrzeuggrößen variiert, sondern bei ausreichenden Fahrzeugreserven operativ zusätzliche Fahrtmöglichkeiten angeboten werden.

- Fahrgastlenkung

Sowohl bei konventionellen wie auch bei innovativen, fahrerlosen Verkehrssystemen könnten die gewonnenen Erkenntnisse bei der Fahrgastlenkung Berücksichtigung finden. Mit der elektronischen Fahrplanauskunft könnten durch Wetterereignisse absehbare Überlastungen der Verkehrssysteme abgemildert werden. Dazu könnten die Fahrgäste von erfahrungsgemäß ohnehin stark nachgefragten Verbindungen auf andere Wege umgeleitet werden. Erfolgt dies für den

Kunden nachvollziehbar, so bestünde unter Umständen die Bereitschaft, gewohnte Wege in dann stark ausgelasteten Fahrzeugen auf alternativen, weniger nachgefragten Routen zu umfahren und bequemer zum Fahrtziel zu gelangen.

Nutzbarmachung für langfristige Konzepte

Es steht zu vermuten, dass neben weiteren Einflussgrößen, die nicht entdeckt oder datengestützt operationalisiert werden konnten, bereits die hohe Basisnachfrage in einen Ballungsraum wie Berlin an sich zu dispersen Ergebnissen führt.

Für die Ableitung von Strategien im ÖPNV bedeutet dies aber auch, dass immerhin ein geringer Teil der Nachfrage erklärt werden kann. Ein kleiner Teil der Nachfrage kann im subjektiven Erlebnis stark nachgefragter Linien oder auch in speziellen Zeitfenstern geographisch höherer Rangordnung eine bedeutende individuelle Dimension einnehmen. So reagieren verschiedene Zielgruppen auf ein „Zunahekommen“ in vollen bzw. überfüllten Fahrzeugen mit Unbehagen, sobald die individuell determinierte Intimsphäre beeinträchtigt wird. Bereits eine leichte Verringerung der Fahrgastdichte kann somit für diese Zielgruppen zu einem verbesserten Erlebnis führen.

Insofern muss es das Ziel sein, den Wettereinfluss trotz seiner nur tendenziellen Auswirkung möglichst weit operationalisierbar zu machen im Sinne eines Marketing Pushes. Eine Operationalisierung kann beispielsweise bestehen, wenn nicht das Wetter an sich, sondern die bzw. eine relevante Information über das Wetter genutzt werden kann, um Verkehrsnachfrage zu steuern. Informationsrezipient ist dann eine noch nicht definierte Zielgruppe, die auf diesen operationalisierten Wetter-Stimulus reagieren sollte. Gemäß vorliegender Forschung ist der Gelegenheitsfahrer des ÖPNV eine zu grobe Beschreibung für diese Zielgruppe. Anderenfalls hätte sich ein deutlicherer Zusammenhang feststellen lassen müssen.

Möglicherweise und hier bislang nicht erforschbar besteht eine hinreichende Kongruenz der Zielgruppen, also einerseits der geringe Anteil von Kunden mit stimulierbaren Bedarfsverkehren und den während der Stoßzeiten im subjektiven Fahrerlebnis beeinträchtigten Personen.

Insbesondere die hohe Basisnachfrage, die eben dazu geführt haben mag, nur tendenzielle Ergebnisse festgestellt zu haben, führt im Gegenzug aber auch zu anderweitigen Überlegungen. Schließlich kann sich die Ergebnisverwertung damit auch in die andere Richtung bewegen. Während im Kerngeschäft der Hauptverkehrszeiten wetterbedingte Überlastungen vermieden werden wollen und sollen, ist es ebenso denkbar, in Schwachverkehrszeiten unnötige und unwirtschaftliche Unterlastungen zu vermeiden. Soweit der ökonomische Gedanken. Allerdings besteht dieser Vermeidungsgedanke auch unter ökologischen Aspekten.

Derartige Situationen treten neben den freizeitdominierten Nebenverkehrszeiten des ÖPNV insbesondere nachts auf. Während die grundsätzliche Frage gestellt werden kann, ob weniger Angebot ebenso wenige Fahrgäste bewirkt oder anders herum, eine geringe Nachfrage wenig Angebot nach sich zieht - beide Hypothesen laufen darauf hinaus, das nächtliche Schwachverkehre mit einem betriebswirtschaftlichen Defizit einhergehen. Wenn gleichermaßen nicht von einem Market Pull ausgegangen werden kann – gegebenenfalls in der Folge einer fehlenden zentrierten Marktmacht durch Konsumenten - so ergibt sich automatisch der Gestaltungsbedarf für einen Marketing Push. Dabei muss selbstverständlich davon ausgegangen werden, dass ein kurzfristiger Bedarf flexibler gestaltet werden muss, als es heute im Rahmen der nächtlichen Fahrzeugdisposition oder auch der Verfügbarkeit der Fahrzeugflotte möglich ist.

Eine Umsetzung innerhalb einer App scheint sinnvoll, gleichwohl hier aber Limitierungen bestehen. Eine Limitierung ist dadurch gegeben, dass ÖPNV-Ticket-Apps im Berliner ÖPNV ausschließlich Tickets

aus dem konventionellen Bartarif verkaufen dürfen. D. h. vor allem die relevanten Abonnements sind in diesen Apps aktuell nicht zugelassen und somit die Nutzung nicht nachvollziehbar. In nahezu allen deutschen Metropolregionen, deren ÖPNV-Abonnementquoten in den vergangenen Jahren exponentiell gestiegen sind, bedeutet dies folglich, dass nur bis zu einem Drittel der ÖPNV-Kunden erreicht werden können. Insofern wichtig wäre somit eine über die reine ÖPNV-Nutzung hinaus gehende Mobilitäts-App, die ein anderes Publikum mit weiteren Bedürfnissen an Mobilitätsleistungen wie Leihfahrräder, Roller u. w. anspricht oder auch über die zusätzlichen Mobilitätspakete diese ergänzende Mobilität von ÖPNV-Abonnenten berücksichtigen kann. Derartige Einflüsse bzw. Rückschlussmöglichkeiten auf Gemeinsamkeiten in der Zielgruppe konnten vorliegend nicht untersucht werden.

Ausblick

Während der Projektlaufzeit wurden einige Ideen für zukünftige Forschungsprojekte entwickelt. Diese setzen an Wissenslücken an, die innerhalb des vorliegenden Projektes identifiziert, aber nicht geschlossen werden konnten. So wäre es beispielsweise wünschenswert, die Auswertung der Wetterabhängigkeit der ÖPNV Nachfrage zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal zu aktualisieren, wenn längere Zeitreihen der Fahrgastzahlen vorliegen. Auch eine gezielte Auswertung von extremen Wetterereignissen könnte dann möglich werden.

Prüfungswert erscheint im Rückblick auch die These, dass Mobilität durch eine Wettervorhersage innerhalb einer Ticket-App kontrolliert verändert werden kann. Dies könnte Gegenstand eines größer angelegten Folgeprojektes sein. Welche gegenüber Endkunden kommunizierbaren Wetterparameter sich signifikant auf die Mobilität auswirken ist durch die vorliegenden Ergebnisse nun bekannt. Folglich könnte eine Operationalisierung dergestalt vorgenommen werden, diese in eine kundenrelevante App zu übertragen. Dabei kann es sogar dahin gestellt bleiben, ob diese App letztlich eine reine ÖPNV-App sein muss, oder ob darüber auch weitere Modes, wie das Fahrrad, abgebildet und stimuliert werden können. Erfasst wären somit die im Berliner Stadtbild zu entdeckenden Mobility Hubs. Ein entsprechend höherer Aufwand für die Programmierung der Parameter sowie Gestaltung in kundennaher Form ist diesbezüglich anzunehmen. Um Ergebnisse möglichst mit geringer Varianz zu erheben, würde sich zudem ein Testkundenverfahren für eine solche App oder App-Variation anbieten. Darüber könnten in einer einzigen Datenquelle die relevanten Wetterparameter in standardisierter Form sowie die Verkehrsnachfrage, ebenfalls in entsprechend standardisierter Form, erhoben werden. Es entfielen der Ansatz, unabhängige und nicht vollständige Datenreihen zu vergleichen.

Darüber hinaus wäre es wohl empfehlenswert, derartige Forschungsansätze in Bedienungsformen zu verfolgen, die heute unter den Vorbehalt der Experimentalklausel des Personenbeförderungsgesetzes fallen, soweit es möglich ist. D. h. App-gesteuerte bzw. nachgefragte Bedarfsverkehre zu untersuchen, die außerhalb der klassischen durch den Berufsverkehr bestimmten Nachfrage entstehen und im Hinblick auf die ebenso App-gestützte Wetterprognose und oder Wetterereigniseintritt kontrolliert werden können. Neben städtischem Verkehr liegt damit auch ländlicher Verkehr auf der Hand.

Damit gewonnene Erkenntnisse wären nicht ausschließlich im betriebswirtschaftlichen Kontext eines Verkehrsunternehmens zu bewerten. Durch die zunehmende Regeldichte von Verkehrsverträgen tragen schließlich derartige Optimierungsansätze zu einer optimierten Steuermittelverwendung im Rahmen derartiger Verträge bei. So könnten letztlich die Vorteile aus Fahrgastsicht und Aufwandsoptimierung kombiniert werden.

Auch vor dem Hintergrund des Klimawandels sind die erzielten Ergebnisse von Bedeutung. Der ÖPNV wird künftig aufgrund seiner Umweltverträglichkeit stark ausgebaut werden müssen, um die zu erwartende Nachfrage abzudecken. Die durch das Wetter hervorgerufenen Schwankungen werden

gemessen an dem zu erwartenden Fahrgastzuwachs vergleichsweise unbedeutend sein. Dennoch ist eine wichtige Erkenntnis, dass steigende Temperaturen tendenziell zu einer Entlastung des ÖPNV führen werden, während Ausflugsverkehre unter Umständen noch stärker als heute nachgefragt sein werden, also in ihrer Bedeutung für die Angebotsplanung zunehmen werden.

Veröffentlichung von Ergebnissen und Daten

Die Kernergebnisse der Studie wurden für eine wissenschaftliche Veröffentlichung aufbereitet und bei der Zeitschrift *Environmental Research Letters* für die Sonderausgabe „Focus on Transport and the Environment“ publiziert (Nissen et al 2020, *Environ. Res. Lett.* <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab8ec3>)

Ein Fachaustausch und die Präsentation von Projektergebnisse erfolgten auf den folgenden Veranstaltungen:

- DACH Meteorologen-Tagung, Garmisch-Partenkirchen, März 2019
- mFUND Fachaustausch „Wetterdaten“, Offenbach am Main, Mai 2019
- European Meteorological Society, Kopenhagen September 2019
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EMS2019/EMS2019-617.pdf>
- mFUND Konferenz „Datenimpulse für smarte Mobilität“, Berlin, September 2019
- mFUND Fachaustausch „Fahrgastdaten und –information“, Berlin, März 2020

Da für das Projekt keine neuen Daten erhoben, sondern nur vorhandene Daten ausgewertet wurden, erfolgte keine Bereitstellung von Daten in der mCLOUD.

Erfolg des Projektes und Verwendung von Projektmitteln

Es wurden alle im Projektantrag formulierten Fragestellungen erfolgreich untersucht. Dabei wurden Auswertungen in einem deutlich größeren Umfang vorgenommen als ursprünglich vereinbart. So sah der Projektantrag ausschließlich die Auswertung von Verkaufserlösen vor. Statt zusätzlich nur Strategien zur Erfassung von Fahrgastzahlen zu entwickeln haben wir die stichprobenartig bereits verfügbaren Fahrgastzählungen direkt ausgewertet und konnten so ihr Potential für zukünftige Untersuchungen demonstrieren. Des Weiteren konnten wir durch die zusätzliche Auswertung der Daten von Fahrradzählstellen einige Thesen zum Fahrgastverhalten überprüfen.

Die Projektmittel wurden zu 97% für die Bezahlung des Personals verwendet. Hinzu kamen Reiskosten für die Präsentation von Projektergebnissen auf Fachkonferenzen.

Literaturverzeichnis

Adorf, L., Klemm, O., Rose, P. & Jöne, S. (2019). Einfluss des Wetters auf die Fahrgastzahlen, Einflussfaktoren auf die Nutzung des ÖPNV in Münster, *Der Nahverkehr* 4.

Arana, P., Cabezudo, S. & Penalba, M. (2014). Influence of weather conditions on transit ridership: A statistical study using data from Smartcards, *Transportation Research Part A-Policy and Practice* 59: 1–12.

Chagnon, S. A. (1996). Effects of summer precipitation on urban transportation, *Climatic Change* 32: 481–494.

Chen, M., Liu, X., Xia, J., & Chien, S. I. (2004). A Dynamic Bus-Arrival Time Prediction Model Based on APC Data. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19(5), 364-376.

- Chen, M., Yaw, J., Chien, S. I., & Liu, X. (2007). Using automatic passenger counter data in bus arrival time prediction. *Journal of Advanced Transportation*, 41(3), 267-283.
- Cools, M., & Creemers, L. (2013). The dual role of weather forecasts on changes in activity-travel behavior. *Journal of Transport Geography*, 28, 167-175.
- Csiszár, C., & Sándor, Z. (2017). Method for analysis and prediction of dwell times at stops in local bus transportation. *Transport*, 32(3), 302-313.
- Guo, Z., Wilson, N. H. M. & Rahbee, A. (2007). Impact of weather on transit ridership in Chicago, Illinois, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2034: 3–10.
- Hofmann, M., & O'Mahony, M. (2005). The impact of adverse weather conditions on urban bus performance measures. In *Intelligent Transportation Systems, 2005. Proceedings. 2005 IEEE* (pp. 84-89). IEEE.
- Kalkstein, A. J., Kuby, M., Gerrity, D., Clancy, J. J. & James, J. (2009). An analysis of air mass effects on rail ridership in three US cities, *Journal of Transport Geography* 17: 198–207.
- Kamga, C., Yazici, M. A., & Singhal, A. (2013). Hailing in the rain: temporal and weather-related variations in taxi ridership and taxi demand-supply equilibrium. In *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting* (No. 13-3131).
- Khattak, A. J., & De Palma, A. (1997). The impact of adverse weather conditions on the propensity to change travel decisions: a survey of Brussels commuters. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 31(3), 181-203.
- Koetse, M. J., & Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(3), 205-221.
- Nankervis, M. (1999). The effect of weather and climate on bicycle commuting. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 33(6), 417-431.
- Sabir, M. (2011). *Weather and travel behaviour*. Amsterdam: VU University.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (2019a). Zahlen und Fakten zum Verkehr, http://www.berlin.de/senuvk/verkehr/politik_planung/zahlen_fakten/mobilitaet_2013/. Letzter Zugriff: 15. November 2019.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (2019b). Automatische Dauerkontrollstellen für den Radverkehr in Berlin, <https://www.berlin.de/senuvk/verkehr/lenkung/vlb/de/radzaehlungen.shtml>. Letzter Zugriff 15. November 2019.
- Singhal, A., Kamga, C., & Yazici, A. (2014). Impact of weather on urban transit ridership. *Transportation research part A: policy and practice*, 69, 379-391.
- Stover, V. W., & McCormack, E. D. (2012). The impact of weather on bus ridership in Pierce County, Washington. *Journal of Public Transportation*, 15(1), 6.
- Tao, S., Corcoran, J., Rowe, F. & Hickman, M. (2018). To travel or not to travel: Weather is the question. *Modelling the effect of local weather conditions on bus ridership*, *Transportation Research Part C* 86: 147167.

UFZ (2019). Entwicklung der Dürre 2018, <https://www.ufz.de/index.php?de=44429>, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, letzter Zugriff 30.1.2020.

Weigl, E. & Winterrath, T. (2009). Radargestützte Niederschlagsanalyse und vorhersage (RADOLAN, RADVOR-OP), *promet* 35: 78–86.

Zhou, M., Wang, D., Li, Q., Yue, Y., Tu, W., & Cao, R. (2017). Impacts of weather on public transport ridership: Results from mining data from different sources. *Transportation research part C: emerging technologies*, 75, 17-29.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AFZG	automatische Fahrgastzählgeräte
AÖR	Anstalt des öffentlichen Rechts
BVG	Berliner Verkehrsbetriebe AÖR
GLM	generalisiertes lineares Regressionsmodell
MOS	Model Output Statistics
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
VBB	Verkehrsverbund Berlin-Brandenburg

Anlage: Erfolgskontrollbericht

Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Im Projekt ÖPNV-Wetter wurden sowohl **Mobilitätsdaten** (Verkäufe von Fahrausweisen und Fahrgastzählungen) als auch **Wetterdaten** ausgewertet und miteinander verknüpft. Im Rahmen einer **Machbarkeitsstudie** wurde untersucht, ob sich Verkaufsdaten von Fahrausweisen, die bei der BVG lückenlos sowie zeitlich und räumlich hoch aufgelöst vorliegen, stellvertretend für Fahrgastzählungen verwenden lassen. Sowohl die Art der untersuchten Daten als auch Ihre Verwendung in einem neuen Kontext gehören zu den förderpolitischen Zielen von mFUND.

Wissenschaft-technisches Ergebnis und gesammelte wissenschaftliche Erfahrungen

Wir konnten zeigen, dass die Verkaufsstückzahlen von Einzel- und Tagesfahrscheinen die ÖPNV Nutzung von Gelegenheitsfahrern in Berlin abbilden. Das Verhalten dieser Nutzergruppe zeigt statistisch signifikante Reaktionen auf verschiedene Wetterbedingungen, die in dem Projekt quantifiziert werden konnten. Das Nutzerverhalten in Abhängigkeit von Wetter, Datum und Uhrzeit lässt sich mit Hilfe statistischer Modelle prognostizieren. Um die Abhängigkeit des Nutzerverhaltens der größeren Gruppe der Stammkunden vom Wetter untersuchen zu können, eignen sich die Zählungen aus den AFZ Systemen. Allerdings ist die Datenbasis bisher nicht ausreichend für statistisch belastbare Ergebnisse.

Fortschreibung des Verwertungsplans

Es konnte eine Reihe von Nutzungsmöglichkeiten für die erzielten Ergebnisse identifiziert werden, die zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und/oder der Kundenzufriedenheit beitragen können. Bevor man diese umsetzt, ist es jedoch sinnvoll zunächst die Datenlage bei den Fahrgastzählungen zu verbessern, um Entscheidungen auf einer statistisch belastbaren Datengrundlage treffen zu können. Ein Antrag auf ein Anschlussprojekt in Förderphase 2 von mFUND wurde daher zu diesem Zeitpunkt nicht gestellt.

Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben entfällt

Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die Ergebnisse wurden bereits im Rahmen von Fachkonferenzen und auf mehreren Expertenworkshops vorgestellt. Es bietet sich an, den Dialog mit Fachkreisen aufrecht zu erhalten und die Ergebnisse auch auf zukünftigen Fachveranstaltungen zu präsentieren. Eine Veröffentlichung der Projektergebnisse in einer frei zugänglichen Fachzeitschrift ist erfolgt, um die Ergebnisse einem möglichst großen Interessenskreis verfügbar zu machen.

Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Beim Zeitplan gab es keine Abweichungen zum Projektantrag. Die Zuwendungen wurden wie geplant überwiegend für Personal verwendet. Auf Seiten des Projektpartners BVG fielen die Buchungen geringer als erwartet aus, da die Datenaufbereitung sowie die Ergebnisanalyse und -auswertung weniger aufwändig als geplant waren.

Leider durften wir die Fördermittel nicht kostenneutral in das nächste Kalenderjahr übertragen, so dass wir die Veröffentlichung der Projektergebnisse in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung nicht wie geplant aus mFUND Mitteln bezahlen konnten.