start2park – Parksuche erfassen, verstehen und prognostizieren

Endergebnisse - 01.12.2023

© Bild: Fluxguide

Autoren: Prof. Dr. Tobias Hagen, Siavash Saki (M. Eng.)

Kontakt: thagen@fb3.fra-uas.de

www.relut.de

www.start2park.eu

Diese Ergebnisse basieren auf dem durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr im Rahmen der Förderlinie „mFUND“ geförderte Projekt *„start2park - Parksuche erfassen, verstehen und prognostizieren. Smarte Nutzung von Trackingdaten zur Entwicklung eines Erklärungs- und Prognosemodells für die Parksuchdauer“*.

Projektkonsortium:

Frankfurt University
of Applied Sciences
Research Lab for Urban
Transport (ReLUT)
Nibelungenplatz 1
60318 Frankfurt

Prof. Dr. Tobias Hagen
Mail: thagen@fb3.fra-uas.de
FKZ: 19F2114A

Fluxguide GmbH

Kandlgasse 15
A-1070 Wien

André Seirafi
Mail: andre@fluxguide.com
FKZ: 19F2114B

Bliq GmbH

Mariendorfer Damm 1
12099 Berlin

Julian Glaab
Mail: julian.glaab@bliq.ai
FKZ: 19F2114D

Hinweis: Bei diesem Bericht handelt es sich um gekürtze Fassung des Sachberichts, der bei der Technische Informationsbibliothek (TIB) verfügbar ist. Hier wird ein starker Fokus auf die Arbeiten des ReLUT gelegt.

Kurzfassung

Über die start2park-App wurde erstmals die Parkplatzsuche von Autofahrer*innen detailliert aufgezeichnet. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr im Rahmen der Förderlinie „mFUND“ gefördert. Dieser Bericht legt die Ergebnisse dieser Datenerhebung sowie des Prognosemodells zur Erkennung von Parkplatzsuche vor, die von August 2021 bis August 2023 lief.

Die Auswertungen der Trainingsdaten (Kapitel 6) sind zunächst mal nicht hochgerechnet, sodass repräsentative Aussagen eigentlich nicht möglich sind. Es ergeben sich dennoch relevante Erkenntnisse. Zusammenfassend lässt sich feststellen:

- Auf den ersten Blick und im Mittel der aufgezeichneten Fahrten ist Parkplatzsuche kein massives Problem, außer bei einer begrenzten Anzahl Betroffener bzw. Fahrten. Wenn Nutzende der start2park-App eine Autofahrt beginnen, müssen sie im Durchschnitt damit rechnen, 01:25 Minute für die Parkplatzsuche und 01:09 Minuten für die anschließende Fußwegdauer zum finalen Ziel zu brauchen. Wenn die Nutzenden bereits wissen, dass sie mit einer Parkplatzsuche rechnen müssen (wenn also der Fokus auf die 82% der Fahrten mit einer Parkplatzsuche gelegt wird), dann wird die Parkplatzsuchdauer im Durchschnitt 01:44 Minuten und die Fußwegdauer 01:15 Minuten betragen. Die entsprechenden durchschnittlichen Wege sind knapp 275 Meter für die Parksuchstrecke und 106 Meter für den anschließenden Fußweg.
- Diese Durchschnittswerte werden stark von eher wenigen, sehr langen Parkplatzsuchen beeinflusst. Daher ist es sinnvoll, den Median (50% Quantil) zu betrachten, der die Dauer einer mittleren Parkplatzsuche abbildet, wobei jeweils die Hälfte der Suchdauern kürzer bzw. länger ist. Unter Fahrten mit Parkplatzsuche, beträgt die mittlere (Median-)Suchdauer 00:50 Minuten. 80% der Parksuchvorgänge dauern länger als eine halbe Minute, aber nur 26% länger als 02:00 Minuten. Länger als 03:00 Minuten dauern 15% und länger als 5:00 Minuten nur 6% der Parkplatzsuchen.
- Diese Werte für die Parkplatzsuche unterscheiden sich stark nach fahrt- und fahrerbezogenen Merkmalen. So sind die Dauern in Innenstadtlagen von Metropolen deutlich länger (im Mittel 5-6 Minuten), während die Parkplatzsuche im ländlichen Gebiet nahezu irrelevant ist. Zudem haben die Uhrzeit, der Fahrzeugtyp sowie das Alter der Personen großen Einfluss. Ältere Menschen versuchen offenbar von vorneherein sowohl die Parkplatzsuche als auch längere Fußwege zu meiden.
- Die Fahrer*innen beginnen die Parkplatzsuche im Mittel (Median) in 84m Luftlinienentfernung zum finalen Ziel Ihrer Reise. Bei den 82% der Fahrten, die wirklich mit einer Parkplatzsuche verbunden sind, sind es 104m Luftlinie.
- Die tatsächlich gefundenen Parkplätze sind näher am finalen Ziel: Die Luftlinie zwischen dem Parkplatz und dem finalen Ziel beträgt im Mittel (Median) ca. 63m. Allerdings sind 5% der Luftlinien länger als 244m. Die tatsächliche zurückgelegte Fußwegstrecke zwischen dem geparkten Fahrzeug und finalen Ziel beträgt im Mittel (Median) aber 96m.
- Fahrzeuge stellen während der Parkplatzsuche ein Verkehrshindernis dar: Deren Durchschnitts-geschwindigkeit beträgt nur 9 km/h.

Nachdem nun das entwickelte Prognosemodell zur Erkennung von Parkplatzsuche auf große GPS-Daten von PKWs in Frankfurt im Jahr 2019 angewendet wurde, kann man Ergebnisse erhalten, die näher an der Repräsentativität sind (Kapitel 9):

- Wenn Autofahrende, die in Daten enthalten sind, eine Autofahrt beginnen, müssen sie gemäß des Modells im Durchschnitt damit rechnen, 1:30 Minute für die Parkplatzsuche zu brauchen.
- In dem Datensatz zeigt sich, dass 67% der Fahrten mit einer Parkplatzsuche verbunden sind. Für diese beträgt die Parkplatzsuchdauer im Durchschnitt 2:15 Minuten. Bei diesen beträgt der anfängliche Suchradius im Durchschnitt 143 Meter.
- Unter den 67% Fahrten mit Parkplatzsuche, beträgt die mittlere (Median-)Suchdauer 0:42 Minuten. 25% der Suchen dauern länger als 3:30 und 5% länger als 10:30.

Zudem wurden statistische Erklärungsmodelle für die Parkplatzsuche entwickelt (Kapitel 7). Dabei wurden sowohl die Determinanten des Beginns der Parkplatzsuche als auch der Dauer der Parkplatzsuche analysiert. Ein verkehrsplanerisch besonders relevantes Ergebnis ist, dass Personen dann einen kostenpflichtigen Parkplatz suchen, wenn sie für eine gewisse Zeit keinen kostenlosen gefunden haben. Dies impliziert wiederum, dass das Nebeneinander von kostenlosen und kostenpflichtigen Parkplätze in einem Zielgebiet die Parkplatzsuche verlängern kann.

Viele Ergebnisse des Projekts – von Daten bis hier zu Modellen – wurden online veröffentlicht:

- Projekt-Web-Site: https://start2park.fluxguide.com/website/
- Prognose-Modell: https://github.com/ReLUT/parking-search-prediction
- Dokumentation der Trainings-Daten und der Ergebnisse des Prognose-Modells: http://start2park.eu
- Rohdaten der Pre-Test-Fahrten: https://mobilithek.info/offers/661224139085709312
- Auswertung der start2park-(Trainings-)Daten: https://mobilithek.info/offers/503629156674588672
- Filme:
    - https://www.youtube.com/watch?v=KwBrH5KYs6w
    - https://www.youtube.com/watch?v=vlSIzopNwtg
    - https://www.youtube.com/watch?v=5Xf8YpAxNLA
    - https://www.youtube.com/watch?v=swEt4fAtIIQ

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung 3
1 Einleitung und Problemstellung 8
2 Datenerhebung über die start2park-App 8
3 Umfang der Erhebung 11
4 Merkmale der App-Nutzenden 11
5 Was wird gemessen? Vorüberlegungen zur Interpretation der Daten 12
6 Deskriptive Auswertung der Trainingsdaten („Ground Truth“) 13
7 Statistisches Erklärungsmodell für die Parkplatzsuche 29
8 Das Prognose-Modell zur Erkennung von Parkplatzsuche in historischen Daten 31
9 Anwendung des Prognose-Modells 38
10 Quellenangaben 41
11 Anhang 42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parksuchdauer in Minuten (Format mm:ss) ... 13

Tabelle 2: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden) ... 14

Tabelle 3: Parksuchdauer in Minuten nach fahrerbezogenen Merkmalen (Format mm:ss) ... 15

Tabelle 4: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden) ... 16

Tabelle 5: Parksuchdauer in Minuten nach fahrtenbezogenen Merkmalen (Format mm:ss) ... 17

Tabelle 6: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden) ... 17

Tabelle 7: Parksuchdauer in Minuten nach RegioStaR-Gebieten (Format mm:ss) ... 19

Tabelle 8: Parksuchdauer in Minuten nach RegioStaR-Gebieten (Format mm:ss) – nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden ... 19

Tabelle 9: Im Auto tatsächlich zurückgelegter Parksuchweg nach fahrerbezogenen Merkmalen in Metern ... 20

Tabelle 10: Im Auto tatsächlich zurückgelegter Parksuchweg nach fahrtenbezogenen Merkmalen in Metern ... 20

Tabelle 11: Suchradius nach fahrerspezifischen Merkmalen: Luftlinie zum finalen Ziel in Metern ... 21

Tabelle 12: Suchradius nach fahrtenspezifischen Merkmalen: Luftlinie zum finalen Ziel in Metern ... 21

Tabelle 13: Akzeptierter Fußweg zum finalen Ziel in Metern ... 22

Tabelle 14: Durchschnittgeschwindigkeit in km/h während der Fahrt und während der Parkplatzsuche ... 23

Tabelle 15: Luftliniendistanz vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel in Meter ... 24

Tabelle 16: Zurückgelegte Fußwegdauer vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel in Minuten (Format mm:ss) ... 25

Tabelle 17: Zurückgelegte Fußwegdistanz vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel in Meter ... 26

Tabelle 18: Modell-Validierung (Dauer im Format MM:SS) ... 35

Tabelle 19: Vergleichende Analyse verschiedener Methoden der Leistung bei der Identifizierung der Parkplatzsuche in GPS-Daten (Dauer im Format MM:SS) ... 37

Tabelle 20: Deskriptive Statistik des untersuchten Datensatzes zur Analyse des Parksuchverhaltens ... 38

Tabelle 21: Deskriptive Statistik der vorhergesagten Parksuchdauer und des Suchradius (Dauer in MM:SS-Format und Entfernung in Metern) ... 39

Tabelle 22: Deskriptive Statistik der Geschwindigkeit von GPS-Punkten im Umkreis von 1 km von der Parklücke bei normaler Fahrt und Parkplatzsuche (Geschwindigkeit in km/h) ... 40

Tabelle 23: Parksuchdauer in Minuten (Format mm:ss) ... 43

Tabelle 24: Parksuchdauer in Minuten (Format mm:ss) – (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden) ... 44

Tabelle 25: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (alle Fahrten) ... 45

Tabelle 26: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden) ... 46

Tabelle 27: Parksuchdauer in Minuten nach RegioStaR-Gebieten (Format mm:ss) ... 47

Tabelle 28: Parksuchdauer in Minuten nach RegioStaR-Gebieten (Format mm:ss) – (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden) ... 48

Tabelle 29: Suchradius in Metern (alle Fahrten) 49
Tabelle 30: Suchradius in Metern (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden) 50

1 Einleitung und Problemstellung

Parkplatzsuche wird als Problem in dicht besiedelten städtischen Gebieten wahrgenommen und hat hohe Relevanz für die Verkehrsplanung. Bisher wurden Daten zum Parksuchverkehr jedoch noch nicht valide erhoben. Daher existieren keine belastbaren Daten zum Thema Parksuchdauer, Parksuchweg, Parksuchradius sowie Anteil des Parksuchverkehrs am gesamten Verkehr. Die gesamte bisherige Forschung zu diesem Thema basierte auf einer eigentlich nicht validen Datengrundlage.

Hinzu kommt, dass Navigations-Apps in Smartphones und Navigationsgeräte beinhalten zwar Prognosen zur Fahrtdauer und darin enthalten Verspätungen aufgrund der Verkehrssituation. Nicht enthalten sind jedoch Prognosen zur Parksuchzeit. Dies lässt im Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln, das Auto als zu „günstig“ dastehen.

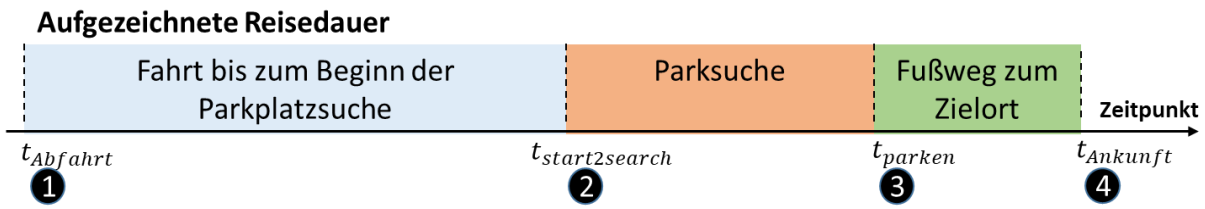
Vor diesem Hintergrund ist am 1. Juli 2020 das dreijährige Projekt start2park – gefördert durch den mFUND des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr – gestartet. Da ein Teil des Förderzeitraums in die Zeit der Pandemie fiel und in dieser Zeit die Datenerhebung eingeschränkt war, wurde das Projekt um drei Monate verlängert bis Ende September 2023.

2 Datenerhebung über die start2park-App

Die start2park-App[1] bildete die zentrale Komponente des Forschungsprojektes start2park – Parksuche erfassen, verstehen und prognostizieren. Um die Parksuche (Parksuchzeit und Parksuchstrecke) verstehen und prognostizieren zu können, wurde über die start2park-App erstmalig eine Datenbasis generiert, mit welcher sowohl ein Erklärungs- als auch ein Prognosemodell für den Parksuchverkehr entwickelt wurden.

Basierend auf den Pre-Testfahrten, welche im Zeitraum 11.2020 bis 06.2021 durchgeführt wurden, wurde die start2park-App entwickelt, welche von August 2021 bis August 2023 über Google Play und Apple Store verfügbar war. Begleitet wurde der Launch der App mit einer Vielzahl an Akquise-Maßnahmen, welche zu einem erfreulichen medialen Echo führten. Weitere Akquise-Maßnahmen wurden umgesetzt, um möglichst viele Autofahrer*innen zu bewegen, die App herunterzuladen und zu nutzen. Ab November 2021 war die App auch in englischer Sprache verfügbar und konnte europaweit genutzt werden.

Mit Hilfe von App-Nutzenden erfolgte eine Erfassung des Start- und Endzeitpunktes der Parkplatzsuche, der gesamten GPS-Daten einer Reise (Koordinaten, Geschwindigkeit, Beschleunigung) sowie weiterer fahrt- und fahrerbezogener Daten. Fahrt- bzw. fahrerbezogene Daten sind beispielsweise der Zweck der Fahrt bzw. die Vertrautheit des Fahrenden mit der Parkplatzsituation am Zielort der Fahrt. Abbildung 1 fasst die über die start2park-App erhobenen Daten einer Reise zusammen.



[1] https://start2park-app.fluxguide.com/fluxguide/appstore

Abbildung 1: Reise, welche über die start2park-App aufgezeichnet wird

Abbildung 2 zeigt die Umsetzung in der start2park-App. Über bedienerfreundliche blaue Buttons zeichneten die Autofahrer*innen auf, wann die jeweiligen Teilstrecken der Reise begannen bzw. endeten.

Über das persönliche Cockpit in der start2park-App erhielten die Nutzerin/der Nutzer der App eine chronologische Übersicht ihrer/seiner über die start2park-App aufgezeichneten Parkvorgänge. Dort wurde neben der Dauer des Parksuchvorganges der Nutzerin/dem Nutzer auch die Reise auf einer Kartenübersicht angezeigt. Des Weiteren gab es zusammenfassende Statistiken für die Nutzenden.

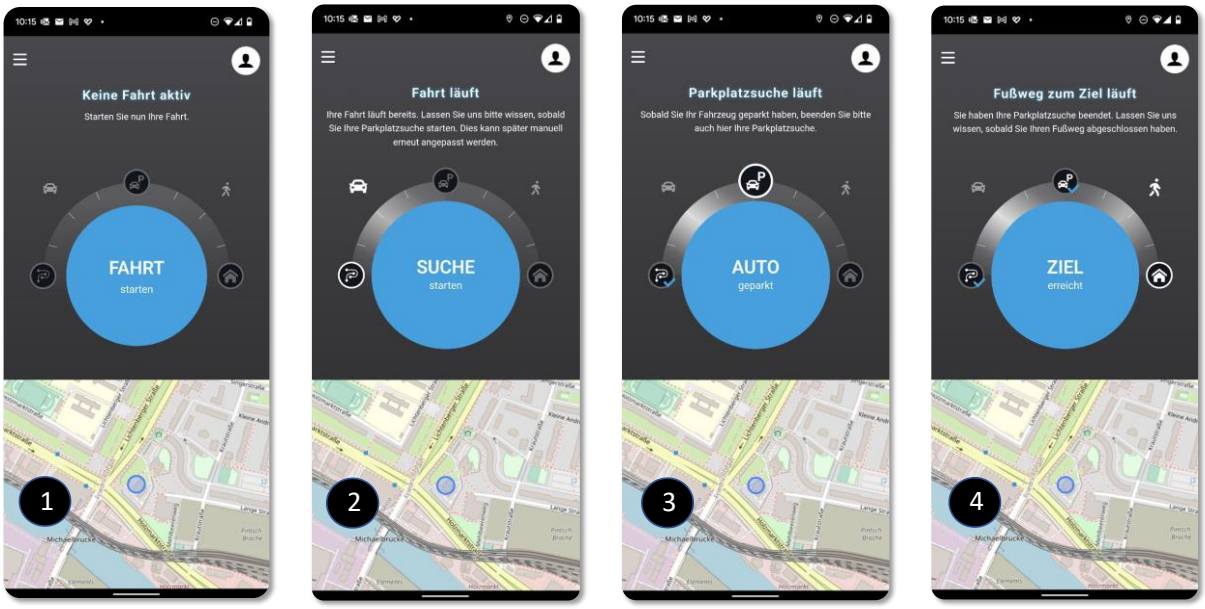


Abbildung 2: Umsetzung in der start2park-App
(Image: Fluxguide, Basiskarte: OpenStreetMap Contributors)

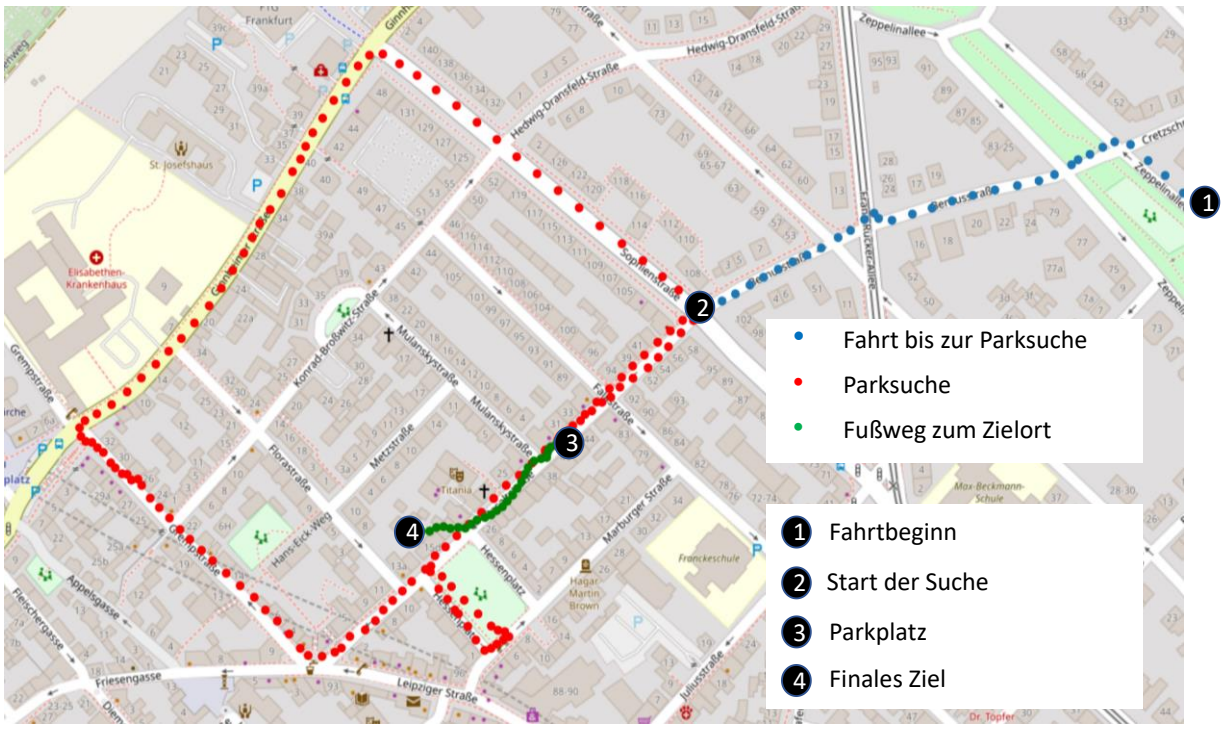


Abbildung 3: Beispiel einer aufgezeichneten Fahrt
(Image: Siavash Saki, Eigene Darstellung, Basiskarte: OpenStreetMap Contributors)

Ein weiterer Aspekt wurde in der bisherigen Forschung weitgehend vernachlässigt. Für Autofahrer*innen und die Gesellschaft stellt sich im Wesentlichen die Frage, wie sich die Reisedauer (Fahrtdauer zuzüglich Dauer des Fußweges vom Parkplatz zum Zielort), die Fahrtdauer und das Verkehrsaufkommen aufgrund des Phänomens der Parkplatzsuche im Vergleich zur so genannten "kontrafaktischen Situation", in der überhaupt keine Parkplatzsuche stattfindet ("perfekte Welt"), verändern. Eine solche kontrafaktische Situation ist natürlich nicht beobachtbar und muss mit geeigneten Methoden geschätzt oder simuliert werden. Die Schätzung der kontrafaktischen Situation für die Fahrtdauer kann eine Anfrage an eine Navi-App sein, die die Parkplatzsuche nicht einschließt. Im Projekt wurde dafür die Vorhersage von Google Maps für die Fahrt- und Gehzeiten genutzt. Die Navigation von Google Maps führt die Nutzenden zu der befahrbaren Straße, die dem endgültigen Ziel am nächsten liegt, unabhängig davon, ob Parken möglich ist oder nicht. Abbildung 4 zeigt einen stilisierten Vergleich zwischen einer tatsächlichen und einer kontrafaktischen Fahrtdauer.

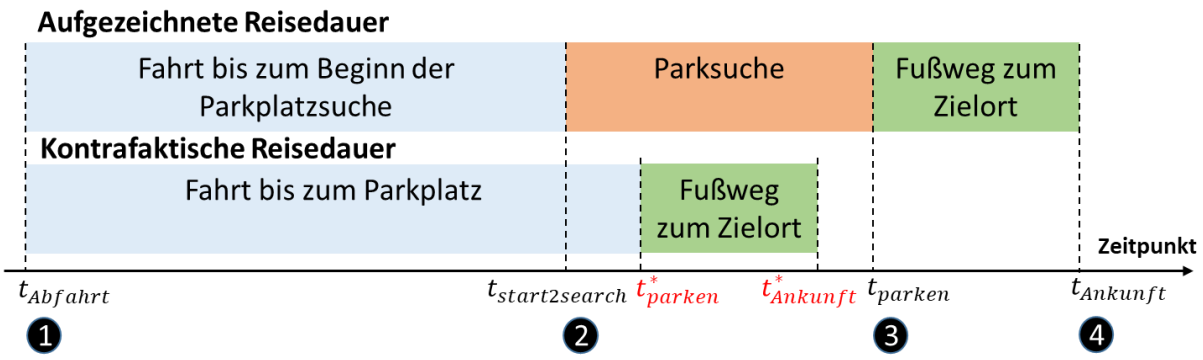


Abbildung 4: Aufgezeichnete und kontrafaktische Reisedauer

Die Differenz aus der mittels unser start2park-App ermittelten Reisedauer (Fahrtdauer) und der mittels Google Maps prognostizierten kontrafaktischen Reisedauer (Fahrtdauer) bezeichnen wir als „Effekt der Parksuche auf die Reisedauer“ (oder Nettosuchdauer) bzw. „Effekt der Parksuche auf die Fahrtdauer“. Während der Effekt der Parksuche auf die Reisedauer immer ≥ 0 sein muss, ist es durchaus möglich, dass der Effekt der Parksuche auf die Fahrtdauer auch < 0 sein kann. Dies könnte der Fall sein, wenn aufgrund der Parksuche ein Parkplatz vor Erreichen des Zielortes gewählt wird. Dieser aus ökologischer Sicht wahrscheinlich vorteilhafte Effekt wurde bislang in der Literatur nicht erwähnt und empirisch nicht erfasst. Die direkte messbare Parksuchdauer (oder Bruttosuchdauer) ist fast immer Gegenstand bisheriger empirischer Studien.

Dieser Bericht trifft keine Aussagen zur kontrafaktischen Reise- und Fahrtdauer und stellt daher auch noch keine Schätzungen zu den Effekten der Parkplatzsuche auf die Reise- und Fahrtdauer vor. Alle präsentierten Daten beziehen sich also auf die sogenannte „Bruttosuchdauer“.

3 Umfang der Erhebung

Insgesamt gab es im September 2023 zum Ende des Projekts 2.014 Nutzende[2], die 6.725 Fahrten aufgezeichnet haben. Allerdings sind viele dieser 6.725 Fahrten nicht vollständig („valide“). So sind implausible Daten enthalten, die darauf hindeuten, dass die App nur „ausprobiert“ wurde. Beschränkt man sich nur auf valide Fahrten kommt man auf 3.550. Nicht alle Nutzenden haben ihre soziodemographischen Daten angegeben, da es sich dabei nicht um Pflichtfelder handelt. Vollständig sind diese Daten verfügbar für 1.183 Nutzende.

4 Merkmale der App-Nutzenden

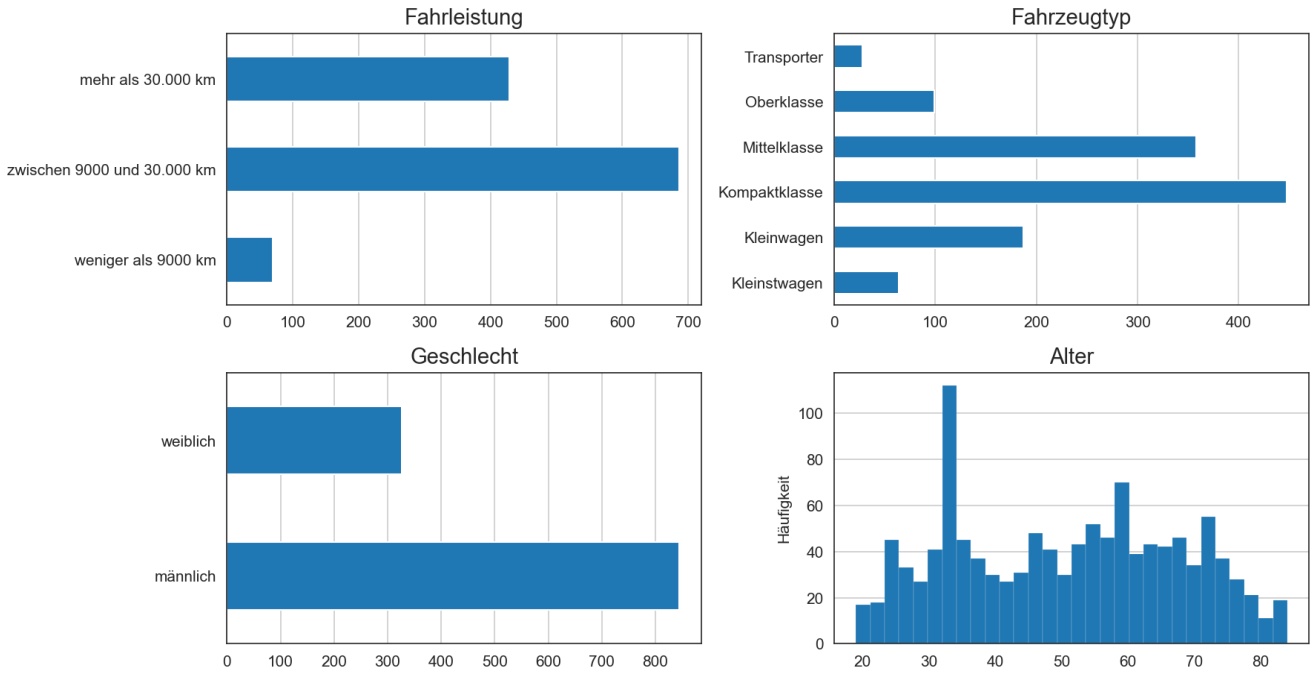


Abbildung 5: Demographische Daten der Nutzenden (*N*=1183)

[2] Dies entspricht nicht der Anzahl der Personen, die aktuell die start2park-App installiert haben. Sondern es ist die Anzahl der Personen, die die App seit Erscheinen im September 2021 genutzt haben.

Zu erkennen ist ein höherer Männeranteil (71%) unter den Nutzenden und ein Durchschnittsalter von 50 Jahren. Allerdings gibt es die meisten Nutzenden in der Altersklasse „Anfang 30“. Der häufigste genutzte Fahrzeugtyp ist die Kompaktklasse, gefolgt von der Mittelklasse.[3] Die allermeisten Fahrten wurden im Rhein-Main-Gebiet (mit Schwerpunkt Frankfurt/Main), in Berlin sowie im Landkreis Lippe aufgezeichnet.

5 Was wird gemessen? Vorüberlegungen zur Interpretation der Daten

Die start2park-App zeichnete nur dann Fahrten auf, wenn die Nutzenden die App aktiv starteten und den Beginn der Fahrt per Knopfdruck signalisierten. Die einzige Vorgabe für die Nutzenden bzgl. der Aufzeichnung von Parkplatzsuche lautete in der start2park-App *„Zeichnen Sie Autofahrten auf, bei denen Sie am Ende der Fahrt keinen festen Stellplatz haben*.“

Trotz dieser auf den ersten Blick einfachen Definition, sind eine Reihe von Aspekten bei der Interpretation zu beachten:

- Es könnte sich eine gewisse Selektivität hin zu Fahrten mit Parkplatzsuche ergeben. So ist denkbar, dass Nutzende gezielt Fahrten aufzeichneten, bei denen sie von einer Parksuchdauer >0 ausgehen, da sich sonst die Nutzung der App (vermeintlich) nicht „lohnte“. Dies würde dazu führen, dass Fahrten ohne jegliche Parkplatzsuche (trotz fehlendem festen Stellplatz) in den Daten systematisch unterrepräsentiert sind. Aus diesem Grund werden sowohl die Ergebnisse aller Fahrten ausgewiesen als auch isoliert der Fahrten mit einer Parksuchdauer größer als 5 Sekunden (siehe nächsten Punkt).
- Bei der Datenerhebung hatte sich das folgende Phänomen gezeigt: Fahrer*innen sahen einen freien Parkplatz in hinreichender Nähe zum finalen Ziel und entschieden sich dann für diesen, ohne vorher den Start der Parkplatzsuche in der App signalisiert zu haben. Dies zeigte sich dann daran, dass der Button 1 „*Beginn der Parkplatzsuche*“ und der Button 2 „*Parkplatz gefunden*“ in sehr kurzer Zeit hintereinander gedrückt wurden. Dies stellt nichtsdestotrotz Parkplatzsuche (mit einer Dauer von Null) dar. Um diese Fälle zu berücksichtigen, wurden alle Parkplatzsuchen mit 5 oder weniger Sekunden auf null gesetzt.

Ein weiteres Problem stellte die Messung des Fußweges vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel dar. Bei einer Reihe von Fahrten vergaßen die Fahrenden offenbar, den Button 4 „*Ziel erreicht*“ zu drücken. Bzgl. des Ortes des finalen Ziels stellt dies kein Problem dar, da dieser sehr gut an der geringen Variation der Positions-Daten erkannt werden kann. Allerdings ist die aufgezeichnete Fußwegdauer damit oftmals falsch gemessen. Da zudem die GPS-Punkte gerade bei den Fußwegen ungenau sind (ungünstiges „Signal-to-Noise-Ratio“) und ein Map-Matching bei Fußwegen schwierig ist, nutzen wir hier die Navi-Engine-Abfragen vom Parkplatz zum finalen Ziel. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Abweichungen bei den Trips, bei denen die Fahrenden am Ende des Fußweges offenbar nicht vergessen haben, den „*Ziel erreicht*“-Button zu drücken, vernachlässigbar sind.

[3] Diese Kategorien entsprechen denen, die bei Mietwagen gebräuchlich sind. In der start2park-App wurden zudem bekannte Beispiele für die jeweilige Fahrzeugtypen genannt.

6 Deskriptive Auswertung der Trainingsdaten („Ground Truth“)

6.1 Gemessene Parksuchdauer in Minuten

6.1.1 Parksuchdauer über alle Fahrten

Die durchschnittliche Parksuchdauer (PSD) in den Daten beträgt 01:25 (1 Minute und 25 Sekunden). Allerdings wird der Durchschnitt stark von wenigen, aber sehr langen PSD bestimmt (siehe auch Abbildung 6). Daher ist es sinnvoll, den Median (50% Quantil) zu betrachten, der die Dauer einer mittleren PSD abbildet, wobei jeweils die Hälfte der PSD kürzer bzw. länger ist. Die mittlere (Median-)Dauer beträgt 00:50 Minuten (50 Sekunden).

18% der Fahrten (626 von 3.550) haben keinerlei PSD, wobei wir „keine PSD“ definieren als PSD≤5 Sekunden (siehe Abschnitt 5). Umgekehrt sind also 82% der aufgezeichneten Fahrten von Parksuche betroffen. Die durchschnittliche PSD unter den Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden beträgt 01:44 Minuten; der Median beträgt 01:04 Minuten. Die 5% längsten PSD dauern länger als 4:59 Minuten; die längste PSD liegt bei mehr als 28 Minuten. Auf der anderen Seite gibt es sehr viele, sehr kurze PSD: 25% aller PSD sind kürzer als 18 Sekunden. Weiterhin ist zu sehen, dass 75% der PSD kürzer als 01:44 Minuten sind bzw. 25% der PSD sind länger als 01:44 Minuten.

Tabelle 1: Parksuchdauer in Minuten (Format mm:ss)

	Anzahl	Anteil an allen Fahrten	Durch-schnitt	Min	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%	Max
Alle	3550	100%	01:25	00:00	00:00	00:18	00:50	01:44	04:59	28:34
Nur PSD>5s	2924	82%	01:44	00:05	00:13	00:35	01:04	02:01	05:32	28:34

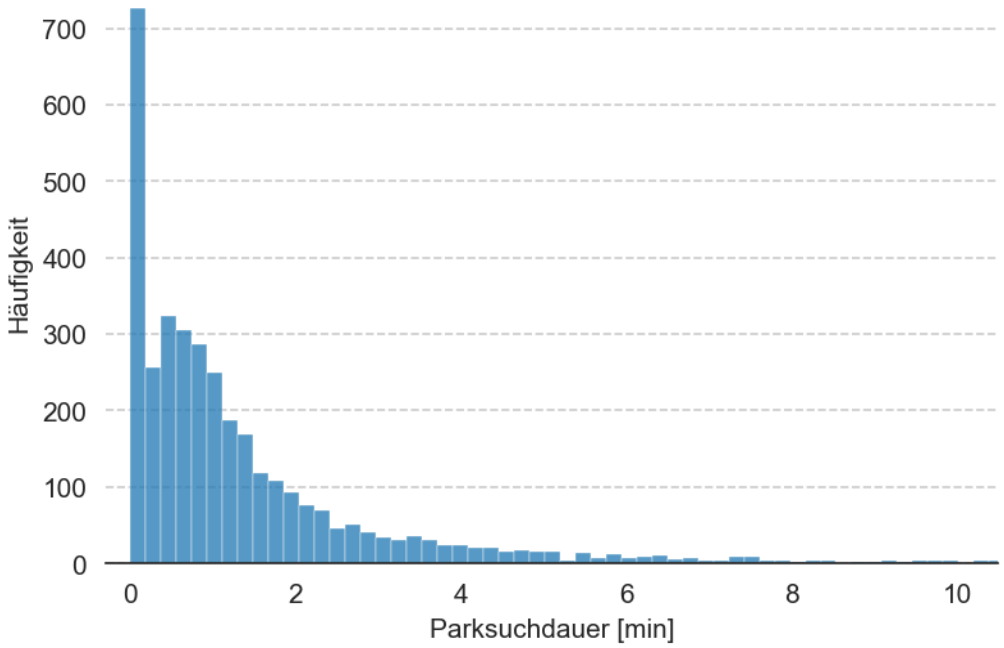


Abbildung 6: Verteilung (Histogramm) der Parksuchdauer (alle Fahrten)

Tabelle 2 zeigt, dass zwar 80% der Parksuchvorgänge länger als eine halbe Minute dauern, aber nur 26% länger als 02:00 Minuten. Länger als 03:00 Minuten dauern 15% und länger als 5:00 Minuten nur 6% der Parkplatzsuchen.

Tabelle 2: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

	>00:30	>01:00	>02:00	>03:00	>04:00	>05:00
Anteil	80%	53%	26%	15%	10%	6%

Diese Ergebnisse werden im Folgenden differenziert nach diversen Merkmalen (fahrerbezogene Merkmale, fahrtbezogene Merkmale sowie regionale Differenzierung) dargestellt.

Box 1: Mögliche Psychologische Erklärungsansätze für die geringe ermittelte PSD im Vergleich zu Befragungen

1. Emotional enhancement of memory (EEM) – Sommer et al. (2008)

Bei einer langen Parkplatzsuche sind die Emotionen des Fahrers intensiver und stärker ausgeprägt als bei einer durchschnittlichen Parkplatzsuche. Dies führt dazu, dass extreme Fälle von Parkplatzsuche leichter in Erinnerung bleiben.

2. Verfügbarkeitsheuristik - Tversky and Kahneman (1973)

Dieses Phänomen kann mit der "Verfügbarkeitsheuristik" in Verbindung gebracht werden, einer mentalen Abkürzung, die sich auf unmittelbar in den Sinn kommende Beispiele stützt. Wenn eine Person nach der Dauer ihrer Parkplatzsuche gefragt wird, erinnert sie sich möglicherweise an die Fälle, die am frustrierendsten und zeitaufwändigsten waren (wegen EMM), da diese Erfahrungen einprägsamer und verfügbarer in ihrem Gedächtnis sind. Dies liegt daran, dass negative Erfahrungen oft eine größere emotionale Wirkung haben und stärker ins Bewusstsein dringen, so dass sie mit größerer Wahrscheinlichkeit erinnert werden.

3. Zeitwahrnehmung - Friedman W (1990)

Ein weiterer Aspekt ist das Konzept der Zeitwahrnehmung, insbesondere wenn es um die Überschätzung der verstrichenen Zeit während frustrierender oder stressiger Erfahrungen geht. Wenn Autofahrer Schwierigkeiten haben, einen Parkplatz zu finden, kann der Stress und die Frustration, die mit der Aufgabe verbunden sind, die verstrichene Zeit länger erscheinen lassen, als sie tatsächlich ist.

4. Negativitätsverzerrung oder Negativitätseffekt – Rozin & Royzman (2001)

Die Tendenz der Autofahrer, aufgrund einiger schlechter Erfahrungen höhere durchschnittliche Parksuchzeiten anzugeben, kann auch auf die Negativitätsverzerrung zurückgeführt werden, die besagt, dass selbst bei gleicher Intensität Dinge negativerer Natur einen größeren Einfluss auf den psychologischen Zustand und die Prozesse einer Person haben als neutrale oder positive Dinge. Das bedeutet, dass negative Erfahrungen mit der Parkplatzsuche die Wahrnehmung und Erinnerung der Autofahrer an die durchschnittlichen Suchzeiten stärker beeinflussen.

6.1.2 Parksuchdauer differenziert nach fahrerbezogenen Merkmalen

In Tabelle 3 ist die PSD differenziert nach fahrerbezogenen Merkmalen dargestellt (siehe auch Tabelle 4):

- Umso älter Personen sind, desto kürzer ist die Parksuchdauer (siehe auch Abbildung 7). Dies liegt vor allem auch daran, dass mehr als die Hälfte aller Fahrten von Älteren (55+) keinerlei Parksuche umfassen und dass lange PSD (>3:30 Minuten) sehr selten vorkommen (Tabelle 4). Offenbar hat dieser Personenkreis einen andere „Suchstrategie“, d.h. wählt z.B. von vorneherein kostenpflichtige Parkplätze.
- Bzgl. des Fahrzeugtyps und der jährlichen Fahrleistung der Person zeigt sich kein klarer Zusammenhang, wobei doch – ganz den Erwartungen entsprechend – bei Transportern die längsten PSD gemessen wurden. Allerdings sind die Fallzahlen gering.

Tabelle 3: Parksuchdauer in Minuten nach fahrerbezogenen Merkmalen (Format mm:ss)

		Alle Fahrten			Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden						
		Anzahl	Durch-schnitt	Median	Anteil	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		3550	01:25	00:50	82%	01:44	00:13	00:35	01:04	02:01	05:32
Geschlecht	männlich	2983	01:28	00:52	84%	01:45	00:14	00:36	01:05	02:03	05:30
	weiblich	499	01:10	00:34	73%	01:35	00:09	00:28	00:52	01:51	05:40
Altersklasse	18-35	2998	01:27	00:52	84%	01:44	00:14	00:35	01:04	02:02	05:31
	36-55	329	01:28	00:49	76%	01:56	00:16	00:39	01:09	02:02	06:33
	55+	168	00:43	00:17	64%	01:07	00:07	00:19	00:35	01:32	03:22
Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	14	01:02	01:02	86%	01:12	00:13	00:44	01:12	01:33	02:25
	Kleinwagen	1501	01:29	00:54	86%	01:44	00:15	00:37	01:04	02:03	05:38
	Kompaktklasse	1472	01:25	00:50	81%	01:46	00:15	00:36	01:06	02:02	05:29
	Mittelklasse	345	01:13	00:42	80%	01:31	00:09	00:26	00:54	01:43	04:42
	Oberklasse	134	00:35	00:17	64%	00:55	00:07	00:18	00:30	01:09	02:55
	Transporter	29	03:41	03:21	93%	03:58	01:02	02:22	03:22	04:34	09:23
Fahrleistung	< 9000 km	1153	01:22	00:50	85%	01:37	00:14	00:34	01:01	01:59	04:53
	9000 – 30000 km	2278	01:28	00:51	81%	01:48	00:13	00:35	01:05	02:03	05:48
	> 30000 km	64	00:44	00:27	64%	01:09	00:14	00:28	00:46	01:04	02:39

Anmerkung: Werte, die auf weniger als 30 Beobachtungen (Fahrten) basieren, werden grau dargestellt.

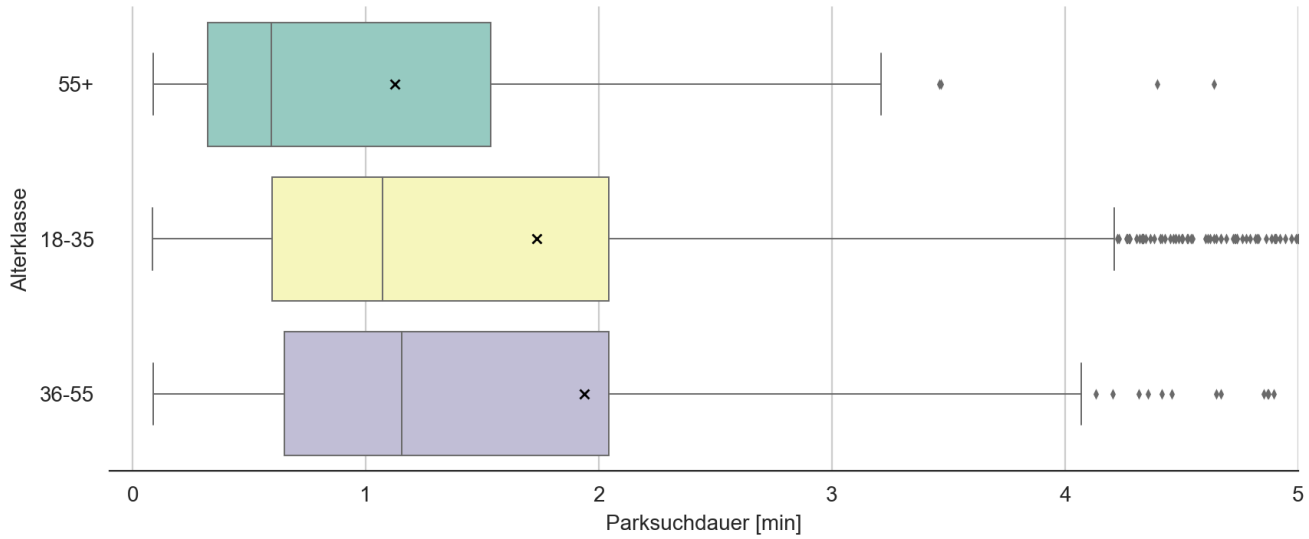


Abbildung 7: PSD nach Altersklasse (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden; ohne Darstellung der Ausreißer)[4]

[4] Die ausgefüllten Rechtecke geben die mittleren 50% der Fahrten, d.h. den Bereich zwischen dem 25% und dem 75% Quantil. Der senkrechte Strich ist das 50% Quantil (der Median). Das Kreuz zeigt den Durchschnitt. Ausreißer „nach oben“ werden nicht dargestellt.

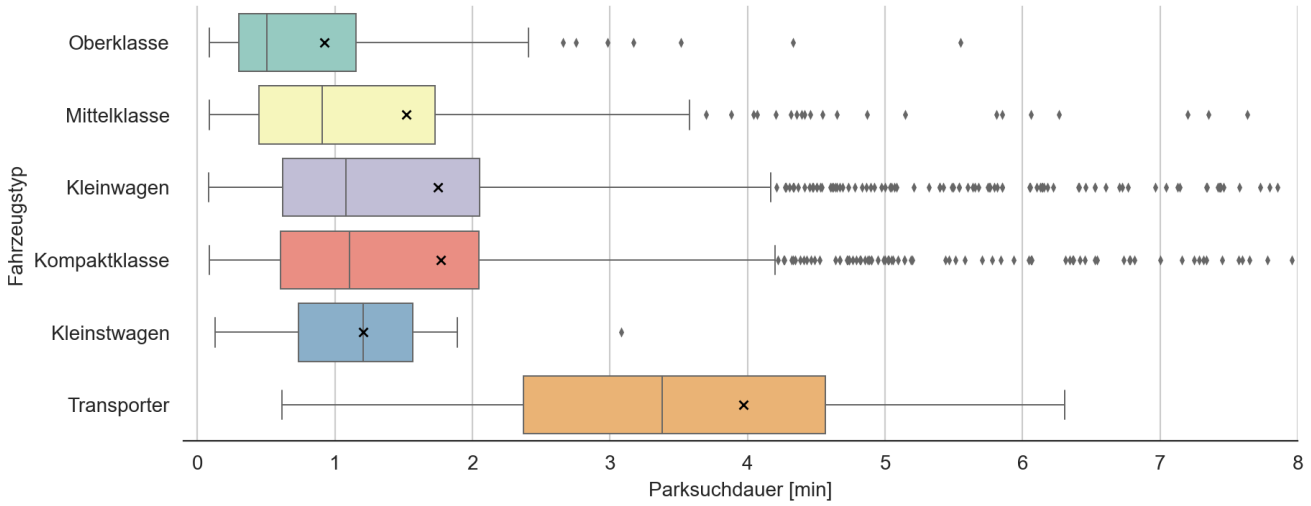


Abbildung 8: PSD nach Fahrzeugklasse (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden; ohne Darstellung der Ausreißer)

Tabelle 4: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

		>00:30	>01:00	>01:30	>02:00	>02:30	>03:00	>03:30	>04:00	>04:30	>05:00
Alle Fahrten		80%	53%	36%	26%	19%	15%	12%	10%	8%	6%
Geschlecht	männlich	81%	55%	36%	26%	19%	15%	12%	9%	7%	6%
	weiblich	73%	44%	31%	22%	18%	13%	11%	10%	8%	7%
Altersklasse	18-35	81%	54%	35%	26%	19%	15%	12%	9%	7%	6%
	36-55	83%	56%	37%	26%	21%	18%	16%	13%	10%	7%
	55+	56%	36%	26%	17%	11%	7%	4%	4%	3%	2%
Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	75%	58%	33%	8%	8%	8%	0%	0%	0%	0%
	Kleinwagen	82%	54%	36%	26%	19%	15%	12%	9%	8%	6%
	Kompaktklasse	82%	55%	35%	26%	19%	15%	12%	9%	8%	6%
	Mittelklasse	71%	46%	29%	21%	16%	12%	10%	9%	6%	5%
	Oberklasse	51%	28%	22%	14%	8%	5%	3%	2%	1%	1%
	Transporter	100%	93%	93%	78%	74%	59%	48%	41%	26%	22%
Fahrleistung	< 9000 km	80%	50%	34%	25%	18%	14%	11%	8%	6%	5%
	9000 – 30000 km	80%	55%	36%	26%	20%	15%	12%	10%	8%	7%
	> 30000 km	71%	32%	15%	10%	7%	5%	2%	2%	2%	2%

Anmerkung: Werte, die auf weniger als 30 Beobachtungen (Fahrten) basieren, werden grau dargestellt.

6.1.3 Parksuchdauer differenziert nach fahrtbezogenen Merkmalen

Die Differenzierung der PSD nach fahrtbezogenen Merkmalen ist in Tabelle 5 und äquivalent in Tabelle 6 dargestellt.

- Ein bekanntes Zielgebiet schützt offenbar wenig vor langer PSD und auch die Unterschiede in Bezug auf den Median (50% Quantil) sind gering. Sie werden vor allem getrieben durch sehr lange PSD in bekannten Zielgebieten.
- Die Tatsache, dass bei Fahrten nach Hause oft lange PSD vorkommen ist von besonderer Relevanz, da es zeigt, dass bestimmte Personengruppen – Bewohner von Innenstädten – besonders vom Problem der Parkplatzsuche betroffen sind. Die Unterschiede bzgl. der Median-PSD bei den anderen Fahrtzwecken

sind eher gering, wobei zu erkennen ist, dass sich große Bandbereiten bei der Fahrt zu Arbeit und den dienstlich veranlassten Fahrten finden (Abbildung 9).

- Gebührenpflichtige Parkplätze werden nach längerer PSD gefunden als gebührenfreie Parkplätze. Eine mögliche Interpretation ist, dass Personen dann gebührenpflichtige Parkplätze annehmen, wenn es Ihnen nicht gelingt einen gebührenfreien zu finden. Abgesehen davon sind gebührenpflichtige Parkplätze eher in Innenstadtgebieten mit hohem Parkdruck und in den Arbeitszeiten, in denen der Verkehr viel stärker ist, zu finden. Zudem sind viele Parkplätze zwischen 19:00 und 07:00 Uhr kostenlos, wenn der Parkdruck sehr gering ist.
- Die PSD nach Uhrzeit des Tages ist in Abbildung 10 zu finden. Hier deutet sich das zu erwartende Muster an, dass Parkplatzsuche morgens bei den Pendelzeiten und abends bei der Fahrt nach Hause schwierig ist. Allerdings sind die Fallzahlen teilweise gering.
- Umso länger die geplante Parkdauer, desto länger ist die mittlere (Median) Parksuchzeit. Eine mögliche Interpretation ist, dass die geplante Parkdauer vom Fahrtzweck abhängt.

Tabelle 5: Parksuchdauer in Minuten nach fahrtenbezogenen Merkmalen (Format mm:ss)

		Alle Fahrten			Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden						
		Anzahl	Durch-schnitt	Median	Anteil	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		3550	01:25	00:50	82%	01:44	00:13	00:35	01:04	02:01	05:32
Vertrautheit mit Zielgebiet	bekannt	2615	01:22	00:46	80%	01:42	00:13	00:34	01:02	02:01	05:38
	unbekannt	892	01:36	01:02	90%	01:46	00:14	00:37	01:08	02:05	05:21
Fahrtzweck	Einkauf	1082	01:14	00:43	82%	01:30	00:11	00:30	00:57	01:46	04:53
	Freizeit	932	01:27	00:53	86%	01:41	00:15	00:36	01:02	01:52	05:35
	Fahrt nach Hause	807	01:36	01:02	84%	01:55	00:15	00:41	01:15	02:24	05:42
	Arbeit	446	01:27	00:45	76%	01:54	00:17	00:36	01:06	02:18	06:04
	dienstlich	240	01:31	00:51	79%	01:55	00:11	00:36	01:06	02:07	04:55
Parkdauer	< 30min	1179	01:05	00:38	80%	01:22	00:10	00:28	00:50	01:33	04:19
	30min – 3 Std.	878	01:42	00:59	88%	01:56	00:17	00:40	01:08	02:04	06:46
	>3 Stunden	1450	01:32	00:55	82%	01:52	00:16	00:39	01:12	02:19	05:45
Parkplatz	gebührenfrei	3043	01:24	00:49	82%	01:43	00:14	00:35	01:03	02:00	05:30
	gebührenpflichtig	280	01:52	01:13	88%	02:08	00:15	00:41	01:25	02:32	07:19
	illegal	184	01:00	00:35	82%	01:13	00:09	00:24	00:50	01:30	03:27

Tabelle 6: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

		>00:30	>01:00	>01:30	>02:00	>02:30	>03:00	>03:30	>04:00	>04:30	>05:00
Alle		80%	53%	36%	26%	19%	15%	12%	10%	8%	6%
Vertrautheit mit dem Zielgebiet	bekannt	80%	52%	34%	25%	19%	15%	12%	9%	8%	6%
	unbekannt	81%	56%	38%	26%	20%	15%	12%	10%	7%	5%
Fahrtzweck	Einkauf	75%	47%	31%	21%	15%	13%	10%	7%	6%	5%
	Freizeit	82%	52%	32%	23%	16%	14%	12%	9%	8%	6%
	Fahrt nach Hause	84%	61%	43%	32%	24%	17%	13%	11%	8%	7%
	Arbeit	81%	54%	38%	30%	23%	18%	15%	12%	10%	9%
	dienstlich	79%	56%	37%	27%	21%	16%	12%	10%	7%	5%
Parkdauer	< 30min	72%	43%	26%	18%	13%	10%	8%	6%	4%	4%
	30min – 3 Std.	85%	56%	38%	26%	21%	17%	14%	12%	10%	8%
	>3 Stunden	83%	59%	41%	31%	23%	17%	14%	11%	8%	7%
Parkplatz	gebührenfrei	80%	53%	35%	25%	19%	15%	12%	9%	7%	6%
	gebührenpflichtig	85%	65%	47%	35%	26%	21%	17%	13%	11%	9%
	illegal	68%	43%	25%	16%	10%	7%	5%	3%	3%	2%

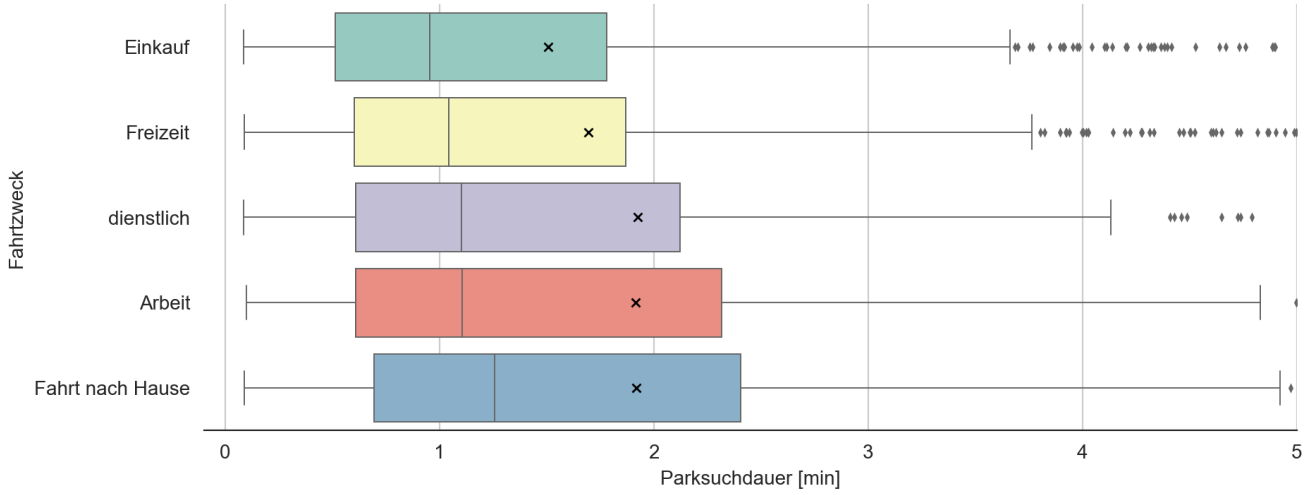


Abbildung 9: Parksuchdauer nach Reisezweck
(nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden; ohne Darstellung der Ausreißer)

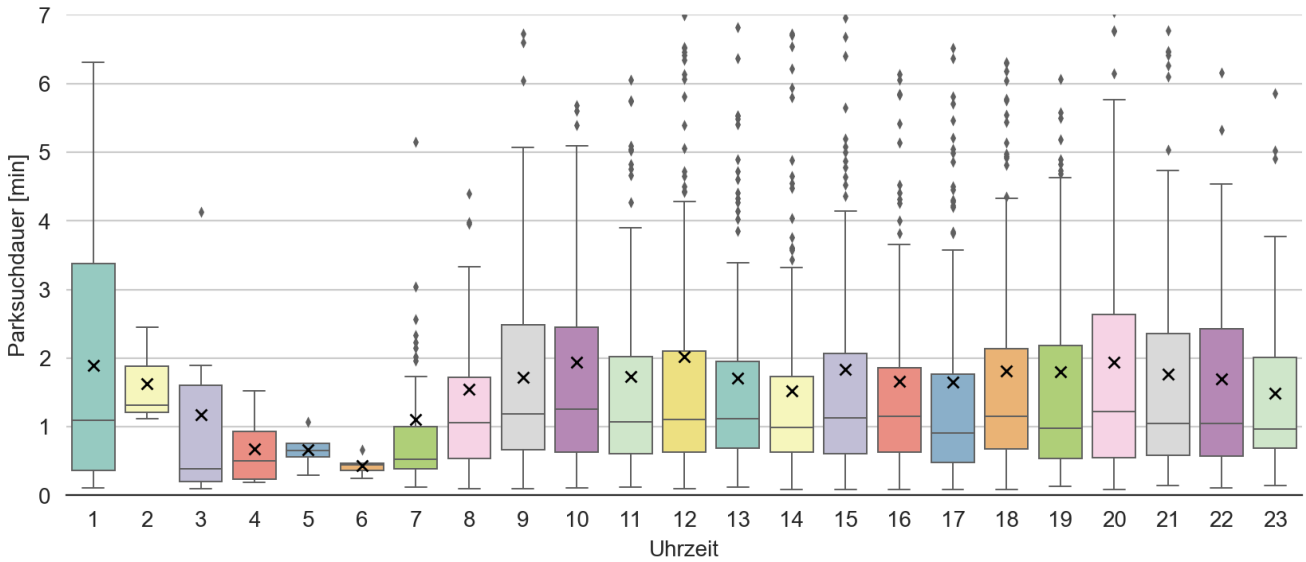


Abbildung 10: Parksuchdauer nach Uhrzeit des Tages
(nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden; ohne Darstellung der Ausreißer) Fehler! Textmarke nicht definiert.

6.1.4 Parksuchdauer nach Standort des finalen Ziels

Die folgenden Analysen basieren auf der regionalstatistischen Raumtypologie „RegioStaR“ des BMDV.[5] Die räumliche Zuordnung erfolgt über das finale Ziel der jeweiligen Reisen. In der Tendenz zeigt sich das zu erwartende Ergebnis, dass die Parkplatzsuche ein urbanes Problem ist, das in Kleinstädten / dem dörflichen Raum fast nicht vorkommt.

Einen Eindruck für Frankfurt am Main gibt Abbildung 11. Hier ist zu erkennen, dass sich die langen Parkplatzsuchen auf die Innenstadtbereiche konzentrieren.

[5] https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html

Tabelle 7: Parksuchdauer in Minuten nach RegioStaR-Gebieten (Format mm:ss)

Bezeichnung (Typ-Nr.)	Anzahl	Durch-schnitt	5%	25%	Median	75%	95%
Metropole (111)	2641	01:32	00:00	00:22	00:54	01:51	05:26
Regiopole, Großstadt (112, 121)	303	01:30	00:00	00:16	00:55	01:59	04:54
Zentrale Stadt, Mittelstadt (113, 123, 211, 213, 221, 223)	338	00:56	00:00	00:07	00:32	01:12	03:24
Städtischer Raum (114, 124, 214, 224)	223	00:55	00:00	00:14	00:38	01:15	02:33
Kleinstädtischer / dörflicher Raum (115, 125, 215, 225)	45	00:22	00:00	00:00	00:10	00:39	01:08

Tabelle 8: Parksuchdauer in Minuten nach RegioStaR-Gebieten (Format mm:ss) – nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden

Bezeichnung (Typ-Nr.)	Anteil	Durch-schnitt	5%	25%	Median	75%	95%
Metropole (111)	84%	01:50	00:15	00:37	01:06	02:09	05:53
Regiopole, Großstadt (112, 121)	82%	01:50	00:10	00:36	01:11	02:13	05:31
Zentrale Stadt, Mittelstadt (113, 123, 211, 213, 221, 223)	76%	01:14	00:10	00:24	00:50	01:26	03:53
Städtischer Raum (114, 124, 214, 224)	80%	01:09	00:12	00:27	00:48	01:25	02:42
Kleinstädtischer / dörflicher Raum (115, 125, 215, 225)	56%	00:40	00:08	00:18	00:36	00:48	01:31

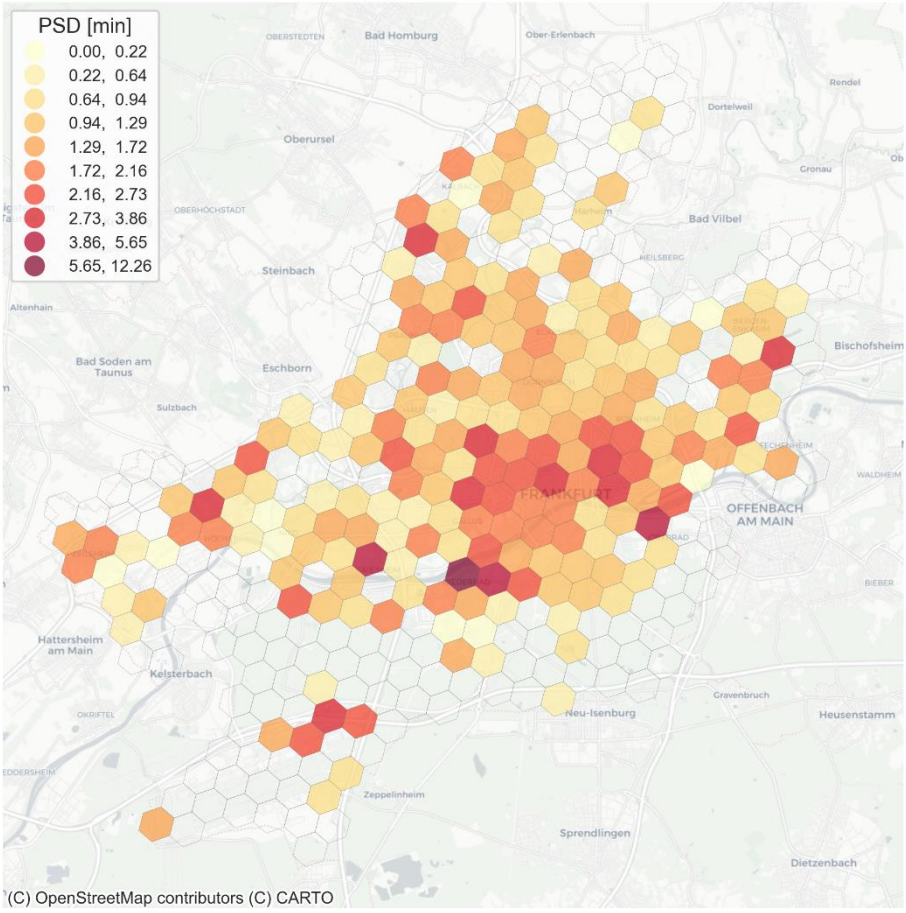


Abbildung 11: Mittlere Parksuchdauer für Frankfurt am Main (764 Fahrten)
(Image: Siavash Saki, Eigene Darstellung, Basiskarte: OpenStreetMap Contributors)

6.2 Tatsächlich zurückgelegte Parksuchstrecke in Meter

Parkplatzsuche kann nicht nur mittels der Parksuchdauer in Minuten, sondern auch durch die Parksuchstrecke in Metern gemessen werden. Hierbei handelt es sich um die tatsächlich im Auto zurückgelegte Entfernung bei der Parkplatzsuche.

Tabelle 9: Im Auto tatsächlich zurückgelegter Parksuchweg nach fahrerbezogenen Merkmalen in Metern

		Alle Fahrten		Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden						
		Durchschnitt	Median	Anteil	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		227	104	82%	275	4	60	140	300	1010
Geschlecht	männlich	227	107	84%	272	4	59	140	297	991
	weiblich	208	77	73%	282	5	59	131	300	1226
Altersklasse	18-35	224	106	84%	266	4	58	137	291	986
	36-55	270	109	76%	355	6	67	188	411	1312
	55+	150	46	64%	232	0	51	114	264	866
Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	118	60	86%	138	2	41	74	207	372
	Kleinwagen	230	108	86%	268	11	61	134	277	1008
	Kompaktklasse	225	97	81%	278	2	56	146	308	1021
	Mittelklasse	219	105	80%	272	3	58	154	340	1077
	Oberklasse	105	24	64%	163	6	30	109	191	544
	Transporter	596	470	93%	640	98	297	470	785	1906
Fahrleistung	< 9000 km	193	93	85%	228	8	52	119	248	849
	9000 – 30000 km	243	109	81%	297	2	62	152	328	1083
	> 30000 km	150	69	64%	234	35	73	154	254	494

Tabelle 10: Im Auto tatsächlich zurückgelegter Parksuchweg nach fahrtenbezogenen Merkmalen in Metern

		Alle Fahrten		Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden						
		Durchschnitt	Median	Anteil	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		227	104	82%	275	4	60	140	300	1010
Vertrautheit mit Zielgebiet	bekannt	220	96	80%	274	3	58	140	300	1033
	unbekannt	248	120	90%	275	6	64	139	299	978
Fahrtzweck	Einkauf	182	88	82%	222	2	52	122	249	793
	Freizeit	227	102	86%	263	5	59	128	280	989
	Fahrt nach Hause	276	129	84%	327	3	63	174	413	1086
	Arbeit	240	110	76%	315	7	80	176	341	1310
	dienstlich	242	115	79%	302	4	73	163	286	961
Parkdauer	< 30min	171	77	80%	214	2	49	114	236	694
	30min – 3 Std.	250	116	88%	285	6	65	138	308	1092
	>3 Stunden	258	121	82%	315	4	70	169	379	1138
Parkplatz	gebührenfrei	224	100	82%	272	4	58	138	297	985
	gebührenpflichtig	283	159	88%	323	7	97	192	393	1196
	illegal	186	73	82%	228	5	47	123	275	710

6.3 Suchradius: Luftlinien zum finalen Ziel in Metern zum Beginn der Parkplatzsuche

Wenn die Fahrenden in der start2park-App den Beginn der Parkplatzsuche anzeigten, offenbarten sie damit auch, welche Luftlinie sie zum finalen Ziel akzeptieren. Diese Distanz werden sie dann in der Regel zu Fuß zurücklegen. Der tatsächliche Fußweg zum finalen Ziel wird dann – abhängig von der Topografie bzw. dem Wegenetz vor Ort – deutlich weiter sein (Abschnitt 6.4). Tabelle 11 und Tabelle 12 zeigen den Suchradius in Metern um das finale Ziel zum Beginn der Parkplatzsuche. Im Mittel beginnen die Nutzenden bei einer Luftlinie von 119 Metern zum finalen Ziel mit der Parkplatzsuche. Wenn nur die Fahrten betrachten werden, in denen

tatsächlich Parksuche stattfindet, erhöht sich dies auf 137 Meter. Bei immerhin 5% der Fahrten beginnt die Suche sogar schon bei mehr als 360 Metern Luftlinien-Entfernung zum finalen Ziel.

Tabelle 11: Suchradius nach fahrerspezifischen Merkmalen: Luftlinie zum finalen Ziel in Metern

		Alle Fahrten		Fahrten mit einer PSD>5s						
		Durch-schnitt	Median	Anteil	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		119	84	82%	137	13	51	104	184	360
Geschlecht	männlich	120	86	84%	136	14	51	103	183	357
	weiblich	107	70	73%	140	9	50	100	180	401
Altersklasse	18-35	120	84	84%	137	13	51	103	186	355
	36-55	126	97	76%	153	22	63	118	181	421
	55+	73	42	64%	106	0	36	81	122	351
Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	102	86	86%	114	6	58	92	144	278
	Kleinwagen	123	87	86%	137	12	50	103	181	354
	Kompaktklasse	118	78	81%	139	14	52	103	192	374
	Mittelklasse	116	96	80%	135	6	56	113	178	308
	Oberklasse	60	48	64%	86	12	44	69	115	196
	Transporter	244	276	93%	262	99	189	278	346	373
Fahrleistung	< 9000 km	113	76	85%	125	10	45	92	168	329
	9000 – 30000 km	122	87	81%	143	14	55	111	195	369
	> 30000 km	98	58	64%	148	21	64	108	183	414

Tabelle 12: Suchradius nach fahrtenspezifischen Merkmalen: Luftlinie zum finalen Ziel in Metern

		Alle Fahrten		Fahrten mit einer PSD>5s						
		Durch-schnitt	Median	Anteil	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		119	84	82%	137	13	51	104	184	360
Vertrautheit mit Zielgebiet	bekannt	117	83	80%	139	13	51	107	190	358
	unbekannt	123	87	90%	131	12	51	95	166	358
Fahrtzweck	Einkauf	102	68	82%	121	12	42	88	158	327
	Freizeit	128	88	86%	140	13	55	102	174	413
	Fahrt nach Hause	120	93	84%	134	13	54	111	183	331
	Arbeit	139	106	76%	172	23	72	159	236	414
	dienstlich	118	83	79%	142	12	49	113	186	355
Parkdauer	< 30min	100	66	80%	121	10	42	88	156	330
	30min – 3 Std.	130	90	88%	141	18	54	103	188	411
	>3 Stunden	127	96	82%	146	15	56	123	203	353
Parkplatz	gebührenfrei	115	80	82%	133	13	49	99	179	354
	gebührenpflichtig	162	130	88%	174	19	80	141	229	436
	illegal	119	89	82%	139	6	57	109	181	337

6.4 Akzeptierter Fußweg zum finalen Ziel in Metern und in Minuten zum Beginn der Parkplatzsuche

Wenn die Nutzenden mit der Parkplatzsuche beginnen, haben Sie im Durchschnitt gemäß Navi-Abfrage noch einen Fußweg von durchschnittlich 163 Meter bzw. im Mittel 115 Meter vor sich (Tabelle 13). Wenn nur die Fahrten mit PSD>5 Sekunden betrachtet werden, dann erhöht sich der Mittelwert auf 186m bzw. im Median auf 139m. Der tatsächliche akzeptierte Fußweg ist also deutlich weiter als die Luftlinie in Metern (Abschnitt 6.3). Ältere Menschen (55+) akzeptieren im Mittel bzw. Median nur deutlich kürzere Fußwege.

Tabelle 13: Akzeptierter Fußweg zum finalen Ziel in Metern

		Alle Fahrten		Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden						
		Durch-schnitt	Median	Anteil	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		163	115	82%	186	12	65	139	245	505
Geschlecht	männlich	166	118	84%	187	13	66	138	244	505
	weiblich	138	86	73%	179	8	60	128	244	494
Altersklasse	18-35	165	116	84%	186	12	65	137	244	499
	36-55	173	125	76%	206	23	78	162	282	537
	55+	102	53	64%	146	0	49	106	175	478
Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	131	114	86%	141	6	69	114	171	356
	Kleinwagen	164	116	86%	182	10	63	133	240	518
	Kompaktklasse	160	115	81%	186	13	67	143	252	495
	Mittelklasse	188	120	80%	214	5	71	141	240	534
	Oberklasse	77	47	64%	108	11	44	82	149	269
	Transporter	306	360	93%	328	119	216	375	421	492
Fahrleistung	< 9000 km	157	104	85%	173	10	57	122	226	513
	9000 – 30000 km	166	118	81%	193	14	70	144	253	493
	> 30000 km	126	82	64%	188	21	83	148	248	506
Vertrautheit mit Zielgebiet	bekannt	163	115	80%	191	12	67	143	252	504
	unbekannt	159	115	90%	170	10	63	124	222	492
Fahrtzweck	Einkauf	138	88	82%	163	11	55	118	217	476
	Freizeit	167	115	86%	183	11	64	133	232	524
	Fahrt nach Hause	159	124	84%	176	12	73	142	231	472
	Arbeit	218	174	76%	264	28	106	220	327	619
	dienstlich	159	116	79%	190	11	60	147	246	563
Parkdauer	< 30min	134	83	80%	162	10	53	116	214	447
	30min – 3 Std.	173	123	88%	187	14	66	135	254	561
	>3 Stunden	179	133	82%	203	14	78	161	262	488
Parkplatz	gebührenfrei	158	107	82%	181	12	64	132	236	489
	gebührenpflichtig	224	176	88%	238	20	119	200	310	634
	illegal	143	108	82%	167	6	67	138	226	401

6.5 Geschwindigkeit während der Suche

Zentral für das Verständnis der folgenden Analysen ist die folgende Unterscheidung:

- Die wahrscheinlich relevanteste Betrachtung ist die **Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge während der Parkplatzsuche** (im Vergleich zur Fahrt bis zum Start der Parkplatzsuche). Dies ist in Abschnitt 6.5.1 zu finden. Diese durchschnittliche Geschwindigkeit ergibt sich als gewichtetes harmonisches Mittel aus den Geschwindigkeiten, die bei den einzelnen GPS-Punkten gemessen werden. Diese Durchschnittsgeschwindigkeiten werden auch beeinflusst durch Halten, bspw. aufgrund roter Ampeln usw.
- Davon zu unterscheiden ist die **Verteilung der Geschwindigkeit während der Parkplatzsuche** gemessen an den zugrundeliegenden GPS-Punkten (Abschnitt 6.5.2). Diese ist relevant für die Modellierung der Parkplatzsuche.

6.5.1 Durchschnittsgeschwindigkeiten während der Fahrt und der Parkplatzsuche

Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fahrzeuge während der Fahrt bis zur Suche (links) und während der Parkplatzsuche (rechts), bei den Fahrten mit PSD>5 Sekunden. Diese basieren auf den Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fahrzeuge. Die Werte sind auch zu finden in Tabelle 14. Der Mittelwert der Durchschnittsgeschwindigkeiten während der Parkplatzsuche beträgt nur 9 km/h; der Median liegt sogar bei

nur 8 km/h. Dies ist im Vergleich zu den Durchschnittsgeschwindigkeiten während der Fahrt zu interpretieren. Zu erkennen ist, dass viele Fahrzeuge während der Parkplatzsuche eine Durchschnittsgeschwindigkeit von nahe Null aufweisen. Parkplatzsuchende Fahrzeuge stellen also ein ernstzunehmendes Verkehrshindernis dar.

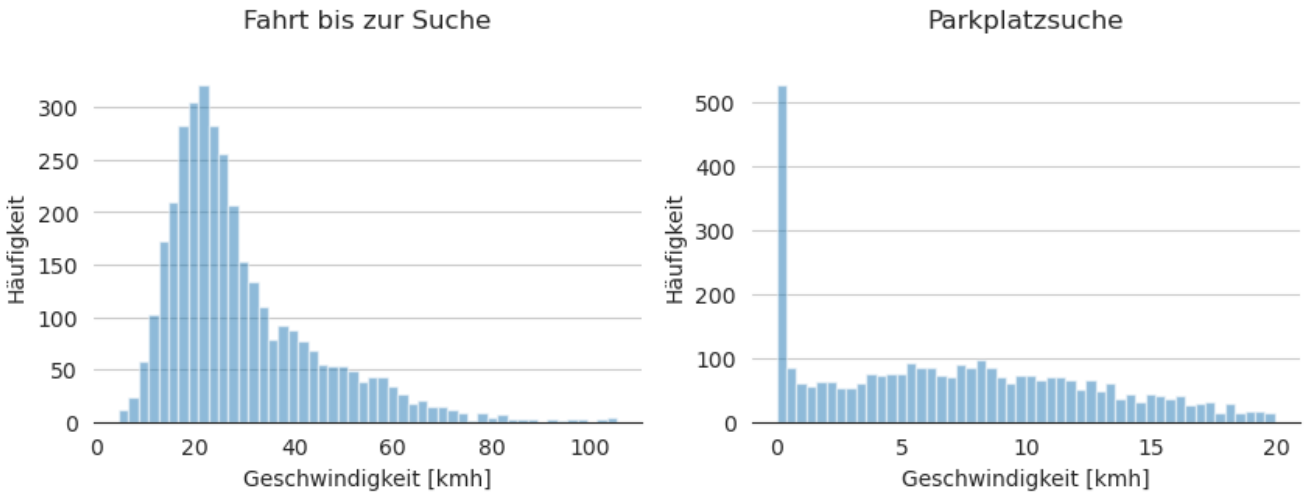


Abbildung 12: Durchschnittliche Geschwindigkeit in km/h während der Fahrt und während der Parkplatzsuche (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

Tabelle 14: Durchschnittgeschwindigkeit in km/h während der Fahrt und während der Parkplatzsuche

	Anzahl	Durch-schnitt	Quantil				
			5%	25%	Median	75%	95%
Fahrten bis zum Parken	3550	29.07	12.13	18.84	24.8	35.59	59.91
Fahrten bis zur Suche mit PSD>5	2924	29.25	12.37	19	24.89	35.71	60.36
Fahrt während der Suche mit PSD>5	2924	9.05	0.52	4.58	8.23	12.53	19.85

6.5.2 Verteilung der gemessenen Geschwindigkeiten der einzelnen GPS-Koordinaten

Abbildung 13 zeigt die Verteilung der Geschwindigkeit der Fahrzeuge während der Fahrt bis zur Suche (links) und während der Parkplatzsuche (rechts), bei den Fahrten mit PSD>5 Sekunden. Diese basieren auf den Geschwindigkeiten der einzelnen GPS-Koordinaten. Zu beachten ist dabei, dass Mittelwerte nicht als Durchschnittsgeschwindigkeiten der ganzen Such- oder Fahrstrecke interpretiert werden dürfen, sondern es handelt sich um die Mittelwerte der aufgezeichneten Geschwindigkeiten an den GPS-Punkten.

Zu erkennen ist:

- Die Verteilung der Geschwindigkeiten bei Fahrten bis zur Suche hat zwei (lokale) Maxima (Modalwerte): Zum einen bei circa 40 km/h und bei circa 80 km/h, was offenbar den innerstädtischen und außerstädtischen Verkehr repräsentiert. Eine gewisse Häufung gibt es zudem bei 0 km/h.
- Die Verteilung der Geschwindigkeiten bei der Parksuche weist ebenfalls drei (lokale) Maxima auf: Eine sehr starke Häufung bei 0 km/h, eine starke Häufung bei ca. 18 km/h und eine schwächere Häufung bei ca. 10 km/h.

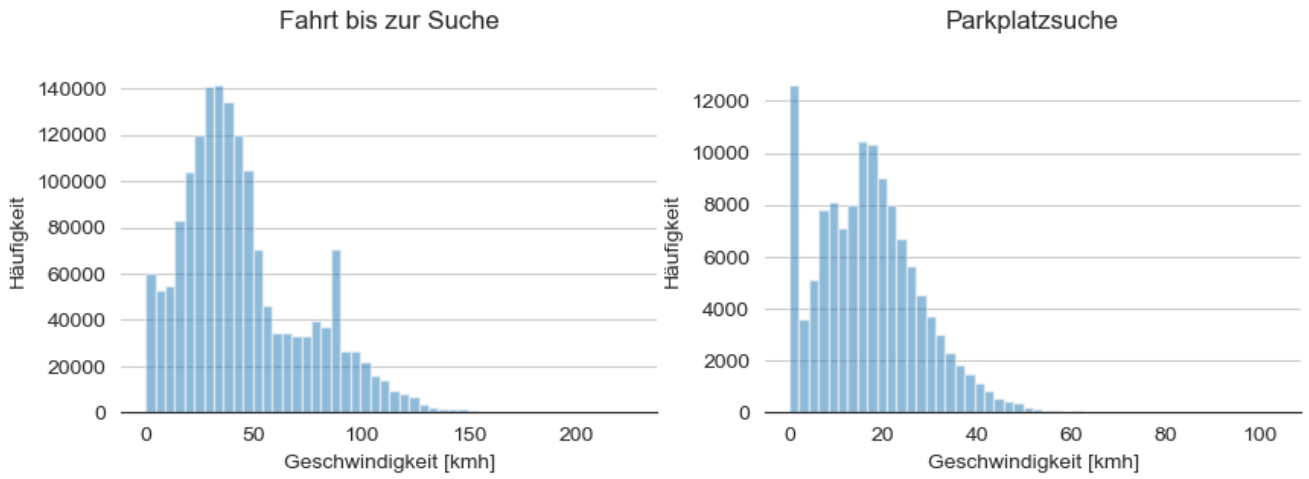


Abbildung 13: Geschwindigkeit in km/h während der Fahrt und während der Parkplatzsuche bei jedem aufgezeichneten GPS-Punkt (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

6.6 Entfernung (Luftlinie) des gefundenen Parkplatzes zum finalen Ziel

Wenn ein Parkplatz gefunden wurde, stand den Fahrenden noch ein mehr oder weniger langer Fußweg zum finalen Ziel bevor. Die folgende Tabelle zeigt jedoch die Luftlinien-Distanz vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel.

Tabelle 15: Luftliniendistanz vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel in Meter

Alle Fahrten			Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden					
Anzahl	Durchschnitt	Median	Durchschnitt	Quantile				
				5%	25%	Median	75%	95%
3550	63	30	69	0	10	36	90	244

6.7 Zurückgelegter Fußweg zum finalen Ziel

Aufgrund der in Abschnitt 5 dargestellten Gründe, werden hier nicht die tatsächlichen Wegepunkte des Fußwegs genutzt, sondern die Wege, die sich aus einer Navi-Abfrage für den Fußweg vom parkenden Fahrzeug bis zum finalen Ziel ergibt.

6.7.1 Fußwegdauer vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel in Minuten

Tabelle 16: Zurückgelegte Fußwegdauer vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel in Minuten (Format mm:ss)

		Alle Fahrten		Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden						
		Durch-schnitt	Median	Anteil	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		01:09	00:27	82%	01:15	00:00	00:06	00:33	01:35	04:49
Geschlecht	männlich	01:13	00:32	84%	01:19	00:00	00:08	00:37	01:40	04:58
	weiblich	00:39	00:02	73%	00:48	00:00	00:00	00:04	00:51	03:29
Altersklasse	18-35	01:10	00:28	84%	01:16	00:00	00:07	00:33	01:33	04:51
	36-55	01:14	00:31	76%	01:22	00:00	00:09	00:44	01:56	05:06
	55+	00:24	00:00	64%	00:31	00:00	00:00	00:02	00:25	02:35
Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	00:41	00:12	86%	00:39	00:00	00:00	00:12	00:42	02:33
	Kleinwagen	01:17	00:27	86%	01:23	00:00	00:04	00:34	01:48	06:04
	Kompaktklasse	00:57	00:28	81%	01:02	00:00	00:08	00:33	01:23	03:32
	Mittelklasse	01:27	00:18	80%	01:36	00:00	00:03	00:34	01:41	05:21
	Oberklasse	00:47	00:09	64%	01:07	00:00	00:06	00:20	01:13	06:20
	Transporter	01:16	01:02	93%	01:21	00:04	00:31	01:03	02:02	03:31
Fahrleistung	< 9000 km	01:18	00:22	85%	01:23	00:00	00:03	00:29	01:49	06:46
	9000 – 30000 km	01:04	00:29	81%	01:11	00:00	00:08	00:36	01:29	04:03
	> 30000 km	00:19	00:00	64%	00:24	00:00	00:00	00:04	00:22	01:33
Vertrautheit mit Zielgebiet	bekannt	01:10	00:27	80%	01:19	00:00	00:07	00:36	01:37	05:10
	unbekannt	01:02	00:22	90%	01:04	00:00	00:03	00:27	01:28	04:12
Fahrtzweck	Einkauf	00:50	00:14	82%	00:57	00:00	00:03	00:20	01:08	04:00
	Freizeit	01:12	00:32	86%	01:16	00:00	00:07	00:36	01:37	04:45
	Fahrt nach Hause	01:20	00:41	84%	01:27	00:00	00:15	00:48	01:48	06:31
	Arbeit	01:28	00:22	76%	01:41	00:00	00:04	00:39	02:02	05:38
	dienstlich	00:58	00:18	79%	01:03	00:00	00:05	00:22	01:31	03:55
Parkdauer	< 30min	00:40	00:09	80%	00:45	00:00	00:01	00:14	00:52	03:26
	30min – 3 Std.	01:23	00:39	88%	01:27	00:00	00:11	00:43	01:57	05:22
	>3 Stunden	01:23	00:37	82%	01:31	00:00	00:09	00:46	01:52	05:50
Parkplatz	gebührenfrei	01:08	00:27	82%	01:16	00:00	00:07	00:34	01:35	04:48
	gebührenpflichtig	01:34	00:57	88%	01:34	00:00	00:07	00:59	02:04	05:57
	illegal	00:28	00:03	82%	00:28	00:00	00:00	00:04	00:32	02:24

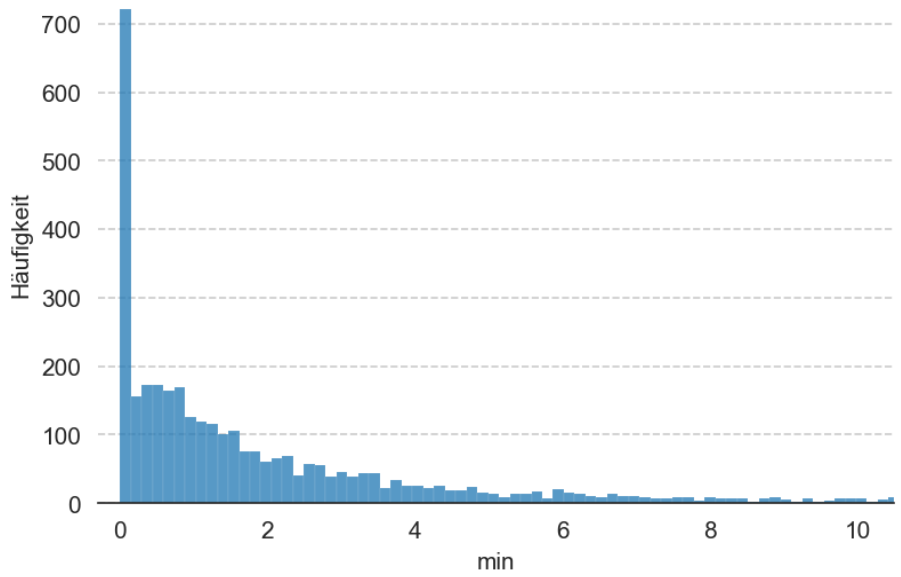


Abbildung 14: Fußwegdauer in Minuten (ohne Darstellung der Ausreißer)

6.7.2 Fußwegdistanz vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel in Meter

Tabelle 17: Zurückgelegte Fußwegdistanz vom geparkten Fahrzeug zum finalen Ziel in Meter

		Alle Fahrten			Fahrten mit einer PSD>5s						
		Anzahl	Durch-schnitt	Median	Anteil >5s	Durch-schnitt	Quantile 5%	25%	Median	75%	95%
Alle		3550	96	38	82%	106	0	9	47	133	403
Geschlecht	männlich	2983	103	45	84%	111	0	12	53	140	418
	weiblich	499	55	3	73%	67	0	0	6	72	294
Altersklasse	18-35	2998	99	40	84%	107	0	10	47	131	409
	36-55	329	103	44	76%	115	0	13	63	163	425
	55+	168	35	1	64%	44	0	0	3	35	220
Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	14	58	18	86%	55	0	0	18	60	215
	Kleinwagen	1501	108	38	86%	116	0	6	48	153	509
	Kompaktklasse	1472	80	39	81%	88	0	11	47	117	298
	Mittelklasse	345	123	26	80%	135	0	5	48	144	455
	Oberklasse	134	66	13	64%	95	0	9	29	103	536
	Transporter	29	107	85	93%	115	6	44	86	171	300
Fahrleistung	< 9000 km	1153	110	31	85%	117	0	5	41	155	567
	9000 – 30000 km	2278	91	41	81%	101	0	11	51	126	340
	> 30000 km	64	27	0	64%	34	0	0	6	32	132
Vertrautheit mit Zielgebiet	bekannt	2615	99	39	80%	111	0	10	51	136	434
	unbekannt	892	87	32	90%	91	0	5	38	124	353
Fahrtzweck	Einkauf	1082	71	20	82%	80	0	4	29	95	329
	Freizeit	932	101	46	86%	107	0	10	51	136	402
	Fahrt nach Hause	807	113	58	84%	123	0	21	68	153	546
	Arbeit	446	124	31	76%	142	0	5	55	172	474
	dienstlich	240	81	26	79%	89	0	7	31	128	327
Parkdauer	< 30min	1179	56	13	80%	63	0	2	20	74	288
	30min – 3 Std.	878	117	55	88%	123	0	16	61	165	450
	>3 Stunden	1450	117	53	82%	127	0	13	65	157	491
Parkplatz	gebührenfrei	3043	96	39	82%	107	0	10	48	132	403
	gebührenpflichtig	280	132	80	88%	133	0	9	83	175	501
	illegal	184	39	5	82%	40	0	0	6	46	202

6.8 Gesamte Reisedauer aufgeteilt in Abschnitte

Abbildung 15 stellt Mittelwert (links) und Median (rechts) der Reisedauer aufgeteilt in die drei Abschnitte – Fahren, Suchen, Fußweg – differenziert nach Fahrtzweck dar. Darüber hinaus wird differenziert zwischen allen Fahrten (oben) und den Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden (unten).

Zu beachten sind zwei Aspekte:

- Beim Durchschnitt, also dem arithmetischen Mittel (zwei linke Grafiken), entspricht die Summe der Teile (durchschnittliche Dauer Fahren, Suchen, Fußweg) der durchschnittlichen gesamten Reisedauer. Dies ist beim Median aufgrund seiner mathematischen Eigenschaften nicht der Fall (rechts).
- Es ist denkbar, dass die Fahrt bis zur Suche (blau) etwas unterschätzt wird, da Nutzende die App bei langen Fahrten mglw. erst dann starteten, wenn sie sich dem Ziel näherten.

Trotz dieser Einschränkungen vermitteln die Grafiken, dass die Fußwegzeit und die Parksuchzeit signifikante Anteile an der gesamten Reisezeit ausmachen können, zumindest bei kurzen Fahrten.

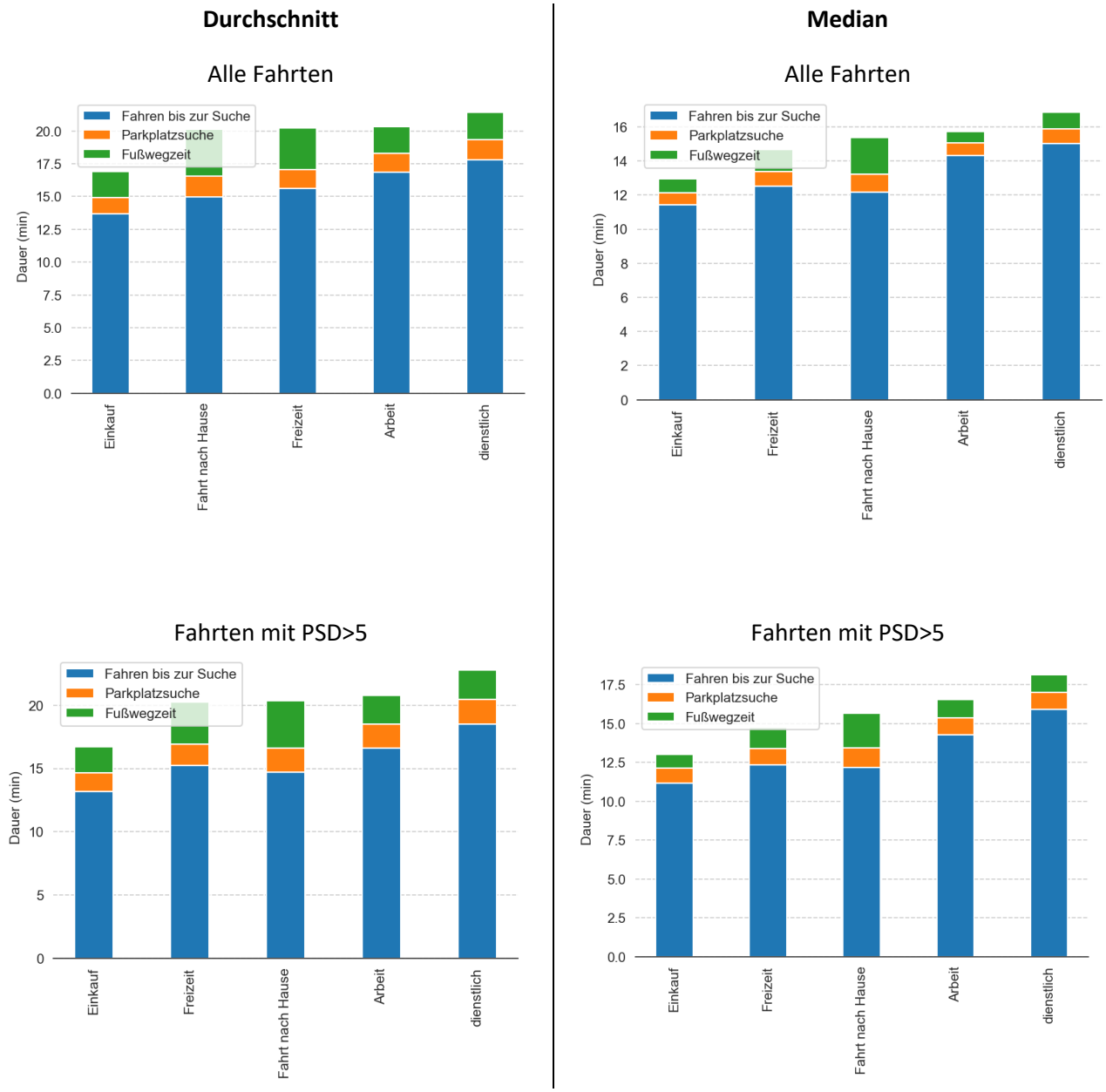


Abbildung 15: Reisedauer aufgeteilt in die drei Abschnitte – nach Fahrtzwecke

7 Statistisches Erklärungsmodell für die Parkplatzsuche

Die Erklärung der Parkplatzsuche wurde methodisch in zwei Schritten aufgeteilt. Beide Schritte basieren auf den Trainings-(start2park)Daten.

7.1 Model 1: Startpunkt der Parkplatzsuche

Hier ging es darum, die Determinanten der Beginns der Parkplatzsuche anhand der Trainings-(start2park)Daten im Rahmen eines statistischen Modells zu analysieren. Dazu existiert demnächst eine Open-Access Publikation, sodass die Ergebnisse hier nur zusammengefasst werden.

Die Ergebnisse dieser Analyse deuten darauf hin, dass fahrer-, fahrt- und zielbezogene Variablen einen signifikanten Einfluss auf den Startpunkt der Parkplatzsuche haben. So wird beispielsweise festgestellt, dass jüngere Fahrer, männliche Fahrer und Fahrer von Fahrzeugen niedrigerer Klassen den Suchprozess früher beginnen, was möglicherweise auf ihre höhere Toleranz für eine längere Gehstrecke und/oder geringere Zeitwerte zurückzuführen ist.

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Vertrautheit mit dem Zielgebiet zu einem früheren Beginn des Suchprozesses führt, während Fahrer, die mit dem Gebiet nicht vertraut sind, weiter in Richtung ihres Ziels gehen, um sich über die Parksituation zu informieren. In der Hauptverkehrszeit und in Gebieten mit vielen Annehmlichkeiten, wie Restaurants und Bars, beginnen die Fahrer ebenfalls früher mit der Suche. Zudem beginnt die Suche früher, wenn die Fahrgeschwindigkeit geringer ist – etwa, weil sich der Verkehr staut. In dieser Situation kann es fahrzeitverkürzend sein, das Auto zu einem frühen Zeitpunkt „stehen“ zu lassen und zu Fuß zugehen. Dies wird in Abbildung 28 deutlich, in der die "Average Adjusted Predictions" als Funktion der "Lagged Speed" dargestellt sind.

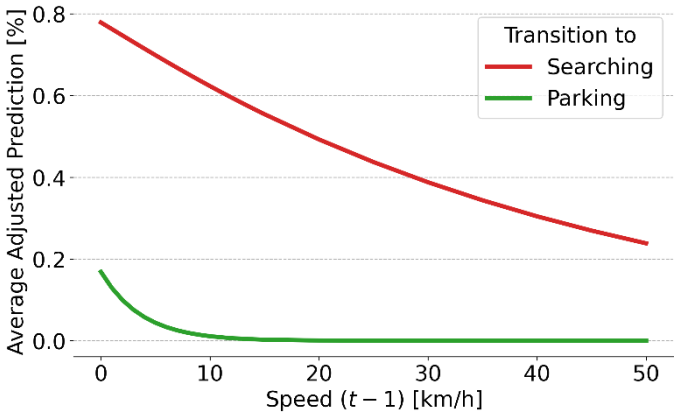


Abbildung 16: „Predictive Margins“ der ("lagged") Geschwindigkeit auf der Übergangswahrscheinlichkeit pro Sekunde in Prozent

Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Fahrer mit zunehmender Schwierigkeit, einen freien Parkplatz zu finden, oder mit abnehmender Fahrgeschwindigkeit dazu neigen, den Suchprozess früher zu beginnen. Dies erklärt, warum der mittlere Suchradius in eher ländlichen Gegenden deutlich geringer ist als in der Innenstadt von Metropolen.

Es wurde auch beobachtet, dass unter bestimmten Umständen die Parkplatzsuche ganz unterbleiben kann und das Fahrzeug sofort geparkt wird. Es wurde festgestellt, dass Faktoren wie die Fahrt nach Hause, eine geplante

Parkdauer von weniger als 30 Minuten und die Vertrautheit mit dem Zielgebiet die Wahrscheinlichkeit des sofortigen Parkens ohne Suche erhöhen.

7.2 Model 2: Erklärung der Parkplatzsuchdauer

Untersucht wurde die Dauer der Parkplatzsuche vom Beginn der Parkplatzsuche bis Fahrende entweder einen kostenlosen, einen kostenpflichtigen oder einen „illegalen“ Parkplatz gefunden haben Dazu existiert demnächst eine Open-Access Publikation, sodass die Ergebnisse hier nur zusammengefasst werden.

Die Ergebnisse: Kostenloses Parken wird als erste Option bevorzugt. Je länger die Suche dauert, desto mehr ziehen die Fahrenden kostenpflichtige Parkmöglichkeiten in Betracht. Daraus lässt sich – im Einklang mit der Literatur schließen –, dass die gleichzeitige Existenz von kostenlosem und kostenpflichtigem Parken in städtischen Gebieten den Parksuchverkehr erhöht.

Bei illegalem Parken scheinen Autofahrende ihre Wahl oft schon im Voraus auf illegales Parken festzulegen, da man hier keinerlei Dauerabhängigkeit der Entscheidung feststellen kann.

Interessant ist die Entwicklung der Entfernung zum finalen Ziel während der Parkplatzsuche, die in Abbildung 17 dargestellt ist. Im Durchschnitt beginnt die Parkplatzsuche vor dem finalen Ziel. In den ersten 45 Sekunden nähern sich die Fahrzeuge daher dem finalen Ziel. Danach entfernen sie sich und scheinen dann in einem Radius von ca. 220 m das finale Ziel zu „umkreisen“. Die Fahrenden, die dann auch nach 10 Minuten keinen Parkplatz gefunden haben, erhöhen ihren Suchradius weiter. Aufgrund zu hoher statistischer Unsicherheit – zu erkennen an dem breiter werdenden 95%-Konfidenzintervall – macht eine Interpretation der weiteren Entwicklung nach 10 Minuten Suchdauer keinen Sinn.

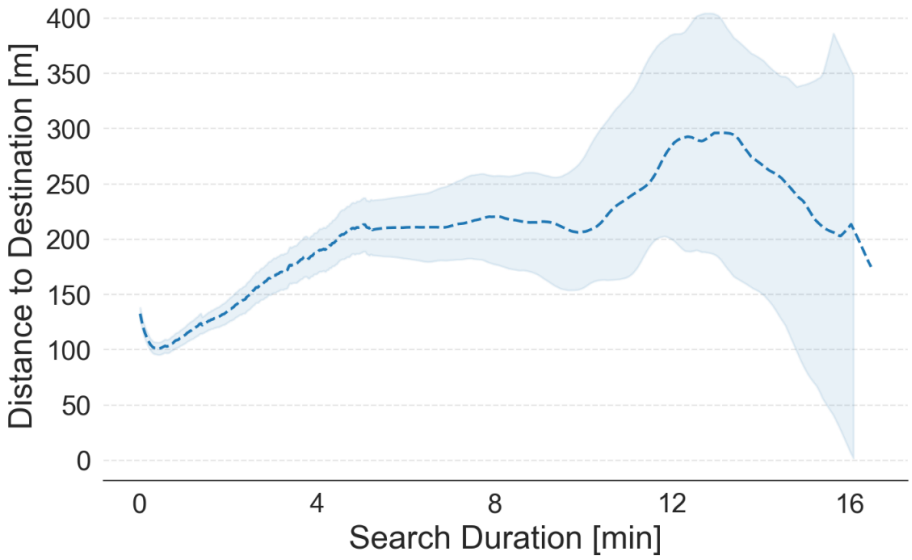


Abbildung 17: Entfernung zum finalen Ziel während der Parkplatzsuche (mit 95%-Konfidenzintervall)

8 Das Prognose-Modell zur Erkennung von Parkplatzsuche in historischen Daten

8.1 Architektur und Potentielle Features

Eine Methode ist erforderlich, die sowohl Präzision als auch Verwendbarkeit über verschiedene Datensätze hinweg gewährleistet. GPS-Daten von PKWs unterscheiden sich typischerweise in Bezug auf das Gerät, mit dem sie aufgezeichnet werden (Smartphones, Navigationsgeräte, eingebaute Geräte) und die Sampling-Rate der Datenpunkte. Das Ziel ist daher, ein Modell zu entwickeln, das auf große GPS-Datensätze aus verschiedenen Quellen anwendbar ist, um so die fehlende Repräsentativität der Trainingsdaten zu überwinden und damit belastbare Daten zur Parkplatzsuche zu generieren.

Die meisten historischen GPS-Datensätze beinhalten in erster Linie nur Trajektorien vom Startpunkt bis zum Parkplatz, ohne die Einbeziehung von Fußwegen oder zusätzlichen kontextuellen Informationen über die fahrende Person oder die Fahrt. Daher sollte das Modell mit nur wenigen Features funktionieren, damit es übertragbar ist auf andere Datensätze.

Das Modell verwendet ein neuronales Feed-Forward-Netz, eine Architektur, die sich bewährt hat, um komplexe Mustern innerhalb von Daten abzubilden (Ojha et al. 2017). Die Architektur besteht aus zwei „hidden layers“ mit 128 bzw. 32 Neuronen. Diese spezifische Architektur wurde auf der Grundlage von Vorversuchen ausgewählt und entspricht den Standards (Karlaftis und Vlahogianni 2011).

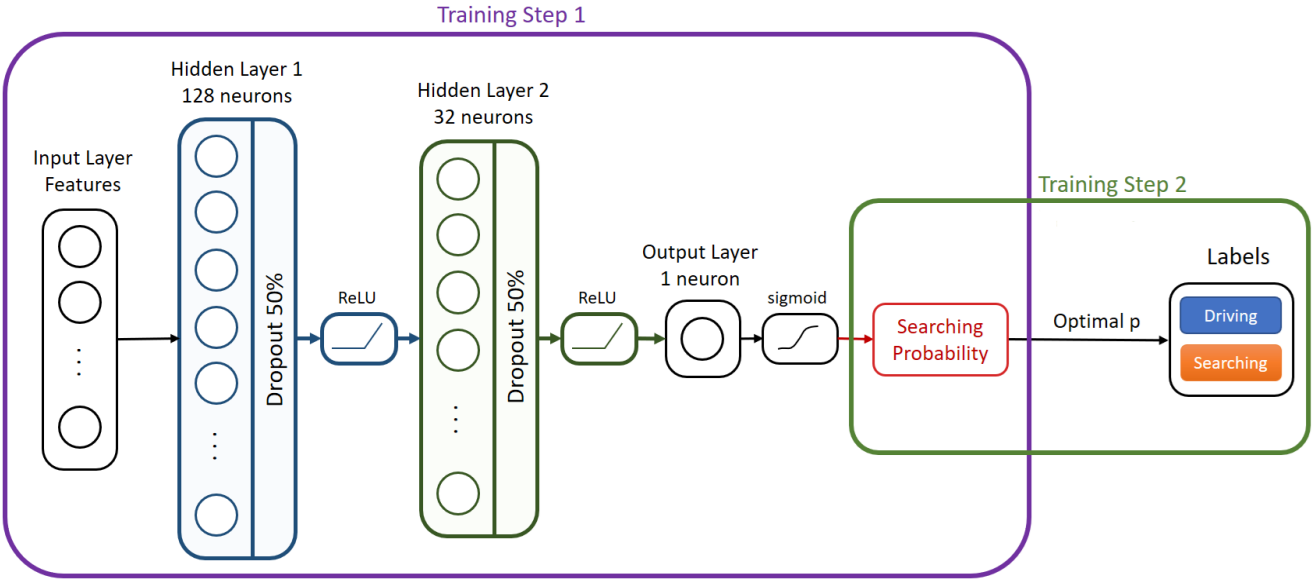


Abbildung 18: Architektur des ReLUT-Modells – Identifikation Parkplatzsuche in GPS-Daten

Abbildung 18 zeigt die Architektur des Prognose-Modells, das aus zwei Trainings-Schritten besteht. „Training Step 1“ umfasst die folgenden Komponenten:

- Der „Hidden Layer 1“ (128 Neuronen) hat die Aufgabe, die anfänglichen Muster und Beziehungen innerhalb der Features zu erfassen und eine Basis für die nachfolgenden Layers zu bilden.
- Der „Hidden Layer 2“ (32 Neuronen) verfeinert die vom vorhergehenden „Layer“ Muster weiter

- Der „Output Layer“ (Sigmoid-Aktivierung) verwendet eine sigmoid-Aktivierungsfunktion, die einen Wahrscheinlichkeitswert dafür liefert, ob es sich bei einem GPS-Punkt um einen "Suchen"-Punkt oder um einen "normale Fahrt“-Punkt handelt.

Beim „*Training Step 2*“ wird der optimale Schwellenwert („optimal p“), der mit der Abtastrate der Fahrt zusammenhängt, bestimmt. Dann wird jedem GPS-Punkt basierend auf der vorhergesagten Wahrscheinlichkeit für „Suche“, die zwischen 0% und 100% liegt, und dem optimalen Schwellenwert, das Label „Searching“ oder „Driving“ hinzugefügt.

Zum Trainieren des Modells wurde eine breite Palette von Variablen / Features getestet:

- **Geschwindigkeit**: Die Geschwindigkeit, die von Smartphone-Sensoren erfasst wird und häufig in Floating Car Data (FCD) enthalten ist, ist eine entscheidende Variable, die direkt vom Fahrerverhalten beeinflusst wird und in früheren Methoden zur Definition der Suche verwendet wurde. Es wird davon ausgegangen, dass Geschwindigkeitsschwankungen, insbesondere Geschwindigkeitsreduzierungen, ein Hinweis darauf sein können, dass ein Fahrer die Parkplatzsuche einleitet oder in eine Parklücke manövriert.

- **Beschleunigung**: Es hat sich gezeigt, dass Beschleunigungsdaten für die Erkennung von Verkehrsmitteln entscheidend sind (Feng und Timmermans 2013). Betrachtet man die Parkplatzsuche als eine Unterkategorie innerhalb der Verkehrsmittelwahl, können diese Daten die Genauigkeit des Modells erheblich verbessern. Die App sammelt zwar nicht direkt Beschleunigungsdaten, aber die Sampling-Rate (das Zeitintervall zwischen aufeinanderfolgenden Punkten) zusammen mit der Geschwindigkeit ermöglichen es, Beschleunigungsinformationen in das Modell zu integrieren.

- **Zeit- und Standortvariablen**: Zeit- und Standortvariablen sind aufgrund ihrer potenziellen Korrelation mit der Parkplatzbelegungsrate relevant (McCahill 2017). Unterschiedliche Tageszeiten oder Wochentage können ein unterschiedliches Maß an Parkplatzbelegung aufweisen, was wiederum die Entscheidung eines Fahrers beeinflussen könnte, seine Parkplatzsuche früher oder später zu beginnen, sowie den Erfolg und die Dauer der Suche. Darüber hinaus können bestimmte Orte aufgrund der Nähe zu beliebten Zielen, der Verfügbarkeit von Parkplatzinfrastruktur oder der allgemeinen Verkehrslage mit einem bestimmten Parksuchverhalten verbunden sein.

- **Entfernung zum Parkplatz**: Die Entfernung zum Zielort ist eine entscheidende Variable, da sie die für die fahrende Person akzeptable Fußwegstrecke angibt. Die meisten Fahrenden streben eine möglichst kurze Gesamtfahrtzeit an, was häufig mit einer Optimierung des Fußwegs einhergeht. Da historische GPS-Daten jedoch in der Regel nicht das genaue finale Ziel des Weges enthalten, wird hier – in Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen – die Entfernung zum Parkplatz als Ersatz verwendet.

- **Sampling-Rate**: Unser Datensatz, der mit hoher Frequenz aufgezeichnet wird, weist überwiegend eine Sampling-Rate von 1s auf. Diese Granularität ist jedoch nicht für alle Datensätze typisch. Um sicherzustellen, dass das Modell auf Datensätze mit unterschiedlichen Sampling-Raten anwendbar ist, wurde diese als Feature in das Modell aufgenommen. Außerdem wurden Datensätze mit unterschiedlichen durchschnittlichen Sampling-Rate von 5s, 10s und 15s erstellt. Das Modell wurde dann auf diesen Datensätzen neu trainiert, um seine Robustheit zu erhöhen und seine Anwendbarkeit auf Datensätze mit unterschiedlicher Sampling-Rate zu gewährleisten.

- **Verzögerte Variablen**: Bei zeitvariierenden Variablen wie Geschwindigkeit und Sampling-Rate werden die Werte von fünf früheren Punkten in Features aufgenommen, um die Möglichkeit zu berücksichtigen, dass der Beginn der Parkplatzsuche nicht nur durch zeitgleiche Werte der Variablen, sondern auch durch verzögerte Werte ausgelöst werden.
- **Sonstige Variablen**: Zusätzliche Variablen wie Wetterdaten gehen in das Modell ein und ihre Relevanz wird bewertet.

8.2 Training und Evaluation des Modells

Der Trainingsprozess ist in zwei Stufen unterteilt. In der ersten Stufe werden die Gewichte des neuronalen Netzes anhand einer binären cross-entropy-Verlustfunktion berechnet. Das Modell verwendet in seinem Output-Layer eine Sigmoid-Funktion, die für jeden GPS-Punkt einen Wahrscheinlichkeitswert (0-100%) dafür liefert, dass fahrende Person an diesem bestimmten Punkt einen Parkplatz sucht oder „normal“ fährt. Durch die Identifizierung von Punkten mit hohen Wahrscheinlichkeiten umreißt das Modell den Übergang vom normalen Fahren zur Parkplatzsuche. Der f1-Score, das harmonische Mittel aus Precision und Recall, wurde in der Anfangsphase des Trainings als Performance-Metrik genutzt.[6]

In der zweiten Phase des Trainingsprozesses wird der optimale Schwellenwert (für die Zuordnung der Wahrscheinlichkeit zu den Labels „Suchen“ versus „Fahren“) durch „Grid Search“ bestimmt, um den mittleren absoluten Fehler (MAE) in der so identifizierten Parksuchdauer zu minimieren. Sobald das Modell den Übergang vom normalen Fahren zur Suche erkannt hat, kategorisiert es die verbleibende Strecke als Parkplatzsuche. Der MAE stellt die durchschnittlichen absoluten Differenzen zwischen den beobachteten tatsächlichen Ergebnissen und den vom Modell getroffenen Prognosen dar. Im „Grid Search“-Prozess wird der MAE aufgrund seiner Robustheit gegenüber Ausreißern als primäre Metrik gewählt, was angesichts der rechtsschiefen Verteilung der PSD und einiger Extremwerte von Bedeutung ist. Die einfache Interpretierbarkeit von MAE ist von Vorteil, da sie direkt den durchschnittlichen Vorhersagefehler bzgl. der Parksuchzeit widerspiegelt. Darüber hinaus passt der MAE gut zu dem Kernziel, die komplette Suchroute durch Messung der direkten Abweichung von der vorhergesagten PSD genau zu identifizieren.

Der Datensatz wurde in einen Trainings- und einen Testdatensatz aufgeteilt, wobei der Testdatensatz etwa 10% der Gesamtdaten umfasst. Durch diese Aufteilung wird sichergestellt, dass das Modell während des Trainings mit einer Vielzahl von Daten in Berührung kommt, während gleichzeitig eine Teilmenge der Daten für Validierungszwecke reserviert wird.

Um die Robustheit des Validierungsprozesses weiter zu verbessern, wurde eine k-fache cross-validation-Technik eingesetzt, wobei k auf 10 gesetzt wurde. Die Wahl von k=10 basiert auf der weit verbreiteten Annahme in ähnlichen Studien, die ein Gleichgewicht zwischen Recheneffizienz und zuverlässiger Schätzung der Leistung des

[6] Die Wahl des f1-Scores beruht auf seiner Fähigkeit, sowohl Präzision als auch Recall auszugleichen und einen umfassenden Überblick über die Leistung des Modells in Bezug auf beide Metriken zu geben. In unserem Rahmen ist die Präzision die Genauigkeit positiver Vorhersagen, was entscheidend ist, um sicherzustellen, dass die identifizierten Parksuchpunkte tatsächlich korrekt sind und es sich nicht um falsch positive Ergebnisse handelt. Im Gegensatz dazu ist der Recall die Fähigkeit des Modells, alle tatsächlichen Parksuchpunkte korrekt zu identifizieren, was entscheidend ist, um sicherzustellen, dass alle relevanten Datenpunkte erfasst werden. Da sowohl falsch-positive als auch falsch-negative Ergebnisse im Zusammenhang mit der Analyse des Parkverhaltens von großer Bedeutung sind, wird der f1-Score zu einer relevanten Kennzahl, die sicherstellt, dass das Modell weder der Präzision noch der Wiedererkennung überproportional viel Bedeutung beimisst und somit eine ausgewogene Vorhersagefähigkeit beibehält.

Modells anstreben (Kohavi et al. 1995). Bei diesem Ansatz wird der Datensatz in 10 Teilmengen partitioniert und das Modell dann 10-mal trainiert, wobei jedes Mal 9 Teilmengen zum Training und die verbleibende Teilmenge zum Testen genutzt werden. Dieser Ansatz maximiert nicht nur den Nutzen der verfügbaren Daten, sondern liefert auch eine zuverlässigere und verallgemeinerte Leistungsschätzung, indem die potenziellen Verzerrungen oder Abweichungen, die sich aus einer einzigen zufälligen Datenaufteilung ergeben könnten, berücksichtigt werden (Fushiki 2011). Die Leistung des Modells wurde durch die Bewertung des MAE bzgl. der Parksuchdauer und den Vergleich der tatsächlichen und vorhergesagten mittleren Parksuchdauer bewertet. Die MAE bietet ein einfaches, interpretierbares Maß für den durchschnittlichen Fehler in der vorhergesagten Parksuchdauer, während der Vergleich der mittleren Parksuchdauer einen Einblick in die die Fähigkeit des Modells, die durchschnittliche Dauer der Parkplatzsuche für verschiedene Fahrten zu prognostizieren.

Bei der Verfeinerung des Prognosemodells wurde eine Vielzahl von Features untersucht und getestet. Wir starteten mit einem Basismodell, das in erster Linie die Entfernung zum Parkplatz als Kernmerkmal verwendete. Anschließend haben wir die Geschwindigkeit, die Sampling-Rate der GPS-Daten, die Himmelsrichtung, Zeitvariablen (Tageszeit, Wochentag und Feiertage), Gebietstypen und Wetter Bedingungen getestet. Die Einbeziehung der Geschwindigkeit als zusätzliches Feature führte zu einer deutlichen Steigerung der Leistung des Modells. Dicht gefolgt von der Sampling Rate, die ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit des Modells bewirkte. Diese Verbesserung, die auf die Sampling Rate zurückzuführen ist, kann wahrscheinlich durch die implizite Berücksichtigung der Beschleunigung erklärt werden, die dem Modell umfassendere Informationen für die Fahrdynamik vermittelt.

Zusätzliche Features verbessern die Prognosefähigkeit des Modells jedoch nicht. Diese Beobachtung wird in Abbildung 19 visualisiert, in der die Leistung des Modells gegen die Reihenfolge der hinzugefügten Features auf der X-Achse aufgetragen ist. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Hinzufügung von weiteren Features zusätzlich zu Geschwindigkeit, Sampling-Rate und Entfernung nicht zu einer signifikanten Leistungssteigerung beiträgt. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist, dass Geschwindigkeit und Beschleunigung eines Fahrzeugs bereits Informationen über die Verkehrssituation (Stunde und Tag), den Gebietstyp und das Wetter enthalten könnten.

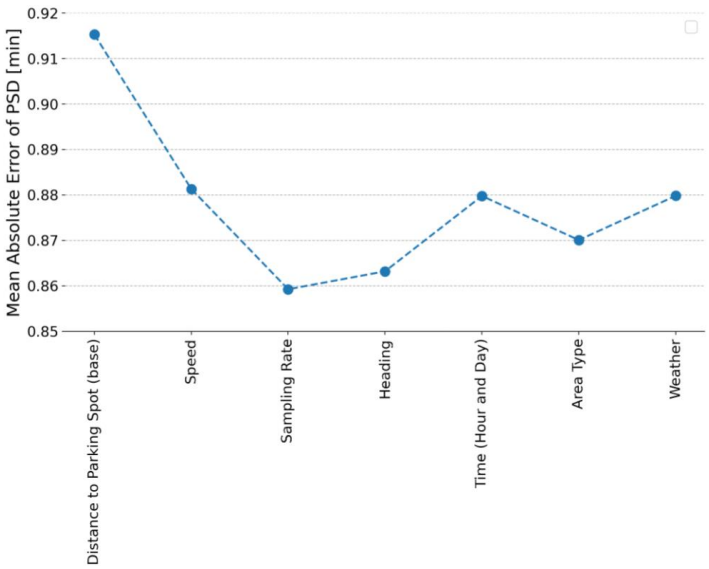


Abbildung 19: Veränderung der Performance des Prognose-Modells bei der Aufnahme zusätzlicher Variablen

Angesichts dieser Beobachtung wurde die strategische Entscheidung getroffen, diese zusätzlichen Variablen aus dem endgültigen Modell auszuschließen. Dadurch wurde das Modell auch bzgl. seiner Einfachheit und Verallgemeinerbarkeit verbessert. Durch die Konzentration auf eine überschaubare Reihe von wichtigen Merkmalen wird sichergestellt, dass das Modell auf eine Vielzahl von Datensätzen und Szenarien anwendbar bleibt. Aus diesem Grund wurde das Modell auf GitHub [https://github.com/ReLUT/parking-search-prediction] veröffentlicht, damit es weiter genutzt werden kann.

Die Bewertungsergebnisse, aufgeteilt nach verschiedenen Sampling-Rates, sind in Tabelle 18 dargestellt. Das Modell zeigt eine hervorragende Leistung bei verschiedenen Sampling-Rates, mit einer vernachlässigbaren Abweichung zwischen tatsächlicher und vorhergesagter mittleren Parksuchdauer (MPSD) und einem MAE von weniger als einer Minute. Dies zeigt, dass das Modell in der Lage ist, die Parksucherdauer mit einer durchschnittlichen Fehlermarge von unter einer Minute vorherzusagen, was seine Zuverlässigkeit und Genauigkeit bei der Vorhersage der Parkplatzsuche bestätigt.

Ein detaillierterer Blick auf die Ergebnisse zeigt subtile Variationen in den MPSD-Vorhersagen bei unterschiedlichen Sampling-Rates. Während zum Beispiel die Sampling-Rate von 1s und 5s identische MPSD-Vorhersagen liefern, wird eine leichte Abweichung beobachtet, wenn die Sampling-Rate auf 10s und 15s ansteigt. Dies könnte auf die geringere Granularität der Daten bei höheren Sampling-Rate zurückzuführen sein, was die Fähigkeit des Modells beeinträchtigen könnte, die komplizierten Details des Parksuchverhaltens zu erfassen. Die Unterschiede in den Vorhersagen bei verschiedenen Sampling-Rates unterstreichen, wie wichtig es ist, eine geeignete Sampling-Rate zu wählen, die sicherstellt, dass das Modell mit Daten gespeist wird, die detailliert genug sind, um die Nuancen des Parksuchverhaltens zu erfassen, und die gleichzeitig rechnerisch machbar sind.

Tabelle 18: Modell-Validierung (Dauer im Format MM:SS)

Sampling-Rate	MAE	MPSD (tatsächlich)	MPSD (vorhergesagt)
1s	00:52	01:26	01:27
5s	00:52	01:26	01:27
10s	00:54	01:26	01:26
15s	00:56	01:26	01:23

8.3 Zusätzlicher Validierungsdatensatz

Das Ziel des Prognose-Modells ist es, seine Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit über verschiedene Datenquellen hinweg zu gewährleisten und dadurch seinen Nutzen in verschiedenen Forschungs- und Praxiskontexten zu erhöhen. Um die Leistung des Modells zu bewerten und seine Vorhersagefähigkeiten zu validieren, wurde das Modell auf die gesammelten Pre-Test-Fahrten angewendet.

Im Rahmen der Pre-Test-Fahrten wurden Daten von 161 Fahrten gesammelt, wobei die beobachtete MPSD 1 Minute und 20 Sekunden betrug. Diese Daten dienen als Quelle für die Bewertung der Prognose-Genauigkeit des Modells. Dieser Datensatz wurde öffentlich zugänglich gemacht und auf GitHub veröffentlicht [https://github.com/ReLUT/parking-search-prediction].

Bei der Anwendung des ReLUT-Modells auf diese Pre-Test-Daten ergibt sich ein MAE von 39 Sekunden, was auf eine relativ geringe Abweichung zwischen den vorhergesagten und die tatsächliche Parksuchdauer hinweist. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die prognostizierte MPSD den tatsächlichen mittleren Wert um nur 17 Sekunden übersteigt, was die Anpassungsfähigkeit und Prognosegenauigkeit des Modells bei der Anwendung auf Datensätze aus unterschiedlichen Quellen bestätigt. Abbildung 20 ist eine visuelle Darstellung einer Beispielfahrt zusammen mit den prognostizierten Labels. Der geringe Unterschied zwischen den prognostizierten und den tatsächlichen Labels, der auch durch den MAE angezeigt wird, bestätigt die Fähigkeit des Modells, die Parksuchdauer genau vorherzusagen, selbst wenn es auf Daten angewendet wird, die unter verschiedenen Bedingungen und in verschiedenen Kontexten gesammelt wurden.

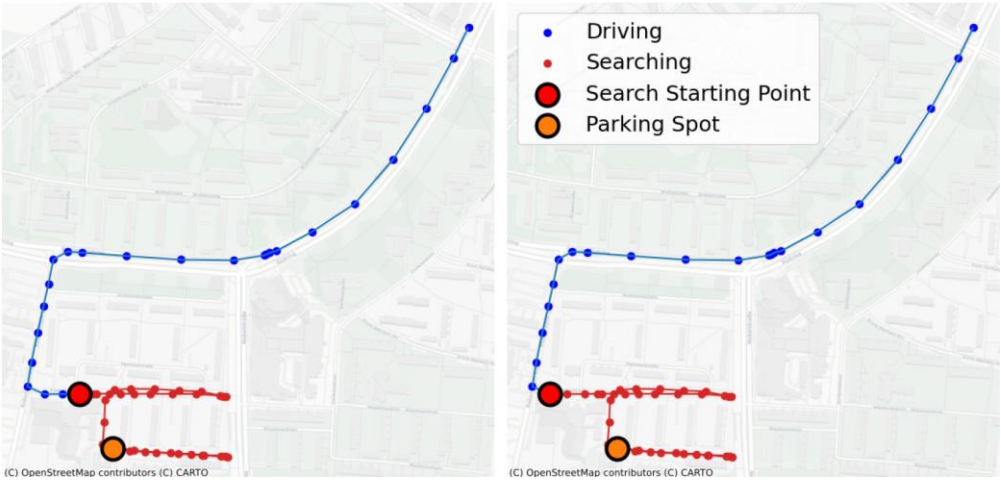


Abbildung 20: Ein Beispiel für eine aufgezeichnete Pre-Test-Fahrt mit - tatsächliche Labels (links), vorhergesagte Labels (rechts). Der tatsächliche PSD beträgt in diesem Beispiel 03:33 mit einem absoluten Fehler von 12 Sekunden in der Vorhersage.

8.4 Vergleich des ML-Modells mit früheren heuristischen Methoden

Es ist zu beachten, dass es verschiedene Methoden zur Ermittlung der Parkplatzsuche in GPS-Daten gibt. Diese basieren jeweils auf spezifischen Annahmen. Im Folgenden werden diese Methoden untereinander und mit dem ReLUT-Modell verglichen. Ziel ist es, die relative Leistungsfähigkeit der einzelnen Methoden bei der genauen Identifizierung des Parksuchverhaltens anhand von GPS-Daten herauszustellen. Die Methoden werden anhand mehrerer Schlüsselkennzahlen bewertet, darunter:

- Mittlerer absoluter Fehler (MAE): Misst den durchschnittlichen absoluten Fehler zwischen vorhergesagter und tatsächlicher Parksuchdauer.
- Mittlere Dauer der Parkplatzsuche
- Mittlere Entfernung des Beginns der Suche vom gefundenen Parkplatz: Analysiert die durchschnittliche Entfernung zwischen dem Parkplatz und dem vom Modell vorhergesagten Beginn der Parkplatzsuche.

Bei der Analyse wird jede Methode auf denselben Datensatz angewendet, um eine einheitliche Vergleichsbasis zu gewährleisten. Die Vorhersagen jedes Modells werden anhand unserer "Ground Truth"-Daten bewertet. Die oben genannten Metriken dienen als Grundlage für die Bewertung der Leistung der einzelnen Methoden und bieten einen umfassenden Überblick über ihre Fähigkeiten. In jedem Ansatz wird die Parkplatzsuche wie folgt identifiziert:

- Ansatz 1 „Naiver 200m-Radius“: Es wird davon ausgegangen, dass die Parkplatzsuche beginnt, wenn der Fahrer eine Entfernung von 200 m zur Parklücke erreicht.
- Ansatz 2 „Geschwindigkeitsschwelle“: Die Parkplatzsuche beginnt, wenn die Durchschnittsgeschwindigkeit des Fahrzeugs an 5 aufeinanderfolgenden Punkten unter 23 km/h fällt, sofern die Standardabweichung unter 5 km/h bleibt.
- Ansatz 3 „Erste lokale Minima“: Bestimmt den Beginn der Parkplatzsuche beim ersten lokalen Minimum im Profil der Entfernung zum Parkplatz in einem Umkreis von 400 m um den Parkplatz. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Entfernung zur Parklücke während des regulären Fahrens typischerweise abnehmen sollte. Die erste Abweichung von diesem Trend, d.h. die erste Zunahme der Entfernung zum Parkplatz innerhalb eines bestimmten Radius, zeigt den Beginn der Parkplatzsuche an.
- Ansatz 4 „Tatsächlicher-Kürzester Weg“: Identifiziert die Überschreitung der Parksuchdauer, indem der tatsächliche Weg und der kürzeste Weg verglichen werden und festgestellt wird, wie stark sie voneinander abweichen. Der kürzeste Weg wird mit Hilfe der Google Maps unter Berücksichtigung der prognostizierten Verkehrslage zum Zeitpunkt der Fahrt geschätzt.
- Ansatz 5 „ReLUT-Modell“: Das Machine Learning-Modell, das hier vorgestellt wird.

Tabelle 19: Vergleichende Analyse verschiedener Methoden der Leistung bei der Identifizierung der Parkplatzsuche in GPS-Daten (Dauer im Format MM:SS)

	MAE	Mittlere PSD	Median PSD	Mittlerer Such -radius (m)
Ground Truth (start2park) Daten	-	01:25	00:50	120
Ansatz 1: Naiver 200m Radius	01:06	02:21	01:40	-
Ansatz 2 „Geschwindigkeitsschwelle“	01:22	02:38	01:56	225
Ansatz 3 „Erste lokale Minima“	01:10	01:39	00:47	68
Ansatz 4 „Tatsächlicher-Kürzester Weg“	-	02:05	01:46	-
Ansatz 5 „ReLUT-Modell“	00:48	01:26	01:08	87

Die Ergebnisse der vergleichenden Analyse sind in Tabelle 19 dargestellt. Aus den Ergebnissen sticht eindeutig das „ReLUT-Modell“ hervor, das mit einer MAE von nur 48 Sekunden – der niedrigsten aller untersuchten Methoden – eine überlegene Leistung zeigt. Dies bedeutet, dass das ML-Modell die kleinste durchschnittliche Fehlerspanne aufweist und somit Vorhersagen liefert, die den tatsächlich beobachteten Werten der Ground-Truth Daten am nächsten kommen. Darüber hinaus weist es einen mittleren PSD-Wert von 1 Minute und 26 Sekunden auf, der beeindruckend nahe am wahren mittleren PSD-Wert (01:25) liegt, was seine Fähigkeit unterstreicht, die Dauer der Parkplatzsuche mit einem hohen Maß an Genauigkeit und Konsistenz auf aggregierter Ebene vorherzusagen. Die Ansätze 1 (Naiver 200m-Radius) und 2 (Geschwindigkeitsschwelle) weisen höhere MAEs und mittlere PSDs auf, was auf eine mögliche Tendenz zur Überschätzung der Parksuchdauer hindeutet. Dies könnte auf ihre einfachen Annahmen und fehlende Fähigkeit zurückzuführen sein, sich an das unterschiedliche Parksuchverhalten der verschiedenen Fahrer anzupassen. Während Ansatz 1 keine Erkenntnisse über den Suchradius liefert, scheint Ansatz 2 diesen zu überschätzen. Ansatz 3 führt zu interessanten Ergebnissen. Trotz der höheren MAE und einer überschätzten mittleren PSD stimmt die mittlere PSD recht gut mit den Werten aus den Ground Truth Daten überein. Dies könnte darauf hindeuten, dass Ansatz 3 eine brauchbare Schätzung für die typische PSD innerhalb eines Datensatzes liefern kann, auch wenn der mit dieser Methode berechnete Suchradius deutlich unterschätzt zu sein scheint. Ansatz 4, der die durch die Parkplatzsuche verursachte zusätzliche Fahrzeit misst, ist nicht direkt mit den Werten aus den Ground Truth

Daten vergleichbar. Wenn wir jedoch davon ausgehen, dass jegliche Differenz zwischen dem tatsächlichen und dem kürzesten Weg erst nach Beginn der Parkplatzsuche berechnet werden sollte – da jede davor eingeschlagene Route die ursprüngliche Präferenz des Fahrers ist, unabhängig von der Wahl der Parkplatzsuchroute –, sollte die mit Ansatz 4 berechnete Überschussdauer gleich oder geringer als die tatsächliche Parkplatzsuchdauer sein. Wenn wir die Daten als Ganzes betrachten, stellen wir fest, dass die durchschnittliche Dauer, die von Ansatz 4 geschätzt wird, tendenziell höher ist als der Mittelwert und der Median der PSD der Ground Truth Daten, was darauf hindeutet, dass Ansatz 4 die überschüssige Reisezeit aufgrund der Parkplatzsuche überschätzten dürfte.

9 Anwendung des Prognose-Modells

Wie bereits erwähnt, ist mangelnde Repräsentativität ein großer Nachteil der Ground-Truth Daten. Ein möglicher Ansatz zur Lösung dieses Problems ist die Anwendung des ML-Modells auf einen großen Datensatz, der vielleicht sogar repräsentativ ist.

9.1 Datengrundlage

Der umfangreiche Datensatz von GPS-Trajektorien, der in dieser Studie verwendet wird, wurde von INRIX, einem führenden Unternehmen im Bereich der Verkehrsdatenanalyse, bereitgestellt. Der ursprünglich zur Verfügung gestellte Datensatz enthielt ca. 18 Millionen Fahrten mit Milliarden von GPS-Punkten, die entweder ihren Ursprung oder ihr Ende in einem Gebiet um Frankfurt am Main hatten oder dieses im Jahr 2019 durchquerten. Der Datensatz enthielt eine Vielzahl von Fahrzeugtypen, sowohl im Privatbesitzt als auch von Flottenbetrieben, und klassifizierte Fahrzeuge als leicht, mittelschwer oder schwer, basierend auf ihrem Gewicht.

Für die Zwecke dieser Untersuchung wurden die Daten auf private PKWs, deren Fahrten in Frankfurt endeten, reduziert. Nach dieser Filterung umfasste der Datensatz 868.561 Fahrten. Die Sampling-Rate reicht von einem Median von 6 Sekunden über ein 5%-Perzentil von 4 Sekunden bis zu einem 99%-Perzentil von 20 Sekunden. Die Fahrtdistanz zeigt eine große Bandbreite mit einem Median von 15,2 km. Die kürzesten 5 % der Fahrten sind kaum länger als ein Kilometer, während die längsten 1 % der Fahrten über 310 km lang sind. Im Durchschnitt dauert eine Fahrt 35 Minuten. Allerdings sind 5 % der Fahrten nur 3 Minuten lang, während das oberste 1 % der Fahrten bis zu 195 Minuten dauern kann. Der Mittelwert der Durchschnittsgeschwindigkeit liegt bei 49 km/h. Das 5 %-Perzentil liegt bei nur 12 km/h, während das schnellste 1 % eine Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 121 km/h erreicht. Weitere Einzelheiten des Datensatzes sind in Tabelle 20 zu finden.

Tabelle 20: Deskriptive Statistik des untersuchten Datensatzes zur Analyse des Parksuchverhaltens

	Anzahl	Mittel-wert	Std. -Abw.	5%	25%	50%	75%	95%	99%
Sampling-Rate (sec)	868,561	9	5	4	4	6	14	16	20
Distanz der Fahrten (km)	868,561	40	63	1	5	15	41	183	310
Dauer der Fahrten (min)	868,561	35	39	3	11	22	42	119	195
Durchschnittsgeschwindigkeit (km/h)	868,561	49	29	12	24	42	70	104	121

9.2 Ergebnisse

Das ReLUT-Modell wurde auf den beschriebenen Datensatz angewandt, der 868.561 Fahrten umfasste. Innerhalb dieses Datensatzes meldeten 33 % (oder 285.594 Fahrten) eine PSD von Null. Dies bedeutet, dass die Fahrenden bei fast einem Drittel der Fahrten unmittelbar nach Erreichen ihres Ziels einen Parkplatz fanden

(Tabelle 21). Betrachtet man alle Fahrten, so beträgt die mittlere PSD 1 Minute und 30 Sekunden mit einem Median von 15 Sekunden. Betrachtet man die 582.967 Fahrten, bei denen der PSD >0 war, erhöht sich der Mittelwert auf 2 Minuten und 15 Sekunden mit einem Median von 42 Sekunden. Die in Abbildung 21 dargestellte Häufigkeitsverteilung ist überwiegend rechtsschief, was darauf hindeutet, dass die Mehrheit der Fahrenden entweder sofort oder innerhalb einer kurzen Zeitspanne einen Parkplatz gefunden hat, während die Spitzenreiter viel Zeit für die Suche nach einem freien Parkplatz benötigten. Der Wert des 95. Perzentils verdeutlicht, dass diese Fahrer 8 Minuten und 20 Sekunden lang gesucht haben.

Der Suchradius erfasst die Entfernung zwischen dem Startpunkt der Parkplatzsuche und dem letztendlichen Parkplatz. Bei Fahrten mit einer PSD ungleich Null beträgt der mittlere Suchradius 143 Meter, aber diese Distanz steigt auf signifikante 309 Meter für das 95. Perzentil. Die in Abbildung 21 beobachteten Spitzenwerte bei den Entfernungen von 60 und 110 Metern könnten auf unterschiedliche Suchstrategien hinweisen. Aus Tabelle 21 geht hervor, dass die „mittleren“ 50 % der Fahrenden die Parkplatzsuche in einem Bereich von 76 bis 199 m von ihrem endgültigen Parkplatz beginnen, was für viele Menschen eine annehmbare Entfernung zu Fuß zu sein scheint.

Darüber hinaus kann eine Untersuchung der GPS-Geschwindigkeitsdaten in der Nähe des gefundenen Parkplatzes Aufschluss über das Fahrverhalten geben (Tabelle 22). Bei der Untersuchung der Durchschnittsgeschwindigkeit der GPS-Punkte in einem Radius von 1 km um den Parkplatz ist ein deutlicher Rückgang von 31 km/h auf 17 km/h zu erkennen, wie in Tabelle 22 dargestellt. Diese Verlangsamung deutet auf den Übergang vom normalen Fahrverhalten zu einem vorsichtigeren Parksuchmodus hin und entspricht fast den Werten in den Trainingsdaten.

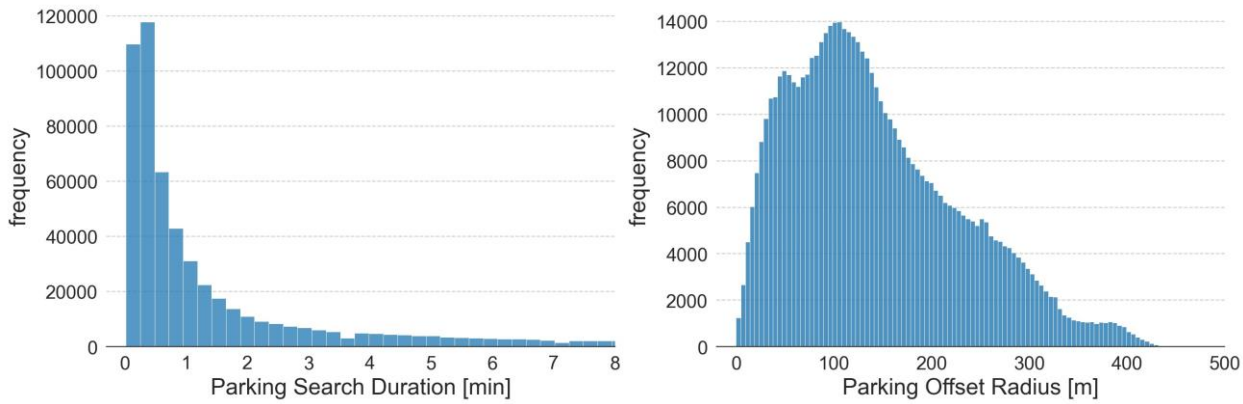


Abbildung 21: Histogramm der vorhergesagten Parksuchdauer (links), Histogramm des vorhergesagten Parksuchradius (rechts)

Tabelle 21: Deskriptive Statistik der vorhergesagten Parksuchdauer und des Suchradius (Dauer in MM:SS-Format und Entfernung in Metern)

	Anzahl	Mittel-wert	Std. Abw.	5%	25%	Median	75%	95%
Parkplatzsuchdauer (Alle Fahrten)	868.561	1:30	3:16	0:00	0:00	0:15	1:55	8:20
Parkplatzsuchdauer (Fahrten mit PSD>0)	582.967	2:15	3:46	0:00	0:20	0:42	3:30	10:30
Suchradius (Fahrten mit PSD>0)	582.967	143	87	63	80	127	190	309

Tabelle 22: Deskriptive Statistik der Geschwindigkeit von GPS-Punkten im Umkreis von 1 km von der Parklücke bei normaler Fahrt und Parkplatzsuche (Geschwindigkeit in km/h)

	Anzahl	Mittel-wert	Std. Abw.	5%	25%	Median	75%	95%
Alle GPS-Punkte	32.156.859	27	21	2	11	24	39	63
„Normales“ Fahren	23.324.499	31	21	3	15	29	43	69
Parkplatzsuche	8.832.360	17	14	1	5	14	26	43

Mithilfe der räumlichen Analyse können neue Einblicke in die städtischen Mobilitätstrends in Frankfurt gewonnen werden. **Abbildung 22** zeigt eine Heatmap, die die MPSD für Straßensegmente basierend auf den dort gefundenen Parkplätzen im Stadtzentrum darstellt. Diese visuelle Darstellung beginnt mit der Kartierung von Straßensegmenten aus OpenStreetMap, gefolgt von der Zuordnung von nahe gelegenen Parkplätzen zu diesen Segmenten. Der MPSD wird dann als Durchschnitt der Parksuchdauer für Fahrten berechnet, die an jedem Straßenabschnitt enden. Diese Darstellung, die mit Hilfe der Spatial-Lag-Technik (Rey et al. 2023) geglättet wurde, bietet einen detaillierten Überblick über die Parklandschaft. Durch die Bildung eines gewichteten Durchschnitts der Werte aller benachbarten Straßenabschnitte stellt die räumliche Verzögerung sicher, dass der MPSD-Wert jeder Straße nicht nur ihr isoliertes Szenario, sondern auch den Einfluss ihrer Umgebung widerspiegelt.

So weisen beispielsweise die Bereiche "Innenstadt" und "Altstadt" in Frankfurt trotz des Vorhandenseins mehrerer Parkhäuser auffallend hohe MPSD-Werte auf. Diese Gebiete sind zentrale Einkaufs-, Gastronomie- und Freizeitzonen in Frankfurt, was die erhöhte Parkplatznachfrage erklären kann.

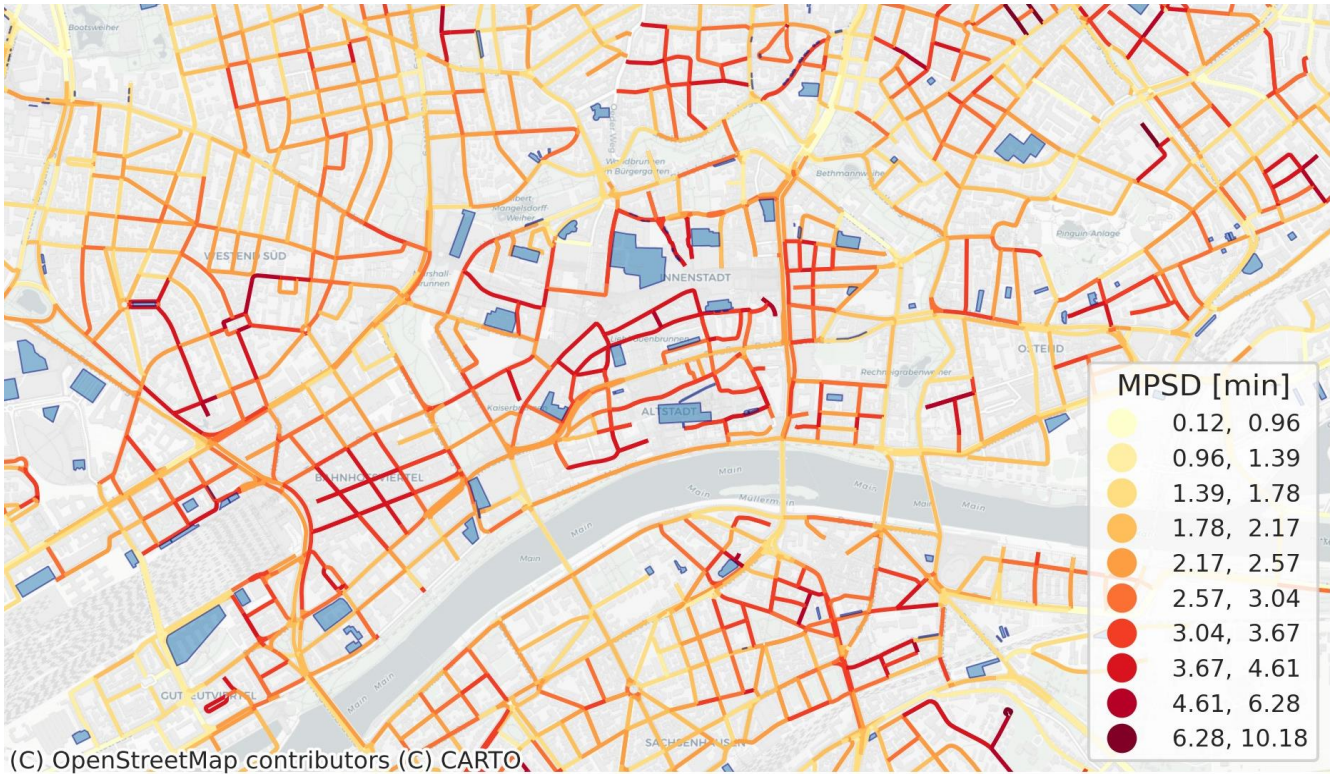


Abbildung 22: Räumliche Heatmap der durchschnittlichen Parksuchdauer für das Frankfurter Stadtzentrum, Parkhäuser sind in Blau dargestellt

10 Quellenangaben

Feng, T., & Timmermans, H. J. (2013). Transportation mode recognition using GPS and accelerometer data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *37*, 118-130.

Friedman, W. (1990). *About time: Inventing the fourth dimension*. The MIT press.

Fushiki, T. (2011). Estimation of prediction error by using K-fold cross-validation. *Statistics and Computing*, *21*, 137-146.

Hampshire, R. C., Jordon, D., Akinbola, O., Richardson, K., Weinberger, R., Millard-Ball, A., & Karlin-Resnik, J. (2016). Analy

Karlaftis, M. G., & Vlahogianni, E. I. (2011). Statistical methods versus neural networks in transportation research: Differences, similarities and some insights. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *19*(3), 387-399.

Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. *Ijcai* (Vol. 14, No. 2, pp. 1137-1145).

McCahill, C. (2017). Factors affecting residential parking occupancy in Madison, Wisconsin. *Transportation Research Record*, *2651*(1), 71-79.

Ojha, V. K., Abraham, A., & Snášel, V. (2017). Metaheuristic design of feedforward neural networks: A review of two decades of research. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *60*, 97-116.

Rey, S., Arribas-Bel, D., & Wolf, L. J. (2023). *Geographic data science with python*. CRC Press.

Rozin, P., & Royzman, E. B. (2001). Negativity bias, negativity dominance, and contagion. *Personality and social psychology review*, *5*(4), 296-320.

Sommer, T., Gläscher, J., Moritz, S., & Büchel, C. (2008). Emotional enhancement effect of memory: Removing the influence of cognitive factors. *Learning & Memory*, *15*(8), 569-573.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive psychology*, *5*(2), 207-232.

11 Anhang

In diesem Anhang sind einige Tabellen zu den Trainingsdaten noch detaillierter dargestellt.

Tabelle 23: Parksuchdauer in Minuten (Format mm:ss)

			Anzahl	Durch-schnitt	std	min	5%	25%	Median	75%	95%	max
		Alle Fahrten	3550	01:25	01:59	00:00	00:00	00:18	00:50	01:44	04:59	28:34
Fahrerbezogene Daten	**Geschlecht**	männlich	2983	01:28	02:01	00:00	00:00	00:20	00:52	01:46	04:59	28:34
		weiblich	499	01:10	01:47	00:00	00:00	00:03	00:34	01:20	04:54	12:14
	Altersklasse	18-35	2998	01:27	02:00	00:00	00:00	00:21	00:52	01:45	05:01	28:34
		36-55	329	01:28	02:12	00:00	00:00	00:09	00:49	01:40	05:43	19:05
		55+	168	00:43	01:12	00:00	00:00	00:00	00:17	00:55	02:48	09:57
	Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	14	01:02	00:51	00:00	00:01	00:18	01:02	01:29	02:18	03:04
		Kleinwagen	1501	01:29	01:58	00:00	00:00	00:24	00:54	01:49	05:12	26:40
		Kompaktklasse	1472	01:25	02:05	00:00	00:00	00:17	00:50	01:41	04:55	28:34
		Mittelklasse	345	01:13	01:45	00:00	00:00	00:11	00:42	01:24	04:24	11:46
		Oberklasse	134	00:35	00:55	00:00	00:00	00:00	00:17	00:35	02:29	05:32
		Transporter	29	03:41	02:39	00:00	00:15	01:46	03:21	04:13	09:16	11:13
	Fahrleistung	weniger als 9000 km	1153	01:22	01:42	00:00	00:00	00:22	00:50	01:43	04:28	13:39
		zwischen 9000 und 30000 km	2278	01:28	02:08	00:00	00:00	00:17	00:51	01:44	05:09	28:34
		mehr als 30000 km	64	00:44	01:33	00:00	00:00	00:00	00:27	00:49	01:59	11:46
Fahrten-bezogene Daten	**Vertrautheit mit dem Zielgebiet**	bekannt	2615	01:22	01:58	00:00	00:00	00:15	00:46	01:38	04:59	26:40
		unbekannt	892	01:36	02:02	00:00	00:00	00:28	01:02	01:56	04:56	28:34
	Fahrtzweck	Einkauf	1082	01:14	01:37	00:00	00:00	00:15	00:43	01:31	04:21	10:27
		Freizeit	932	01:27	02:06	00:00	00:00	00:24	00:53	01:36	04:57	28:34
		Fahrt nach Hause	807	01:36	02:00	00:00	00:00	00:23	01:02	02:08	05:24	19:05
		Arbeit	446	01:27	02:04	00:00	00:00	00:09	00:45	01:43	05:41	15:44
		dienstlich	240	01:31	02:41	00:00	00:00	00:12	00:51	01:48	04:43	26:40
	Parkdauer	weniger als 30min	1179	01:05	01:40	00:00	00:00	00:11	00:38	01:18	03:51	26:40
		zwischen 30min und 3 Stunden	878	01:42	02:20	00:00	00:00	00:29	00:59	01:54	06:24	28:34
		mehr als 3 Stunden	1450	01:32	01:58	00:00	00:00	00:20	00:55	02:00	05:21	19:05
	Parkplatz	gebührenfrei	3043	01:24	01:59	00:00	00:00	00:18	00:49	01:41	04:58	28:34
		gebührenpflichtig	280	01:52	02:15	00:00	00:00	00:28	01:13	02:23	06:26	16:55
		illegal	184	01:00	01:17	00:00	00:00	00:12	00:35	01:23	03:14	09:46

Tabelle 24: Parksuchdauer in Minuten (Format mm:ss) – (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

			Anzahl	Anteil PSD>5s	Durch-schnitt	std	min	5%	25%	Median	75%	95%	max
		Alle Fahrten	2924	82%	01:44	02:04	00:05	00:13	00:35	01:04	02:01	05:32	28:34
Fahrer-bezogene Daten	**Geschlecht**	männlich	2493	84%	01:45	02:06	00:05	00:14	00:36	01:05	02:03	05:30	28:34
		weiblich	366	73%	01:35	01:55	00:05	00:09	00:28	00:52	01:51	05:40	12:14
	Altersklasse	18-35	2514	84%	01:44	02:04	00:05	00:14	00:35	01:04	02:02	05:31	28:34
		36-55	250	76%	01:56	02:20	00:05	00:16	00:39	01:09	02:02	06:33	19:05
		55+	108	64%	01:07	01:21	00:05	00:07	00:19	00:35	01:32	03:22	09:57
	Fahrzeugtyp	Kleinstwagen	12	86%	01:12	00:48	00:07	00:13	00:44	01:12	01:33	02:25	03:04
		Kleinwagen	1284	86%	01:44	02:01	00:05	00:15	00:37	01:04	02:03	05:38	26:40
		Kompaktklasse	1187	81%	01:46	02:12	00:05	00:15	00:36	01:06	02:02	05:29	28:34
		Mittelklasse	276	80%	01:31	01:50	00:05	00:09	00:26	00:54	01:43	04:42	11:46
		Oberklasse	86	64%	00:55	01:01	00:05	00:07	00:18	00:30	01:09	02:55	05:32
		Transporter	27	93%	03:58	02:33	00:36	01:02	02:22	03:22	04:34	09:23	11:13
	Fahrleistung	weniger als 9000 km	977	85%	01:37	01:44	00:05	00:14	00:34	01:01	01:59	04:53	13:39
		zwischen 9000 und 30000 km	1854	81%	01:48	02:14	00:05	00:13	00:35	01:05	02:03	05:48	28:34
		mehr als 30000 km	41	64%	01:09	01:49	00:07	00:14	00:28	00:46	01:04	02:39	11:46
Fahrten-bezogene Daten	**Vertrautheit mit dem Zielgebiet**	bekannt	2090	80%	01:42	02:04	00:05	00:13	00:34	01:02	02:01	05:38	26:40
		unbekannt	805	90%	01:46	02:04	00:05	00:14	00:37	01:08	02:05	05:21	28:34
	Fahrtzweck	Einkauf	885	82%	01:30	01:40	00:05	00:11	00:30	00:57	01:46	04:53	10:27
		Freizeit	804	86%	01:41	02:10	00:05	00:15	00:36	01:02	01:52	05:35	28:34
		Fahrt nach Hause	678	84%	01:55	02:02	00:05	00:15	00:41	01:15	02:24	05:42	19:05
		Arbeit	338	76%	01:54	02:11	00:05	00:17	00:36	01:06	02:18	06:04	15:44
		dienstlich	190	79%	01:55	02:53	00:05	00:11	00:36	01:06	02:07	04:55	26:40
	Parkdauer	weniger als 30min	942	80%	01:22	01:45	00:05	00:10	00:28	00:50	01:33	04:19	26:40
		zwischen 30min und 3 Stunden	770	88%	01:56	02:24	00:05	00:17	00:40	01:08	02:04	06:46	28:34
		mehr als 3 Stunden	1183	82%	01:52	02:01	00:05	00:16	00:39	01:12	02:19	05:45	19:05
	Parkplatz	gebührenfrei	2500	82%	01:43	02:04	00:05	00:14	00:35	01:03	02:00	05:30	28:34
		gebührenpflichtig	245	88%	02:08	02:17	00:05	00:15	00:41	01:25	02:32	07:19	16:55
		illegal	150	82%	01:13	01:20	00:05	00:09	00:24	00:50	01:30	03:27	09:46

Tabelle 25: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (alle Fahrten)

			>00:05	>00:30	>01:00	>01:30	>02:00	>02:30	>03:00	>03:30	>04:00	>04:30	>05:00
		Alle Fahrten	82%	66%	44%	29%	21%	16%	12%	10%	8%	6%	5%
Fahrerbezogene Daten	**Geschlecht**	**männlich**	84%	68%	46%	30%	22%	16%	13%	10%	8%	6%	5%
		weiblich	73%	53%	32%	22%	16%	13%	9%	8%	7%	6%	5%
	Alterklasse	**18-35**	84%	68%	45%	30%	22%	16%	12%	10%	8%	6%	5%
		36-55	76%	63%	43%	28%	20%	16%	14%	12%	10%	7%	5%
		55+	64%	36%	23%	17%	11%	7%	5%	2%	2%	2%	1%
	Fahrzeugstyp	**Kleinstwagen**	86%	64%	50%	29%	7%	7%	7%	0%	0%	0%	0%
		Kleinwagen	86%	70%	46%	31%	22%	17%	13%	10%	8%	7%	5%
		Kompaktklasse	81%	66%	44%	29%	21%	15%	12%	9%	8%	6%	5%
		Mittelklasse	80%	57%	37%	23%	17%	13%	10%	8%	7%	5%	4%
		Oberklasse	64%	33%	18%	14%	9%	5%	3%	2%	1%	1%	1%
		Transporter	93%	93%	86%	86%	72%	69%	55%	45%	38%	24%	21%
	Fahrleistung	**weniger als 9000 km**	85%	68%	43%	29%	21%	15%	12%	9%	7%	5%	4%
		zwischen 9000 und 30000 km	81%	65%	45%	29%	21%	16%	12%	10%	8%	7%	5%
		mehr als 30000 km	64%	45%	20%	9%	6%	5%	3%	2%	2%	2%	2%
Fahrtenbezogene Daten	**Vertrauenheit mit dem Zielgebiet**	**bekannt**	80%	64%	41%	28%	20%	15%	12%	9%	7%	6%	5%
		unbekannt	90%	74%	51%	34%	24%	18%	14%	11%	9%	6%	5%
	Fahrtzweck	**Einkauf**	82%	62%	39%	26%	17%	13%	11%	8%	6%	5%	4%
		Freizeit	86%	71%	45%	27%	19%	14%	12%	10%	8%	7%	5%
		Fahrt nach Hause	84%	70%	51%	36%	27%	20%	14%	11%	9%	7%	6%
		Arbeit	76%	61%	41%	29%	23%	18%	14%	11%	9%	8%	7%
		dienstlich	79%	63%	44%	30%	21%	17%	13%	9%	8%	6%	4%
	Parkdauer	**weniger als 30min**	80%	58%	34%	21%	15%	10%	8%	6%	5%	4%	3%
		zwischen 30min und 3 Stunden	88%	75%	50%	34%	23%	18%	15%	12%	11%	9%	7%
		mehr als 3 Stunden	82%	68%	48%	33%	25%	19%	14%	11%	9%	7%	6%
	Parkplatz	**gebührenfrei**	82%	66%	43%	29%	21%	16%	12%	10%	8%	6%	5%
		gebührenpflichtig	88%	74%	57%	41%	31%	23%	19%	15%	11%	9%	8%
		illegal	82%	55%	35%	21%	13%	8%	6%	4%	3%	2%	2%

Tabelle 26: Anteil der Fahrten mit einer Parksuchdauer von mehr als ... Minuten (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

			>00:30	>01:00	>01:30	>02:00	>02:30	>03:00	>03:30	>04:00	>04:30	>05:00
		Alle Fahrten	80%	53%	36%	26%	19%	15%	12%	10%	8%	6%
Fahrerbezogene Daten	**Geschlecht**	**männlich**	81%	55%	36%	26%	19%	15%	12%	9%	7%	6%
		weiblich	73%	44%	31%	22%	18%	13%	11%	10%	8%	7%
	Altersklasse	**18-35**	81%	54%	35%	26%	19%	15%	12%	9%	7%	6%
		36-55	83%	56%	37%	26%	21%	18%	16%	13%	10%	7%
		55+	56%	36%	26%	17%	11%	7%	4%	4%	3%	2%
	Fahrzeugtyp	**Kleinstwagen**	75%	58%	33%	8%	8%	8%	0%	0%	0%	0%
		Kleinwagen	82%	54%	36%	26%	19%	15%	12%	9%	8%	6%
		Kompaktklasse	82%	55%	35%	26%	19%	15%	12%	9%	8%	6%
		Mittelklasse	71%	46%	29%	21%	16%	12%	10%	9%	6%	5%
		Oberklasse	51%	28%	22%	14%	8%	5%	3%	2%	1%	1%
		Transporter	100%	93%	93%	78%	74%	59%	48%	41%	26%	22%
	Fahrleistung	**weniger als 9000 km**	80%	50%	34%	25%	18%	14%	11%	8%	6%	5%
		zwischen 9000 und 30000 km	80%	55%	36%	26%	20%	15%	12%	10%	8%	7%
		mehr als 30000 km	71%	32%	15%	10%	7%	5%	2%	2%	2%	2%
Fahrtenbezogene Daten	**Vertrautheit mit dem Zielgebiet**	**bekannt**	80%	52%	34%	25%	19%	15%	12%	9%	8%	6%
		unbekannt	81%	56%	38%	26%	20%	15%	12%	10%	7%	5%
	Fahrtzweck	**Einkauf**	75%	47%	31%	21%	15%	13%	10%	7%	6%	5%
		Freizeit	82%	52%	32%	23%	16%	14%	12%	9%	8%	6%
		Fahrt nach Hause	84%	61%	43%	32%	24%	17%	13%	11%	8%	7%
		Arbeit	81%	54%	38%	30%	23%	18%	15%	12%	10%	9%
		dienstlich	79%	56%	37%	27%	21%	16%	12%	10%	7%	5%
	Parkdauer	**weniger als 30min**	72%	43%	26%	18%	13%	10%	8%	6%	4%	4%
		zwischen 30min und 3 Stunden	85%	56%	38%	26%	21%	17%	14%	12%	10%	8%
		mehr als 3 Stunden	83%	59%	41%	31%	23%	17%	14%	11%	8%	7%
	Parkplatz	**gebührenfrei**	80%	53%	35%	25%	19%	15%	12%	9%	7%	6%
		gebührenpflichtig	85%	65%	47%	35%	26%	21%	17%	13%	11%	9%
		illegal	68%	43%	25%	16%	10%	7%	5%	3%	3%	2%

Tabelle 27: Parksuchdauer in Minuten nach RegioStaR-Gebieten (Format mm:ss)

Typ-Nr	Bezeichnung	Anzahl	Durch-schnitt	std	min	5%	25%	Median	75%	95%	max
111	Metropole	2641	01:32	02:07	00:00	00:00	00:22	00:54	01:51	05:26	28:34
112	Großstadt einer Metropolitanen Stadtregion	252	01:36	02:07	00:00	00:00	00:18	00:59	02:03	05:24	15:40
113	Mittelstadt einer Metropolitanen Stadtregion	225	01:06	01:24	00:00	00:00	00:17	00:45	01:17	04:08	09:43
114	Städtischer Raum einer Metropolitanen Stadtregion	203	00:57	01:09	00:00	00:00	00:15	00:39	01:17	02:38	07:38
115	Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer Metropolitanen Stadtregion	6	00:49	00:51	00:10	00:10	00:12	00:31	01:03	02:05	02:24
121	Regiopole	51	01:03	01:19	00:00	00:00	00:01	00:46	01:20	03:42	06:18
123	Mittelstadt einer Regiopolitanen Stadtregion	4	00:14	00:16	00:00	00:00	00:03	00:11	00:23	00:33	00:36
124	Städtischer Raum einer Regiopolitanen Stadtregion	5	00:51	00:47	00:00	00:05	00:27	00:32	01:13	01:53	02:03
125	Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer Regiopolitanen Stadtregion	1	00:48								
211	Zentrale Stadt einer Stadtregionsnahen ländlichen Region	70	00:22	00:42	00:00	00:00	00:00	00:02	00:24	01:52	03:23
213	Mittelstadt einer Stadtregionsnahen ländlichen Region	1	01:02								
214	Städtischer Raum einer Stadtregionsnahen ländlichen Region	14	00:36	00:37	00:00	00:00	00:00	00:26	01:07	01:30	01:51
215	Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer Stadtregionsnahen ländlichen Region	22	00:09	00:19	00:00	00:00	00:00	00:00	00:03	00:50	01:04
221	Zentrale Stadt einer Peripheren ländlichen Region	11	02:26	01:05	00:49	00:55	01:33	02:46	03:22	03:42	03:52
223	Mittelstadt einer Peripheren ländlichen Region	27	00:34	00:28	00:00	00:00	00:09	00:29	00:56	01:15	01:32
224	Städtischer Raum einer Peripheren ländlichen Region	1	00:48								
225	Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer Peripheren ländlichen Region	16	00:28	00:24	00:00	00:00	00:12	00:27	00:40	01:01	01:36

Tabelle 28: Parksuchdauer in Minuten nach RegioStaR-Gebieten (Format mm:ss) – (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

Typ-Nr	Bezeichnung	Anteil (PSD>5)	Anzahl	mean	std	min	5%	25%	Median	75%	95%	max
111	Metropole	84%	2213	01:50	02:11	00:05	00:15	00:37	01:06	02:09	05:53	28:34
112	Großstadt einer Metropolitanen Stadtregion	85%	213	01:54	02:11	00:05	00:10	00:36	01:13	02:16	05:39	15:40
113	Mittelstadt einer Metropolitanen Stadtregion	85%	192	01:17	01:27	00:05	00:09	00:27	00:54	01:28	04:21	09:43
114	Städtischer Raum einer Metropolitanen Stadtregion	81%	165	01:10	01:10	00:05	00:12	00:27	00:48	01:26	02:55	07:38
115	Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer Metropolitanen Stadtregion	100%	6	00:49	00:51	00:10	00:10	00:12	00:31	01:03	02:05	02:24
121	Regiopole	71%	36	01:30	01:21	00:08	00:13	00:40	01:01	01:49	04:03	06:18
123	Mittelstadt einer Regiopolitanen Stadtregion	50%	2	00:27	00:11	00:19	00:20	00:23	00:27	00:31	00:35	00:36
124	Städtischer Raum einer Regiopolitanen Stadtregion	80%	4	01:04	00:44	00:27	00:28	00:30	00:52	01:25	01:55	02:03
125	Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer Regiopolitanen Stadtregion	100%	1	00:48								
211	Zentrale Stadt einer Stadtregionsnahen ländlichen Region	44%	31	00:50	00:51	00:11	00:14	00:20	00:25	01:03	02:44	03:23
213	Mittelstadt einer Stadtregionsnahen ländlichen Region	100%	1	01:02								
214	Städtischer Raum einer Stadtregionsnahen ländlichen Region	64%	9	00:56	00:31	00:17	00:18	00:31	01:07	01:15	01:38	01:51
215	Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer Stadtregionsnahen ländlichen Region	23%	5	00:39	00:21	00:07	00:12	00:29	00:46	00:50	01:01	01:04
221	Zentrale Stadt einer Peripheren ländlichen Region	100%	11	02:26	01:05	00:49	00:55	01:33	02:46	03:22	03:42	03:52
223	Mittelstadt einer Peripheren ländlichen Region	78%	21	00:44	00:24	00:08	00:11	00:20	00:50	01:00	01:18	01:32
224	Städtischer Raum einer Peripheren ländlichen Region	100%	1	00:48								
225	Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer Peripheren ländlichen Region	81%	13	00:35	00:22	00:07	00:11	00:18	00:34	00:43	01:08	01:36

Tabelle 29: Suchradius in Metern (alle Fahrten)

			Anzahl	Durch-schnitt	std	min	5%	25%	Median	75%	95%	max
		Alle Fahrten	3550	119	124	0	0	33	84	166	345	990
Fahrerbezogene Daten	**Geschlecht**	**männlich**	2983	120	123	0	0	34	86	167	342	990
		weiblich	499	107	131	0	0	10	70	148	354	853
	Altersklasse	**18-35**	2998	120	123	0	0	34	84	168	344	990
		36-55	329	126	135	0	0	32	97	165	376	829
		55+	168	73	107	0	0	1	42	93	283	677
	Fahrzeugtyp	**Kleinstwagen**	14	102	93	0	0	42	86	121	270	320
		Kleinwagen	1501	123	129	0	0	34	87	169	347	990
		Kompaktklasse	1472	118	124	0	1	32	78	164	352	964
		Mittelklasse	345	116	112	0	0	32	96	164	304	707
		Oberklasse	134	60	64	0	0	7	48	85	180	358
		Transporter	29	244	119	0	10	154	276	340	372	420
	Fahrleistung	**weniger als 9000 km**	1153	113	124	0	0	32	76	157	323	990
		zwischen 9000 und 30000 km	2278	122	124	0	0	33	87	169	353	964
		mehr als 30000 km	64	98	123	0	0	0	58	138	313	623
Fahrten-bezogene Daten	**Vertrautheit mit dem Zielgebiet**	**bekannt**	2615	117	121	0	0	30	83	168	339	964
		unbekannt	892	123	129	0	0	40	87	156	354	990
	Fahrtzweck	**Einkauf**	1082	102	114	0	0	24	68	140	311	866
		Freizeit	932	128	136	0	1	39	88	161	401	990
		Fahrt nach Hause	807	120	105	0	0	38	93	172	326	801
		Arbeit	446	139	136	0	0	33	106	205	376	964
		dienstlich	240	118	131	0	0	30	83	165	319	864
	Parkdauer	**weniger als 30min**	1179	100	116	0	0	21	66	135	311	876
		zwischen 30min und 3 Stunden	878	130	133	0	2	42	90	169	396	990
		mehr als 3 Stunden	1450	127	121	0	0	36	96	183	344	964
	Parkplatz	**gebührenfrei**	3043	115	120	0	0	31	80	161	335	990
		gebührenpflichtig	280	162	142	0	4	62	130	224	415	857
		illegal	184	119	127	0	0	31	89	166	310	864

Tabelle 30: Suchradius in Metern (nur Fahrten mit einer PSD>5 Sekunden)

			Anzahl	Anteil an allen Fahrten	Durch-schnitt	std	min	5%	25%	Median	75%	95%	max
		Alle Fahrten	2924	82%	137	123	0	13	51	104	184	360	876
Fahrerbezogene Daten	**Geschlecht**	**männlich**	2493	84%	136	121	0	14	51	103	183	357	876
		weiblich	366	73%	140	135	0	9	50	100	180	401	853
	Altersklasse	**18-35**	2514	84%	137	123	0	13	51	103	186	355	876
		36-55	250	76%	153	130	5	22	63	118	181	421	720
		55+	108	64%	106	117	0	0	36	81	122	351	677
	Fahrzeugtyp	**Kleinstwagen**	12	86%	114	95	0	6	58	92	144	278	320
		Kleinwagen	1284	86%	137	126	0	12	50	103	181	354	876
		Kompaktklasse	1187	81%	139	125	0	14	52	103	192	374	866
		Mittelklasse	276	80%	135	110	0	6	56	113	178	308	707
		Oberklasse	86	64%	86	65	7	12	44	69	115	196	358
		Transporter	27	93%	262	102	21	99	189	278	346	373	420
	Fahrleistung	**weniger als 9000 km**	977	85%	125	121	0	10	45	92	168	329	856
		zwischen 9000 und 30000 km	1854	81%	143	124	0	14	55	111	195	369	876
		mehr als 30000 km	41	64%	148	126	16	21	64	108	183	414	623
Fahrtenbezogene Daten	**Vertrautheit mit dem Zielgebiet**	**bekannt**	2090	80%	139	120	0	13	51	107	190	358	866
		unbekannt	805	90%	131	127	0	12	51	95	166	358	876
	Fahrtzweck	**Einkauf**	885	82%	121	116	0	12	42	88	158	327	866
		Freizeit	804	86%	140	132	0	13	55	102	174	413	876
		Fahrt nach Hause	678	84%	134	104	0	13	54	111	183	331	801
		Arbeit	338	76%	172	128	0	23	72	159	236	414	791
		dienstlich	190	79%	142	136	0	12	49	113	186	355	864
	Parkdauer	**weniger als 30min**	942	80%	121	119	0	10	42	88	156	330	876
		zwischen 30min und 3 Stunden	770	88%	141	130	0	18	54	103	188	411	866
		mehr als 3 Stunden	1183	82%	146	117	0	15	56	123	203	353	801
	Parkplatz	**gebührenfrei**	2500	82%	133	119	0	13	49	99	179	354	876
		gebührenpflichtig	245	88%	174	137	0	19	80	141	229	436	857
		illegal	150	82%	139	129	0	6	57	109	181	337	864