

Abschlussbericht P+R Aktuell

Verfasser/innen:

Prof. Dr.-Ing. Petra K. Schäfer

Frankfurt University of Applied Sciences

Zoë Winkler (M. Eng)

Frankfurt University of Applied Sciences

Philipp Altinsoy (M. A.)

Frankfurt University of Applied Sciences

Olaf Bender

[ui!] Urban Mobility Innovations

Rüdiger Bernhard

ivm GmbH

Nils Böttge

ivm GmbH

Sebastian Herter

Smart City System Parking Solutions GmbH

Mai 2022

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	ii
1 Einleitung	1
2 Motivation der Forschungsarbeit.....	3
3 Ziel des Projekts	4
4 Untersuchungsgebiet	5
5 Methodisches Vorgehen	9
5.1 Literaturrecherche.....	9
5.2 Online-Umfrage.....	9
5.3 Vor-Ort Verkehrszählung.....	11
5.4 Erstellung des Prognosemodells	13
5.5 Methodenkritik.....	14
6 Ergebnisse	15
6.1 Online Umfrage	Fehler! Textmarke nicht definiert.
6.2 Vor-Ort Verkehrszählung.....	18
6.3 Bewertung des Prognosemodells.....	19
6.3.1 Vergleich „Prediction vs. Ground Truth“	21
6.3.2 Bewertung des Modells über statistische Kennzahlen	28
6.4 Übertragbarkeit.....	32
6.5 Weitergehende Anwendungsfälle.....	33
7 Fazit und weiterer Forschungsbedarf	34
I. Literaturverzeichnis	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet (eigene Darstellung, Grundlage: OpenStreetMap)	6
Abbildung 2: Methodisches Vorgehen Frankfurt UAS	9
Abbildung 3: Flyer zur Befragung (Vorder- und Rückseite)	10
Abbildung 4: Zählstellen BAB 3 Eppstein (eigene Darstellung, Grundlage: OpenStreetMap)	15
Abbildung 5: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Trend Eppstein Bahnhof (eigene Darstellung).....	22
Abbildung 6: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Level Eppstein Bahnhof (eigene Darstellung).....	22
Abbildung 7: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Trend Eppstein Bremthal (eigene Darstellung) ...	22
Abbildung 8: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Level Eppstein Bremthal (eigene Darstellung)	23
Abbildung 9: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Trend Eppstein Niederjosbach P1 (eigene Darstellung)	23
Abbildung 10: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Level Eppstein Niederjosbach P1 (eigene Darstellung)	24
Abbildung 11: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Trend Eppstein Niederjosbach P2 (eigene Darstellung)	25
Abbildung 12: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Level Eppstein Niederjosbach P2 (eigene Darstellung)	25
Abbildung 13: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Trend Eschborn Mitte (eigene Darstellung)	26
Abbildung 14: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Level Eschborn Mitte (eigene Darstellung).....	26
Abbildung 15: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Trend Eschborn Niederhöchstadt (eigene Darstellung)	27
Abbildung 16: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Level Eschborn Niederhöchstadt (eigene Darstellung)	27
Abbildung 17: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Trend Eschborn Süd (eigene Darstellung)	28
Abbildung 18: Vergleich Prediction – Groundtruth Occupancy Level Eschborn Süd (eigene Darstellung)	28
Abbildung 19: Bewertung des Prognosemodell über F1-Score (eigene Darstellung).....	29
Abbildung 20: Bewertung des Prognosemodell über R2 (eigene Darstellung).....	30
Abbildung 21: Bewertung des Prognosemodell über MAPE (eigene Darstellung)	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schwellenwerte Occupation Level	13
Tabelle 2: Anzahl Befragungsteilnehmende je P+R-Anlage	16
Tabelle 3: Auszug aus den Erhebungsergebnissen	18

1 Einleitung

Intermodale Wege zeichnen sich in der Regel durch eine kombinierte Nutzung von Rad oder Pkw und dem Öffentlichen Verkehr ab (Forschungsinformationssystem, 2021). Diese Kombination von Verkehrsmitteln liegt jedoch im Modal Split bisher bei nur 1 % (Follmer, 2019).

Das System Park+Ride bringt jedoch hohes Potential mit sich, die Verkehrsbelastung in Innerstädten zu verringern, indem innerstädtischem Zielverkehr schon im Außenbereich der Umstieg auf den Öffentlichen Verkehr zugänglich gemacht wird (Forschungsinformationssystem, 2019). Aus diesem Grund besteht hoher Handlungsbedarf, das Konzept P+R attraktiver und komfortabler für alle Verkehrsteilnehmenden zu gestalten. Zudem dienen P+R Anlagen einer Vielzahl von Nutzergruppen (Berufs- und Ausbildungsverkehr, Einkaufsverkehr, Tourismusverkehr sowie Veranstaltungsverkehr) (FGSV, 2018). Auch deshalb besteht hier hohes Potential, viele Verkehrsteilnehmende zu einem intermodalen Verkehrsverhalten zu bewegen und so eine kontinuierliche Entlastung von innerstädtischem Verkehr zu erreichen.

Die Akzeptanz von P+R-Anlagen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. So sind unter anderem eine bequeme und schnelle Erreichbarkeit der Anlage, eine gute Befahrbarkeit der Anlage und eine hohe Sicherheit sowie ein guter Service an der Anlage ausschlaggebend (Forschungsinformationssystem, 2019). Ein weiterer wichtiger Faktor für die Akzeptanz eines Park+Ride-Angebots ist eine hohe Wahrscheinlichkeit, an der Zielanlage einen freien Stellplatz zu finden (Forschungsinformationssystem, 2019). Durch die Bereitstellung von Echtzeitinformationen und Auslastungsprognosen von P+R-Anlagen ist es Verkehrsteilnehmenden möglich, die Wahrscheinlichkeit, einen freien Stellplatz vorzufinden, einzuschätzen. Somit ist von einer Steigerung der Attraktivität der Nutzung von P+R-Angeboten auszugehen.

Daher war es Ziel des Forschungsprojektes „P+R Aktuell“ die Auslastung an P+R Anlagen in Echtzeit zu erfassen und mit Hilfe von künstlicher Intelligenz zu prognostizieren. Als Untersuchungsgebiet zur Entwicklung und Erprobung haben hierfür die Kommunen Eppstein und Eschborn insgesamt sieben P+R-Anlagen zur Verfügung gestellt.

Das Projekt wurde im Zeitraum zwischen Dezember 2020 und November 2021 durchgeführt. Das Projektkonsortium bestand neben der Frankfurt University of Applied Sciences aus der [ui!] Urban Mobility Innovations GmbH, der ivm GmbH (Integriertes Verkehrs- und Mobilitätsmanagement Region Frankfurt RheinMain) und der Smart City Systems Parking Solutions GmbH.

Die FRA-UAS ermittelte im Projekt die Daten des Ist-Zustands und war für die Übertragbarkeit und wissenschaftliche Evaluation der Daten verantwortlich. Sie stellte die Wissenschaftlichkeit des Projekts sicher und lieferte die Basisdaten.

Die [ui!] Urban Mobility Innovations GmbH stellte die Datenplattform, über die die Daten mittels einer definierten, offenen Schnittstelle von anderen Anwendungen genutzt werden konnten, zur Verfügung und entwickelte die Anbindung an die Sensoren des Partners SCS. Darüber hinaus wurden neuartige P+R-Analysen auf Basis von FCD- und Parksensordaten sowie deren Fusion erstellt und evaluiert.

Die Smart City System Parking Solutions GmbH kümmerte sich im Projekt um die Vorbereitung, Planung und Installation der benötigten Parksensoren an den P+R-Anlagen. Nach der Installation erfolgte die Bereitstellung der Echtzeit-Belegungsdaten über eine API-Schnittstelle an die Partner. Während der Projektlaufzeit erfolgte die Wartung der installierten Sensorik. Des Weiteren wurden die Echtzeit-Belegungsdaten an den Park&Ride Anlagen über die öffentlich verfügbare CityPilot App des Unternehmens der Bevölkerung in den Kommunen zugänglich gemacht. Die beteiligten Stadtverwaltungen Eschborn und Eppstein konnten über eine Softwareapplikation von Smart City System jederzeit die Echtzeit-Belegung einsehen und über ein Auswertungstool auch die historischen Belegungsdaten analysieren.

Während des Projekts gewährleistete die ivm die Nutzung der P+R-Anlagen durch den Anlageneigner im Rahmen der manuellen und sensorbasierten Datenerhebung. Überdies wurden bereits vorhandenen Daten sowie entsprechende Übertragbarkeitskriterien durch die ivm erarbeitet. Die ivm war an der Abstimmung der technischen Projekthinhalte mit kommunalen und regionalen Akteuren und deren Prozessen beteiligt. Zusätzlich wurden die Arbeiten zur Definition der Anforderungen zur Datenverwertung in Planung und Informationsdiensten maßgeblich geleitet. Die vom Projektpartner Smart City System Parking Solutions GmbH bereitgestellten Daten zur Echtzeitbelegung wurden durch die ivm im vorhandenen Web-Portal pundr.hessen.de veröffentlicht sowie über ein Widget den beteiligten Kommunen zur Integration in deren Webauftritte zur Verfügung gestellt.

Der Bericht gliedert sich wie folgt: Zunächst wird in Kapitel 2 die Ausgangslage und Motivation des Forschungsprojekts dargestellt. In Kapitel 3 werden die Ziele des Projekts beschrieben. Das Untersuchungsgebiet und die betrachteten P+R Anlagen werden in Kapitel 4 beschrieben. In Kapitel 5 und 6 werden das methodische Vorgehen und die Ergebnisse dargestellt. In Kapitel 7 werden abschließend ein Fazit gezogen und weiterer Forschungsbedarf dargelegt.

2 Motivation der Forschungsarbeit

Existierende Studien zum Thema P+R weisen auf die Determinanten der Akzeptanz des P+R-Angebots hin: Die Wahrscheinlichkeit muss hoch sein, auf der angesteuerten Anlage einen freien Stellplatz zu finden, und die Anlage sollte einen guten Service aufweisen (vgl. Forschungsinformationssystem, 2019). Dies ist die Ausgangssituation für das geplante Forschungsprojekt, da eine Verbesserung des Informationsstands dazu einen Beitrag leistet. Nach recherchiertem Wissen gibt es bisher keine Forschung, die direkt vergleichbar ist zu dem beantragten Projekt. Es existieren Forschungsarbeiten zum Thema „Parken in Smart Cities“ (z.B. Vlahogianni et al., 2016) bzw. „smartes Parken“ (Lin et al. 2017), bei denen relevante methodisch Aspekte behandelt werden. Zudem werden die methodischen Herausforderungen von Sensor-Daten behandelt (z.B. Piovesan et al. 2016), die Effekte von P+R auf das Verhalten von Verkehrsteilnehmenden untersucht (Islam et al. 2015) sowie die Entwicklung von Apps für die optimale Wahl eines P+R-Parkplatzes für Pendler beschrieben (z.B. Chen et al, 2014). All diese Forschungen liefern nützliche Einsichten, sind aber nicht direkt vergleichbar. Insbesondere die Kombination aus umfassenden FCD-Daten mit sehr akkuraten Parksensordaten ist neuartig.

P+R-Anlagen sind eine wichtige Stellschraube für umweltfreundlichen Verkehr seit den 90er Jahren. Erhebungen und Artikel dazu, siehe u.a. Mingardo, 2013. Trotzdem sind die Belegungsdaten nur bei beschränkten Anlagen bekannt und für viele Flächen gibt es keine Informationen zur Belegung, zur Auslastung im Tagesverlauf oder zu den Nutzerinnen und Nutzern und deren Beweggründe. Kommunale Vertreter, oft Betreiber der Anlagen, und Planungsämter der Landkreise und Städte, haben somit keine Daten, um strategische Planungen für neue P+R-Anlagen auf einer aussagekräftigen Datenbasis aufzubauen. Um diese Belegungsdaten möglichst ökonomisch erheben zu können, wurde im Rahmen dieses Projekts evaluiert, inwieweit Telemetriedaten von Verkehrsteilnehmern geeignet sind, um explizite Parkraumsensorik zu reduzieren und die Auslastung von P+R Anlagen zu prognostizieren. Somit konnte eine Abschätzung des Fehlers der Belegungsdaten einer Reduktion der Sensordichte und entsprechender Kostenersparnis gegenübergestellt werden. Zu diesem Zweck wurde ein gegebener Korpus von Echtzeit-Telemetriedaten ausgewertet, um Parkvorgänge auf ausgewählten P + R Anlagen zu identifizieren. Hierdurch entstand ein Modell, welches Aussagen über die zeitliche Verteilung der Parkvorgänge sowie korrelierte Phänomene ermöglichte. In einem zweiten Schritt wurde dieses Modell mit den echten Belegungsdaten verglichen, um die Akkuratheit des Modells zu evaluieren, Modellparameter anzupassen und ein gemeinsames Modell zu etablieren. In diesem gemeinsamen Modell konnten anschließend die echten Belegungsdaten künstlich verfälscht werden, um den Fehler über der Reduktion expliziter Parkraumsensorik zu erheben. Für das Trainieren der KI-Modelle wurden Trainingsdaten benötigt, die bestenfalls mit der Ground Truth annotiert sind. Dies betraf insbesondere

Daten der Parksensoren, da diese bisher nicht in die Modelle einbezogen worden waren. Die erlernten Modelle wurden anschließend transferiert und mit den Daten der in diesem Projekt einbezogenen P+R-Anlagen aktualisiert. Für die Evaluation der Güte der zu entwickelnden Vorhersagemodelle war ein Abgleich mit der tatsächlichen Realität (Ground Truth) notwendig. Hierfür musste die tatsächliche Situation auf einer P+R-Anlage erfasst und annotiert werden. Im Rahmen des Projekts erfolgte dieser Abgleich mittels einer manuellen Erfassung durch Erhebungspersonal.

3 Stand der Forschung

Auf dem Markt existieren bereits vielfältige Anbieter, die die Auslastung von P+R-Anlagen mittels Sensorik ermitteln und diese Information Verkehrsteilnehmenden zur Verfügung stellen. So wurden durch den Projektpartner Smart City Systems Parking Solutions bereits P+R-Anlagen in mehreren Städten ausgestattet. Dazu gehören unter anderem der Großraum Dresden, die Stadt Bamberg und die Stadt Flensburg. Auch die Prognose von Parkraumauslastung (auch an P+R-Anlagen) wurde bereits in Forschungsprojekten und in der Praxis untersucht. So wurde beispielsweise im Forschungsprojekt PAMIR eine stellplatzfeine Parkplatzbelegungsinformation für P+R-Anlagen im Raum München auf Grundlage von Daten aus Parksensoren erarbeitet. Des Weiteren wurde hier unter Einbezug von Wetter- und Verkehrsdaten, Events sowie Ferien- und Feiertagen eine Auslastungsprognose erstellt.

Jedoch ist zu erkennen, dass bisher nicht untersucht wurde, inwieweit Hardware zur Erfassung und Vorhersage der Auslastung reduziert werden kann, indem Daten der Parksensoren mit Fahrzeugbewegungsdaten (FCD) kombiniert werden und in das Prognosemodell einfließen.

4 Ziel des Projekts

Ziel des Forschungsprojekts P+R Aktuell war es, die Auslastung an P+R Anlagen in Echtzeit zu erfassen und mit Hilfe von künstlicher Intelligenz zu prognostizieren, um so P+R als Baustein der Luftreinhalteplanung und den Umstieg auf den öffentlichen Verkehr zu stärken sowie den MIV in Innenstädten zu minimieren. Das Vorhaben sollte zudem wissenschaftlich begleitet werden.

Im Laufe des Projekts sollten folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Wie ist das Nutzungsverhalten an den untersuchten P+R-Anlagen?
- Welche Datenquellen sind für eine Prognose der Auslastung erforderlich?
- Wie weit kann die Sensorik auf den P+R Anlagen reduziert werden, ohne die Prognosequalität zu beeinträchtigen?

Aufbauend auf den im Projekt gewonnenen Erkenntnisse sollten Empfehlungen für die Übertragbarkeit auf weitere P+R-Anlagen entstehen.

5 Untersuchungsgebiet

Für das Forschungsprojekt konnten zwei Kommunen als Partner gewonnen werden: 1.) Stadt Eppstein und 2.) Stadt Eschborn. Beide Kommunen liegen im Ballungsgebiet Rhein-Main und sind dem Main-Taunus-Kreis zugehörig. Die Stadt Eschborn zählt mit ihren 21.341 Einwohner*Innen als Mittelzentrum im Regionalverband RheinMain (HSL, 2020 & HMWEVW, 2020). Eppstein wird im Landesentwicklungsplan als Stadt im Mittelbereich mit Mittelzentrum Hofheim am Taunus beschrieben (HMWEVW, 2020). Beide Städte lieferten für das Projekt günstige Ausgangsvoraussetzungen. Neben Ihrer Lage an wichtigen Achsen des SPNV in der Region Frankfurt RheinMain mit jeweils mehreren kommunal betriebenen Umsteigeanlagen, war hier die politische Unterstützung für das gemeinsame Projekt groß. Insbesondere der politische Rückhalt bei lokalen Entscheidungsträger*innen ist ein wesentlicher Standortfaktor, um die Wahrscheinlichkeit eines Weiterbetriebs zu erhöhen. Die Kommunen weisen dabei (siedlungs-) strukturelle Unterschiede auf. Dies schlägt sich auch in der Lage der verschiedenen Umsteigeanlagen nieder. So verfügt Eschborn über ein großes Gewerbegebiet mit einem vergleichsweise großen Anteil an Büroflächen, welches an eine der P+R-Anlage angeschlossen ist. Demgegenüber sind die P+R-Anlagen in Eppstein deutlich stärker den umliegenden Wohnstandorten zugeordnet.

Die Stadt Eschborn grenzt im süd-westlichen Bereich, wie auf Abbildung 1 zu sehen ist, direkt an die Stadtgrenze Frankfurts an und weist daher eine stark städtische und hochverdichtete Struktur auf (HMWEVW, 2020). In der Stadt Eppstein liegt verdichteter Raum vor (HMWEVW, 2020). Beide Städte sind verkehrlich gut angebunden, wie auf Abbildung 1 zu erkennen ist. Die Stadt Eschborn ist durch die S-Bahnlinien S3 und S4, welche eine direkte Verbindung in die Innenstadt von Frankfurt am Main herstellen, sowie verschiedene Buslinien an das ÖPNV Netz angebunden. Des Weiteren ist die Stadt Eschborn für den MIV gut an die Bundesautobahn A5 sowie A66 angebunden. Die Stadt Eppstein wird mit dem ÖPNV durch die S-Bahnlinie S2, welche eine direkte Verbindung in die Frankfurter Innenstadt herstellt, sowie verschiedene Buslinien erschlossen. Zudem ist die Stadt Eppstein für den MIV durch die Bundesautobahn A3 sowie die Bundesstraße B455 erschlossen. Um eine intermodale Verknüpfung des MIV und des ÖPNV herzustellen, sind entlang der S-Bahnlinien P+R-Anlagen vorhanden. In der Stadt Eschborn stehen Nutzenden an den drei Stationen – Eschborn Süd, Eschborn Bahnhof, Eschborn Niederhöchstadt - jeweils eine P+R Anlage zur Verfügung. Die Stadt Eppstein stellt den Nutzer*Innen insgesamt vier P+R-Anlagen – Eppstein Bahnhof, Eppstein Bremthal, Eppstein Niederjosbach P1 und Eppstein Niederjosbach P2 - an drei Stationen – Eppstein Bahnhof, Eppstein Bremthal, Eppstein Niederjosbach - zur Verfügung.

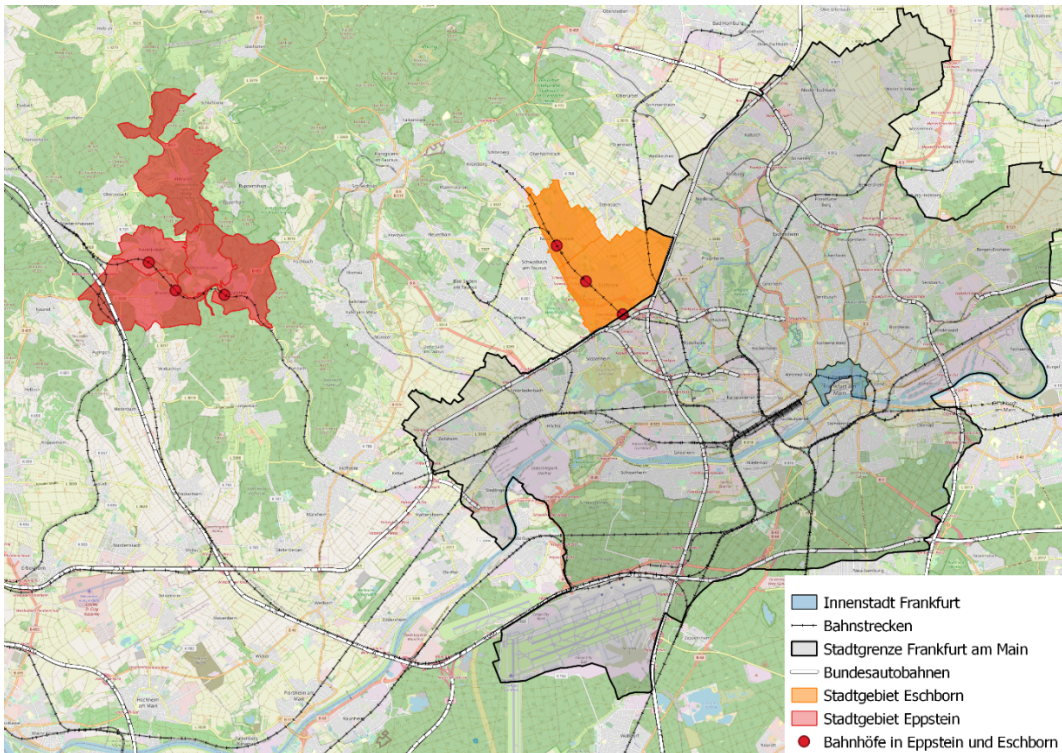


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet (eigene Darstellung, Grundlage: OpenStreetMap)

Die P+R-Anlagen werden im Folgenden kurz beschrieben:

Eschborn Süd:

Die P+R-Anlage Eschborn Süd umfasst 170 befestigte und markierte Stellplätze in Senkrecht- sowie Längsaufstellung, die sich auf zwei Geschosse verteilen. Die Nutzung der Anlage ist für Verkehrsteilnehmende kostenfrei und steht durchgehend zur Verfügung. Die durchschnittliche Auslastung (basierend auf der Auslastung im Zeitraum 01.09.2021-30.09.2021) beträgt hier 45,37%. Nutzer*Innen erreichen die Anlage über die BAB A66, BAB A5, L3005 oder über das innerörtliche Straßennetz. Die Nutzenden haben dann die Möglichkeit auf verschiedene S-Bahn- und Buslinien umzusteigen. Es verkehren hier die S-Bahnlinien S3 (Bad Soden – Frankfurt - Darmstadt) und S4 (Kronberg – Frankfurt - Darmstadt). Ergänzend stehen hier die Buslinien 252 zwischen Oberursel und Eschborn, die Buslinie 56 zwischen Eschborn und Rödelheim sowie die Buslinie 813, die das Gewerbegebiet Süd in Eschborn erschließt, zur Verfügung.

Eschborn Bahnhof:

Die P+R-Anlage Eschborn Bahnhof umfasst 52 befestigte und markierte Stellplätze in Senkrechtaufstellung. Die Anlage ist ebenerdig. Die Nutzung der Anlage ist für Verkehrsteilnehmende kostenfrei und steht durchgehend zur Verfügung. Die durchschnittliche Auslastung (basierend auf der Auslastung im Zeitraum 01.09.2021-30.09.2021) beträgt hier 55,53%. Nutzer*Innen erreichen die Anlage über die L3005 oder über das innerörtliche Straßennetz. Es verkehren hier die S-Bahnlinien S3 (Bad Soden – Frankfurt - Darmstadt) und S4 (Kronberg – Frankfurt - Darmstadt). Ergänzend stehen hier

die Buslinien 252 zwischen Oberursel und Eschborn, die Buslinie 810 zwischen Hofheim und Schwalbach sowie die Buslinie 810A, die zwischen Bad Soden und Eschborn verkehrt, zur Verfügung.

Eschborn Niederhöhnstadt:

Die P+R-Anlage Eschborn Niederhöhnstadt umfasst 120 befestigte und markierte Stellplätze in Senkrechtaufstellung. Die Anlage ist ebenerdig. Die Nutzung ist für Verkehrsteilnehmende kostenfrei und steht durchgehend zur Verfügung. Die durchschnittliche Auslastung (basierend auf der Auslastung im Zeitraum 01.09.2021-30.09.2021) beträgt hier 45,94%. Nutzer*Innen erreichen die Anlage über die L3005 oder über das innerörtliche Straßennetz. Es verkehren hier die S-Bahnlinien S3 (Bad Soden – Frankfurt - Darmstadt) und S4 (Kronberg – Frankfurt - Darmstadt). Ergänzend steht hier die Buslinie 252 zwischen Oberursel und Eschborn zur Verfügung.

Eppstein Stadtbahnhof:

Die P+R-Anlage Eppstein Bahnhof umfasst 198 befestigte und markierte Stellplätze in Senkrechtaufstellung und ist somit die größte der untersuchten Anlagen. Die Anlage ist ebenerdig. Die Nutzung ist für Verkehrsteilnehmende kostenfrei und steht durchgehend zur Verfügung. Die durchschnittliche Auslastung (basierend auf der Auslastung im Zeitraum 01.09.2021-30.09.2021) beträgt hier 21,71%. Nutzer*Innen erreichen die Anlage über die B 455 oder über das innerörtliche Straßennetz. Es verkehrt hier die S-Bahnlinie S2 (Niedernhausen – Frankfurt – Dietzenbach). Ergänzend stehen hier die Buslinien 263 zwischen Hofheim und Eppstein, die Buslinie 815 zwischen Königstein und Eppstein sowie die Buslinie 816 zwischen Hofheim und Eppstein zur Verfügung.

Eppstein Bremthal:

Die P+R-Anlage Eppstein Bremthal umfasst 40 befestigte und markierte Stellplätze in Senkrechtaufstellung und ist somit die kleinste der untersuchten Anlagen. Die Anlage ist ebenerdig. Die Nutzung ist für Verkehrsteilnehmende kostenfrei und steht durchgehend zur Verfügung. Die durchschnittliche Auslastung (basierend auf der Auslastung im Zeitraum 01.09.2021-30.09.2021) beträgt hier 55,56%. Nutzer*Innen erreichen die Anlage über die BAB A3, die B 455 oder über das innerörtliche Straßennetz. Es verkehrt hier die S-Bahnlinie S2 (Niedernhausen – Frankfurt – Dietzenbach). Ergänzend stehen hier die Bedarfsbuslinien 20 zwischen Naurod und Niederjosbach über Bremthal und 26 zwischen Medenbach und Bremthal zur Verfügung.

Eppstein Niederjosbach P1:

Die P+R-Anlage Eppstein Niederjosbach P1 umfasst 60 befestigte und markierte Stellplätze in Schräg- und Senkrechtaufstellung sowie weitere 34 weitere unbefestigte und unmarkierte Stellplätze. Die Anlage ist ebenerdig. Die Nutzung ist für Verkehrsteilnehmende kostenfrei und steht durchgehend zur Verfügung. Die durchschnittliche Auslastung (basierend auf der Auslastung im Zeitraum 01.09.2021-30.09.2021) beträgt hier 11,54%. Nutzer*Innen erreichen die Anlage über die B 455 oder über das

innerörtliche Straßennetz. Es verkehrt hier die S-Bahnlinie S2 (Niedernhausen – Frankfurt – Dietzenbach). Ergänzend steht hier die Bedarfsbuslinie 20 zwischen Naurod und Niederjosbach über Bremthal zur Verfügung.

Eppstein Niederjosbach P2:

Die P+R-Anlage Eppstein Niederjosbach P2 umfasst 65 befestigte und markierte Stellplätze in Senkrechtaufstellung. Die Anlage ist ebenerdig. Die Nutzung ist für Verkehrsteilnehmende kostenfrei und steht durchgehend zur Verfügung. Die durchschnittliche Auslastung (basierend auf der Auslastung im Zeitraum 01.09.2021-30.09.2021) beträgt hier 8,65%. Nutzer*Innen erreichen die Anlage über die B 455 oder über das innerörtliche Straßennetz. Es verkehrt hier die S-Bahnlinie S2 (Niedernhausen – Frankfurt – Dietzenbach). Ergänzend steht hier die Bedarfsbuslinie 20 zwischen Naurod und Niederjosbach über Bremthal zur Verfügung.

6 Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel wird die angewandte Methodik und das damit verbundene Untersuchungskonzept beschrieben. Dabei wird zunächst auf das Untersuchungskonzept eingegangen, welches die Bearbeitungsschritte detailliert darlegt. Alle angewandten Methoden, die als Grundlage für die Forschungsergebnisse dienen, werden im Anschluss erläutert. Wie Abbildung 2 zeigt, wurden für die Zielerreichung der Fragestellungen, neben einer Literaturrecherche, Verkehrszählungen und eine Online-Umfrage durchgeführt. Die hierbei gewonnenen Ergebnisse lieferten Bausteine für die Ableitung von Handlungsempfehlungen und wurden für die Bewertung des KI-Modells herangezogen.

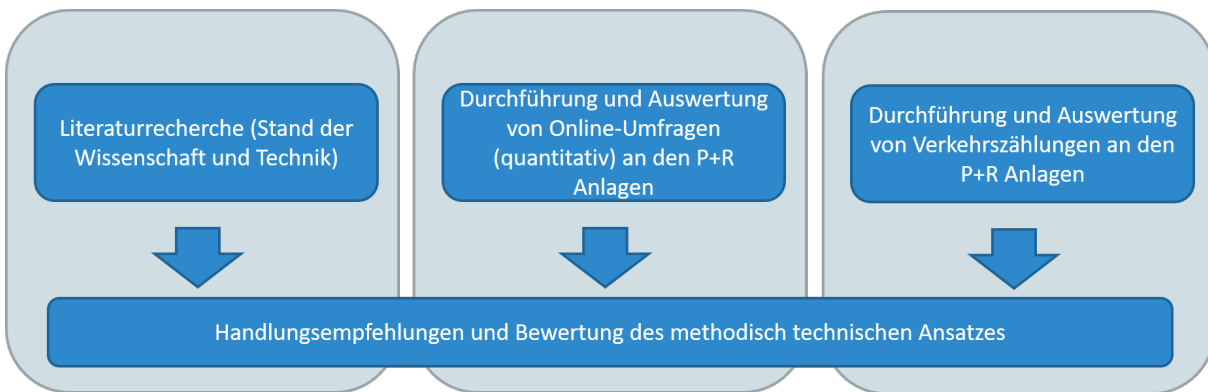


Abbildung 2: Methodisches Vorgehen Frankfurt UAS

6.1 Literaturrecherche

Mithilfe einer Literaturrecherche wurden aktuelle thematisch verwandte Projekte und Forschungsprojekte identifiziert, um hier auf bereits gewonnenen Erkenntnissen aufbauen zu können. Für die Recherche wurden Literatur der Bibliothek der Frankfurt UAS, Google Scholar sowie die Informationen aus aktuellen Fachzeitschriften verwendet. Der Literaturrecherche folgte eine Charakterisierung der im Projekt verwendeten Teststandorte. So konnten bereits vorab Gemeinsamkeiten und Unterschiede identifiziert werden.

6.2 Online-Umfrage

Zur Erfassung der Gründe der Nutzer*Innen für die Auswahl eines P+R-Anlage und deren Start- sowie Zielort, wurde eine Online-Umfrage entwickelt. Mit dieser sollten Erkenntnisse über die Nutzung von P+R sowie die Akzeptanz und Meinungen der Nutzer*Innen zu den P+R Anlagen ermittelt werden. Für diesen Zweck wurde eine Online-Umfrage ausgewählt, da auf diese Weise möglichst viele Personen an allen untersuchten P+R-Anlagen erreicht werden konnten. Des Weiteren ließ sich diese Vorgehensweise mit den vorherrschenden Regelungen im Rahmen der Covid-19-Pandemie vereinbaren. Ein weiterer

Vorteil in der Nutzung der Online-Umfrage liegt überdies in dem standardisierten Befragungsvorgehen sowie der gewährleisteten Anonymität.

Konzipiert und durchgeführt wurde die Befragung mit Hilfe der Onlinebefragungssoftware Questionstar. Damit die befragten Personen über die Zielsetzung der Umfrage und über die durchführende Institution informiert sind, wurde nach einem kurzen Begrüßungstext ein entsprechender Einleitungstext ergänzt. Für die Erfüllung der Datenschutzbestimmungen wurde auf eine vertrauliche und anonyme Behandlung der Daten hingewiesen. Dieser musste für die weitere Teilnahme an der Umfrage zugestimmt werden. Zur Bekanntmachung der Umfrage wurden Flyer (siehe Abbildung 3) gedruckt und den Nutzer*Innen an allen betrachteten P+R-Anlagen – Eppstein Bahnhof, Eppstein Bremthal, Eppstein Niederjosbach P1 und P2 sowie Eschborn Süd, Eschborn Mitte und Eschborn Niederhöchstadt – zur Verfügung gestellt. Die Karten waren mit einem QR-Code sowie dem Link zur Umfrage bedruckt, und wurden an allen im Projekt untersuchten P+R Standorten mehrfach verteilt. Darüber hinaus wurde über soziale Netzwerke und die Projektpartner auf die Umfrage aufmerksam gemacht. Parallel zur Verteilung wurde durch einen Aufruf auf der Projekt-Website zur Teilnahme an der Umfrage aufmerksam gemacht. Dadurch sollten möglichst viele Personengruppen angesprochen werden.



Abbildung 3: Flyer zur Befragung (Vorder- und Rückseite)

Für die quantitative Online-Befragung wurde zu Beginn das Untersuchungsziel definiert:

- Wie werden die Anlagen von den Nutzenden bewertet und welche Verbesserungsvorschläge gibt es?
- Was sind die Start- und Zielorte der Nutzenden?
- Welche Verkehrsmittel werden auf dem weiteren Weg genutzt?
- Wie bewerten Nutzende die aktuelle Situation an den P+R-Anlagen?

Um alle Ursachen für getroffene Bewertungen Nutzer*Innen korrekt erfassen zu können und um Missverständnissen entgegenzuwirken, wurden ein eigenes Design entwickelt und ein klarer Aufbau bzw. eine Unterteilung gewählt. Es wurde eine Unterteilung in die folgenden Bereiche vorgenommen und die damit verbundenen Merkmale untersucht:

- Nutzungsverhalten der P+R-Anlage (Grund für die Auswahl, Nutzungsintensität, Bewertung der Anlage, etc.)
- Verkehrsverhalten im Allgemeinen
 - Quell- und Zielort
 - Verkehrsmittelwahl
 - ÖPNV Nutzung
- CityPilot App (Verwendung und Nachfrage)
- Soziodemografische Daten der Befragungsteilnehmenden
 - Alter
 - Geschlecht
 - Höchster Bildungsabschluss
 - berufliche Situation

Für die optimale Beantwortung aller erstellten Fragen, wurden sowohl offene als auch geschlossene Fragen verwendet, damit die Nutzer*innen auch eigene Antworten formulieren konnten. Da die persönliche Einstellung der Befragten festgehalten wurde, sind bei einigen Fragen Skalierungen (Likert-Skala) verwendet worden, um die Zustimmung bzw. Ablehnung messen zu können. Um ebenfalls die Nutzung von anderen P+R Anlagen zu erfassen, wurde eine separate Frage zur Inanspruchnahme weiterer P+R-Anlagen integriert. Um eine möglichst geringe Abbruchrate zu erhalten, führte eine Nichtbeantwortung einer Frage automatisch zur nächsten und nicht zum Abbruch der gesamten Umfrage, sodass bereits ausgefüllte Fragen trotzdem erfasst werden konnten.

6.3 Vor-Ort Verkehrszählung

Ziel der Vor-Ort Erhebungen war es, die, durch die verbaute Sensorik, automatisiert erhobenen Auslastungs- und Belegungsdaten zu verifizieren und deren Genauigkeit festzustellen, damit diese in der weiteren Bearbeitung als Grundwahrheit angenommen werden konnten.

Erhebungen von Fahrzeugen im ruhenden Verkehr geben Aufschluss über die örtliche Verteilung der Parkraumnachfrage und Auslastung zum jeweiligen Erhebungszeitraum (FGSV, 2012). Für die Erhebung der parkenden Fahrzeuge an den ausgewählten P+R-Anlagen wurde eine Objektzählung durchgeführt. Bei dieser quantitativen Erhebungsmethode werden alle Fahrzeuge erhoben, die sich während eines definierten Zeitabschnittes in dem zuvor definierten abgegrenzten Raum befinden (FGSV, 2012).

Hierfür wurden zum einen der Belegungszustand bei Start und Ende des Zählzeitraums, zum anderen jeder Parkvorgang der in dem definierten Zeitabschnitt auf einer P+R-Anlage stattgefunden hat, stellplatzgenau erfasst. Erfasst wurden pro Parkvorgang folgende Kennwerte:

- Stellplatznummer
- Uhrzeit der Ankunft
- Uhrzeit der Abfahrt

Die Erhebungen wurden für jede der sieben betrachteten P+R-Anlage durchgeführt, um ggf. auftretende individuelle Schwierigkeiten der Anlage berücksichtigen zu können und entsprechend entgegenzuwirken.

Für alle Zählungen wurde ein Normalwerktag (Montag - Donnerstag ohne Feiertage) ausgewählt. Die Zählungen wurden stichprobenartig entweder in einem Zeitraum zwischen 06.00 – 11.00 Uhr oder zwischen 15.00 – 20.00 Uhr mit einer Dauer zwischen ein und zwei Stunden durchgeführt, da hier, auf Grund konventioneller Arbeitszeiten, die meiste Aktivität auf den P+R-Anlagen zu erwarten ist. Es wurde stets darauf geachtet, dass ausreichend Erhebungspersonal an der jeweiligen P+R Anlage vorhanden war, um alle Stellplätze einsehen zu können.

Die Erhebungen in Punkt 5.2 und 5.3 wurden außerdem durch eine Master-Thesis unterstützt, die ebenfalls Befragungen und Vor-Ort Erhebungen durchführte. Die Ergebnisse sind zum Teil in das Projekt eingeflossen.

6.4 Erstellung des Prognosemodells

Vorgehensweise:

Für die Auswertung der Daten wurden die folgenden zwei cross validation- (cv) / Kreuzvalidierungsverfahren verwendet.

1. Timeseries (TS) / Zeitreihe:

In diesem Verfahren werden 25% der gesammelten Daten vom Ende des Datensatzes als Testdatensatz betrachtet. Der Trainingsdatensatz besteht somit nur aus Beobachtungen, die vor den Daten, die den Testdatensatz bilden, erfasst wurden. Das Modell wird anhand von 75% der vorliegenden Daten trainiert. Die übrigen 25% der Daten dienen anschließend zur Validierung des Modells.

2. Leave one parkinglot out (LOPO):

In diesem Verfahren wird eine der betrachteten P+R Anlagen beim Training des Modells ausgelassen und als Testdatensatz verwendet. Dieses Verfahren wird als realitätsnäher betrachtet, da das Modell in Zukunft auf Standorte angewendet werden kann, für die keine vollständige Datenerhebung verfügbar ist.

Die Übertragbarkeit des Modells wurde mit Hilfe einer „data augmentation technique“ getestet. Dabei wurde ein „synthetischer“ (fiktiver) zusätzlicher P+R-Platz aus den vorliegenden Daten simuliert und getestet, inwieweit auch für diesen Prognosen möglich sind.

Occupation Level (Belegungsgrad):

Das „Occupation Level“ beschreibt die Auslastung der jeweiligen Anlage. Die Werte werden gegliedert in die drei Stufen 1.) Grün, 2.) Gelb und 3.) Rot. Die Grenzen für diese Stufen sind aus der untenstehenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 1: Schwellenwerte Occupation Level

Occupation Level	Prozentuale Schwellenwerte	Werte auf der linken Y-Achse in den Abbildungen
Grün	0-50 %	0
Gelb	50-80%	1
Rot	80-100%	2

Um den Belegungsgrad vorherzusagen, wurde dieser als Klassifizierungsproblem definiert. Für die Datenmodellierung wurde eine Gradient-Borstig-Technik verwendet.

Occupancy Trend (Auslastungstrend):

Der „Occupancy Trend“ gibt Auskunft darüber, ob die Auslastung steigen oder sinken wird. Der Trend beschreibt die absolute Veränderung der Auslastung in einem Zeitraum von 60 Minuten in Relation zur Kapazität der betrachteten P+R Anlage.

Um den Auslastungstrend vorherzusagen, wurde dieser als Regressionsproblem definiert. Für die Datenmodellierung wurde Gradient Boosting verwendet.

6.5 Methodenkritik

Bei der Betrachtung der durchgeführten Methodik zur Erfassung der Nutzerakzeptanz und der betrieblichen Herausforderungen lässt sich rückblickend festhalten, dass die Teilnahme, unter den gegebenen Corona-Auflagen zum Arbeiten im Home-Office, sehr gering war. Dies zeigt sich unter anderem in der Nutzungsintensität und Auslastung an den ausgewählten P+R-Anlagen. Da im Rahmen dieses Projekts keine historischen Auslastungs- und Belegungsdaten der P+R-Anlagen im Vergleich zur aktuellen Auslastung zur Verfügung standen, wurde diese Annahme anhand von Zähldaten der Bundesautobahn BAB 3, welche westlich der Stadt Eppstein verläuft, überprüft. Werden Zählstellen in unmittelbarer Nähe der Stadt Eppstein betrachtet (siehe Abbildung 4) so ist zu erkennen, dass die Summe aller erfassten Kfz einen starken Rückgang zwischen dem Jahr 2019 und 2021 aufweist. So lag die Summe der erfassten Kfz an der Zählstelle A3/22IDN im Jahr 2019 noch bei 4.193.010 und ist im Jahr 2021 auf 3.037.405 gezählten Kfz gefallen. Ähnliche Rückgänge sind an allen Zählstellen festzustellen. Dieses Phänomen spiegelt sich nach eigenen Beobachtungen auch auf den P+R-Anlagen wider, was zu einer sehr viel geringeren Teilnahme, als erwartet, führte.

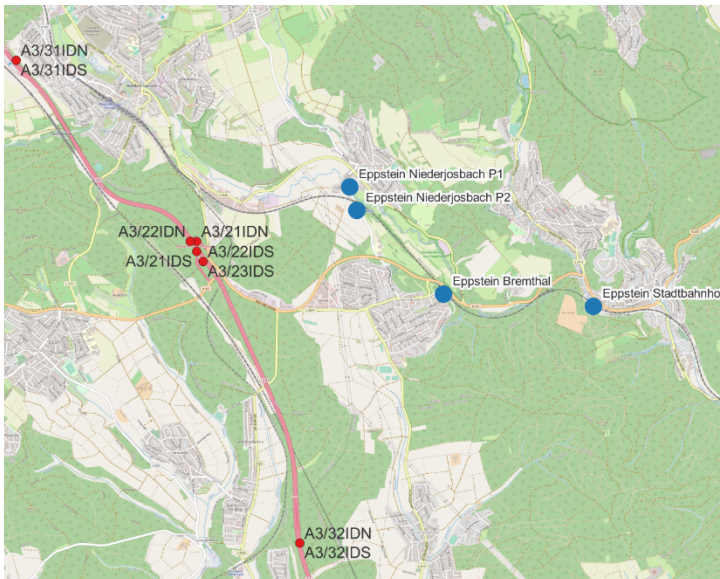


Abbildung 4: Zählstellen BAB 3 Eppstein (eigene Darstellung, Grundlage: OpenStreetMap)

Die Auswertung der Befragungsteilnehmer zeigt, dass zu wenige Personen, auch über verschiedene Altersklassen hinweg, an der Umfrage teilgenommen haben. Zur Erlangung einer umfassenden und gleichmäßiger verteilten Stichprobe könnten zusätzlich Fragenkataloge gedruckt oder die Umfrage mit separatem Erhebungspersonal vor Ort durchgeführt und direkt in das System eingepflegt werden. Diese Anpassung könnte die Anzahl an Befragungsteilnehmer*innen deutlich erhöhen, ist jedoch mit hohem personellem Aufwand verbunden und war in der im Projekt vorherrschenden Lage, welche durch Kontaktbeschränkungen geprägt war, ungeeignet.

7 Ergebnisse

7.1 Onlineumfrage

Wie bereits in Kapitel 5.2 beschrieben, wurde die Befragung an allen sieben untersuchten Standorten beworben und durchgeführt. Im ersten Teil der Befragung konnten Teilnehmende die P+R-Anlage auswählen, die sie nutzen und für die der Fragebogen ausgefüllt wird. Die Umfrage war für die Standorte in Eppstein im Zeitraum 12. April 2021 – 20. September 2021 und für die Standorte in Eschborn im Zeitraum von 04. August 2021 – 20. September 2021 freigeschaltet. Nach Start der Umfrage in Eppstein wurde die Umfrage für die weiteren P+R Anlagen in Abstimmung mit der Stadt Eschborn um einige Fragen erweitert. Im Rahmen dieser Zeiträume konnten 34 Personen mit Hilfe der Online-Umfrage zu ihrem Nutzungsverhalten und Akzeptanz der P+R-Anlage befragt werden. Der untenstehenden Tabelle sind die Teilnehmerzahlen für jeden untersuchten Standort zu entnehmen.

Tabelle 2: Anzahl Befragungsteilnehmende je P+R-Anlage

P+R-Anlage	Teilnehmende
Eppstein Bahnhof	7
Eppstein Bremthal	12
Eppstein Niederjosbach P1	0
Eppstein Niederjosbach P2	0
Eschborn Süd	6
Eschborn Bahnhof	2
Eschborn Niederh"ochstadt	7

Auf Grund der geringen Teilnehmerzahl und somit nicht belastbaren Ergebnisse werden im Folgenden lediglich vereinzelte Erkenntnisse der Umfrage geschildert und keine umfassende Auswertung pr"asentiert.

Eschborn

Das Alter der befragten Personengruppe an den P+R-Anlagen der Stadt Eschborn erstreckte sich zwischen 23-51 Jahren. Der gr"o"ste Anteil der Stichprobe war hier m"annlich (10 von 15 Befragten). Vier Personen gaben an weiblich zu sein, eine Person machte keine Angabe. Die Mehrzahl der befragten Personen waren zum Zeitpunkt der Befragung erwerbst"atig (12 von 15 Befragungsteilnehmenden). Der n"achstgr"o"ste Anteil waren Studierende (2 von 15 Befragten).

Die Mehrheit der befragten Personen gab als Zielort des Weges die Stadt Frankfurt am Main an (7 von 14 Befragten). Die Befragten gaben bei allen Anlagen zum Gr"o"steil an, dass die Wegekette in Eschborn begann (Eschborn S"ud: 3/6 Nennungen, Eschborn Bahnhof: 2/2 Nennungen, Niederh"ochstadt: 5/7 Nennungen).

Der Grund f"ur die Auswahl der jeweiligen P+R-Anlage war bei den P+R-Anlagen unterschiedlich. So lag dieser Grund an den Anlagen Eschborn Niederh"ochstadt mit f"unf von insgesamt neun Nennungen und Eschborn Bahnhof mit zwei von zwei Nennungen in der N"ahе der Anlage zum Wohnort. An der Anlage Eschborn S"ud hingegen gab der Gr"o"steil der Befragten (drei von sieben Befragte) an, dass die N"ahе zum Arbeitsort hier der ausschlaggebende Faktor sei. Der Wegezweck wurde bei den Anlagen ebenfalls unterschiedlich angegeben. So ist in Niederh"ochstadt der meistgenannte Wegezweck (6 von 15 Nennungen) „private Erledigungen“. An der Anlage „Eschborn“ wurden die Wegezwecke „Beruf / Arbeit“, „Freizeit / Erholung“ sowie „private Erledigungen“ jeweils einmal genannt. In Eschborn S"ud lag der Gr"o"steil der Nennungen (vier von neun Nennungen) „Beruf / Arbeit“, was sich in dem Grund f"ur die Auswahl der jeweiligen Anlage widerspiegelt.

Die Befragungsteilnehmenden wurden in Eschborn zudem zur Nutzung der im Projekt verwendeten CityPilot App, welche die Auslastung der P+R Anlagen in Echtzeit, auf Basis der Sensordaten, darstellt, befragt. Lediglich vier der 15 Teilnehmenden kannten zum Zeitpunkt der Befragung die App. Zwei dieser Personen nutzten bereits zum Zeitpunkt der Befragung die App, um die Auslastung einzusehen. Nach einem kurzen Erläuterungstext zur CityPilot App und ihrer Funktionen, für die Personen, die angaben die App bisher nicht zu kennen, gaben neun von 11 Personen an, diese in Zukunft vor Fahrtantritt nutzen zu wollen.

Eppstein

Das Alter der befragten Personengruppe an den P+R-Anlagen der Stadt Eppstein erstreckte sich zwischen 18-57 Jahren. Der größte Anteil der Stichprobe war hier weiblich (10 von 19 Befragten). Acht Personen gaben an, männlich zu sein, eine Person gab an, divers zu sein. Die Mehrzahl der befragten Personen waren zum Zeitpunkt der Befragung erwerbstätig (17 von 19 Befragungsteilnehmenden).

Die Mehrheit der befragten Personen gab als Zielort des Weges die Stadt Frankfurt am Main an (15 von 18 Befragten). Die Befragten gaben bei den Anlagen Eppstein Bahnhof sowie Eppstein Bremthal zum Großteil an, dass die Wegekette in Eschborn begann (Eppstein Bahnhof: 2/7 Nennungen, Eppstein Bremthal: 6/12 Nennungen).

Alle befragten Personen an der Anlage Eppstein Bahnhof gaben an, dass der Wegezweck hier „Beruf / Arbeit“ sei (sieben von sieben Befragte). In Eppstein Bremthal gaben neun der 17 Befragungsteilnehmende „Beruf / Arbeit“ als Wegezweck an. Der nächstgrößere Anteil mit fünf von insgesamt 17 Nennungen entfiel auf den Wegezweck „Freizeit / Erholung“.

Die geschilderten Ergebnisse können jedoch nicht als repräsentativ angesehen werden, auf Grund der geringen Teilnehmerzahl an jeder der untersuchten Anlagen. Grundsätzlich gilt auch, dass eine Online-Umfrage nicht bevölkerungsrepräsentativ ist, da die Teilnehmenden selbst entscheiden können, ob sie an der Umfrage teilnehmen. Zudem werden Personen ohne Internetzugang von der Befragung ausgeschlossen.

7.2 Vor-Ort Verkehrszählung

Nach Durchführung der Verkehrszählungen an den P+R-Anlagen erfolgte zunächst eine Plausibilitätsprüfung der erhobenen Daten, um eventuell entstandene Fehler vorab zu finden und zu minimieren. Hierfür wurde mit dem Erhebungspersonal eine Nachbesprechung durchgeführt, sowie die ausgefüllten Erhebungsbögen mehrfach überprüft. Nach erfolgreicher Plausibilitätsprüfung wurden die Werte vereinheitlicht und in einer Excel-Datei mit allen relevanten Metadaten zusammengestellt, um dort ausgewertet zu werden. Stellplätze, die zum Startzeitpunkt der Erhebung bereits belegt waren, wurden in den Auswertungen mit „besetzt“ markiert. Für jede der sieben untersuchten Anlagen wurde ein separates Tabellenblatt angelegt, in dem die einzelnen Parkvorgänge je Stellplatz, unter Angabe von Uhrzeit der Ankunft sowie Abfahrt des Fahrzeugs und Stellplatznummer, aufgeführt wurden. Nach Überführung und Aufbereitung der Daten wurden die Sensordaten der Anlagen für den jeweiligen Erhebungszeitraum exportiert, sodass diese mit den manuell erhobenen Daten abgeglichen werden konnten. Ein exemplarischer Auszug aus dem Vergleich der Sensor- und Erhebungswerte der P+R-Anlage Eppstein Bahnhof ist in Tabelle 3 zu sehen.

Tabelle 3: Auszug aus den Erhebungsergebnissen


Erhebungszeitraum: 23.11.2021, 07:35-08:35 Uhr				
P+R-Anlage: Eppstein Bahnhof				
Stellplatz Nr.	Ankunft (Erhebung)	Abfahrt (Erhebung)	Ankunft (Sensor)	Abfahrt (Sensor)
1	07:35		23.11.2021 07:35	23.11.2021 15:52
2				
3	07:41		23.11.2021 07:40	23.11.2021 19:23
4				
5				
6				
7				
8	besetzt		22.11.2021 17:29	23.11.2021 17:22
9	besetzt		22.11.2021 16:21	24.11.2021 07:10
...				

198	besetzt		23.11.2021 06:57	23.11.2021 20:14
------------	---------	--	---------------------	---------------------

Es liegen maximale Abweichungen von zwei Minuten vor. Diese Abweichungen zwischen Sensor- und Erhebungsdaten können auf unterschiedliche Quellen zurückzuführen sein, wie zum Beispiel Ablesefehler des Erhebungspersonals oder Verzögerungen beim Ein- bzw. Ausparkvorgang. Durch den Vergleich wird die Genauigkeit der Sensordaten bestärkt, sodass diese im weiteren Projektverlauf als Grundwahrheit angenommen werden können.

7.3 Datenverwertung

Abseits der Verwendung von aggregierten Daten in den unten beschriebenen Prognosemodellen, ist die Datenverwertung auf kommunaler Seite ein essenzielles Projektergebnis. Die Kommunen sollten dazu ertüchtigt werden, die Daten endnutzerfreundlich, beispielweise als Planungsgrundlage, nutzen zu können und den Bürger*innen Belegungsdaten als Informationsservice zur Verfügung zu stellen. Den Kommunen wurde über ein durch die Smart City System Parking Solutions bereitgestelltes, sogenanntes „Dashboard“, ein Überblick über die Belegungssituation und einfache Analysemöglichkeiten geboten. Weiterhin entwickelte die ivm ein Widget für die kommunalen Webseiten. Bürger*innen bekommen die Möglichkeit sich noch vor Fahrtbeginn über den Belegungszustand ihrer favorisierten P+R-Anlage zu informieren. Durch die Darstellung der aus dem Projekt generierten Daten, entstand ein direkter Mehrwert für die beteiligten Kommunen. Dadurch entstand die Bereitschaft zur Nachnutzung der verbauten Sensorik und ein guter Anwendungsfall für weitere interessierte Kommunen oder Betreiber aus der Region. Ein erfolgreicher Anwendungsfall der bereitgestellten Funktionalitäten stellt die Internetseite der Stadt Eschborn dar. Bürger*innen können sich hier in Echtzeit über den Belegungszustand der Anlagen informieren.



Stadt Eschborn

P+R-Anlagen

Eschborn verfügt über insgesamt drei Park & Ride-Anlagen an den Bahnhöfen Eschborn Süd, Eschborn Bahnhof und Eschborn-Niederhöhnstadt. Das Parken ist hier kostenlos möglich. Insgesamt stehen 342 Stellplätze an den Bahnhöfen zur Verfügung.

Im Jahr 2021 wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „P+R-Aktuell“ alle Stellplätze mit Parksensoren ausgestattet, um den aktuellen Belegstatus zu erfassen. Die Stadt Eschborn weist ausdrücklich darauf hin, dass die Sensoren nicht der Parkraumüberwachung dienen. Die Sensoren liefern lediglich die Information, ob ein Stellplatz belegt ist oder nicht.

Echtzeitinformationen zu den einzelnen Stellplätzen können über die kostenlose App „CityPilot“ abgerufen werden. Nachfolgend finden Sie die aktuelle Auslastung der P+R-Anlagen auf einen Blick:

Ansprechpartner

Beauftragter für Nahmobilität
 Andreas Gilbert
 Telefon: 06196/490-323
 Email: mobilitaet@eschborn.de

Download

Anbieter der App "CityPilot - Einfach parken" ist die Firma Smart City System. Die App kann in den entsprechenden Stores heruntergeladen werden. Der Download und die Nutzung sind kostenlos.

Belegung P+R Anlagen

Eschborn PuR Eschborn Mitte	48%
Frei: 7 Besetzt: 25 Anzahl: 52	
Eschborn PuR Eschborn Süd	96%
Frei: 6 Besetzt: 164 Anzahl: 170	
Eschborn PuR Niederhöhnstadt	94%
Frei: 7 Besetzt: 113 Anzahl: 120	

Zur Verfügung gestellt von ivm GmbH
 Widget: Trafficon | Daten: Smart City System

Bei der Suche nach geeigneten Park-and-Ride-Angeboten unterstützt Sie auch www.pundr.hessen.de.

Abbildung 5: Verwertung der erhobenen Daten in Form eines Widgets als Bürgerinformation (Stadt Eschborn)

7.4 Bewertung des Prognosemodells

In diesem Kapitel soll der technisch-methodische Ansatz, der für die Erstellung des Prognosemodells entwickelt wurde, bewertet werden. Das Modell soll für die untersuchten P+R Anlagen zum einen das „Occupation Level“, den Auslastungsgrad in drei Kategorien, und zum anderen den „Occupancy Trend“, die zu erwartende prozentuale Änderung, für die jeweils nächste Stunde vorhersagen.

Wie im Kapitel 4 des vorliegenden Abschlussberichts dargestellt, liegen die P+R-Daten für den Zeitraum April 2021 bis August 2021 vor. Zudem wurden Floating Car Daten (FCD), also Fahrzeugbewegungsdaten sowie Daten aus Open-Street Maps verwendet.

Da, wie in Kapitel 6.2 dargestellt, die Sensorwerte exakt die Ground Truth wiedergeben, können im Folgenden die Sensorwerte als Ground Truth unterstellt werden. Um den gewählten Ansatz zu bewerten, können einerseits, die vorhergesagten Werte mit der Ground Truth der Anlagen verglichen werden. Andererseits können statistische Maßzahlen, wie R2, MAPE (Mean absolute median deviation), Precision oder F1-Score, Auskunft über die Güte der Prognosen geben.

7.4.1 Vergleich „Prediction vs. Ground Truth“

Im folgenden Abschnitt werden die durch das Modell vorhergesagten Werte mit der Ground Truth verglichen, welche durch die im Projekt installierten Sensoren erhoben wurde. Für den Vergleich wurden Werte in der Zeitspanne 16. August 2021 – 21. August 2021 herangezogen. Die nachfolgenden Diagramme zeigen zum einen den Vergleich (Prediction vs. Ground Truth) für die Variable „Occupancy Trend“, zum anderen für die Variable „Occupation Level“. Der Vergleich liegt für jede der untersuchten P+R Anlage vor. Die Diagramme, welche die Vorhersage des Occupancy Trends darstellen, zeigen zum einen die vorhergesagten Werte (blau) in Prozent und zum anderen die tatsächlich eingetretenen Werte (rot) in Prozent.

Die Diagramme, welche die Vorhersage des Occupation Levels darstellen, sind folgendermaßen zu interpretieren:

- Auf der linken Y-Achse bedeutet 0 einen Occupation Level von 0-50% (grün); 1 bedeutet 50%-80% und 2 bedeutet 80%-100%
- Auf die linke Y-Achse beziehen sich die Ground Truth (rot) und die Vorhersage (blau)
- Auf der rechten Y-Achse ist der Auslastungsgrad von 0 bis 1 (0% bis 100%) dargestellt. Die zugehörigen Werte der tatsächlichen Auslastung (ground truth) werden mit der grünen Linie dargestellt.

In allen Diagrammen sind die einzelnen Werte der Datensätze als Punkte dargestellt, aus denen sich die abgezeichneten Verläufe der Graphen ergeben.

Die Diagramme, welche die Vorhersage des Occupation Trend darstellen, sind folgendermaßen zu interpretieren:

- Auf der Y-Achse wird die prozentuale Veränderung der Belegung dargestellt
- Positive Werte bedeuten hier eine Steigerung der Belegung. Negative Werte bedeuten einen Rückgang in der Belegung der Anlage.
- Auf die Y-Achse beziehen sich die Ground Truth (rot) und die Vorhersage (blau)

Eppstein Bahnhof

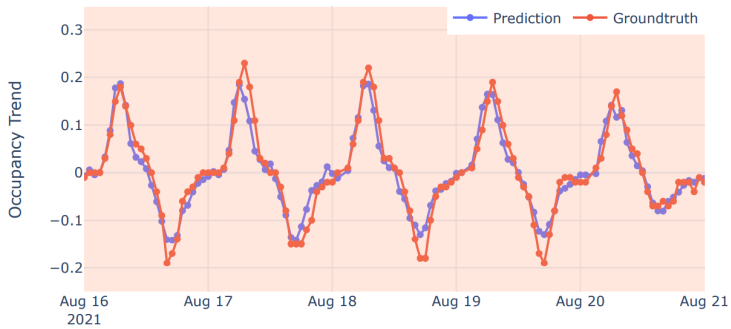


Abbildung 5: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Trend Eppstein Bahnhof (eigene Darstellung)

In Abbildung 5 ist zu sehen, dass die prognostizierten Werte des Belegungstrends der Ground Truth weitestgehend entsprechen. Es liegen nur minimale Abweichungen von bis zu 0,07 Prozentpunkten vor.

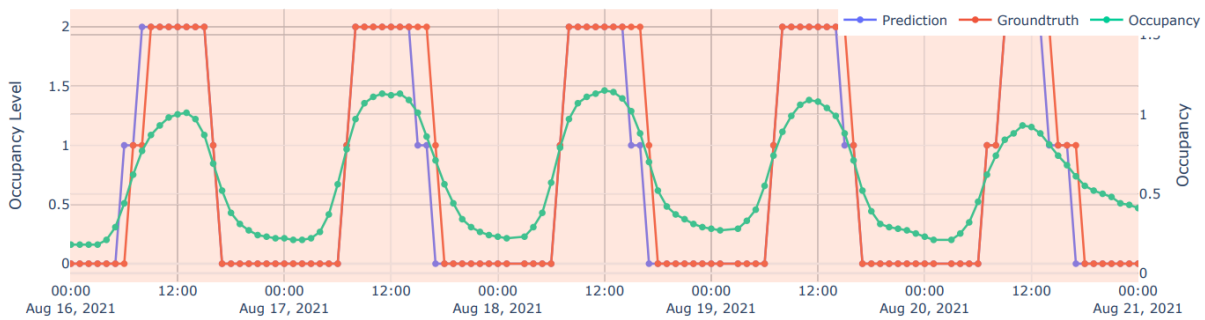


Abbildung 6: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Level Eppstein Bahnhof (eigene Darstellung)

Auch in Abbildung 6 ist zu sehen, dass das Prognosemodell an der P+R Anlage Eppstein Bahnhof weitestgehend die Ground Truth erreicht. Hier ist ein zeitlicher Vorlauf der prognostizierten Werte um bis zu zwei Stunden erkennbar.

Eppstein Bremthal

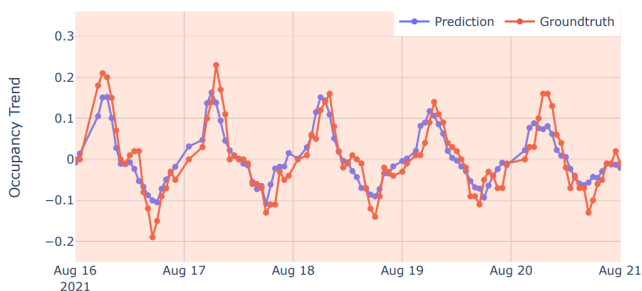


Abbildung 7: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Trend Eppstein Bremthal (eigene Darstellung)

In Abbildung 7 ist zu sehen, dass die prognostizierten Werte der Ground Truth auch an der P+R Anlage Eppstein Bremthal weitestgehend entsprechen. Es liegen minimale Abweichungen von bis zu 0,09 Prozentpunkten vor.

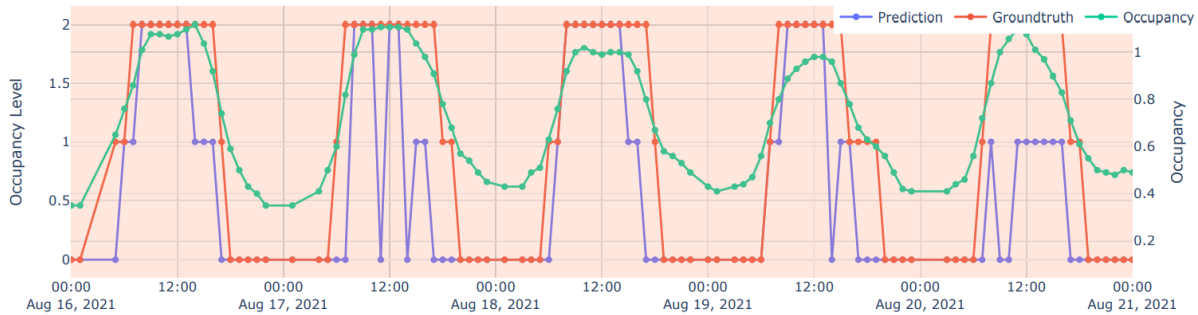


Abbildung 8: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Level Eppstein Bremthal (eigene Darstellung)

Auch Abbildung 8 zeigt, dass das Prognosemodell an der P+R Anlage Eppstein Bremthal zum Teil die Ground Truth erreicht. Zum Teil sind jedoch starke Schwankungen in den prognostizierten Werten vorhanden. So ist beispielsweise am 20. August 2021 um 10 Uhr eine starke Abweichung festzustellen. Prognostiziert wurde das Level „Green“, sensorisch erfasst wurde hingegen das Level „Red“.

Eppstein Niederjosbach P1

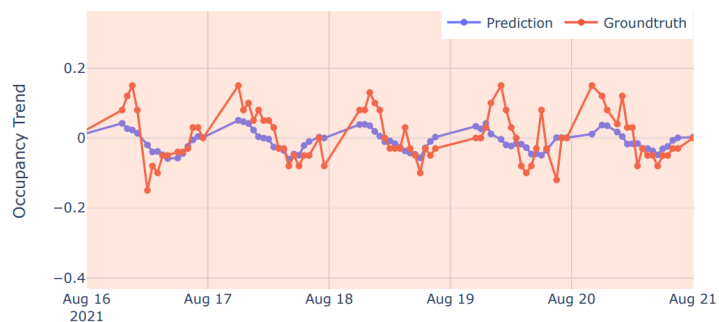


Abbildung 9: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Trend Eppstein Niederjosbach P1 (eigene Darstellung)

In Abbildung 9 ist zu sehen, dass die prognostizierten Werte und die Ground Truth an der P+R Anlage Eppstein Niederjosbach P1 deutliche Unterschiede aufweisen. Es liegen Abweichungen von bis zu 0,15 Prozentpunkten vor. Diese Diskrepanz lässt sich jedoch auf Datenlücken in der sensorisch erfassten Ground Truth zurückzuführen. Diese können beispielweise durch Arbeiten an den genutzten Sensoren entstehen. Die Datenlücken sind ebenfalls den Abbildungen 5 und 6 zu erkennen. Die daraus resultierende geringe Datengrundlage führt hier zu einer schlechteren Qualität in der Prognose der Auslastung.

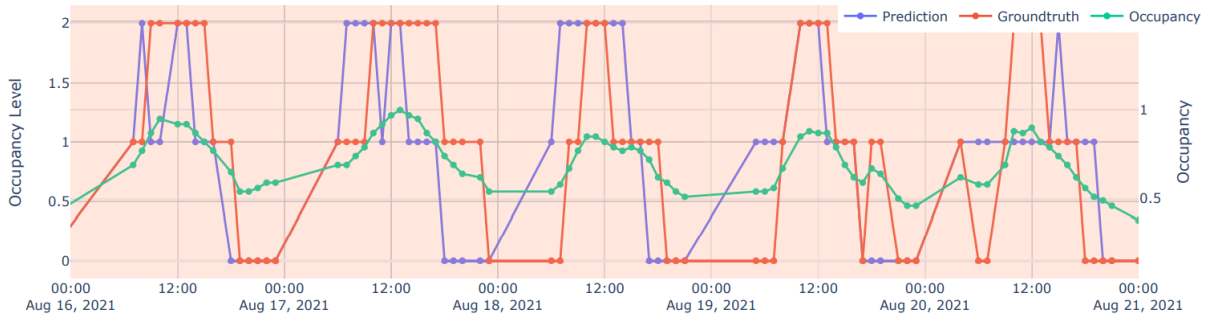


Abbildung 10: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Level Eppstein Niederjosbach P1 (eigene Darstellung)

Auch in Abbildung 10 ist eine Diskrepanz zwischen prognostizierter und erfasster Auslastung zu erkennen. Die vorhergesagten Werte zeigen zum Teil deutliche Abweichungen zur Ground Truth auf.

Eppstein Niederjosbach P2

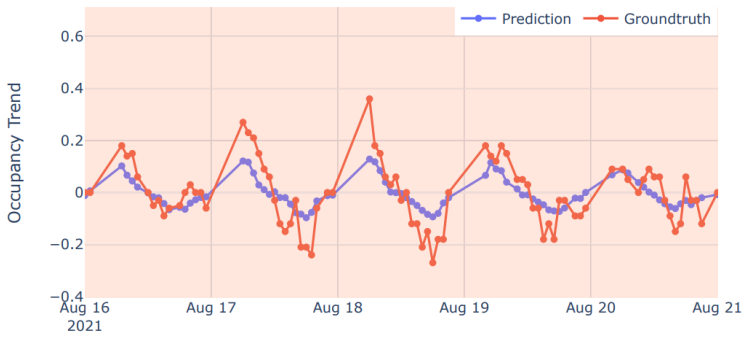


Abbildung 11: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Trend Eppstein Niederjosbach P2 (eigene Darstellung)

In Abbildung 11 ist das zuvor beschriebene Problem zu sehen. Die prognostizierten Werte und die Ground Truth an der P+R Anlage Eppstein Niederjosbach P2 weisen deutliche Unterschiede auf. Es liegen Abweichungen von bis zu 0,26 Prozentpunkten vor. Diese Diskrepanz lässt sich ebenfalls auf Datenlücken in der sensorisch erfassten Ground Truth zurückzuführen. Die Datenlücken sind in den Abbildungen 10 und 11 zu erkennen. Die daraus resultierende geringe Datengrundlage führt hier zu einer schlechteren Qualität in der Prognose der Auslastung.

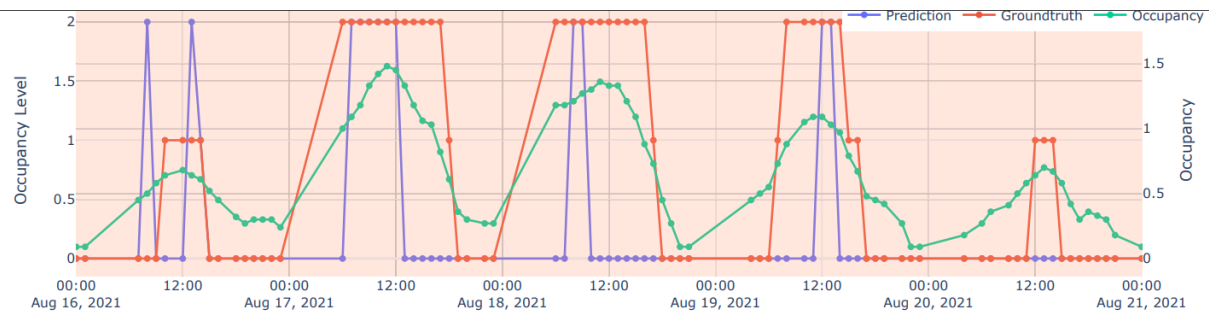


Abbildung 12: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Level Eppstein Niederjosbach P2 (eigene Darstellung)

Auch hier, in Abbildung 12 ist im Vergleich mit anderen Anlagen eine hohe Abweichung zwischen prognostizierten Werten und Ground Truth festzustellen. Ebenfalls sind hier Datenlücken festzustellen, die zu den Abweichungen und Ungenauigkeiten in den prognostizierten Werten geführt haben können.

Eschborn Mitte

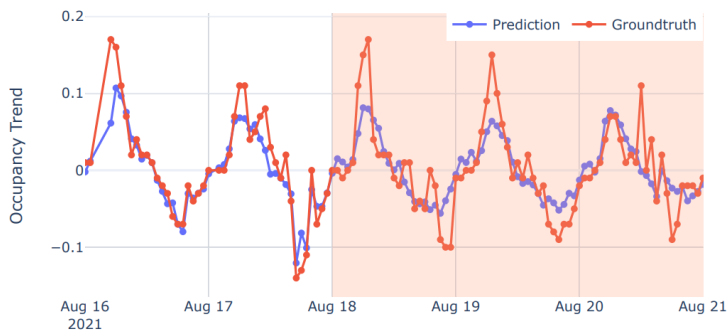


Abbildung 13: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Trend Eschborn Mitte (eigene Darstellung)

In Abbildung 13 ist zu sehen, dass die prognostizierten Werte der Ground Truth an der P+R Anlage Eschborn Mitte weitestgehend entsprechen. Es liegen minimale Abweichungen von bis zu 0,11 Prozentpunkten vor.

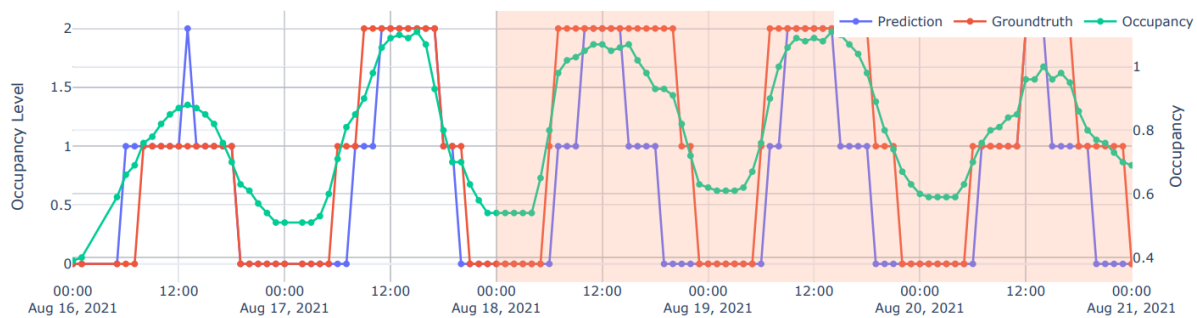


Abbildung 14: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Level Eschborn Mitte (eigene Darstellung)

Auch Abbildung 14 zeigt, dass das Prognosemodell an der P+R Anlage Eschborn Mitte weitestgehend die Ground Truth repräsentiert. Es sind jedoch zum einen zeitliche Verzögerung zwischen den Werten festzustellen, zum anderen ist beispielsweise am 16. August 2021 ein Spitzenwert (Level „Red“) prognostiziert, während sensorisch das Level „Yellow“ erfasst wurde.

Eschborn Niederhochstadt

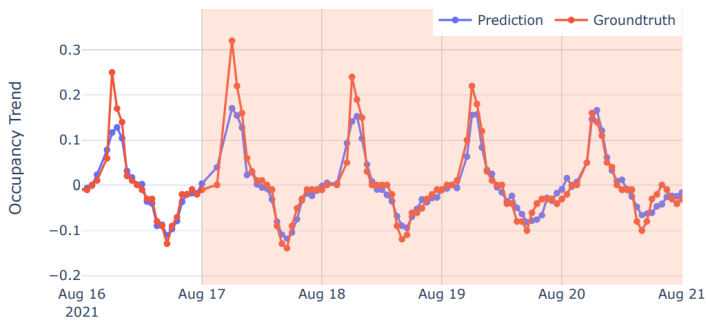


Abbildung 15: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Trend Eschborn Niederhochstadt (eigene Darstellung)

Abbildung 15 zeigt, dass die prognostizierten Werte der Ground Truth an der P+R Anlage Eschborn Niederhochstadt entsprechen. Es liegen minimale Abweichungen von bis zu 0,18 Prozentpunkten vor.

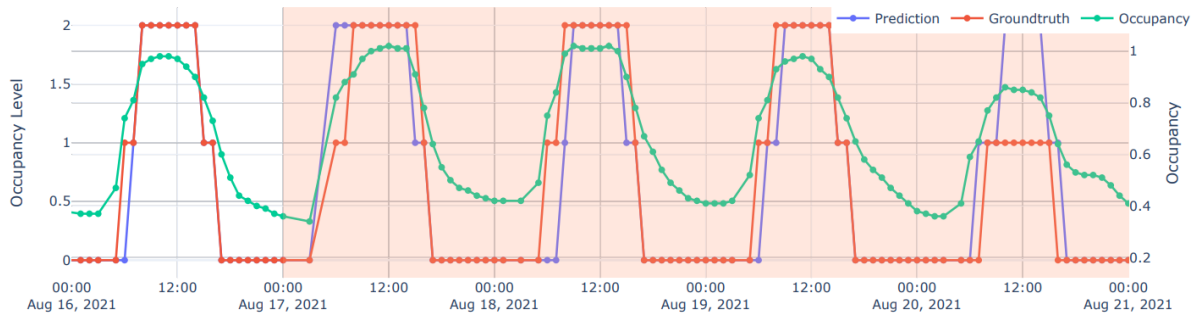


Abbildung 16: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Level Eschborn Niederhochstadt (eigene Darstellung)

Abbildung 16 zeigt, dass das prognostizierte Occupancy Level an der Anlage Eschborn Niederhochstadt der Ground Truth entspricht. Es ist lediglich ein zeitlicher Versatz von bis zu 2 Stunden festzustellen.

Eschborn Süd

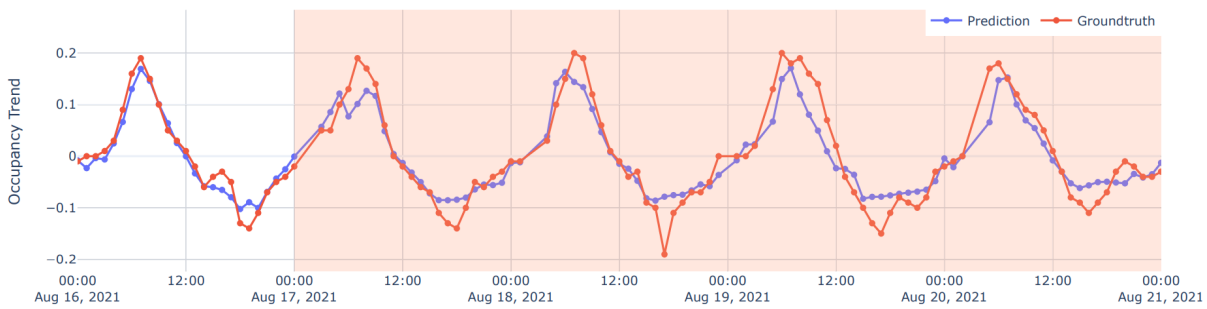


Abbildung 17: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Trend Eschborn Süd (eigene Darstellung)

Abbildung 17 zeigt, dass auch die prognostizierten Werte der Ground Truth an der P+R Anlage Eschborn Süd entsprechen. Es liegen minimale Abweichungen von bis zu 0,11 Prozentpunkten vor.

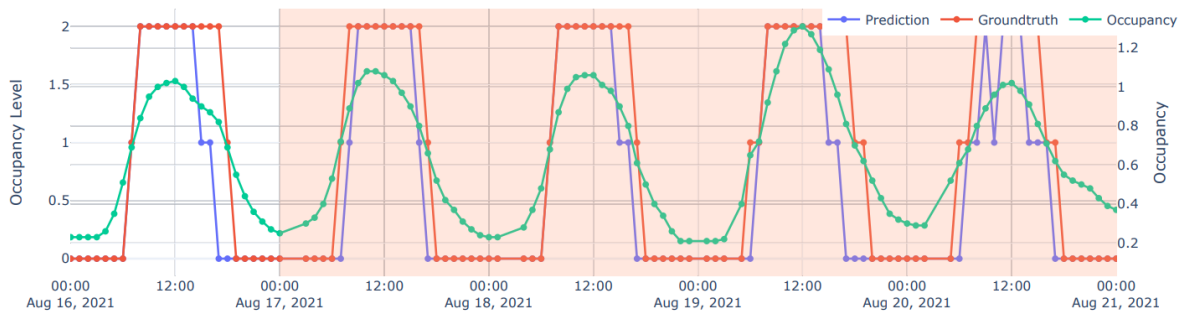


Abbildung 18: Vergleich Prediction – Ground Truth Occupancy Level Eschborn Süd (eigene Darstellung)

Abbildung 18 zeigt, dass das prognostizierte Occupancy Level an der Anlage Eschborn Süd weitestgehend der Ground Truth entspricht. Es ist ein zeitlicher Versatz von bis zu 2 Stunden festzustellen. Zudem ist am 20. August 2021 eine Schwankung, mit starken Abweichungen zwischen den prognostizierten und sensorisch erfassten Werten zu sehen.

7.4.2 Bewertung des Modells über statistische Kennzahlen

Bei der Bewertung des Prognosemodells mittels statistischer Kennzahlen wurde zwischen den zwei bereits beschriebenen Ansätze (Timeseries und Leave-one-parkinglot-out) unterschieden. Diese wurden für die Bewertung weiterhin dahingehend untergliedert, ob eine Datenerweiterung durch „augmentation“ eingesetzt wurde, um aus den vorhandenen Standorten weitere künstliche Parkplätze zu generieren. Dieses Vorgehen hilft dabei, die Übertragbarkeit zu analysieren.

Occupation Level

Die Bewertung des Belegungsgrads wurde mittels der folgenden Kennzahlen durchgeführt: 1.) F1-Score, 2.) Precision und 3.) Recall.

Der F1-Score misst die Genauigkeit der untersuchten Modelle. Die Kennzahlen Precision und Recall werden zum F1-Score kombiniert. Wie auch bereits oben zu erkennen war, unterscheidet sich die Prognosequalität des Modells zwischen den Standorten: Während diese bei Eschborn Süd, Eschborn Niederhöchstadt, Epstein Bahnhof hervorragend ist, ist sie bei Epstein Niederjosbach P1 und P2 nur befriedigend und bei den drei anderen gut.

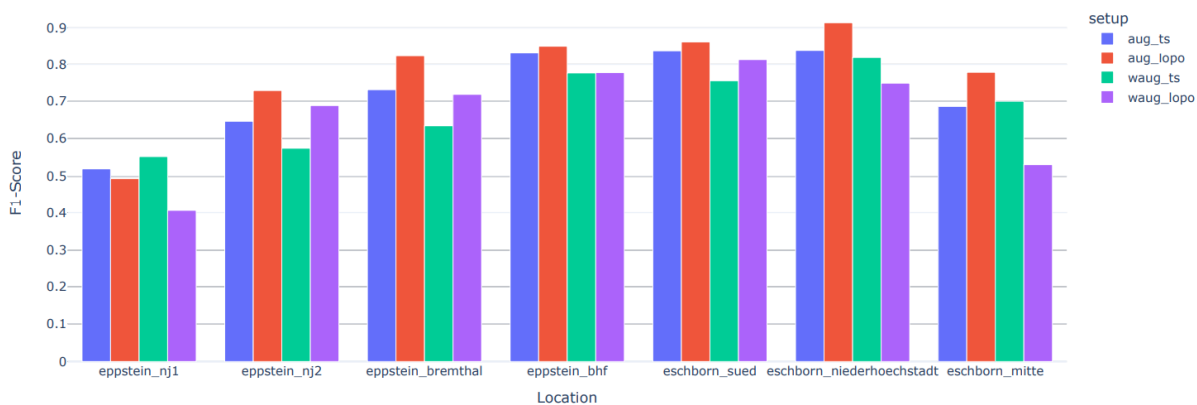


Abbildung 19: Bewertung des Prognosemodell über F1-Score (eigene Darstellung)

Occupancy Trend

Die Prognose des Auslastungstrends der P+R Anlagen wurde zum einen über das Bestimmtheitsmaß (R²) und zum anderen über den MAPE (Mean absolute median deviation) Wert hinsichtlich der Prognosequalität bewertet.

Das Bestimmtheitsmaß R² bewertet die Güte des Prognosemodells für jede einzelne P+R Anlage, die im Projekt betrachtet wurde. Die Werte sind der folgenden Abbildungen zu entnehmen. Auffällig ist hier besonders der negative Wert für die P+R Anlage Epstein Niederjosbach P1 (eppstein_nj1). Dieser Wert lässt sich, wie bereits in Kapitel 6.3.1 beschrieben, auf einen lückenhaften Trainingsdatensatz durch Ausfälle bei der sensorischen Erfassung der Ground Truth zurückführen. Des Weiteren ist auffällig, dass das Bestimmtheitsmaß R² für den Timeseries-Ansatz mit augmentation und ohne augmentation vergleichbar ist. Für den LOPO-Ansatz ist hingegen ein deutlicher Unterschied zwischen den R²-Werten für den Ansatz mit und für den Ansatz ohne augmentation zu erkennen. Die Datenerweiterung durch augmentation zeigt bei diesem Ansatz eine deutliche Verbesserung der Performance und somit des R²-Wertes.

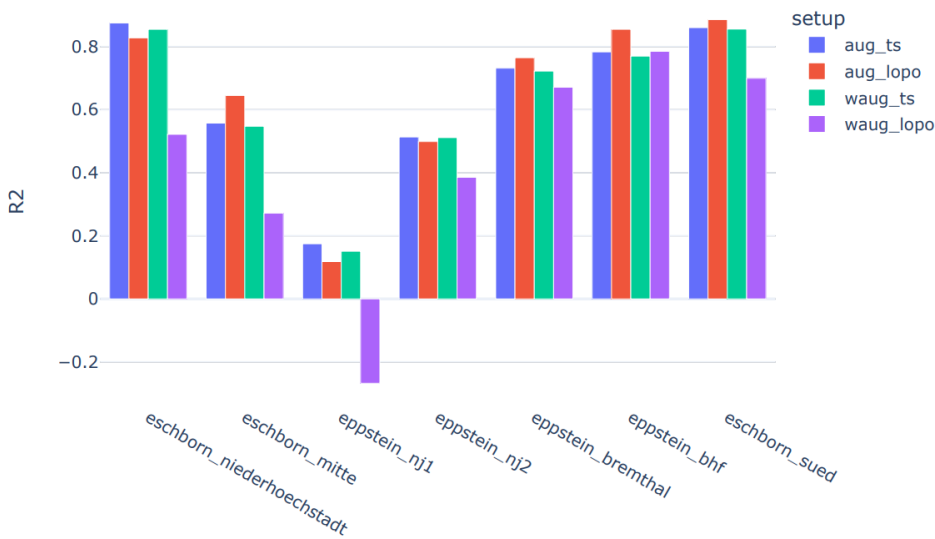


Abbildung 20: Bewertung des Prognosemodell über R2 (eigene Darstellung)

Der MAPE Wert bestimmt den mittleren absoluten prozentualen Fehler der Messwerte. Hohe Werte zeigen hier an, dass die wahren Beobachtungen stark von den prognostizierten abweichen. Wohingegen geringe Werte für die Güte des Modells sprechen. In der untenstehenden Abbildung ist, wie auch in der Abbildung zuvor, zu sehen, dass die P+R Anlage Eppstein Niederjosbach P1 (eppstein_nj1) die geringste Qualität und somit den höchsten MAPE Wert aufweist. Der mittlere absolute prozentuale Fehler liegt hier bei rund 1,2 % für den LOPO Ansatz ohne Datenerweiterung durch augmentation. Den geringsten mittleren absoluten prozentualen Fehler weist der Ansatz Timeseries mit Datenerweiterung an der P+R Anlage Eschborn Süd auf. Hier liegt der Wert bei rund 0,35 %.

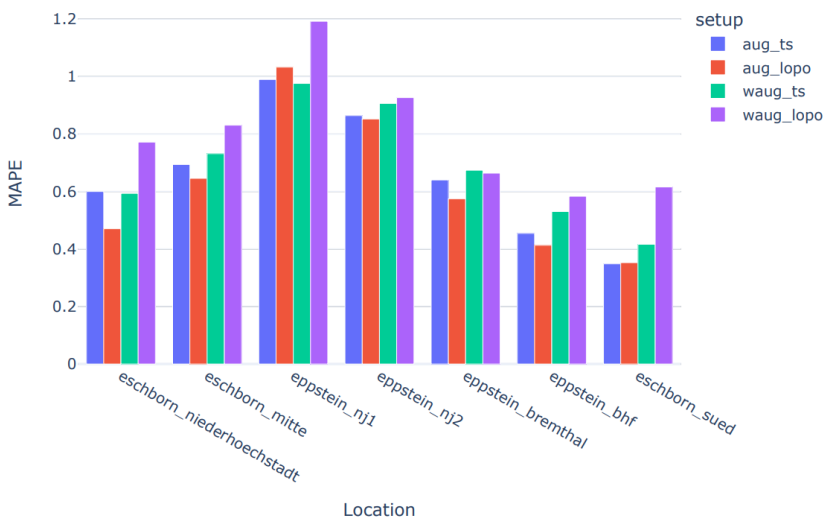


Abbildung 21: Bewertung des Prognosemodell über MAPE (eigene Darstellung)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass gemäß den vorliegenden Informationen die entwickelten Modelle aktuell gut bis sehr gut in der Lage sind die Auslastung kurzfristig vorherzusagen. Dabei funktioniert momentan die Prognose des Auslastungstrends besser als die Prognose des Belegungsgrads. Die Übertragbarkeit auf ähnliche P+R-Anlage wird mit Hilfe der Technik der Datenerweiterung nachgewiesen.

Klar ist, dass die Daten von den oben genannten Standorten nicht alle P+R Anlagen repräsentieren, die in der Realität zur Verfügung stehen. Die Modelle sind also nicht an weiteren P+R Anlagen mit anderen Rahmenbedingungen erprobt bzw. mit der Ground Truth verglichen worden, da diese Parkplätze nicht im Projekt zur Verfügung standen.

Wie bereits zuvor beschrieben ist zu erkennen, dass sich die Prognosequalität des Modells zwischen den Standorten unterscheidet: Während die Qualität bei den Anlagen Eschborn Süd, Eschborn Niederhöchstadt und Epstein Bahnhof hervorragend ist, ist sie bei Epstein Niederjosbach P1 und P2 auf Grund der schlechten Datengrundlage nur befriedigend und bei den drei anderen gut. Daraus ist abzuleiten, dass eine höhere Dichte in den erhobenen Daten (Ground Truth) zu einer besseren Qualität in der Prognose führt.

Aus den unterschiedlichen Ergebnissen für die einzelnen P+R Anlagen lässt sich schließen, dass Informationen zu den jeweiligen Anlagen, die in die Modelle einfließen können, die Qualität der Prognoseergebnisse erhöhen können. Diese Methode kann in Zukunft erprobt werden.

Zudem können weitere Datenquellen einfließen, wie z.B. Fahrplan-Informationen oder Informationen bzgl. Zugausfälle / Bauarbeiten an Strecken, Wetterdaten etc.

7.5 Übertragbarkeit

Im Rahmen des Projekts sollte abschließend die Übertragbarkeit der, an den untersuchten P+R-Anlagen gewonnenen Ergebnissen auf weitere Standorte überprüft werden.

Wie bereits in Kapitel 5.4 beschrieben, wurde die Übertragbarkeit des Ansatzes bei der Erstellung der Prognosemodelle mit Hilfe einer „data augmentation technique“ getestet. Das heißt, eine weitere „synthetische“ P+R-Anlage wurde auf Grundlage der vorliegenden Daten simuliert. Anhand dieser Anlage wurde getestet, inwieweit auch für diese Anlage Prognosen möglich sind.

Zu betonen ist jedoch, dass die untersuchten P+R-Anlagen nicht alle Anlagen bzw. typische Anlagenkategorien repräsentieren, die in der Realität für P+R-Nutzende zur Verfügung stehen und für eine Prognose in Betracht kämen. Daher kann vornehmlich davon ausgegangen werden, dass das in diesem Projekt entwickelte Modell auf P+R-Anlagen übertragbar ist und eine vergleichbar gute Prognosequalität aufweist, die den untersuchten P+R-Anlagen ähnlich sind und ähnliche Charakteristiken aufweisen.

Ergänzend wurden folgende Kriterien als relevant für die Übertragbarkeit definiert:

Untergrund:

Für den Einsatz des in diesem Projekt erprobten Vorgehens ist ein befestigter Untergrund an der zu betrachtenden P+R-Anlage erforderlich. Nur so ist die Installation von Bodensensoren zur stellplatzgenauen Erfassung der Belegungs- und Auslastungsdaten möglich. Für die Parkraumerhebung an unbefestigten Anlagen sind andere technische Wege, wie kamerabasierte Sensorik oder Overhead-Technologien, jedoch denkbar.

Stellplätze:

Für eine erfolgreiche sensorische Erfassung ist es zudem erforderlich, dass die Stellplätze der P+R-Anlage markiert sind und so voneinander zu differenzieren sind. Des Weiteren wurden in diesem Projekt keine Stellplätze betrachtet, die sich in Straßenrandlage, bspw. in Längsaufstellung befinden. Für diesen Fall müsste das Vorgehen hinsichtlich der Übertragbarkeit getestet werden.

Größe:

Für den Einsatz des erprobten Verfahrens ist eine Mindestanzahl zwischen 15 – 20 Stellplätzen empfehlenswert, da nur so eine hinreichende Datengrundlage über das Nutzungsverhalten an der Anlage generiert werden kann.

Werden alle 755 P+R Anlagen im RMV-Gebiet betrachtet, so ist zu erkennen, dass auf die zuvor definierten Kriterien für die Übertragbarkeit des Ansatzes rund 400 Anlagen mit insgesamt rund 35.000 Stellplätzen zutreffen.

7.6 Weitergehende Anwendungsfälle

Für den entwickelten Ansatz bieten sich vielfältige Einsatzmöglichkeiten, die über den Anwendungsfall, der in diesem Projekt erprobt wurde, hinausgehen. Einige dieser Möglichkeiten werden im Folgenden genauer dargestellt.

Für die Planung einer intermodalen Wegekette sind verlässliche Daten und Auskünfte zur Auslastung von P+R-Anlagen wie bereits beschrieben ein wichtiger Baustein. Um die im Projekt erlangten Erkenntnisse möglichst effizient zu nutzen, sollte der Ansatz vorerst auf Anlagen übertragen werden, die einen besonderen Stellenwert für das Thema Intermodalität darstellen. Hierfür müssen Anlagen, auf die der Ansatz übertragbar ist, priorisiert werden. Ein möglicher Weg ist hier beispielsweise die Nutzung von verschiedenen P+R Anlagen entlang einer Bahntrasse bzw. einer Hauptachse, sodass P+R Nutzer*Innen flexibel zwischen den P+R-Anlagen auswählen können und für alle, in Betracht kommenden, Anlagen eine Auskunft erhalten.

Des Weiteren ist denkbar, dass der Ansatz, der in diesem Projekt verfolgt wurde, auf andere Nutzungen und Verkehrsarten aufgeweitet werden kann. So kann ein Modell zur Prognose von Auslastungen an touristischen Zielen, Parkhäusern oder Einkaufszentren ebenfalls ein Anwendungsfall sein. Die Einbindung von verschiedenen Verkehrsarten kann beispielsweise durch ein Prognosemodell für stationsbasierte Sharing-Systeme unter Berücksichtigung von freien Stellplätzen erfolgen. Für diesen Anwendungsfall sind jedoch weitere spezifische Datenquellen erforderlich.

Eine weitere denkbare Anwendungsmöglichkeit der Erkenntnisse dieses Projektes ist die Verbindung von Echtzeitbelegungsdaten mit weiteren Datenquellen, wie Nutzungsdaten von Ladeinfrastruktur. So kann beispielsweise bestimmt werden, ob der Stellplatz durch ein Fahrzeug blockiert wird, welches die Ladesäule nicht nutzt.

Grundsätzlich kann der Ansatz auch auf weitere Parkflächen übertragen werden. Denkbar ist hier eine Aufweitung des Ansatzes in innerstädtischen Gebieten speziell auf Ladezonen des Lieferverkehrs, um hier die Problematik von falschparkenden Lieferfahrzeugen zu thematisieren.

8 Fazit und weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen des Forschungsprojekts P+R Aktuell wurde an sieben P+R-Anlagen in den zwei Partnerkommunen, Eschborn und Eppstein, ein Ansatz zur Prognose von Auslastungen auf Basis von Fahrzeugbewegungsdaten und sensorisch erfassten Belegungszuständen entwickelt und erprobt.

Durch eine vorhergehende Literaturrecherche wurden der Stand der Forschung sowie weitere Forschungs- und Praxisprojekte erfasst. Es konnte zum einen festgestellt werden, dass sich andere Forschungsprojekte bereits mit den Themen „Smart Parking“ und Auslastungsprognosen beschäftigen. Zum anderen, dass Bodensensorik bereits einen breiten Einsatz in der Realität findet und somit eine erprobte Technik zur Erfassung von Echtzeit Belegungen darstellt. Es ist jedoch festzustellen, dass eine kombinierte Nutzung von Fahrzeugbewegungsdaten (FCD) und sensorisch erfassten Belegungszuständen bisher nicht, zur Vorhersage von Auslastungen, erprobt wurde.

Das Projekt hat gezeigt, dass der entwickelte Ansatz, mit Kombination von FCD und Sensordaten, für die untersuchten P+R Anlagen gut bis sehr gut in der Lage ist, die Auslastung kurzfristig vorherzusagen. Es wurde darauf geachtet, dass sich der Ansatz auch auf vergleichbare P+R Anlagen übertragen lässt. Da die sieben gewählten Anlagen, jedoch nicht die Vielfalt an P+R-Anlagen repräsentieren, die in der Realität existiert, besteht hier weiterer Forschungsbedarf. Die Genauigkeit der Auslastungsprognose korreliert stark mit der Anzahl der vorhandenen Sensorik am Parkplatz – dabei gilt: je höher die Ausstattung mit Sensorik, desto genauer sind die Prognosen des Modells. Demnach ergeben sich u.U. hohe Kosten für den Betreiber des Parkplatzes. Weiterer Forschungsbedarf ist hier also: Wie kann die Auslastung von P+R-Anlagen flächendeckend vorhergesagt werden, ohne die Notwendigkeit die Grundwahrheit an diesen zu erheben?

Des Weiteren konnte im Rahmen dieses Projekts nicht erfasst werden, welche Effekte die Bereitstellung von Auslastungsvorhersagen an P+R-Anlagen auf das Verkehrsverhalten von Nutzer*Innen hat / haben kann, da durch die Befragung lediglich die Personen erreicht werden konnten, die bereits Park+Ride nutzen. Das Potenzial des Ansatzes liegt jedoch auch bei Personen, die bisher die gesamte Strecke mit einem Fahrzeug zurücklegen. Um auch diese Zielgruppe zu erreichen, müsste die Befragung erweitert und auf weiteren Kanälen beworben werden.

Es ist bisher nicht untersucht, in welcher Form die Intermodalität von Nutzer*Innen durch die Auslastungsprognose unterstützt wird oder ob Verkehrsteilnehmende durch die Informationsbereitstellung dazu bewegt werden können, intermodal zu reisen.

Eine weitere Thematik, die in diesem Projekt nicht näher beleuchtet werden konnte, sind weitere spezifische Datenquellen, die die Prognosequalität weiter verbessern können.

I. Literaturverzeichnis

- Chen, Z., Xia, J. C., Irawan, B., & Caulfield, C. (2014). Development of location-based services for recommending departure stations to park and ride users. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 48, 256-268
- HMWEVW. (2020). Landesplanungportal. Zentrale Orte und Strukturräume. Von <https://landesplanung.hessen.de/zentrale-orte-und-struktur%C3%A4ume> abgerufen
- HSL. (31. 12 2020). Tabellen Bevölkerung. Von Die Bevölkerung in Hessen am 31.12.2020 nach Alter, Geschlecht und Staatsangehörigkeit (bis zur Gemeindeebene): <https://statistik.hessen.de/zahlen-fakten/bevoelkerung-gebiet-haushalte-familien/bevoelkerung/tabellen> abgerufen
- FGSV. (2012). Empfehlungen für Verkehrserhebungen. Köln: FGSV Verlag.
- FGSV. (2018). Hinweise zu Park+Ride (P+R) und Bike+Ride (B+R). Köln: FGSV Verlag
- Forschungsinformationssystem. (2021). Intermodaler Verkehrsteilnehmer. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/354174/>
- Forschungsinformationssystem. (2019). P+R als Bestandteil des Parkraummanagement. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/42607/>
- Follmer, Robert. (2019). Mobilität in Deutschland – MiD Wegeerfassung im Etappenkonzept. Studie von infas, DLR und IVT im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Bonn, Berlin. www.mobilitaet-in-deutschland.de
- Islam, S. T., Liu, Z., Sarvi, M., & Zhu, T. (2015). Exploring the mode change behavior of park-and-ride users. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
- Lin, T., Rivano, H., & Le Mouél, F. (2017). A survey of smart parking solutions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(12), 3229-3253.
- Mingardo, Giuliano: Transport and environmental effects of rail-based Park and Ride: evidence from the Netherlands, In: *Journal of Transport Geography* Volume 30, Juni 2013, Seiten 7–16 – <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692313000185>
- Piovesan, N., Turi, L., Toigo, E., Martinez, B., & Rossi, M. (2016). Data analytics for smart parking applications. *Sensors*, 16(10), 1575
- Vlahogianni, E. I., Kepaptsoglou, K., Tsetsos, V., & Karlaftis, M. G. (2016). A real-time parking prediction system for smart cities. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 20(2), 192-204.