



Ganglinien als Grundlage für eine nachhaltige Parkraumplanung

Gefördert von:

HESSEN



Fachbereich 1: Architektur · Bauingenieurwesen · Geomatik
Fachbereich 3: Wirtschaft & Recht

 **ReLUT - ResearchLab for Urban Transport**

Ganglinien

Ganglinien als Grundlage für eine nachhaltige Parkraumplanung



Verfasser/innen:

Prof. Dr. Tobias Hagen | Prof. Dr.-Ing. Petra K. Schäfer | Dr. Sabine Scheel-Kopeinig | Siavash Saki, M. Eng. | Dr. Thach Nguyen | Klaus-Peter Wenz, B. Eng. | Leon Bellina

Frankfurt University of Applied Sciences
Nibelungenplatz 1, 60318 Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 29. Oktober 2020

Projektförderung

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Landes Hessen und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. gefördert.

Weitere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in diesem Projekt

Manfred Bohl

Elisabeth Lerch

Lola Freyer

Kurzfassung

Der öffentliche Raum ist eine endliche Ressource, die speziell in Innenstädten einen besonderen Stellenwert erfährt. Bei Diskussionen zur Thematik des öffentlichen Raums wird das Parkraummanagement als elementares, verkehrsplanerisches Instrumente genannt. Zudem steht das Thema des Parkraummanagements bei den aktuellen Diskussionen bzgl. Luftreinhaltungskonzepten im Vordergrund. Grundlage für ein nachhaltiges Parkraummanagement sind entsprechende Angebots- und Nachfragedaten. Das Forschungsvorhaben „Ganglinien als Grundlage für eine nachhaltige Parkraumplanung“ trägt dazu bei, die Datengrundlage in Städten zu verbessern bzw. bereits existierende Daten besser nutzbar zu machen.

In diesem Bericht werden Ganglinien des ruhenden Verkehrs für typische Stadtgebiete und Nachfragegruppen über Daten der Parkraumbewirtschaftung sowie zum Teil mittels GPS-Daten aktualisiert. Des Weiteren wird aufgezeigt, worin die Vorteile bzw. Schwierigkeiten bei der Nutzung von Daten der Parkraumbewirtschaftung sowie der GPS-Trip-Daten für die Ganglinienerstellung liegen. Die Ganglinien sind so aufbereitet, dass sie zum einen Planungsinstrument und zum anderen übertragbar sind.

Beide Datenquellen liegen für das Untersuchungsgebiet Hanau und den Untersuchungszeitraum 2019 vor. Diese Daten sind so aufbereitet, um darüber – sofern möglich – sowohl Ganglinien des Parkziel- und Parkquellverkehrs als auch der Parkraumbellegung nach Gebietstypen und Nachfragegruppen zu ermitteln. Die methodischen Schritte der Ganglinienerstellung werden für beide Datenquellen detailliert beschrieben. Des Weiteren werden für beide Datenquellen deren Vor- und Nachteile aufgezeigt und mögliche Lösungsansätze besprochen.

Kommunen können über ihre **Parkraumbewirtschaftungsdaten** Ganglinien des ruhenden Verkehrs nach Nachfragegruppen insbesondere in Gebietstypen mit hohem Parkdruck (*Stadtkerngebiet* und *stadtkernnahes Altstadtgebiet*) erzeugen. Im Gebietstyp *Wohngebiet* sind Daten der Parkraumbewirtschaftung nicht für eine Ganglinienerstellung geeignet. Grundsätzlich können diese Daten auch in den Gebietstypen *Gewerbe- und Industriegebiet* bzw. *P+R-Gebiet* für die Erstellung der Ganglinien des Parkzielverkehrs genutzt werden. Um darüber aber auch Ganglinien des Parkquellverkehrs und der Parkraumbellegung in diesen Gebietstypen ermitteln zu können, müssten Lösungen im Rahmen der Parkraumbewirtschaftung gefunden werden, die eine exakte Ermittlung des Park-Endes möglich machen. Eine jährliche, automatisierte Aktualisierung dieser Ganglinien ist problemlos möglich, sofern die zugrundeliegende Datenstruktur unverändert bleibt.

Die Nutzung von **GPS-Trip-Daten** zur Ganglinienerstellung ist eingeschränkt empfehlenswert. Einerseits sind die Beschaffungskosten relativ hoch und andererseits sind fortgeschrittene Kenntnisse in Bezug auf die Datenverarbeitung und -analyse nötig. GPS-Trip-Daten können bis auf den Gebietstyp *P+R-Gebiet* plausible aggregierte Ganglinien liefern. Im Gebietstyp *Wohngebiet* stellen GPS-Trip-Daten eine gute Datenquelle dar, was deshalb von Bedeutung ist, da Daten der Parkraumbewirtschaftung hier kaum vorliegen. Bei GPS-Daten besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, unter anderem darin, wie sinnvoll Parkdauern ermittelt und wie Parkvorgänge Nachfragegruppen zugeordnet werden können.

Die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt lassen sich für die jeweiligen Gebietstypen auf andere urbane Regionen übertragen, sofern die Parkraumbewirtschaftung und die urbanen Strukturen vergleichbar sind.

Summary

Public space is a finite resource, which is particularly important in city centres. In discussions on the subject of public space, parking management is mentioned as an elementary traffic-planning instrument. Parking management is also in focus in the context of reducing emissions in urban areas.

Planning of urban on-street and off-street parking space concepts require the knowledge of parking space demands differentiated by demand groups (residents, employees and students, customers and clients and visitors and guests) and types of urban areas (city centre, old town area near the city centre, residential area, commercial and industrial area, park and ride area). Actors in the field of urban traffic planning use data on the temporal distribution of the demand for parking space as a basis for decisions. These data show how the demand for parking space is distributed by days of week and hours of day.

Our research project “Novel approaches to the estimation of the temporal distribution of the demand for parking space (Ganglinien als Grundlage für eine nachhaltige Parkraumplanung)” was funded by the Federal State of Hesse and the Road and Transportation Research Association (FGSV). It was designed to create the parking demand distributions for typical types of urban areas and demand groups by using stationary traffic data (ticket data of parking ticket machines, car park occupancy, entrances and exits) and GPS-Trip data. Furthermore, the advantages and disadvantages of both data sources are shown and possible solutions are discussed.

The research results show that **stationary traffic data** are well suited for areas with high parking pressure (*city centre, old town area near the city centre*). In *residential areas* these data do not provide satisfactory results because the amount of data is too small. For *commercial and industrial areas* as well as *park and ride areas* these data are of limited use. In these areas, parking management must find solutions that enable the exact end of parking to be determined. An annual, automated update of these data on parking demand distributions is possible as long as the underlying raw data structure remains unchanged.

At present usage of **GPS trip data** can only partially be recommended. On the one hand, the procurement costs are relatively high. On the other hand, advanced knowledge of data processing and analysis is necessary. GPS trip data can be used to create plausible aggregated data on the temporal distribution of demand, especially in residential areas where stationary traffic data are weak. For the Park and Ride area the results are not convincing. However, there is a considerable need for further research, especially in order to determine parking durations and assign parking processes to different demand groups.

The results of the research project can be transferred to other urban regions for the respective area types, provided that parking space management and urban structures are comparable.

Inhalt

| | |
|--|----|
| Kurzfassung | 3 |
| Summary | 4 |
| I. Abbildungsverzeichnis | 7 |
| II. Tabellenverzeichnis | 9 |
| 1 Einleitung | 10 |
| 1.1 Ziel des Projekts | 10 |
| 1.2 Hintergrund | 10 |
| 1.3 Forschungsfragen | 11 |
| 1.4 Aufbau der Arbeit | 11 |
| 2 Forschungsstand: Bisherige Methoden zur Generierung von Ganglinien | 12 |
| 3 Methodik | 14 |
| 3.1 Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum | 14 |
| 3.2 Nachfragegruppen | 15 |
| 3.3 Gebietstypen | 16 |
| 3.4 GIS-Visualisierung | 16 |
| 4 Datenquellen | 17 |
| 4.1 Daten der Parkraumbewirtschaftung | 17 |
| 4.1.1 Tariffinformationen für Parkscheinautomaten | 18 |
| 4.1.2 Ticketverkäufe an Parkscheinautomaten | 18 |
| 4.1.3 Tariffinformationen für Parkhäuser, Tiefgaragen und Parkplätze | 19 |
| 4.1.4 Ein- und Ausfahrten aus Parkhäusern, Tiefgaragen und Parkplätzen | 20 |
| 4.2 GPS-Trip-Daten | 22 |
| 4.3 Weitere Datenquellen | 24 |
| 5 Methoden der Ganglinienermittlung | 26 |
| 5.1 Methodische Schritte nach Datenquellen | 26 |
| 5.2 Zuordnung von Parkvorgängen zu Gebietstypen | 27 |
| 5.3 Zuordnung von Parkvorgängen zu Nachfragegruppen | 29 |
| 5.4 Berechnung der Parkraumbelastung und des (hypothetischen) Parkraumangebots | 31 |
| 6 Ganglinien nach Gebietstypen und Nachfragegruppen | 32 |
| 6.1 Stadtkerngebiet | 32 |
| 6.2 Stadtkernnahes Altstadtgebiet | 35 |
| 6.3 Wohngebiet | 38 |
| 6.4 Gewerbe- und Industriegebiet | 40 |
| 6.5 P+R-Gebiet | 43 |
| 6.6 Vergleich und Fazit | 44 |
| 7 Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarf | 46 |

| | | |
|--------|--|----|
| 8 | Weiterer Forschungsbedarf: Kategorisierung der Parkvorgänge in den GPS-Trip-Daten mittels geographischer Informationen | 47 |
| 9 | Fazit | 50 |
| III. | Literaturverzeichnis | 51 |
| Anhang | | 52 |

I. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Beispiel - Ganglinien (Schäfer et al. 2019, S. 50) | 12 |
| Abbildung 2: Gebietstypen - Hanau (eigene Darstellung) | 17 |
| Abbildung 3: Nutzung der Brötchentaste - Parkscheinautomatendaten - Hanau (eigene Darstellung) | 19 |
| Abbildung 4: Gebietstypen - Parkscheinautomatendaten - Hanau (eigene Darstellung)..... | 19 |
| Abbildung 5: Parkhäuser, Tiefgaragen, Parkplätze - Hanau (eigene Darstellung) | 20 |
| Abbildung 6: Gebietstypen - Parkhausdaten - Hanau (eigene Darstellung) | 21 |
| Abbildung 7: Ticketinformation Parkhausdaten - Hanau (eigene Darstellung) | 21 |
| Abbildung 8: Wochentage - Parkhausdaten - Hanau (eigene Darstellung) | 22 |
| Abbildung 9: Zuordnungen „Endpoint Type“ - GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung) | 22 |
| Abbildung 10: Gebietstypen und Parkzonen Hanau (eigene Darstellung) | 25 |
| Abbildung 11: Gebietstypen und Objekte der Parkraumbewirtschaftung Hanau (eigene Darstellung) | 28 |
| Abbildung 12: Nachfragegruppenzuordnung Parkhausdaten (eigene Darstellung)..... | 30 |
| Abbildung 13: Nachfragegruppenzuordnung Parkscheinautomatendaten (eigene Darstellung) | 31 |
| Abbildung 14: Ganglinien Parkzielverkehr, Stadtkerngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)..... | 33 |
| Abbildung 15: Ganglinien Parkquellverkehr, Stadtkerngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)..... | 33 |
| Abbildung 16: Ganglinien Belegung, Stadtkerngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung) .. | 34 |
| Abbildung 17: Ganglinien aggregiert, Stadtkerngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung) 34 | |
| Abbildung 18: Ganglinien aggregiert, Stadtkerngebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung) | 35 |
| Abbildung 19: Ganglinien Parkzielverkehr, stadtkernnahes Altstadtgebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)..... | 36 |
| Abbildung 20: Ganglinien Parkquellverkehr, stadtkernnahes Altstadtgebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)..... | 36 |
| Abbildung 21: Ganglinien Belegung, stadtkernnahes Altstadtgebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.).. | 37 |
| Abbildung 22: Ganglinien aggregiert, stadtkernnahes Altstadtgebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.) 37 | |
| Abbildung 23: Ganglinien aggregiert, stadtkernnahes Altstadtgebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung) | 38 |
| Abbildung 24: Ganglinien Parkzielverkehr, Wohngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung) | 39 |
| Abbildung 25: Ganglinien Parkquellverkehr, Wohngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung) | 39 |
| Abbildung 26: Ganglinien aggregiert, Wohngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung) | 39 |
| Abbildung 27: Ganglinien aggregiert, Wohngebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung) | 40 |
| Abbildung 28: Ganglinien Parkzielverkehr, Gewerbe- und Industriegebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)..... | 41 |
| Abbildung 29: Ganglinien Parkquellverkehr, Gewerbe- und Industriegebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)..... | 41 |

Abbildung 30: Ganglinien aggregiert, Gewerbe- und Industriegebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.) 42
Abbildung 31: Ganglinien aggregiert, Gewerbe- und Industriegebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung) 42
Abbildung 32: Ganglinien Beschäftigte, Gewerbe- und Industriegebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung) .. 42
Abbildung 33: Ganglinien Parkzielverkehr, P+R-Gebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung) 43
Abbildung 34: Stadt Hanau, Parkplätze in 4 Gruppen zugeordnet (eigene Darstellung) 49
Abbildung 35: Cluster Zentroids (eigene Darstellung) 49

II. Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Merkmale von Methoden der Parkraumerhebung (eigene Darstellung) | 13 |
| Tabelle 2: Ansprüche an das Parkraumangebot nach Nachfragegruppen (eigene Darstellung) | 15 |
| Tabelle 3: Tarifgebiete Parkscheinautomaten (PSA) im Untersuchungsgebiet (eigene Darstellung) | 18 |
| Tabelle 4: Tarifinformationen PH/TG/PP im Untersuchungsgebiet (eigene Darstellung) | 20 |
| Tabelle 5: GPS-Trips Ende/Anfang in Hanau (eigene Darstellung)..... | 23 |
| Tabelle 6: GPS-Trip-Daten - Gebietstypen (eigene Darstellung)..... | 23 |
| Tabelle 7: Parkzonen und Anwohnerparkausweise Hanau (eigene Darstellung) | 24 |
| Tabelle 8: Vergleich Ganglinien aus Daten Parkraumbewirtschaftung vs. EAR-Ganglinien (eigene Darstellung) 44 | |
| Tabelle 9: Eignung der Datenquellen nach Gebietstypen und Nachfragegruppen (eigene Darstellung)..... | 45 |
| Tabelle 10: Methodische Schritte Parkhaus- und Parkscheinautomatendaten (eigene Darstellung)..... | 52 |
| Tabelle 11: Methodische Schritte GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung)..... | 53 |
| Tabelle 12: EAR-Ganglinien - Stadtkerngebiet (Oberzentrum < 400.000 Einw.) (eigene Darstellung)..... | 54 |
| Tabelle 13: EAR-Ganglinien - stadtkernnahes Altstadtgebiet (eigene Darstellung) | 55 |
| Tabelle 14: EAR-Ganglinien - Kurzparker - alle Gebietstypen (eigene Darstellung) | 56 |
| Tabelle 15: EAR-Ganglinien - Wohngebiet/Gewerbe- u. Industriegebiet (eigene Darstellung) | 57 |

1 Einleitung

1.1 Ziel des Projekts

Ziel des Projekts ist es zu prüfen, ob und inwieweit sich Ganglinien des ruhenden Verkehrs für typische Stadtgebiete durch die Kombination aus Daten der Parkraumbewirtschaftung sowie GPS-Daten erstellen lassen. Diese sind Grundlage des kommunalen Parkraummanagements. Ganglinien visualisieren die zeitliche Verteilung von Parken über die Tagesstunden und Wochentage. Die Ganglinien sollen dabei so aufbereitet werden, dass sie sowohl als Instrument der Planung, als auch für politische Entscheidungen zweckdienlich sind. Die Ganglinien sollen bundesweit, für die im Projekt zu identifizierenden besonders relevanten Gebietstypen, anwendbar und übertragbar sein. Zudem sollen Methoden entwickelt werden, mit deren Hilfe diese automatisiert auf dem jeweils aktuellen Stand gehalten werden können.

1.2 Hintergrund

Der öffentliche Raum ist eine endliche Ressource, die speziell in Innenstädten einen besonderen Stellenwert erfährt. Bei Diskussionen zur Thematik des öffentlichen Raums wird das Parkraummanagement als elementares, verkehrsplanerisches Instrument genannt. Zudem steht das Thema des Parkraummanagements bei den aktuellen Diskussionen bzgl. Luftreinhaltungskonzepten im Vordergrund. Die Potenziale des Parkraummanagements können beispielsweise anhand eines strategischen Konzepts in Paris aufgezeigt werden. So führten die dortigen Bemühungen innerhalb von 11 Jahren zu einer 18%igen Reduzierung der Privat-Pkw-Nutzung und zu einer 162%igen Steigerung der Radweg-Kilometer. In weiteren Studien, zum Beispiel Agora Verkehrswende (2018), konnte nachgewiesen werden, dass das Angebot von Stellplätzen direkte Auswirkungen auf die Wahl eines Verkehrsmittels hat.

Grundlage für ein nachhaltiges Parkraummanagement sind entsprechende Angebots- und Nachfragedaten. Das Forschungsvorhaben „Ganglinien als Grundlage für eine nachhaltige Parkraumplanung“ soll dazu beitragen, die Datengrundlage in Städten zu verbessern. Gerade im Hinblick auf die zentrale Rolle des Parkraummanagements für die Verkehrswende, ist eine wissenschaftlich-fundierte Datenbasis unabdingbar.

Die „Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR)“ enthalten Ganglinien, die auf Daten beruhen, die aus den späten neunziger Jahren stammen (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2005). Diese entsprechen wahrscheinlich nicht mehr dem heutigen Verkehrsverhalten und können somit nicht mehr für das aktuelle Parkraummanagement genutzt werden. Die damals berücksichtigten Einflusskriterien müssen überprüft und aktualisiert werden. Zudem basieren diese Empfehlungen methodisch oftmals auf konventionellen, manuellen Verkehrszählungen. Diese sind personal- und somit kostenintensiv und werden daher nur in größeren zeitlichen Abständen durchgeführt.

Inzwischen gibt es jedoch Methoden, mit denen große, automatisch generierte Datenmengen laufend ausgewertet und die Ganglinien aktuell gehalten werden können. Rikus et al. 2015 sowie Schäfer et al. 2019 geben einen Überblick über Daten zum verfügbaren Parkraum in Städten. Mögliche Datenquellen sind zum Beispiel Sensoren und Induktionsschleifen zur Verkehrszählung oder Daten im öffentlichen Straßenraum mit Parkraumbewirtschaftung. Eine mögliche weitere Datenquelle stellen GPS-Trip-Daten dar, die durch Navigationsgeräte sowie Smartphone-Apps erzeugt werden.

Aktuelle Forschung hinsichtlich der Ermittlung von Ganglinien, welche Daten aus der Parkraumbewirtschaftung und bzw. oder GPS-Trip-Daten als Datengrundlage nutzt, konnte nicht ermittelt werden. Somit besteht hier ein hoher Forschungsbedarf.

1.3 Forschungsfragen

Im vorliegenden Forschungsprojekt soll zum einen untersucht werden, wie Daten aus der Parkraumbewirtschaftung dazu genutzt werden können, die zeitliche Verteilung von Parken über den Tag für typische Nachfragegruppen und städtische Gebietstypen darzustellen. Zum anderen soll aufgezeigt werden, wie man GPS-Trip-Daten zur Erstellung von Ganglinien verwenden kann. Konkret sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden.

- Für welche Gebietstyp-Nachfragegruppe-Kombination liefern Daten der Parkraumbewirtschaftung plausible Ganglinien?
- Für welche Gebietstyp-Nachfragegruppe-Kombination liefern GPS-Trip-Daten plausible Ganglinien?
- Worin liegen die Vorteile bzw. Schwierigkeiten bei der Nutzung von Daten der Parkraumbewirtschaftung sowie GPS-Trip-Daten für die Ganglinienerstellung?

1.4 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn des ersten Kapitels wurden das Ziel des Projekts, der Hintergrund sowie die Forschungsfragen erläutert. In Abschnitt 2 werden die konventionelle Methode der Parkraumerhebung sowie Methoden der datengestützten Generierung von Ganglinien anhand geeigneter Merkmale miteinander verglichen. Danach folgen im Kapitel 3 Erläuterungen zur Methodik hinsichtlich des Untersuchungsgebietes und des Untersuchungszeitraums, der Nachfragegruppen und Gebietstypen sowie der geographischen Visualisierung im Untersuchungsgebiet. In Kapitel 4 werden die Datenquellen, welche dieser Forschungsarbeit zugrunde liegen, erläutert. In Abschnitt 5 werden die methodischen Schritte zur Ganglinienermittlung für die beiden Datenquellen beschrieben. Die vergleichende Darstellung der ermittelten Ganglinien nach Gebietstypen und Nachfragegruppen erfolgt in Abschnitt 6. Die allgemeinen Handlungsempfehlungen werden in Kapitel 7 übersichtlich dargestellt. Der weitere Forschungsbedarf (Kapitel 8) sowie das Fazit (Kapitel 9) beschließen den Abschlussbericht des Forschungsprojektes.

2 Forschungsstand: Bisherige Methoden zur Generierung von Ganglinien

Ganglinien stellen visuell aufbereitet die zeitliche Verteilung der Parkraumnachfrage dar. Dabei wird die Parkraumnachfrage prozentual vom Tageszielverkehrsaufkommens nach Tagesstunden und für jeden Wochentag dargestellt. Es können vier Arten von Ganglinien unterschieden werden:

- a. **Parkzielverkehr:** Zugänge (inflows, Einfahrten) in den Parkraum in einem Zeitraum (bspw. einer Stunde);
- b. **Parkquellverkehr:** Abgänge (outflows, Ausfahrten) aus dem Parkraum in einem Zeitraum;
- c. **Parkraumbellegung:** Bestand an parkenden Fahrzeugen im Parkraum zu einem Zeitpunkt (bspw. 12:35 Uhr) bzw. hier gemessen im Durchschnitt der jeweiligen Tagesstunde. Die Parkraumbellegung zu einem Zeitpunkt (bspw. 9:00 Uhr) kann berechnet werden aus der Anfangsbellegung zum vorherigen Zeitpunkt (8:00 Uhr) zuzüglich Zugänge in den Parkraum (von 8:00 bis 8:59 Uhr) abzüglich der Abgänge aus dem Parkraum (von 8:00 bis 8:59 Uhr).
- d. **Anteil der Kurzzeitparker und der Ultra-Kurzparker an der Parkraumbellegung zu einem Zeitpunkt (bzw. im Stundendurchschnitt).** Kurzparker liegen dann vor, wenn die Parkdauer eine Parkzeit von 3 Stunden nicht überschreitet. Unter Ultrakurzparkern werden Parkvorgänge mit einer Parkdauer von maximal 30 Minuten bezeichnet (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2012, S. 42).

Eine beispielhafte Visualisierung von Ganglinien für Ein- und Ausfahrten (in absoluten Zahlen) in einem innerstädtischen Parkhaus ist in Abbildung 1 dargestellt.

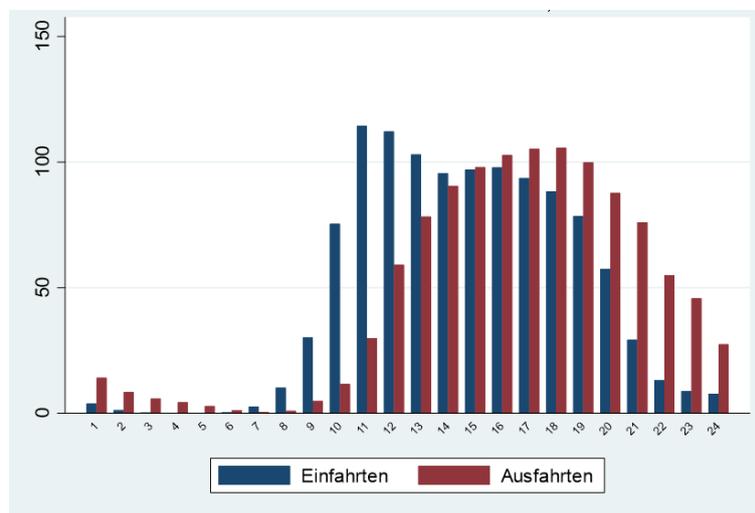


Abbildung 1: Beispiel - Ganglinien (Schäfer et al. 2019, S. 50)

Häufig werden die Informationen zu Zugängen und Abgängen aus dem Parkraum sowie die Parkraumbellegung in geographisch definierten Bereichen mittels manueller Verkehrserhebungen von Fahrzeugen im ruhenden Verkehr (Parkraumerhebungen) durchgeführt (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2012, 40ff.). Dabei wird an festgelegten Erhebungstagen parkstandschärf die Parkraumbellegung sowie die

Parkdauer durch Personen erhoben. In einem festgelegten zeitlichen Rhythmus und auf einer festgelegten Route begehen die mit der Parkerhebung beauftragten Personen den Parkraum und notieren die Fahrzeugdaten der parkenden Kraftfahrzeuge. Sofern im Untersuchungsgebiet der Parkraum durch Schrankenanlagen abgegrenzt ist, werden auch Informationen darüber genutzt. Bei der Auswertung der Parkraumerhebung werden die Fahrzeuge dann je nach Parkdauer und Uhrzeit des Parkvorganges Nutzergruppen zugeordnet.

Damit sind Parkraumerhebungen eine zeitlich sehr aufwändige und nur für ein kleines geographisches Gebiet nutzbare Methode um Informationen über den kommunalen Parkraum zu generieren. Bei jeder Aktualisierung müssen die Arbeitsschritte erneut ausgeführt werden. Tabelle 1 fasst die Methode der Parkraumerhebung und die Methoden, welche im Forschungsprojekt angewendet werden, nach den Merkmalen zeitlicher Aufwand, geographisch erfasstes Gebiet, Übertragbarkeit, Zuordnung zu Nachfragegruppen, Kosten und Aktualisierbarkeit zusammen.

Tabelle 1: Merkmale von Methoden der Parkraumerhebung (eigene Darstellung)

| Merkmale | Parkraumerhebung | Nutzung von Daten der Parkraumbewirtschaftung | Nutzung von GPS-Trip-Daten |
|---|--|--|---|
| Zeitlicher Aufwand und Personalaufwand | Mittel Mehrere Tage, mehrere geschulte Personen für die Erhebung und im Anschluss Auswertung | Gering (wenn automatisierte Aktualisierung erfolgt) | |
| Geographisch erfasstes Gebiet | Sehr klein, in der Regel wenige Straßenzüge umfassend | Kommunales Gebiet mit Parkraumbewirtschaftung | Gesamtes Stadtgebiet |
| Übertragbarkeit auf kommunale Gebietstypen | Begrenzt, da nur in einem kleinen Gebiet erhoben | Daten können kommunalen Gebietstypen zugeordnet werden. | |
| Zuordnung der Parkvorgänge zu Nachfragegruppen | Im Nachhinein durch Zuordnungsschemata Bei GPS zusätzlich möglich: Nutzung geographischer Informationen zur Zuordnung der Parkvorgänge zu Nachfragegruppen (vgl. Kapitel 8) | | |
| Kosten | Beauftragung eines Befragungsunternehmens | Gering, Daten liegen i. d. R. den Kommunen vor | Teuer, Datenkauf bei privaten Anbietern |
| Aktualisierbarkeit | Gering | Regelmäßige Aktualisierung möglich, z. B. jährliche Aktualisierung | |

3 Methodik

Im Forschungsprojekt werden zwei methodische Ansätze verfolgt. Zum einen werden beobachtete Parkvorgänge aus Daten der Parkraumbewirtschaftung verwendet, um Ganglinien nach Nachfragegruppen und Gebietstypen zu erstellen. Zum anderen werden GPS-Trip-Daten genutzt, die den Vorteil haben, dass auch Parkvorgänge beobachtet werden können, die nicht in den bewirtschafteten Bereich fallen. Bei den GPS-Trip-Daten werden Start- und Endpunkte sowie Koordinaten von Fahrten genutzt, welche über verschiedene Apps und Navigationsgeräte gesammelt werden. Bei Fahrten, welche im Untersuchungsgebiet enden, musste u. a. ermittelt werden, ob es sich dabei zweifelsfrei um einen Parkvorgang handelt.

In den nachstehenden Abschnitten werden das Untersuchungsgebiet und der Untersuchungszeitraum sowie Informationen zur Ermittlung der Nachfragegruppen und Gebietstypen zum Zwecke der Ganglinienerstellung definiert. Eine detaillierte Beschreibung der Datenquellen im Rahmen der beiden methodischen Ansätze erfolgt in Kapitel 4.

3.1 Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum

Bei der Auswahl des Untersuchungsgebietes und des Untersuchungszeitraumes war entscheidend, dass die benötigten Daten, sowohl Daten aus der Parkraumbewirtschaftung als auch GPS-Trip-Daten, für das Untersuchungsgebiet beschafft werden konnten. Darüber hinaus sollte die Analyse in einem Oberzentrum durchgeführt werden, da der Parkdruck in Oberzentren hoch ist. Zum einen sollte ein gutes Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln vorliegen, um auch die Parkraumnachfrage von Pendlern (P+R Parkanlagen) abzudecken. Zum anderen sollten alle Gebietstypen, wie in Abschnitt 3.3 dargestellt, im Untersuchungsgebiet vorliegen.

Aufgrund der Anforderungen an das Untersuchungsgebiet fiel die Wahl auf die Stadt Hanau. Die Stadt Hanau, im Osten des Rhein-Main-Gebietes gelegen, ist eines von 10 Oberzentren des Landes Hessen. Mit knapp 96.200 Einwohnern liegt Hanau knapp an der Schwelle zur Großstadt.¹ Im Rahmen dieses Forschungsprojektes unterstützten uns die Hanauer Parkhaus GmbH sowie die Abteilung Verkehr- und Straßenbewirtschaftung des Hanau Infrastruktur Service. Die Hanauer Parkhaus GmbH ist Betreiber von sieben Parkhäusern, vier Tiefgaragen und vier Parkplätzen mit insgesamt rund 3.400 Stellplätzen in Hanau. Darüber hinaus bewirtschaftet die Hanauer Parkhaus GmbH im Auftrag der Stadt Hanau rund 100 Parkscheinautomaten im öffentlichen Straßenraum. Daten bzgl. aller Ticketverkäufe aus Parkscheinautomaten sowie aller Ein- und Ausfahrten aus Tiefgaragen, Parkhäusern und Parkplätzen, wurden für das Jahr 2019 zur Verfügung gestellt. Analysiert werden konnten somit 567.352 Parkvorgängen aus Parkscheinautomaten sowie 2.515.695 Parkvorgänge aus Parkhäusern (49%), Parkplätzen (15%) und Tiefgaragen (36%). Darüber hinaus gab es einen Informationsaustausch über die Parkraumbewirtschaftung der Stadt Hanau.

Von dem Unternehmen „INRIX, Inc.“ (Inrix) wurden für das Jahr 2019 GPS-Trip-Daten für das Polygon Hanau im Rahmen dieses Forschungsprojektes beschafft. Diese umfassen ca. 3% der Fahrten in Hanau.

¹ Vgl. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1090644/umfrage/groesste-staedte-in-hessen/>, Download-Datum: 26.08.2020.

Die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt lassen sich für die jeweiligen Gebietstypen auf andere urbane Regionen übertragen, sofern die Parkraumbewirtschaftung und die urbanen Strukturen vergleichbar sind.

3.2 Nachfragegruppen

Den EAR folgend wurden vier Nachfragegruppen verwendet. Diese vier Nachfragegruppen sind:

1. **Anwohner** (Einwohner),
2. Beschäftigte und Lernende (Schüler und Studierende) – im folgenden nur **Beschäftigte** genannt,
3. **Kunden**,
4. Besucher und Gäste – im folgenden nur **Besucher** genannt.

Die Ansprüche an das Parkraumangebot unterscheiden sich nach Nachfragegruppen.² Tabelle 2 systematisiert die Parkvorgänge in den einzelnen Nachfragegruppen nach Merkmalen, wie Zeitpunkt, Dauer und Standort des Parkvorganges sowie die Ticket-Nutzung im Rahmen der öffentlichen Parkraumbewirtschaftung.

Wie aus der nachstehenden Systematisierung zu erkennen ist, ist eine trennscharfe Abtrennung der Merkmale des Parkvorganges innerhalb der vier Nachfragegruppen insbesondere zwischen den Nachfragegruppen „Kunden“ und „Besucher und Gäste“ nicht möglich.³ Daher besteht die Schwierigkeit darin, beobachtete Parkvorgänge den Nachfragegruppen zuzuordnen. Hier müssen im Vorfeld Zuordnungsschemata definiert werden, welche unter Umständen für einzelne Parkvorgänge unzutreffend sein könnten. Offensichtlich ist es eine Herausforderung, die eine gewisse Willkür beinhaltet, zu definieren, was unter einer „langen“, „mittleren“ und „kurzen“ Parkdauer zu verstehen ist. Dabei orientieren wir uns unter anderem an Rikus et al. (2015, S. 7), wonach eine Parkdauer von bis zu 3 Stunden als kurz, eine Parkdauer bis zu 8 Stunden als mittel und eine Parkdauer größer 8 Stunden als lang definiert wird.

Tabelle 2: Ansprüche an das Parkraumangebot nach Nachfragegruppen (eigene Darstellung)

| Nachfragegruppe | Parkvorgang | | | |
|----------------------------------|---|----------------------------------|---|----------------------------------|
| | Zeitpunkt | Zeitdauer | Ort | Parktickets |
| Anwohner (Einwohner) | Höchste Nachfrage ab Nachmittag bis in die Nachtstunden | Parkdauer ist „lang“. | wohnnah | Anwohnerparken, Dauerkarten |
| Beschäftigte und Lernende | Nachfrage i. d. R. tagsüber | Parkdauer ist „mittel bis lang“. | arbeitsplatznah, P+R-Parkanlagen | Dauerkarten, Langzeittickets |
| Kunden | Nachfrage während der üblichen Geschäftszeiten | Parkdauer ist „kurz“. | Gebiete mit (hoher Dichte an) Einkaufsmöglichkeiten | Kurzparktickets |
| Besucher und Gäste | Heterogene Nachfragezeiten je nach Grund des Besuches | Parkdauer ist „kurz bis mittel“. | Nähe zu Einkaufszentren, Freizeiteinrichtungen sowie Veranstaltungsorten und andere | Kurzparktickets, Langzeittickets |

² Vgl. Topp 1991, S. 6 und Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2005, S. 8–9.

³ Vgl. Rikus et al. 2015, S. 11–12.

3.3 Gebietstypen

Die Einteilung von Stadtgebieten kann zwischen den einzelnen Fachdisziplinen variieren. Hauptsächlich gibt dabei die prägende Nutzung der Gebiete in der Logistik, der Stadtplanung, der Verkehrsplanung und dem Planungsrecht die zu betrachtende Charakteristik. Die Methodik der Einteilung von Stadtgebieten in der Verkehrsplanung, welche innerhalb dieses Projektes herangezogen wurde, erfolgt beispielsweise über die Betrachtung des Parkraumgebotes (Schäfer et al. 2017).

Hier wird zwischen den vier verschiedenen Gebieten, deren Parkraumangeboten und generellen Flächennutzung unterschieden:

- 1) Im **Stadtkerngebiet** befindet sich überwiegend Einzelhandel und Gewerbe. Für den motorisierten Individualverkehr (MIV) kann der Parkraumbedarf nicht gedeckt werden.
- 2) Das **Stadtkernnahe Altstadtgebiet** wird für wohnliche und gewerbliche Zwecke genutzt. Es kommt zu Parkraumdefiziten.
- 3) Das Stadtgebiet **Wohnen** wird fast ausschließlich zum Wohnen genutzt. Hier hat der Parkzielverkehr den größten Einfluss auf das Parkraumangebot.
- 4) In der Kategorie **Gewerbe und Industrie** wird die zur Verfügung stehende Fläche hauptsächlich für gewerbliche und industrielle Zwecke genutzt. Das Parkraumgebot wird von Beschäftigten und Lieferanten dominiert.
- 5) Zusätzlich wurde noch das **P+R-Gebiet** (Park & Ride) definiert, welches durch eine Parkraumbewirtschaftung mit Langzeittickets (Tageskarten, Mehrtageskarten bis hin zu Wochenkarten) charakterisiert ist und eine sehr gute Anbindung zum öffentlichen Personennahverkehr hat.

3.4 GIS-Visualisierung

Das Betrachtungsgebiet Hanau wurde in die zuvor genannten Stadtgebiete eingeteilt. Hierfür wurde das Geoinformationssystem ArcGIS des Unternehmens ESRI genutzt, welches bereits eine Satellitenbilddaufnahme der Erde (World Imagery) bereitstellt. Diese wurde genutzt, um das Betrachtungsgebiet von der Vogelperspektive aus zu überfliegen und somit die einzelnen Stadtgebiete anhand des festgestellten Parkraumgebotes und der Flächennutzung zu generieren. Mit Hilfe der Software wurden flächenhafte Objekte, sogenannten Polygone, erzeugt, welche sich durch die jeweiligen Nutzungsansprüche unterscheiden. Dabei fielen Gebiete auf, die nicht eindeutig zugewiesen werden konnten. Diese wurden aufgrund des gemeinsamen Parkraumgebotes und der gemeinsamen Tarife in eine neue Kategorie P+R-Gebiet eingeteilt. Für die visuelle Darstellung und das anschließende Erzeugen des Kartenmaterials wurde anschließend mit dem Open Source Produkt „QGIS“ gearbeitet und Layer hinzugefügt. Sowohl die punkthaften Elemente der Parkscheinautomaten, der Parkhäuser, der Parkplätze und der Tiefgaragen als auch die flächenhaft erzeugten Objekte der Gebietstypen und Anwohnerzonen wurden mithilfe der Symbologie-Einstellung der einzelnen Layer kategorisiert. Anschließend konnten die Layer in ihrer Darstellungsform, wie beispielsweise Form, Farbe und Beschriftung, im gleichen Einstellungsfenster individuell verändert und angepasst werden. In Abbildung 2 sind die Gebietstypen im Untersuchungsgebiet graphisch dargestellt.

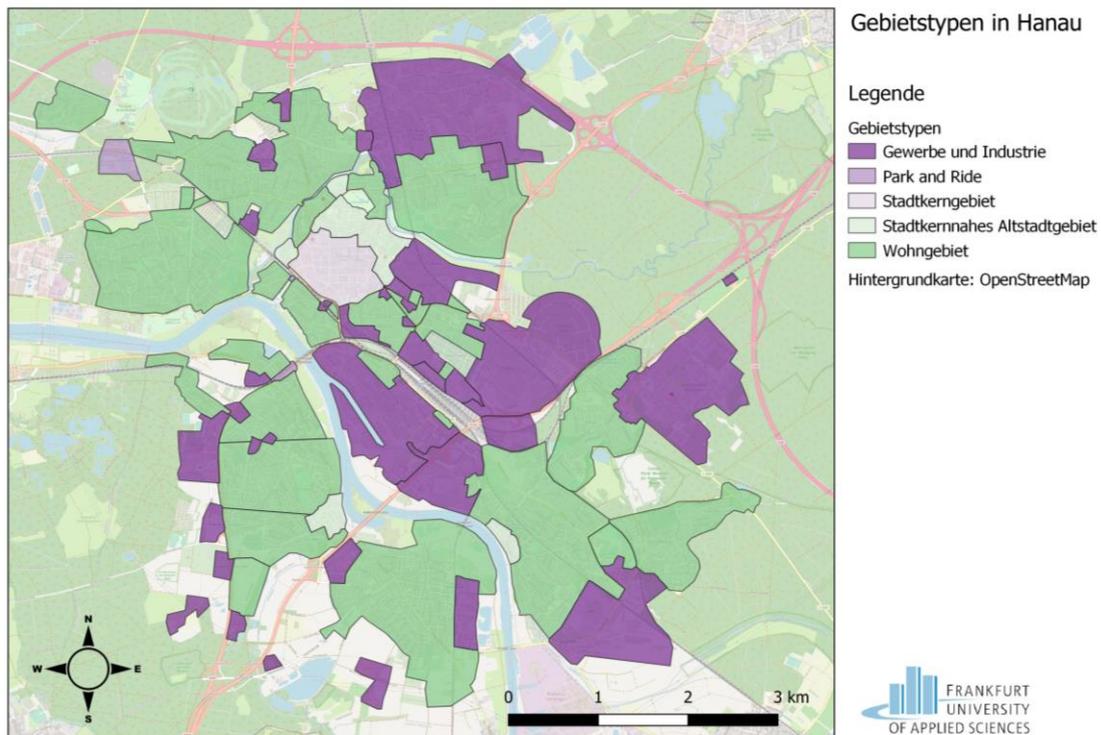


Abbildung 2: Gebietstypen - Hanau (eigene Darstellung)

4 Datenquellen

Über die Hanauer Parkhaus GmbH lagen uns Daten zu Ein- und Ausfahrten aus Parkhäusern, Tiefgaragen und Parkplätzen für das Jahr 2019 vor, welche durch die Hanauer Parkhaus GmbH betrieben werden. Darüber hinaus lagen uns für das Jahr 2019 Daten über Parkticketverkäufe aus Parkscheinautomaten vor, welche durch die Hanauer Parkhaus GmbH im Auftrag der Stadt Hanau betrieben werden.

Inrix ist ein US-amerikanisches Datenunternehmen, welches unter Anderem Verkehrsdaten zur Verfügung stellt. Von Inrix wurde ein großer Datensatz mit Informationen zu Fahrten in Hanau und Umland gekauft. Dieser enthält Sachinformationen zu den Fahrten selbst sowie den Fahrzeugen mit denen die Fahrten getätigt wurden, welche mit geografischen Informationen gepaart sind, die sich räumlich analysieren lassen. Die Daten stellen etwa 3 % aller Fahrten Hanaus im Jahr 2019 dar und werden von unterschiedlichen Primärlieferanten an Inrix geliefert. Dazu gehören Satellitennavigationssysteme, welche zum Teil direkt in den Fahrzeugen verbaut sind, sowie mobile Endgeräte, die jeweils die Daten aufzeichnen. Für die Auswahl der Daten, die weltweit zur Verfügung stehen, wurde zunächst ein großes Polygon, welches Hanau mit Umland beinhaltet, mit Inrix definiert und die anonymisierten, DSGVO-konformen Daten per Downloadlink zur Verfügung gestellt.

4.1 Daten der Parkraumbewirtschaftung

Im öffentlichen Straßenraum des Untersuchungsgebiets erfolgt die Parkraumbewirtschaftung über Parkscheinautomaten. Darüber hinaus werden Parkhäuser, Tiefgaragen und Parkplätze bewirtschaftet.

4.1.1 Tariffinformationen für Parkscheinautomaten

In vorliegenden Untersuchungsgebiet wird der öffentliche Parkraum in 11 unterschiedlichen Tarifgebieten über Parkscheinautomaten (PSA) bewirtschaftet. Tabelle 3 fasst die gebührenpflichtigen Zeiten, die maximale Parkdauer, Ticketinformationen sowie die Anzahl der Parkscheinautomaten im jeweiligen Tarifgebiet zusammen. In Spalte 5 ist die – aus den Daten ermittelte - maximale Anzahl parkender Fahrzeuge innerhalb einer Stunde im jeweiligen Tarifgebiet dargestellt.

Tabelle 3: Tarifgebiete Parkscheinautomaten (PSA) im Untersuchungsgebiet (eigene Darstellung)

| Tarifgebiet (Nummer) | Gebührenpflicht | Ticketart | Anzahl PSA | Max. Anzahl (geschätzt) |
|---|--|-----------------------|------------|-------------------------|
| Innenstadt Kernbereich (634000) | MO-FR 9-19 Uhr, SA 9-16 Uhr, max. 2h | Kurzparktickets | 52 | 593 |
| Innenstadt Kernbereich mit Brötchentaste (634003) | MO-FR 9-19 Uhr, SA 9-16 Uhr, max. 2h, bis 15min gebührenfrei | Kurzparktickets | 11 | 122 |
| Heraeusstraße (634001) | MO-FR 9-19 Uhr, SA 9-16 Uhr, max. 1h | Kurzparktickets | 1 | 11 |
| äußerer Ring inkl. Kinzigstraße (634002) | MO-FR 9-19 Uhr, SA 9-16 Uhr, max. 3h | Kurzparktickets | 14 | 167 |
| Parkplatz Heinrich-Fischer-Bad West/Eugen-Kaiser-Straße (634004) | werktags 9-17 Uhr, max. 24h | Tagestickets | 2 | 61 |
| Hauptbahnhof Vorplatz (634010) | 24h-täglich, max. 1h | Kurzparktickets | 1 | 28 |
| P+R-Tarif Westbahnhof West (Am Mainkanal) (634014) | werktags 9-17 Uhr, max. 24h | Tagesticket | 2 | k.A. |
| P+R-Hauptbahnhof Nordseite (Boschstraße) (634011) | 24h-täglich, max. 28 Tage | Tages-, Wochentickets | 2 | k.A. |
| P+R S-Bahn Steinheim I und II (634012) | 24h-werktags ohne Samstag, max. 28 Tage | Tages-, Wochentickets | 5 | k.A. |
| P+R Wilhelmsbad und Burgallee (634016) | werktags 7-15 Uhr ohne Samstag, max. 28 Tage | Tages-, Wochentickets | 5 | k.A. |
| P+R Hauptbahnhof Südseite (Auheimer Straße/Röderseestraße) (634021) | 24h-täglich, max. 28 Tage | Tages-, Wochentickets | 2 | k.A. |

k.A.: keine Angabe möglich

4.1.2 Ticketverkäufe an Parkscheinautomaten

Für das Jahr 2019 lagen uns Informationen über 567.352 Parkvorgänge von 97 Parkscheinautomaten vor. Im Folgenden werden diese Daten als „Parkscheinautomatendaten“ bezeichnet. Neben der Information, wann das Parkticket gelöst und welcher Geldbetrag bezahlt wurde, lagen noch Informationen über die sogenannte „Brötchentaste“ – eine kostenlose Parkzeit von 15 Minuten – vor. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass nur 2% der PSA-Parkvorgänge über die Brötchentaste erfolgten. Die Parkdauer und das Parkende des Parkvorganges konnten grundsätzlich über den Zeitpunkt der Ticketbezahlung und den bezahlten Geldbetrag ermittelt werden. Somit wird angenommen, dass Parkende *im Durchschnitt* den „korrekten“ Geldbetrag einwerfen, welcher der angestrebten Parkdauer entspricht. Für einzelne Parkepisoden ist dies sicherlich nicht gegeben.

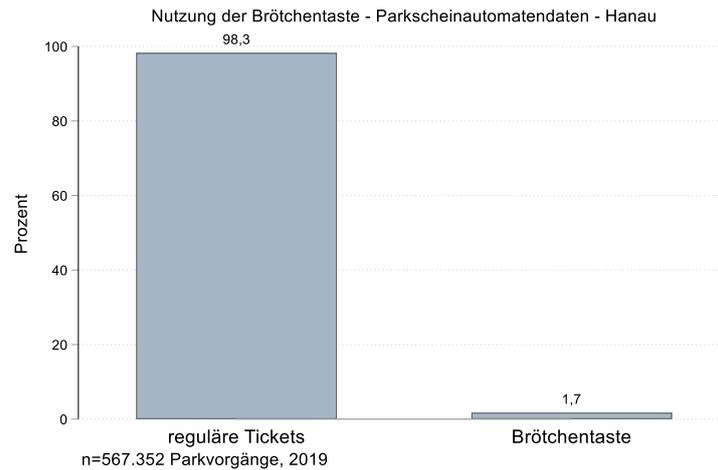


Abbildung 3: Nutzung der Brötchentaste - Parkscheinautomatendaten - Hanau (eigene Darstellung)

Die in Abbildung 4 dargestellte Verteilung der beobachteten Parkvorgänge über die Gebietstypen zeigt die meisten Parkvorgänge im Stadtkerngebiet (47,2%). Rund ein Viertel der Parkvorgänge liegen im stadtkernnahen Altstadtgebiet. Im Gewerbe- und Industriegebiet und P+R-Gebiet liegt der Anteil bei 18,2% bzw. 10,4%. Im Wohngebiet können nur 0,5% der Parkvorgänge beobachtet werden.

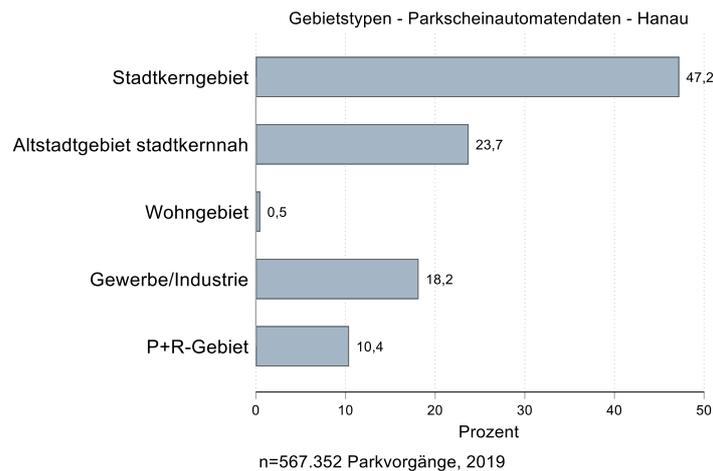


Abbildung 4: Gebietstypen - Parkscheinautomatendaten - Hanau (eigene Darstellung)

4.1.3 Tariffinformationen für Parkhäuser, Tiefgaragen und Parkplätze

Darüber hinaus wurden im Untersuchungszeitraum 2019 sechzehn Parkhäuser (PH), Tiefgaragen (TG) bzw. Parkplätze (PP) bewirtschaftet. Von 14 Objekten lagen uns Informationen zu den Ein- und Ausfahrten vor. Zwei Objekte standen nur Dauerparkern zur Verfügung. Für diese lagen uns lediglich Informationen zur Anzahl der Stellplätze vor. Tabelle 4 fasst die Tarif- und Ticketinformationen sowie die Anzahl der maximalen Stellplätze zusammen. Die Ticketarten haben die folgenden Bedeutungen: KP: Kurzparker, DP: Dauerparker, NP: Nachtparker, NPA: Nachtparker Anwohner, WP: Wochenparker.

Tabelle 4: Tarifinformationen PH/TG/PP im Untersuchungsgebiet (eigene Darstellung)

| Tarifgebiet | Gebührenpflicht | Ticketart | Max. Stellplätze (Kapazität) |
|---------------------------|--|----------------------|------------------------------|
| PH Kinopolis 2 | 24/7 | KP, DP | 226 |
| PH Kinopolis | 24/7 | KP, DP | 205 |
| PP Martin-Luther-Stiftung | 7.30-18 Uhr | KP | 83 |
| PP Klinikum Hanau | 8-20 Uhr | KP | 68 |
| TG Klinikum Süd | 24/7 | DP, NP, WP | 99 |
| PH Am Forum | 24/7 | KP, DP, NP, NPA, WP | 560 |
| PH Nürnberger Straße | 24/7 | KP, DP, NP, NPA, WP | 348 |
| TG Am Markt | 24/7 | KP | 185 |
| PH Congress Park | 24/7 | KP, DP, NP, NPA, WP | 352 |
| TG Congress Park | 24/7 | KP | 74 |
| TG Forum | 24/7 | KP, DP | 496 |
| PP Main-Kinzig-Halle | 24/7 | KP, DP | 189 |
| PH Salzstraße | 24/7 | Nur Mieter Geschäfte | (PH Nürnberger Straße) |
| PH Klinikum | 24/7 (Einfahrt 22-6 Uhr nicht möglich) | KP | 253 |
| PH Langstraße | Nur Dauerparker | DP | 213 |
| PP Willy-Brandt-Straße | Nur Dauerparker | DP | 53 |

24/7: 24 Std., jeden Tag, KP: Kurzparker, DP: Dauerparker, NP: Nachtparker, NPA: Nachtparker Anwohner, WP: Wochenparker

4.1.4 Ein- und Ausfahrten aus Parkhäusern, Tiefgaragen und Parkplätzen

Für den Untersuchungszeitraum 2019 lagen uns Informationen über 2.515.695 Parkvorgänge (alle Ticketarten) aus 14 Parkhäusern, Tiefgaragen und Parkplätzen vor. Im Folgenden werden diese Daten als „Parkhausdaten“ bezeichnet. Abbildung 5 zeigt die prozentuale Verteilung der Parkvorgänge auf die einzelnen Parkhäuser (Am Forum, Congress Park, Kinopolis und Kinopolis 2, Klinikum, Nürnberger Straße und Salzstraße), Parkplätze (Klinikum Hanau, Main-Kinzig-Halle und Martin-Luther-Stiftung) sowie Tiefgaragen (Am Markt, Congress Park, Forum und Klinikum Süd).

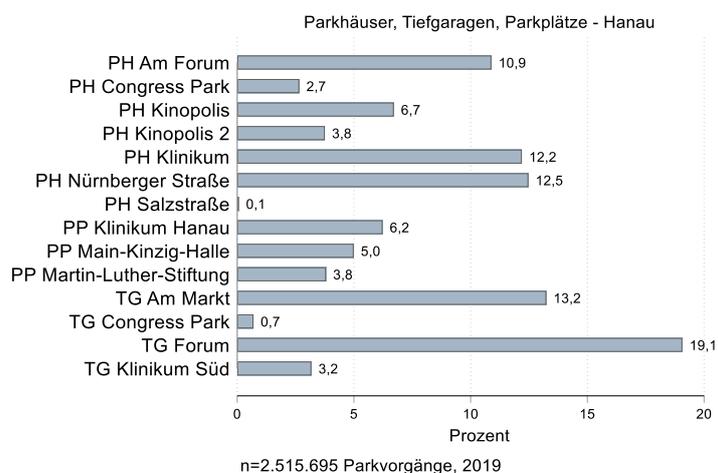


Abbildung 5: Parkhäuser, Tiefgaragen, Parkplätze - Hanau (eigene Darstellung)

Abbildung 6 zeigt, dass 66,2% der beobachteten Parkvorgänge dem Gebietstyp Stadtkerngebiet und 33,8% dem Gebietstyp stadtkernnahes Altstadtgebiet zugeordnet sind.

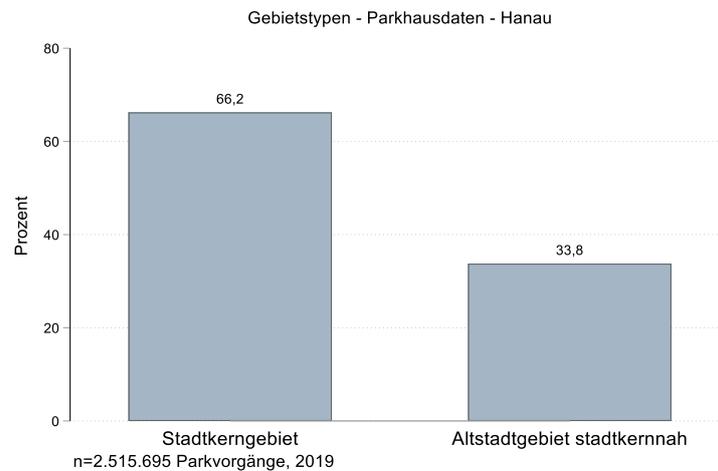


Abbildung 6: Gebietstypen - Parkhausdaten - Hanau (eigene Darstellung)

Neben Informationen zur Uhrzeit und Dauer des Parkvorganges lagen uns auch Informationen über die Ticketkategorien des Parkvorganges vor. Diese Informationen wurden unter anderem genutzt, um die einzelnen Parkvorgänge den Nachfragegruppen zuzuordnen. Abbildung 7 zeigt die prozentuale Verteilung der Ticketkategorien (Kurzparktickets, Dauerpark-, Langzeit-, Geldwert- und Kongresskarte) in den Parkhausdaten.

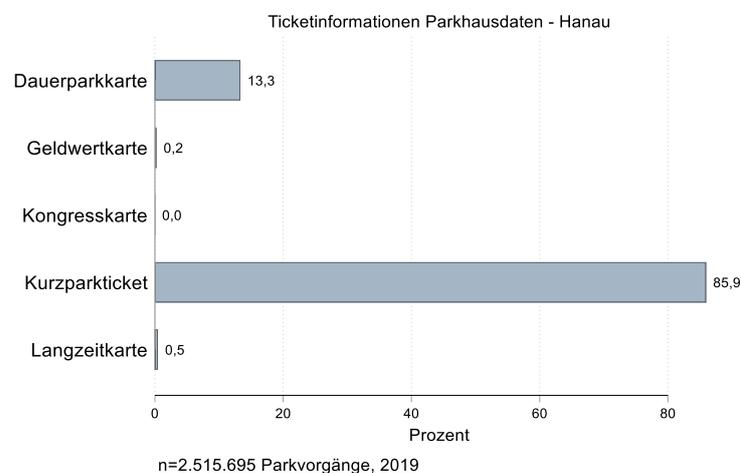


Abbildung 7: Ticketinformation Parkhausdaten - Hanau (eigene Darstellung)

Die in Abbildung 8 dargestellte Verteilung der beobachteten Parkvorgänge über die Wochentage zeigt, dass an Werktagen die Parkraumnachfrage zwischen 14,3 und 15,8 Prozent sehr homogen ist. Die meisten Parkvorgänge werden samstags (18,0%) und die wenigsten an Sonn- und Feiertagen (6,7%) beobachtet.

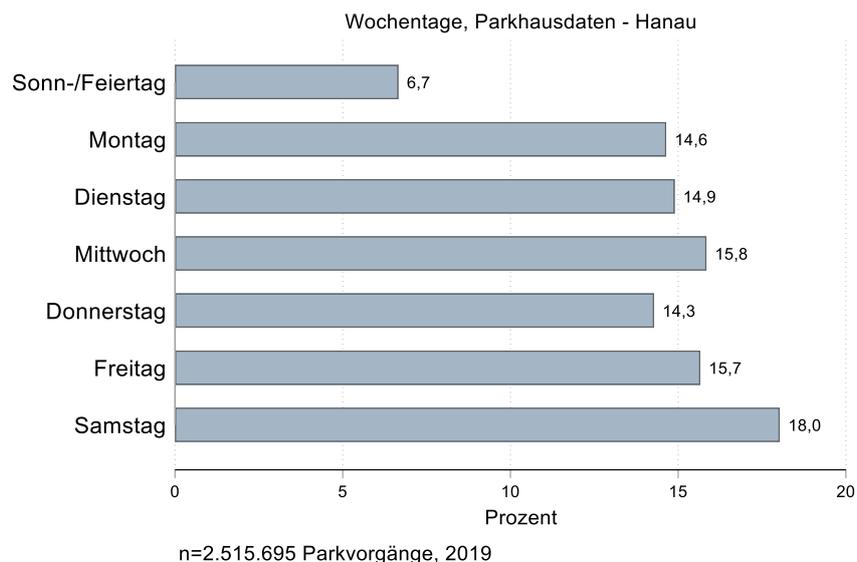


Abbildung 8: Wochentage - Parkhausdaten - Hanau (eigene Darstellung)

4.2 GPS-Trip-Daten

Der von Inrix gelieferte Rohdatensatz umfasst Informationen zu knapp 5,4 Mio. sogenannten „Trips“ in und durch Hanau bzw. das Hanauer Umland. Trips sind Fahrten bzw. teilweise Abschnitte von Fahrten. Den Trips zugeordnet sind 34 Attribute wie Kennungen (IDs), Datum und Uhrzeit, Start- und Endkoordinaten, Gewichtsklassen der Fahrzeuge, Unterscheidungen zwischen Flotten- und Privatfahrzeugen und einige mehr.

Die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) veranlasst den Datenanbieter Inrix dazu, die Tripdaten zu entpersonalisieren. Das hat zur Folge, dass manche Trips die komplette Fahrt abdecken und manche nur Teilstücke der Fahrt. Die Trips sind mit dem Attribut „Endpoint Type“ versehen, um anzuzeigen, um welche Variante es sich handelt. Abbildung 9 zeigt die verschiedenen Zuordnungen an. Es werden 5 Varianten unterschieden: Teilstück der Fahrt (0), Beginn der Fahrt (1), Ende der Fahrt (2), komplette Fahrt (3) und unbekannt (-1).

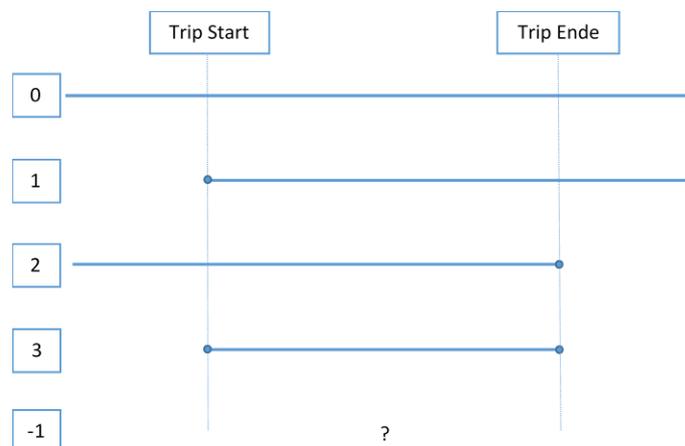


Abbildung 9: Zuordnungen „Endpoint Type“ - GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung)

Um die Orte von eindeutigen Parkvorgängen zu finden, wird das Attribut „Endpoint Type“ genutzt. Der Parkquellverkehr wird durch den Anfangsort des Trips von Trips mit dem Endpoint Type 1 oder 3 dargestellt. Der Parkzielverkehr wird durch den Endort des Trips von Trips mit dem Endpoint Type 2 oder 3 dargestellt. In Tabelle 5 werden die in Hanau beginnenden bzw. endenden Trips zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5: GPS-Trips Ende/Anfang in Hanau (eigene Darstellung)

| Merkmale | Parkzielverkehr: Trip endet in Hanau (Anzahl) | Parkquellverkehr: Trip beginnt in Hanau (Anzahl) |
|---|---|--|
| Rohdaten | 5 424 600 Trips | |
| Weight class: bis 6,3 t (14000 lbs) Provider Type: Consumers Endpoint Type: not 0 (start or end is endpoint) ProviderDrivingProfile: Consumer Vehicles | 1 664 240 Trips | |
| Verschneidung „in Hanau Stadtgebiet“ | 178 963 Trips | |
| Eindeutige Parkvorgänge in Hanau | 96 847 | 82 116 |
| Eindeutige Parkvorgänge in „Gebietstypen“ Hanau | 87 744 | 74 537 |

Um die Analyse auf Pkws zu beschränken, wurde nach vier Attributen gefiltert. Die vier Attribute, die hierfür gewählt wurden, sind der oben beschriebene Endpoint Type, die Gewichtsklasse und die Unterscheidung zwischen Flotten- und Privatfahrzeugen.

Ausgewählt wurden Trips der leichtesten Gewichtsklasse bis 6,3 t, Privatfahrzeuge und solche bei denen mindestens die Start- oder Endkoordinate des Trips auch Start- oder Endpunkt der Fahrt ist. Übrig blieben dann 1,6 Mio. Trips. Diese wurden mit der geografischen Ausdehnung der Stadt Hanau verschnitten und in einem weiteren Schritt den definierten Gebietstypen zugeordnet. Übrig blieben 87.744 Fahrten, die dem Parkzielverkehr und 74.537 Fahrten die dem Parkquellverkehr zuzuordnen sind. Eine mögliche Erklärung für diese Diskrepanz zwischen der absoluten Summe des Parkziel- und Parkquellverkehrs könnte darin liegen, dass Fahrer*innen ihr GPS-Gerät bei der Fahrt nach Hanau öfters anschalten als bei der Fahrt aus Hanau. Diese Erklärung müsste aber noch tiefer untersucht werden. In Tabelle 6 sind die absoluten und relativen Häufigkeiten der in Hanau beginnenden bzw. endenden Trips nach Gebietstypen dargestellt.

Tabelle 6: GPS-Trip-Daten - Gebietstypen (eigene Darstellung)

| Gebietstypen | | absolut | in % |
|--------------|-------------------------------|---------|-------|
| Startpunkte | Stadtkerngebiet | 6.243 | 8,38 |
| | Stadtkernnahes Altstadtgebiet | 4.063 | 5,45 |
| | Wohngebiet | 27.527 | 36,93 |
| | Gewerbe- und Industriegebiet | 36.537 | 49,02 |
| | P+R-Gebiet | 175 | 0,23 |
| Endpunkte | Stadtkerngebiet | 7.274 | 8,29 |
| | Stadtkernnahes Altstadtgebiet | 5.192 | 5,92 |
| | Wohngebiet | 33.805 | 38,53 |
| | Gewerbe- und Industriegebiet | 41.255 | 47,02 |
| | P+R-Gebiet | 219 | 0,25 |

4.3 Weitere Datenquellen

Vom Magistrat der Stadt Hanau wurden Informationen zum Anwohnerparken im Untersuchungsgebiet zur Verfügung gestellt. Im Jahr 2019 wurden in 20 Anwohnerparkzonen 3.255 Anwohner-Parkausweise ausgestellt. Die Parkzonen und die Anzahl der Parkausweise pro Parkzone sowie die Information, zu welchem Anteil die einzelnen Parkzonen den Gebietstypen zuzuordnen sind, sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Parkzonen und Anwohnerparkausweise Hanau (eigene Darstellung)

| Parkzone | Anzahl Parkausweise | Zuordnung zu Gebietstypen |
|--------------------|---------------------|---|
| Altstadt Hanau | 91 | 100% Stadtkernnahes Altstadtgebiet |
| Altstadt Steinheim | 124 | 100% Stadtkernnahes Altstadtgebiet |
| Bahnhof Steinheim | 28 | 100% Wohngebiet |
| Eppsteinstraße | 2 | 100% Wohngebiet |
| I | 925 | 50 % Stadtkerngebiet, 50% Stadtkernnahes Altstadtgebiet |
| II | 639 | 80 % Stadtkerngebiet, 20% Stadtkernnahes Altstadtgebiet |
| III | 223 | 100% Wohngebiet |
| IV | 269 | 100% Wohngebiet |
| IX | 32 | 100% Wohngebiet |
| Steinheim I | 23 | 100% Wohngebiet |
| V | 69 | 17% Wohngebiet, 83% Gewerbe- und Industriegebiet |
| VI | 82 | 17% Wohngebiet, 83% Gewerbe- und Industriegebiet |
| VII | 390 | 100% Stadtkernnahes Altstadtgebiet |
| VIII | 85 | 17% Wohngebiet, 83% Gewerbe- und Industriegebiet |
| Vorstadt Steinheim | 26 | 50 % Stadtkernnahes Altstadtgebiet, 50% Wohngebiet |
| Wolfgang | 2 | 100% Wohngebiet |
| X | 38 | 100% Wohngebiet |
| XIII | 68 | 100% Wohngebiet |
| XV | 120 | 100% Wohngebiet |
| XX | 19 | 100% Wohngebiet |

In Abbildung 10 sind sowohl diese zwanzig Parkzonen sowie zwei weitere, für welche keine Informationen zu Anwohnerparkausweisen für das Jahr 2019 vorlagen (Goldene Aue, Im Mühlfeld), als auch die Gebietstypen im Untersuchungsgebiet graphisch dargestellt.

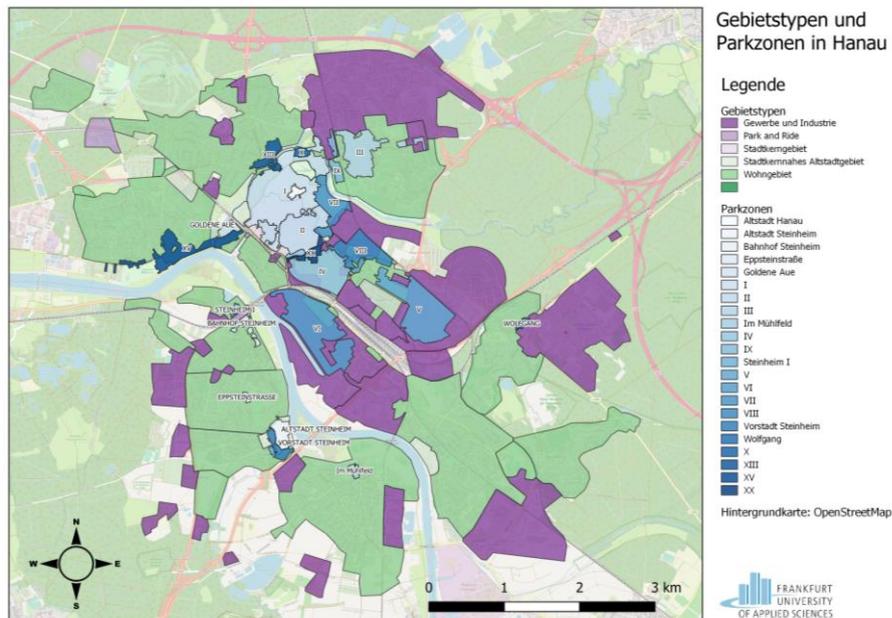


Abbildung 10: Gebietstypen und Parkzonen Hanau (eigene Darstellung)

Diese Informationen *könnten* bei der Ganglinienermittlung den jeweiligen Gebietstypen anteilmäßig zugeschlagen werden. Diesbezüglich müsste aber eine Annahme hinsichtlich der Verteilung des Parkziel- sowie des Parkquellverkehrs nach Tagesstunden getroffen werden, beispielsweise über beobachtete Anwohner-Parkvorgänge der Dauerparkkarte „Nachtparker-Anwohner“. In der weiteren Analyse wird davon jedoch abgesehen, da sich dadurch die zeitliche Verteilung des Parkverkehrs über den Tag (und somit die Form der Ganglinien) nicht ändern würden, sondern nur das Niveau.

5 Methoden der Ganglinienermittlung

5.1 Methodische Schritte nach Datenquellen

Die Methodik zur Ganglinienermittlung variierte zwischen den Datenquellen. Wesentlich für die Ganglinienermittlung waren Kenntnisse über den Parkbeginn, die Parkdauer und das Parkende jedes Parkvorganges.

Hier ist bei den Daten der Parkraumbewirtschaftung zwischen den Parkhausdaten und den Parkscheinautomatendaten zu unterscheiden. Während diese Größen für die Parkvorgänge der Parkhausdaten exakt vorlagen (sowohl das Datum und die Uhrzeit der Ein- und Ausfahrt und somit die Parkdauer), lagen diese Informationen bei den Parkscheinautomatendaten unvollständig vor. Lediglich das Datum und die Uhrzeit des Geldeinwurfes in den Parkscheinautomaten waren bekannt. Über den bezahlten Geldbetrag kann man zwar auf das Parkende schließen, da davon auszugehen ist, dass die bezahlten Geldbeträge annähernd die benötigte Parkdauer abdecken, dennoch kann es „kritische“ Parkvorgänge geben. So ist beispielsweise bei einem Tagesticket für 2,- € nicht davon auszugehen, dass der Parkvorgang genau 24 Stunden andauert. Da für diese Parkvorgänge das Parkende nicht bekannt ist und auch nicht sinnvoll näherungsweise ermittelt werden kann, wurden solche Parkvorgänge nur für die Ermittlung der Ganglinien des Parkzielverkehrs, nicht aber für die Ermittlung der Ganglinien des Parkquellverkehrs und der Belegungsganglinien herangezogen.

Im Anhang in Tabelle 10 werden die methodischen Schritte für die Datenquellen Parkhausdaten und Parkscheinautomatendaten und in Tabelle 11 für GPS-Trip-Daten dargestellt. Dabei wird in die Schritte: Datenaufbereitung, Zuordnung der einzelnen Parkvorgänge zu Gebietstypen und Nachfragegruppen, Datenauswertung, wie Ermittlung der Einfahrten bzw. Ausfahrten in den Parkraum sowie die Ermittlung der Parkraumbelegung und die Datenzusammenführung unterschieden.

Im Falle der GPS-Trip-Daten gestaltete sich die Ermittlung der für die Ganglinienermittlung benötigten Daten noch schwieriger. Um die Parkbelegung zu berechnen und Parkvorgänge Nachfragegruppen zuordnen zu können, braucht man Informationen zur Parkdauer (vgl. Abschnitt 3.2). Diese lässt sich potentiell dadurch ermitteln, dass Trips, die zu Parkvorgängen in Hanau führen, und Trips, die von einem Parkvorgang in Hanau starten, die selbe DeviceID in den Daten aufweisen. Diese DeviceID ist eine Zufallsnummer, die den GPS-Geräten zugeordnet wird. Ändert sich dies zwischen zwei (oder mehreren) Trips nicht, handelt es sich um dasselbe GPS-Gerät und damit (sehr wahrscheinlich) auch um denselben Fahrer. Die Schwierigkeit bestand nun darin, dass sich nur für ca. 80% der Trips die DeviceID nicht ändert. Für diese konnte die Parkdauer dann ermittelt werden, indem die zeitliche Differenz zwischen dem ersten und zweiten Trip als Parkdauer interpretiert wurde. Allerdings bedurfte es dazu weiterer Annahmen, da auch denkbar war, dass Personen ihre GPS-Geräte nur selten verwenden. In diesen Fällen würde die Parkdauer systematisch überschätzt. Als weitere Regeln wurde daher die maximale räumliche Distanz zwischen zwei Trips bspw. auf 30 Meter festgelegt, d.h. nur solche Trips wurden bei der Parkdauerberechnung einbezogen. Dies reduzierte die Anzahl der Beobachtungen weiter auf unter 8%. Auf diese Art und Weise war die Parkdauer plausibel nur für einen Bruchteil der Parkvorgänge berechenbar. Nun wurde versucht, die Parkdauer für die anderen Parkvorgänge mit Hilfe eines statistischen Prognosemodells vorherzusagen, in das Wochentag, Uhrzeit und Jahreszeit als erklärende Variablen eingingen. Dies gelang mit

diesen wenigen Variablen bisher nicht zufriedenstellend. Daher wurde bei den GPS-Daten darauf verzichtet, die Parkbelegung zu berechnen und eine Differenzierung nach Nachfragegruppen vorzunehmen.

Allerdings werden in diesem Bericht doch zwei Ansätze präsentiert, um auch mit den GPS-Daten die Differenzierung nach Nachfragegruppen vorzunehmen:

Erster Ansatz: Beschäftigte in Industrie- und Gewerbegebieten ließen sich gut identifizieren, da die Fahrer (mit derselben DeviceID) in der Regel immer wieder ähnliche Parkstandorte an ihrem Arbeitsort wählen. Wir verwendeten den DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise Algorithmus), um den Cluster interessierender Standorte herauszufinden (Ester et al. 1996). Der Vorteil dieses Cluster-Algorithmus lag darin, dass die Anzahl der Cluster nicht vorher festgelegt werden musste, und wir die Cluster-Dichte und die Mindestanzahl der Cluster-Stichproben anpassen konnten. Erfolgte die Erkennung mehrmalig, war der Treiber wahrscheinlich Anwohner oder Beschäftigte.

Zweiter Ansatz: Den Endpunkten (aber mglw. auch den Anfangspunkten) der Trips werden geographische Informationen hinzugespielt. Mit Hilfe von Cluster-Algorithmen werden Parkvorgänge geclustert (vgl. Abschnitt 8), was zwar bereits jetzt zu plausiblen Ergebnissen führte, aber für diesen Bericht nicht mehr genutzt werden konnte.

Im Anhang in Tabelle 11 werden die methodischen Schritte für die Datenquelle GPS-Trip-Daten dargestellt.

5.2 Zuordnung von Parkvorgängen zu Gebietstypen

Für die Erhebung von Geodaten wurde ein Verfahren gewählt, welches Daten erzeugt, die einen Raumbezug beziehungsweise eine klar zugewiesene Position auf der Erde besitzen.⁴

In den Parkscheinautomatendaten waren unter anderem die Nummerierung und die Bezeichnung der Parkscheinautomaten, basierend auf den Straßennamen in denen sie sich befinden, enthalten. Dies gab Aufschluss über die Position der aufzunehmenden Objekte und erleichterte die Begehung vor Ort.

Die Positionen der Parkscheinautomaten wurden mithilfe eines Mobiltelefons iPhone 8 des Herstellers Apple Inc. als Hardware und der Handyapplikation ArcGIS Earth Mobile des Unternehmens Esri Inc. als Software bestimmt. Das verwendete Mobiltelefon war in der Lage, GPS-Signale zu empfangen und somit den aktuellen Standpunkt zu ermitteln. Die Software gibt dem Nutzer eine Satellitenkarte aus, die neben dem Anzeigen des Standorts auch noch die Möglichkeit bietet, Ortsmarkierungen vorzunehmen, diese individuell zu benennen und diese im KMZ-Format per E-Mail zu versenden. Bei KMZ-Dateien handelt es sich um verpackte KML-Dateien der Keyhole Markup Language, welche das Speichern von georeferenzierten Daten ermöglicht (Zichar 2012).

So wurden die aufzunehmenden Objekte (Parkscheinautomaten) am 03. Juni 2020, im Zeitraum von 9:00 Uhr bis 15:00 Uhr, und am 04. Juni 2020, im Zeitraum von 9:30 Uhr bis 14:00 Uhr, persönlich mithilfe von ArcGIS Earth georeferenziert aufgezeichnet und innerhalb der Applikation mit der bereits festgelegten Nummer eingelesen. Es entstand somit eine Satellitenszene in Form einer KMZ-Datei, welche die erhobenen Parkscheinautomaten des Untersuchungsgebietes innerhalb der Handyapplikation darstellt. Innerhalb der

⁴ Vgl. Bill 2016, S. 8.

Computersoftware wurde die so erstellte Datei der Satellitenszene als Layer „Parkscheinautomaten“ hinzugefügt.

Neben den Parkscheinautomaten waren im Forschungsprojekt die Parkplätze, Tiefgaragen und Parkhäuser als weitere Objekten aufzunehmen. Mithilfe des Kartendienstleisters Google Maps des Unternehmens Google wurden die Positionen dieser Objekte ermittelt und ebenfalls durch Erzeugen von Punktobjekten innerhalb von ArcGIS Pro eingefügt. Die spezifischen Bezeichnungen und Kategorien dieser Elemente ließen sich durch Zuordnung einzelner Attribute in der Attributtabelle charakterisieren. So erhielten die Objekte der Parkplätze den Ausdruck „Parkplatz“, Tiefgaragen die Bezeichnung „Tiefgaragen“ und die Elemente welche Parkhäuser repräsentieren das Attribut „Parkhaus“. Die in diesem Bearbeitungsschritt generierten Objekte wurden ebenfalls als ein Layer dem Inhaltsverzeichnis hinzugefügt.

Nachdem sowohl die geographische Ausdehnung der Gebietstypen als auch die geographischen Standorte der Parkscheinautomaten sowie der Tiefgaragen, Parkplätzen und Parkhäuser in GIS visualisiert wurden, konnte eine eindeutige Zuordnung der Parkvorgänge zu einem Gebietstyp erfolgen.

In Abbildung 11 sind die Gebietstypen und Untersuchungsobjekte graphisch dargestellt.

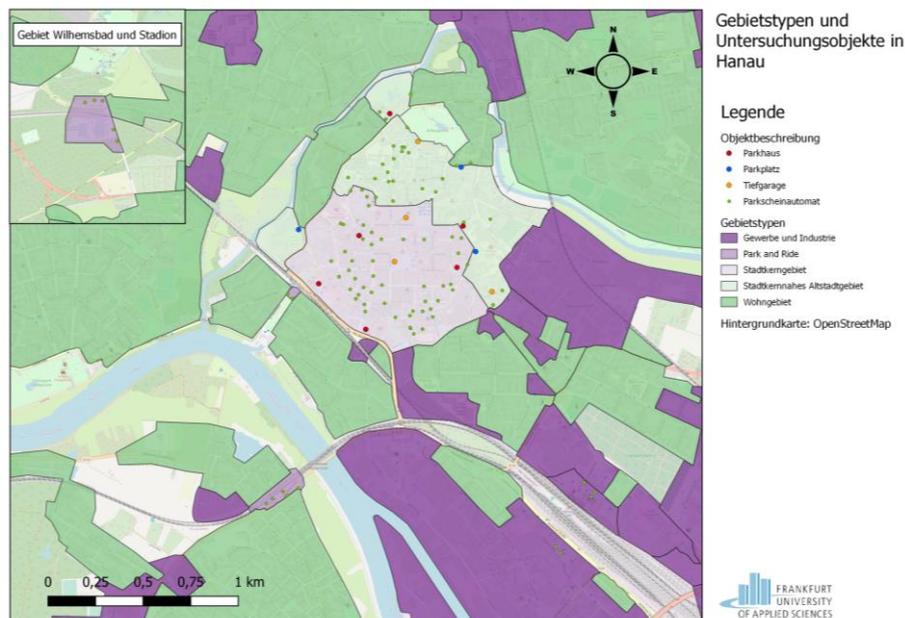


Abbildung 11: Gebietstypen und Objekte der Parkraumbewirtschaftung Hanau (eigene Darstellung)

Im Falle der GPS-Trip-Daten erfolgte die Zuordnung zu Gebietstypen danach, wo die Endkoordinaten des Trips lagen. Mit entsprechenden Algorithmen ließen sich diese Koordinaten zu den Polygonen der Gebietstypen zuordnen.

5.3 Zuordnung von Parkvorgängen zu Nachfragegruppen

Wie bereits in Abschnitt 3.2 aufgezeigt wurde, ist eine scharfe Abtrennung der Merkmale des Parkvorganges innerhalb der vier Nachfragegruppen häufig nicht möglich. Daher mussten im Vorfeld Zuordnungsschemata definiert werden, um die beobachteten Parkvorgänge den Nachfragegruppen zuzuordnen.

Für die Parkhausdaten wurden zuerst Ticketinformationen und im Anschluss Informationen hinsichtlich des Parkzeitpunktes (Wochentag und Uhrzeit), der Parkdauer und des Standortes für die Zuordnung der Parkvorgänge zu den Nachfragegruppen genutzt. Das Zuordnungsschema für die Parkhausdaten ist in Abbildung 12 ersichtlich. Die Zuordnung erfolgte nach dem folgenden Schema:

- Es wurde zunächst zwischen Kurparktickets und Dauerpark-/Langzeittickets unterschieden.
- Innerhalb der Dauerparkkarten und Langzeittickets wurden zuerst charakteristische Parkvorgänge Anwohnern (Parkvorgang zwischen 17 und 6 Uhr) sowie Beschäftigten (Parkvorgang zwischen 6 und 9 Uhr sowie eine Parkdauer von mindestens 180 Minuten) zugeordnet.
- Die verbliebenen Parkvorgänge wurden im Anschluss unter Einbeziehung zusätzlicher Ticketdesign-Informationen Anwohnern und Beschäftigten zugeordnet. Beispielsweise wurde die Dauerparkkarte Anwohnerparken MKH (Main-Kinzig-Halle) den Anwohnern zugeordnet.
- Innerhalb der Kurparktickets wurden charakteristische Parkvorgänge, wie in nachstehender Abbildung ersichtlich, den Nachfragegruppen Kunden sowie Besuchern zugeordnet.
- Verbliebene Parkvorgänge wurden im Anschluss nach Standorten (Klinikum, Kinopolis) sowie Parkdauern den Nachfragegruppen Beschäftigten bzw. Besuchern zugeordnet.
- Am Ende wurden die noch verbliebenen Parkvorgänge in den Nachtstunden und an Sonntagen den Nachfragegruppen Beschäftigten und Besuchern zugeordnet.

Da für die Parkvorgänge an Parkscheinautomaten nur Kurparktickets vorlagen, wurden für die Nachfragegruppenzuordnung neben dem Parkzeitpunkt und der Parkdauer auch Tarifinformationen aus der Parkraumbewirtschaftung im Untersuchungsgebiet genutzt. Abbildung 13 zeigt das Zuordnungsschema für die Parkscheinautomatendaten. Die Zuordnung erfolgte nach dem folgenden Schema:

- Parkvorgänge im P+R-Gebiet wurden der Nachfragegruppe Beschäftigte zugeordnet.
- Parkvorgänge an Werktagen (Montag bis Samstag) mit einer Parkdauer kleiner 180 Minuten und einem Parkbeginn zwischen 7 und 19 Uhr wurden der Nachfragegruppe Kunden zugeordnet.
- Parkvorgänge an allen Wochentagen mit einer Parkdauer von mindestens 180 Minuten und einem Parkbeginn zwischen 7 und 22 Uhr wurden der Nachfragegruppe Besucher zugeordnet.
- Abschließend erfolgten weitere Zuordnungen von Parkvorgängen an Sonntagen sowie in den Nachtstunden zur Nachfragegruppe der Beschäftigten und Besucher.

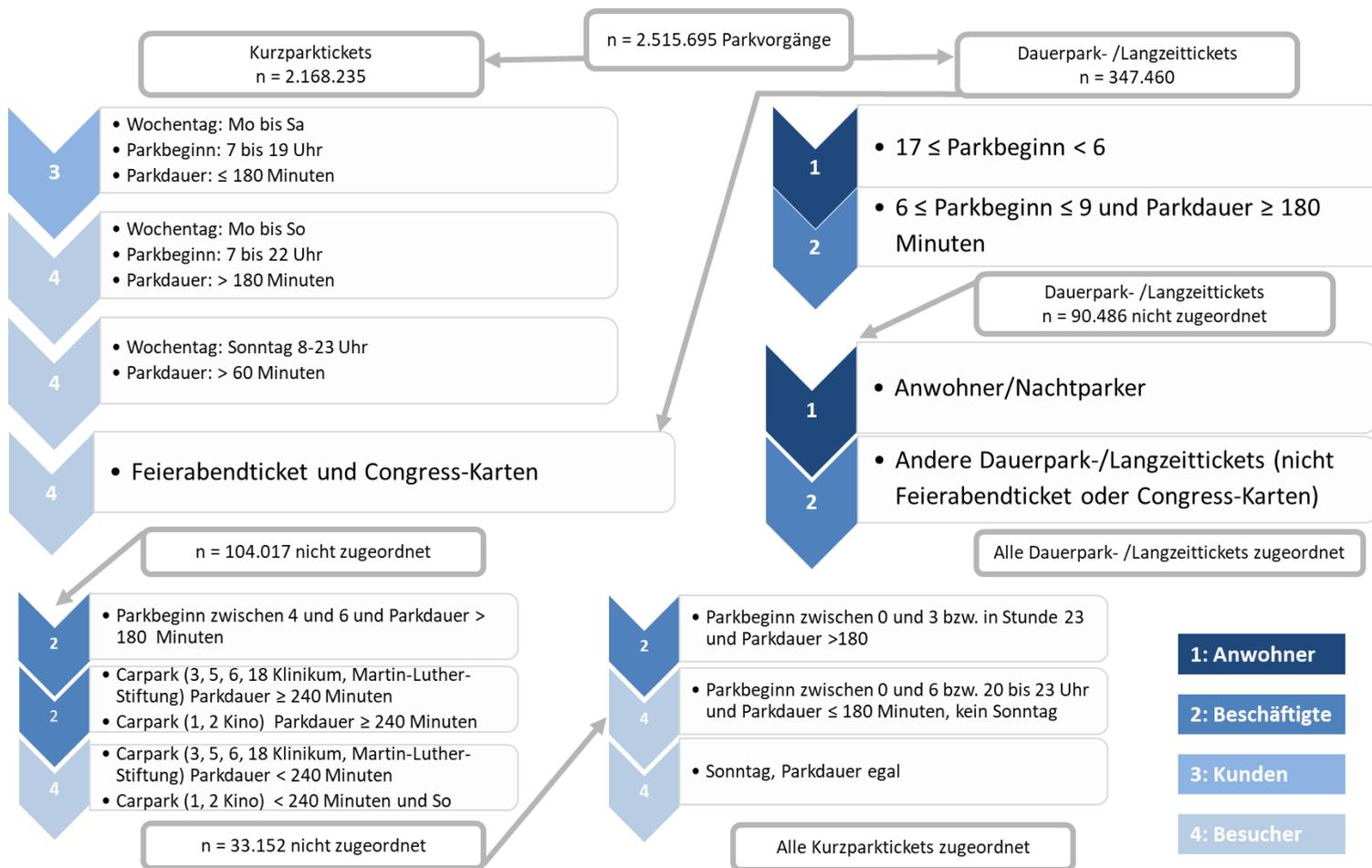


Abbildung 12: Nachfragegruppenzuordnung Parkhausdaten (eigene Darstellung)



Abbildung 13: Nachfragegruppenzuordnung Parkscheinautomatendaten (eigene Darstellung)

5.4 Berechnung der Parkraumbelegung und des (hypothetischen) Parkraumangebots

Die Daten enthielten keinerlei Informationen zur Parkraumbelegung. Die Parkraumbelegung pro Stunde wurde folgendermaßen aus dem Parkzielverkehr (Zugänge) und Parkquellverkehr (Abgänge) berechnet:

- Für jeden Parkvorgang wurden der Startzeitpunkt und der Endzeitpunkt ermittelt. Der Endzeitpunkt war bei den Parkhausdaten direkt ablesbar. Bei den Parkscheinautomatendaten ergab sich der Endzeitpunkt aus dem bezahlten Betrag (siehe dazu Abschnitt 4.1.2). Dabei wurde die Annahme getroffen, dass der bezahlte Betrag im *Durchschnitt* der tatsächlichen Parkdauer entspricht.
- Für jede Minute des Jahres 2019 („Minute“ war die kleinste verfügbare zeitliche Einheit) wurde für jeden Parkscheinautomaten und jedes Parkhaus sowie jede Nachfragegruppe die Anzahl der sich zeitlich überlappenden Parkvorgänge ermittelt. Mit Hilfe von Durchschnittsbildung ließen sich durchschnittliche Parkraumbellegungen pro Stunde berechnen. Zudem konnte nach Nachfragegruppe sowie Gebietstyp aggregiert werden.
- Die maximale Parkraumbelegung (oder wahlweise 80% oder 85%) im Jahr 2019 an jedem Parkscheinautomaten entspricht dem hypothetischen Parkraumangebot. Das Parkraumangebot in Parkhäusern war bekannt und musste nicht berechnet werden.

Mit dieser Methode wäre es potentiell auch für die GPS-Trips-Daten möglich, die Parkraumbelegung zu ermitteln. Allerdings ist es bisher nicht zufriedenstellend gelungen, Parkdauern zu ermitteln, weshalb eine Berechnung der Parkraumbelegung mit Hilfe der GPS-Daten derzeit nicht möglich ist (vgl. Abschnitt 5.1).

6 Ganglinien nach Gebietstypen und Nachfragegruppen

In den nachfolgenden Abschnitten werden Ganglinien für den Parkzielverkehr, den Parkquellverkehr sowie die Parkraumbelugung für die einzelnen Gebietstypen und Nachfragegruppen, sofern möglich, gezeigt. Der Anteil der Kurzparker sowie der mittlere Auslastungsgrad in Bezug auf 85 % der maximalen Kapazität (vgl. Tabelle 3 für die Parkscheindaten und Tabelle 4 für die Parkhausdaten) wird nur aggregiert über alle Nachfragegruppen gezeigt.⁵ Es werden Ganglinien, welche über Daten der Parkraumbewirtschaftung und über GPS-Trip-Daten ermittelt werden konnten, dargestellt.

In Abschnitt 6.6 werden die datengestützt ermittelten Ganglinien mit den Ganglinien aus den Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR) verglichen. Da diese Ganglinien nicht nach Wochentagen unterscheiden, werden in den nachstehenden Abschnitten die Ganglinien aggregiert für alle Wochentage (Montag bis Sonntag) gezeigt. In einem gesonderten Tabellenband werden die datengestützt ermittelten Ganglinien darüber hinaus auch nur für Werktage (Montag bis Freitag), Samstage sowie Sonn- und Feiertage dargestellt.

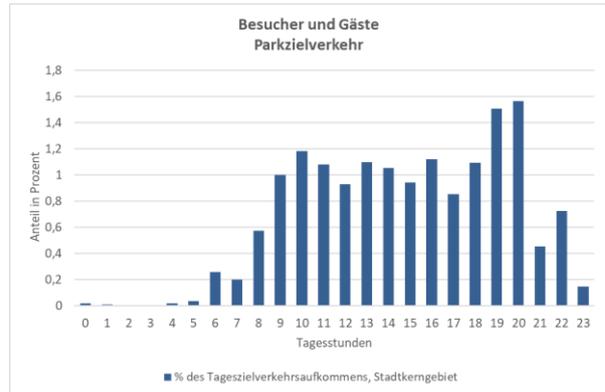
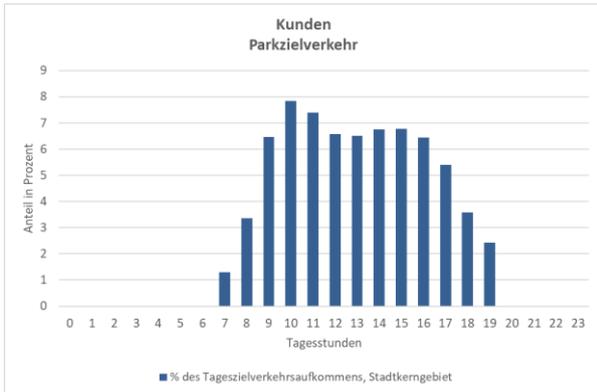
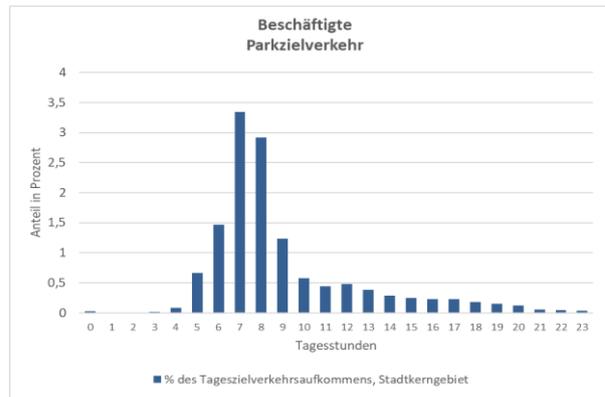
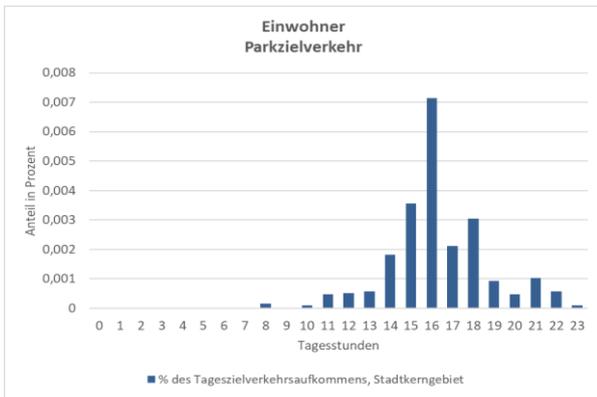
6.1 Stadtkerngebiet

Über die Daten der Parkraumbewirtschaftung werden für den Gebietstyp Stadtkerngebiet die Ganglinien für die vier Nachfragegruppen für den Parkzielverkehr (Einfahrten in den Parkraum) in Abbildung 14, für den Parkquellverkehr in Abbildung 15 und für die Belegung in Abbildung 16 dargestellt. In Abbildung 17 erfolgt die Darstellung aggregiert über alle Nachfragegruppen.

Über die GPS-Trip-Daten konnten für den Gebietstyp Stadtkerngebiet nur aggregierte Ganglinien für den Parkziel- sowie Parkquellverkehr erzeugt werden (Abbildung 18).

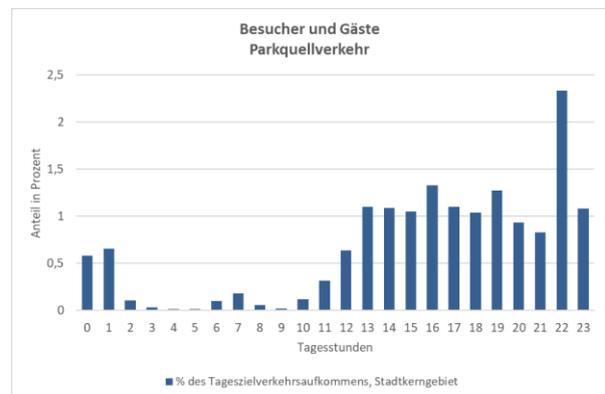
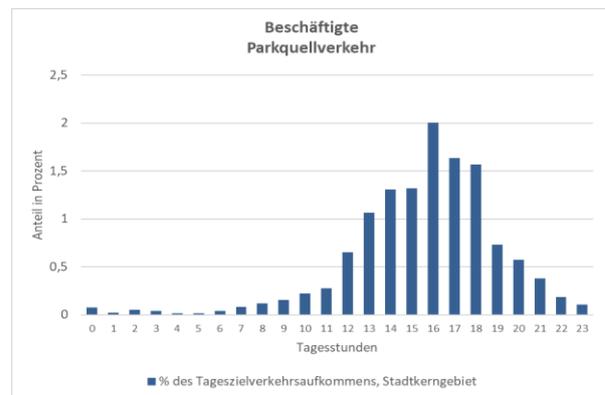
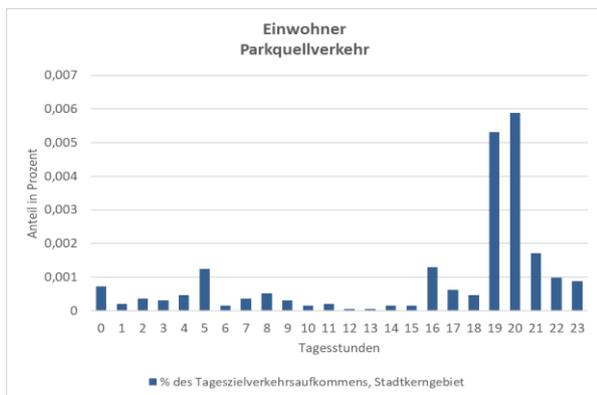
Zusammenfassend lässt sich für den Gebietstyp Stadtkerngebiet festhalten, dass die aus den Daten der Parkraumbewirtschaftung erzeugten Ganglinien sehr ähnlich zu den EAR-Ganglinien (vgl. Tabelle 12 im Anhang) sind. Allerdings ist die Datenmenge für die Nachfragegruppe der Einwohner in diesem Gebietstyp sehr gering. Die aggregierte Darstellung der Ganglinien über alle vier Nachfragegruppen aus Daten der Parkraumbewirtschaftung sowie GPS-Trip-Daten zeigt ein sehr ähnliches und homogenes Bild.

⁵ 85%-iger Auslastungsgrad zur Vermeidung von Überstauungen, vgl. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. 2005.



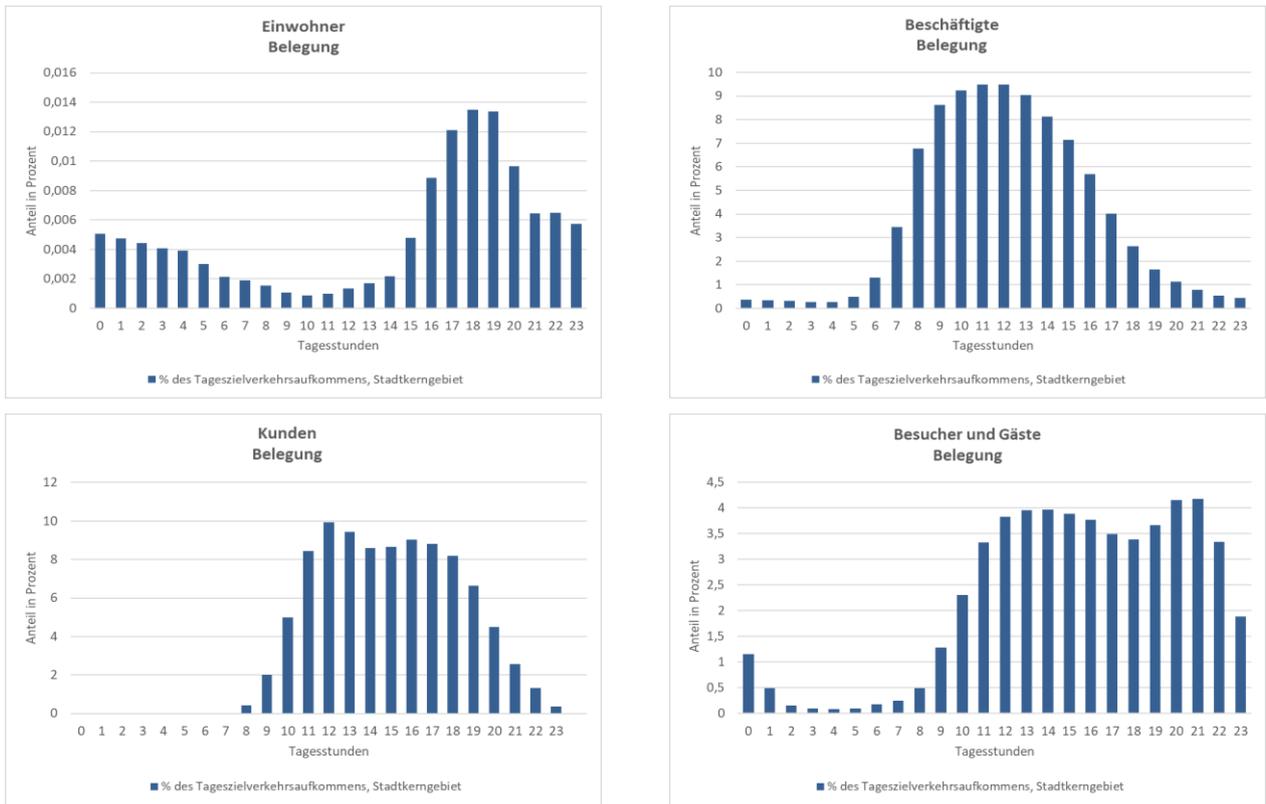
n = 1.934.236 Parkvorgänge im Gebietstyp Stadtkerngebiet

Abbildung 14: Ganglinien Parkzielverkehr, Stadtkerngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)



n = 1.921.014 Parkvorgänge im Gebietstyp Stadtkerngebiet

Abbildung 15: Ganglinien Parkquellverkehr, Stadtkerngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)



n = 5.263 (Ø TZV im Gebietstyp Stadtkerngebiet)

Abbildung 16: Ganglinien Belegung, Stadtkerngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)

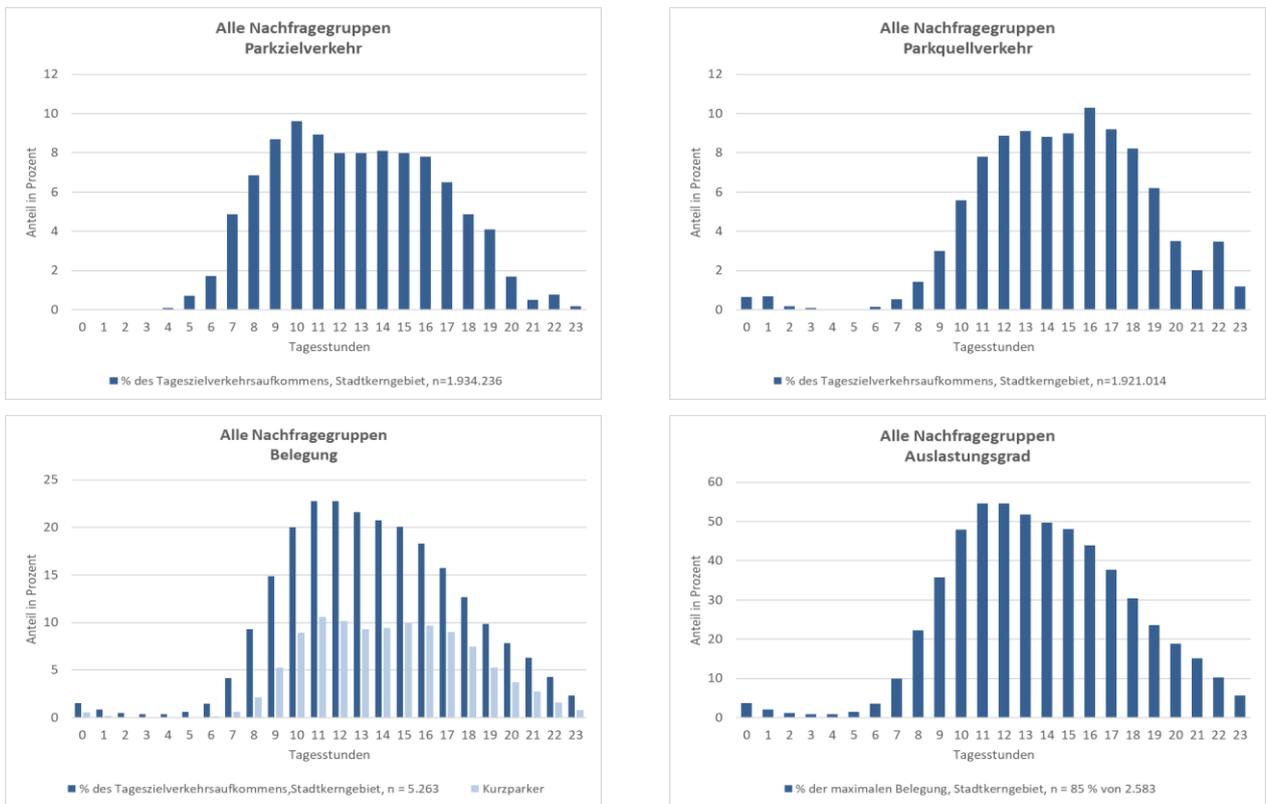


Abbildung 17: Ganglinien aggregiert, Stadtkerngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)

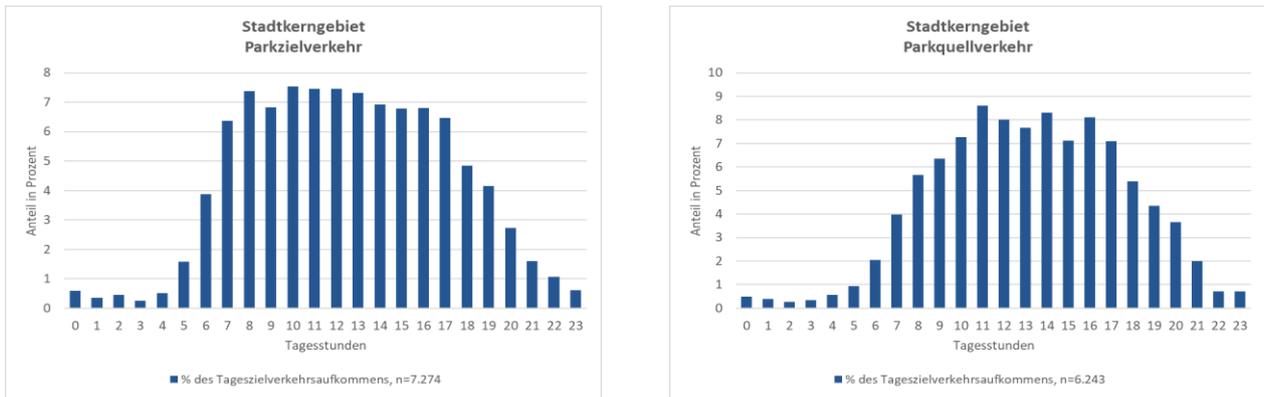


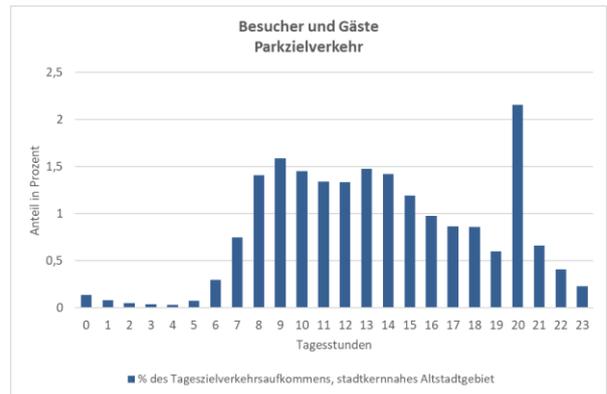
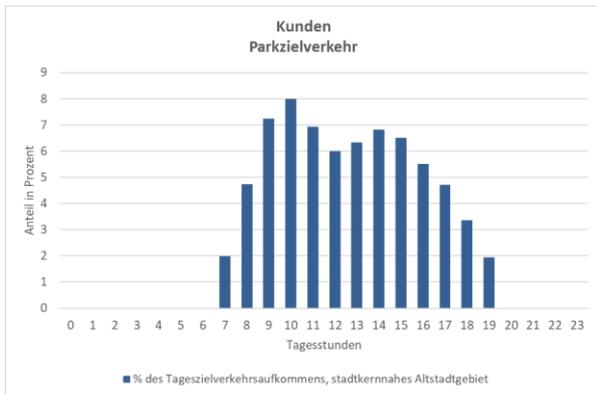
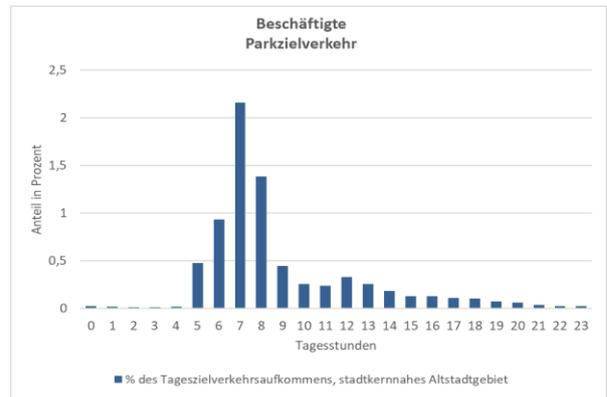
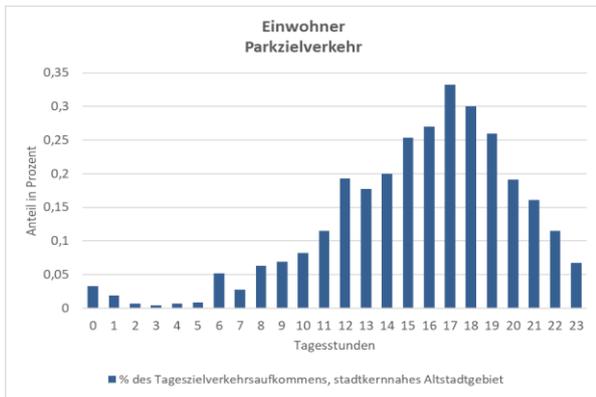
Abbildung 18: Ganglinien aggregiert, Stadtkerngebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung)

6.2 Stadtkernnahes Altstadtgebiet

Über die Daten der Parkraumbewirtschaftung werden für den Gebietstyp stadtkernnahes Altstadtgebiet die Ganglinien für die vier Nachfragegruppen für den Parkzielverkehr (Einfahrten in den Parkraum) in Abbildung 19, für den Parkquellverkehr in Abbildung 20 und für die Belegung in Abbildung 21 dargestellt. In Abbildung 22 erfolgt die Darstellung aggregiert über alle Nachfragegruppen.

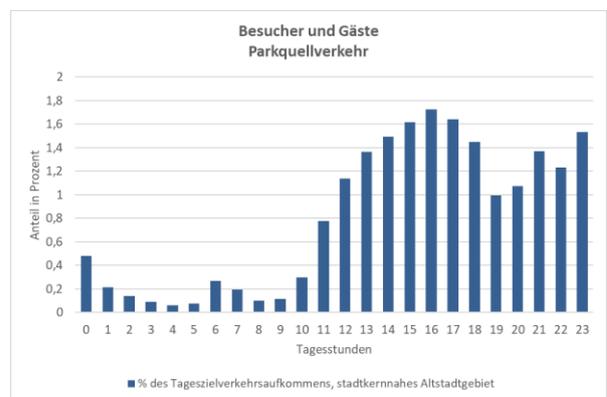
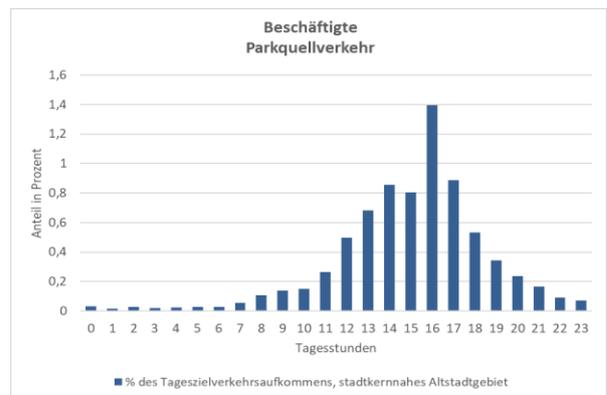
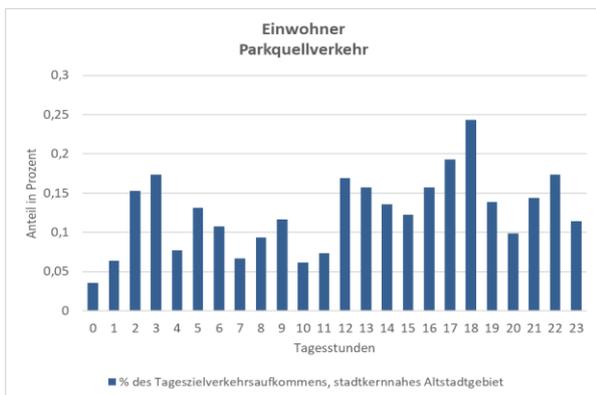
Über die GPS-Trip-Daten konnten für den Gebietstyp stadtkernnahes Altstadtgebiet nur aggregierte Ganglinien für den Parkziel- sowie Parkquellverkehr erzeugt werden (Abbildung 23).

Zusammenfassend lässt sich für den Gebietstyp stadtkernnahes Altstadtgebiet festhalten, dass aus den Daten der Parkraumbewirtschaftung sinnvolle Ganglinien sowohl aggregiert als auch nach Nachfragegruppen erzeugt werden können. Die aggregierten Ganglinien aus GPS-Trip-Daten zeigen einen ähnlichen Verlauf, basieren aber für diesen Gebietstyp auf vergleichsweise wenigen Beobachtungen.



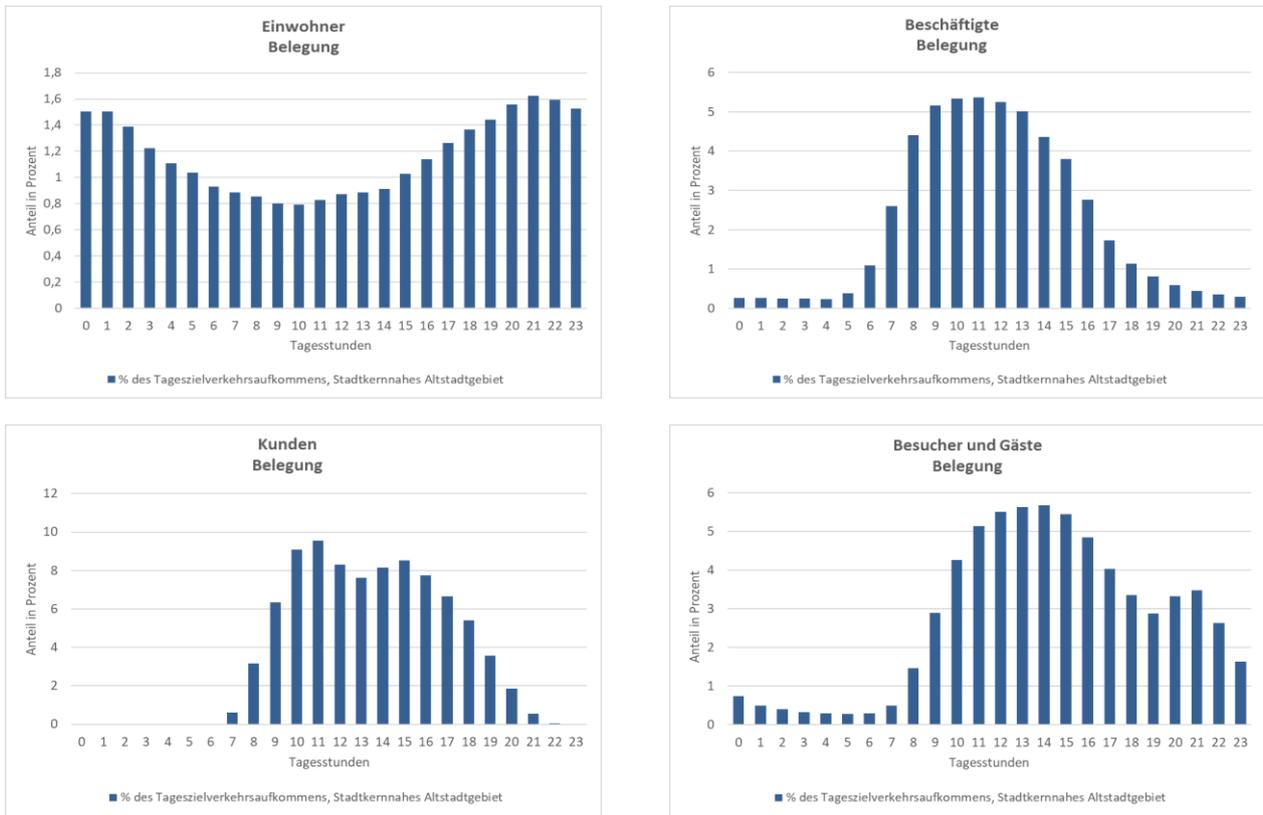
n = 984.186 Parkvorgänge im Gebietstyp Stadtkernnahes Altstadtgebiet

Abbildung 19: Ganglinien Parkzielverkehr, stadtkernnahes Altstadtgebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)



n = 984.033 Parkvorgänge im Gebietstyp Stadtkerngebiet

Abbildung 20: Ganglinien Parkquellverkehr, stadtkernnahes Altstadtgebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)



n = 2.696 (Ø TZV im Gebietstyp Stadtkernnahes Altstadtgebiet)

Abbildung 21: Ganglinien Belegung, stadtkernnahes Altstadtgebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)

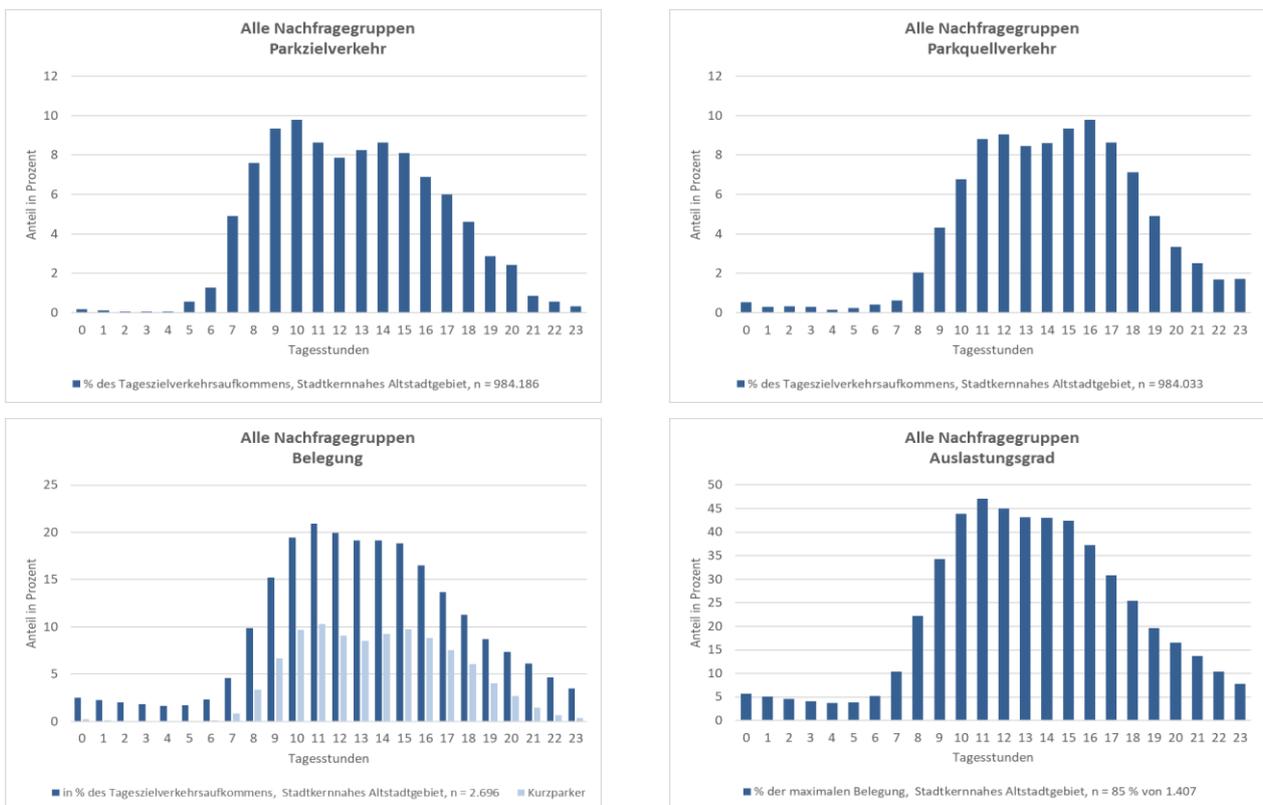


Abbildung 22: Ganglinien aggregiert, stadtkernnahes Altstadtgebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)

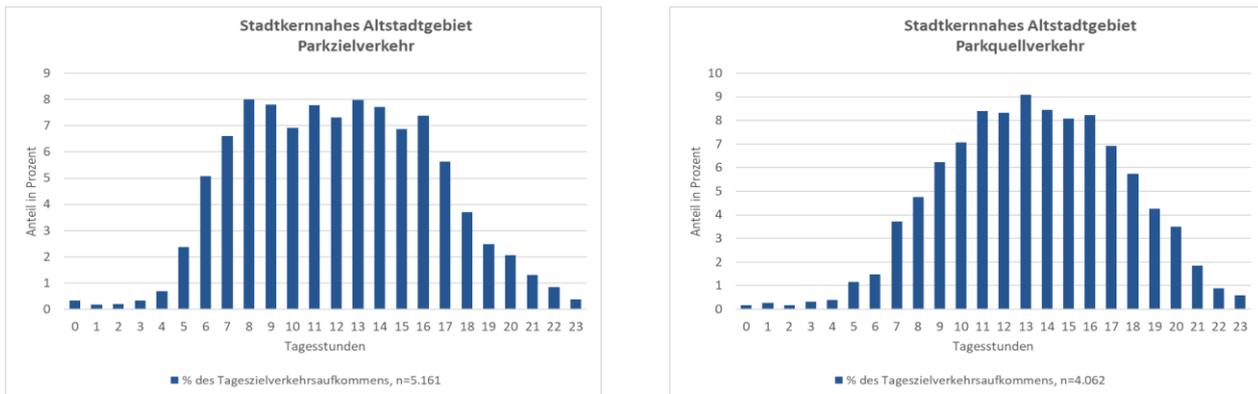


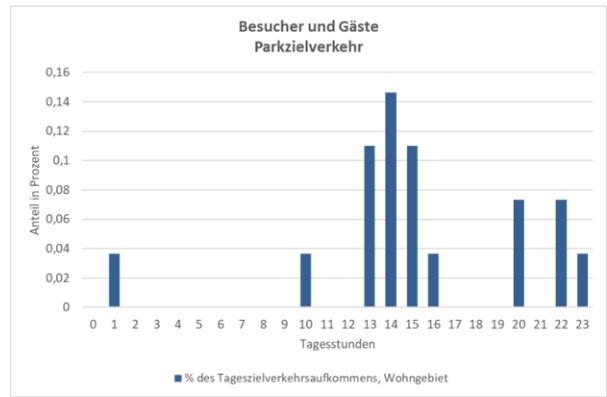
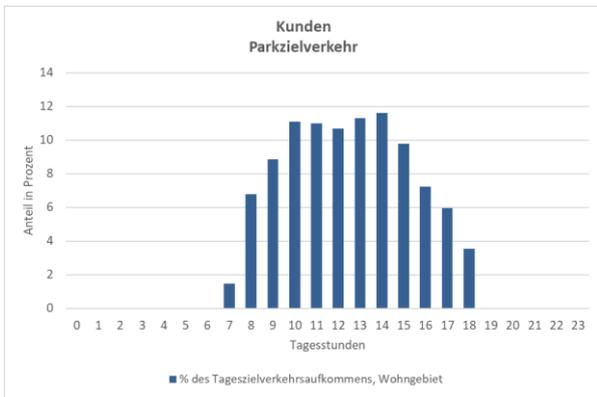
Abbildung 23: Ganglinien aggregiert, stadtkernnahes Altstadtgebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung)

6.3 Wohngebiet

Aus den Daten der Parkraumbewirtschaftung können für den Gebietstyp Wohngebiet nur Ganglinien für die Nachfragegruppen Kunden sowie Besucher für den Parkzielverkehr (Einfahrten in den Parkraum) in Abbildung 24 und für den Parkquellverkehr in Abbildung 25 mit allerdings sehr wenigen beobachteten Parkvorgängen dargestellt werden. Für die Nachfragegruppen Einwohner und Beschäftigte konnten keine Parkvorgänge in diesem Gebietstyp zugeordnet werden. Aufgrund der wenigen Beobachtungen können auch keine plausiblen Belegungsganglinien für diesen Gebietstyp erzeugt werden. In Abbildung 26 erfolgt die Darstellung aggregiert über die beiden Nachfragegruppen.

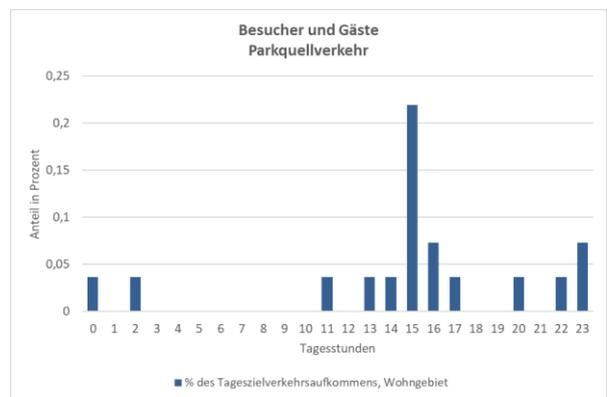
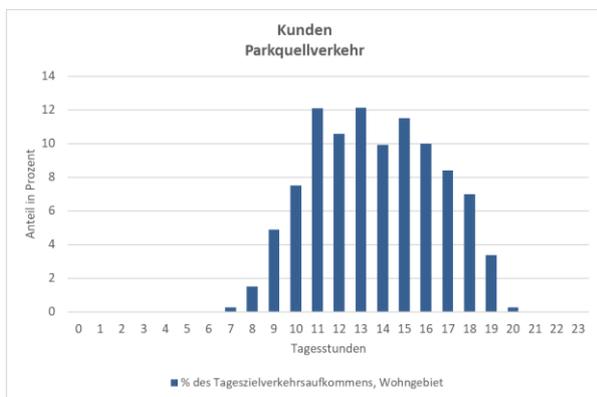
Über die GPS-Trip-Daten konnten für den Gebietstyp Wohngebiet nur aggregierte Ganglinien für den Parkziel- sowie Parkquellverkehr erzeugt werden (Abbildung 27).

Zusammenfassend lässt sich für den Gebietstyp Wohngebiet festhalten, dass aus Daten der Parkraumbewirtschaftung keine zufriedenstellenden Ganglinien erzeugt werden können, da die Datenmenge in diesem Gebietstyp nicht ausreichend ist. GPS-Trip-Daten bieten bereits jetzt eine alternative Datenquelle, wenn nur die aggregierten Daten betrachtet werden. Sofern eine sinnvolle Zuordnung der beobachteten Parkvorgänge zu den Nachfragegruppen gelingt, lassen sich auch nachfragegruppenspezifische Ganglinien erstellen.



n = 2.731 Parkvorgänge im Gebietstyp Wohngebiet

Abbildung 24: Ganglinien Parkzielverkehr, Wohngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)



n = 2.731 Parkvorgänge im Gebietstyp Wohngebiet

Abbildung 25: Ganglinien Parkquellverkehr, Wohngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)

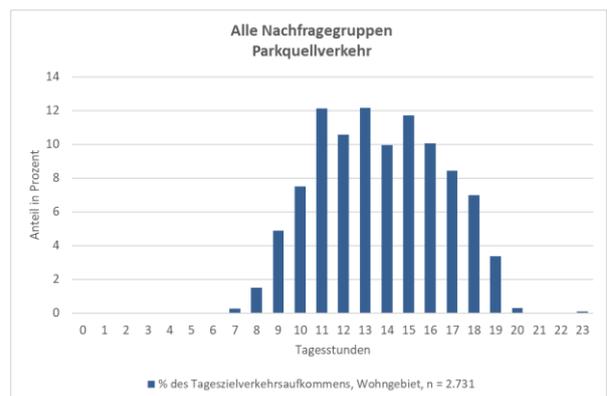
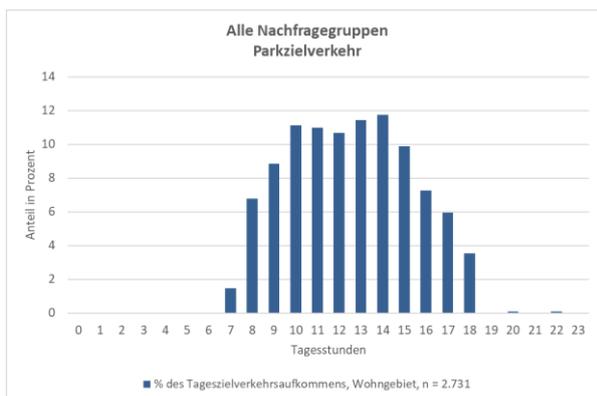


Abbildung 26: Ganglinien aggregiert, Wohngebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)

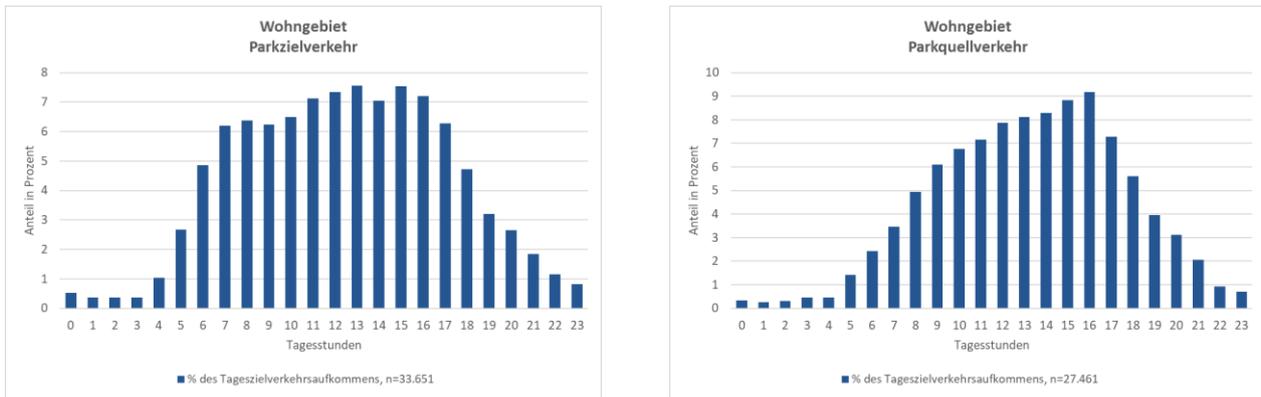


Abbildung 27: Ganglinien aggregiert, Wohngebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung)

6.4 Gewerbe- und Industriegebiet

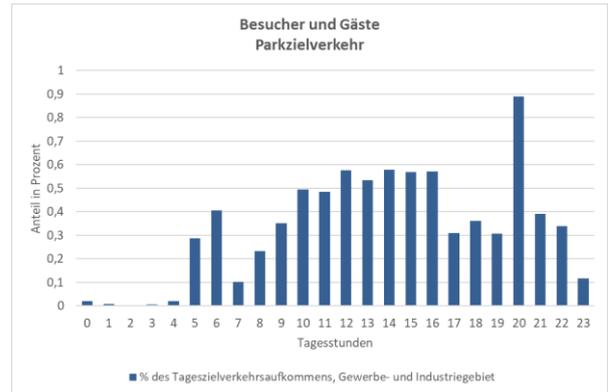
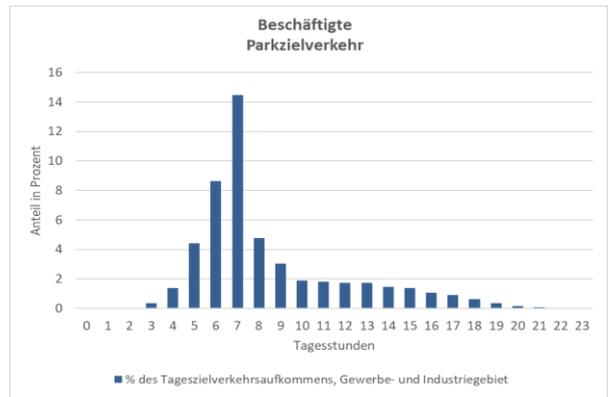
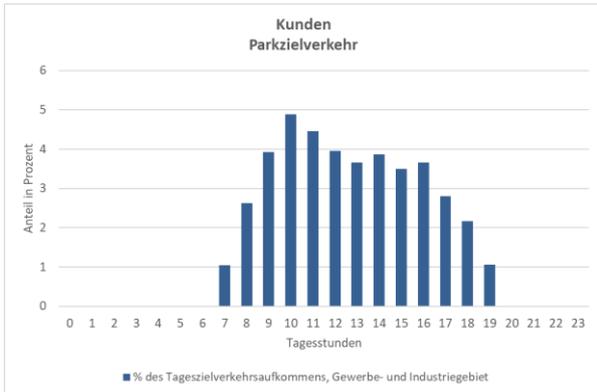
Über die Daten der Parkraumbewirtschaftung werden für den Gebietstyp Gewerbe- und Industriegebiet die Ganglinien des Parkzielverkehrs für die Nachfragegruppen Beschäftigte, Kunden sowie Besucher in Abbildung 28 und für die Nachfragegruppe der Kunden und Besucher für den Parkquellverkehr in Abbildung 29 dargestellt. Für die Nachfragegruppe Einwohner konnten keine Parkvorgänge in diesem Gebietstyp zugeordnet werden. In Abbildung 30 erfolgt die Darstellung aggregiert über alle Nachfragegruppen.

Da bei den Ausfahrten (wie in Abschnitt 5.1 erläutert) die Parkvorgänge über Tages- und Wochentickets nicht weiter betrachtet werden, kann für die Nachfragegruppe Beschäftigte in diesem Gebietstyp keine Ganglinie des Parkquellverkehrs erstellt werden. Aus demselben Grund sind keine validen Belegungsganglinien in diesem Gebietstyp darstellbar.

Über die GPS-Trip-Daten konnten für den Gebietstyp Gewerbe- und Industriegebiet aggregierte Ganglinien für den Parkziel- sowie Parkquellverkehr erzeugt werden (Abbildung 31).

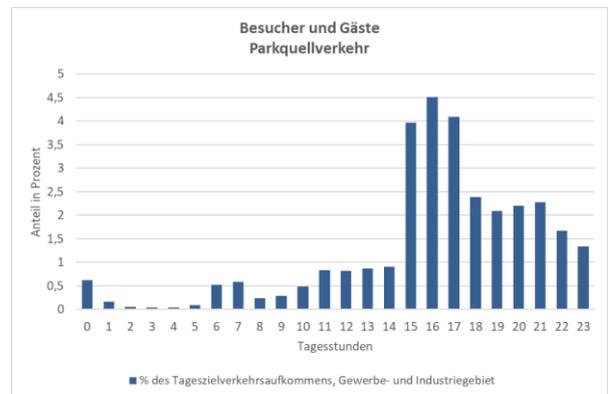
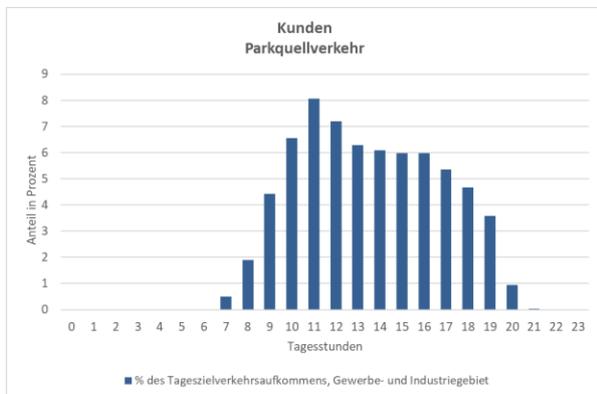
Aus den GPS-Trip-Daten konnten darüber hinaus über die Detektion regelmäßig wiederkehrender Parkvorgänge für den Gebietstyp Gewerbe- und Industriegebiet nachstehende Ganglinien für den Parkziel- sowie Parkquellverkehr für die Nachfragegruppe der Beschäftigten erzeugt werden (Abbildung 32).

Zusammenfassend lässt sich für den Gebietstyp Gewerbe- und Industriegebiet festhalten, dass eine Kombination beider Datenquellen sinnvoll erscheint. Aus den Daten der Parkraumbewirtschaftung ist der Parkquellverkehr und somit die Belegung nicht plausibel darstellbar ist. Aus den GPS-Trip-Daten können über die Detektion regelmäßig wiederkehrender Parkvorgänge aber sinnvolle Ganglinien für den Parkquellverkehr in der Nachfragegruppe der Beschäftigten erzeugt werden.



n = 103.022 Parkvorgänge im Gebietstyp Gewerbe- und Industriegebiet

Abbildung 28: Ganglinien Parkzielverkehr, Gewerbe- und Industriegebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)



n = 63.434 Parkvorgänge im Gebietstyp Gewerbe- und Industriegebiet

Abbildung 29: Ganglinien Parkquellverkehr, Gewerbe- und Industriegebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)

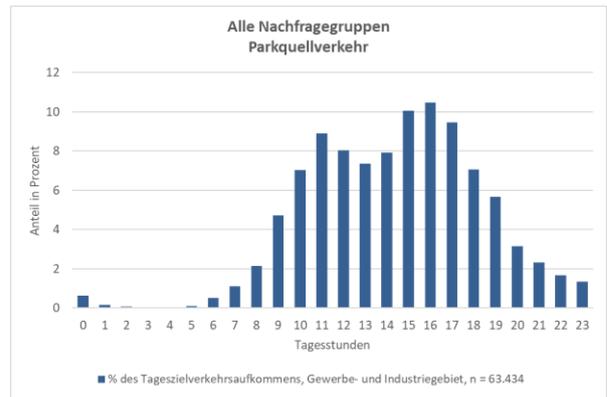
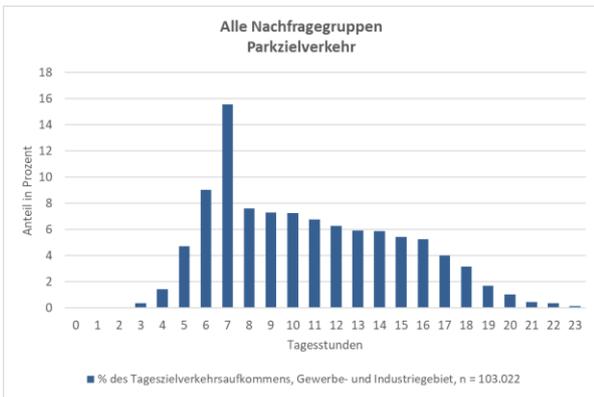


Abbildung 30: Ganglinien aggregiert, Gewerbe- und Industriegebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (e. D.)

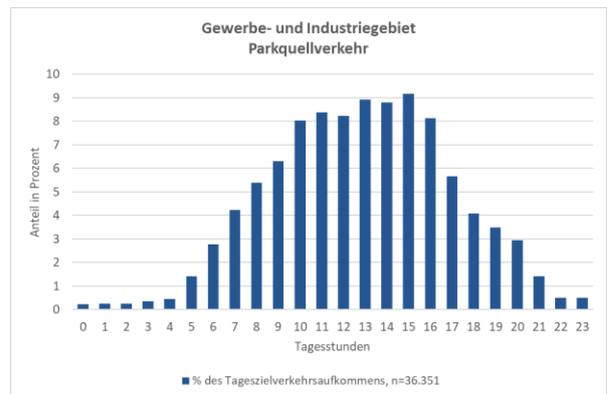
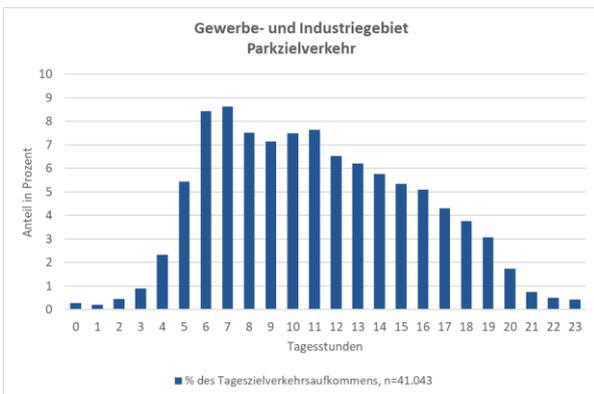


Abbildung 31: Ganglinien aggregiert, Gewerbe- und Industriegebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung)

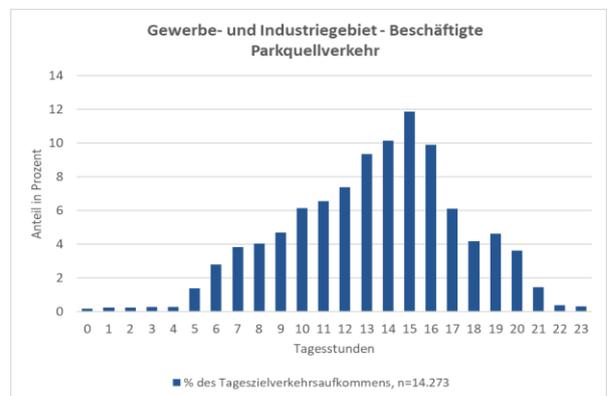
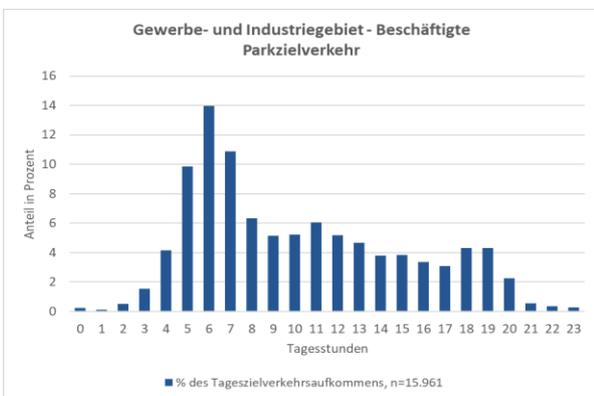


Abbildung 32: Ganglinien Beschäftigte, Gewerbe- und Industriegebiet, GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung)

6.5 P+R-Gebiet

Über die Daten der Parkraumbewirtschaftung können für den Gebietstyp P+R-Gebiet die Ganglinien nur für die Nachfragegruppe der Beschäftigten und nur für den Parkzielverkehr (Einfahrten in den Parkraum) in Abbildung 33 dargestellt werden. Da in diesem Gebietstyp die Parkraumbewirtschaftung im Untersuchungsgebiet nur Tages- bzw. Wochentickets vorhält, können für den Parkquellverkehr und die Parkraumbelastung (wie in Abschnitt 5.1 beschrieben) keine validen Ganglinien erzeugt werden.

Über die GPS-Trip-Daten konnten für den Gebietstyp P+R-Gebiet keine aussagekräftigen, aggregierten Ganglinien für den Parkziel- sowie Parkquellverkehr erzeugt werden, da die Datenmenge zu gering war (Anzahl der Parkvorgänge im Jahr 2019 für den Parkzielverkehr: 219 und für den Parkquellverkehr: 175).

Zusammenfassend lässt sich für den Gebietstyp P+R-Gebiet festhalten, dass aus den Daten der Parkraumbewirtschaftung sinnvolle Ganglinien für den Parkzielverkehr in der Nachfragegruppe der Beschäftigten erzeugt werden können. GPS-Trip-Daten sind in diesem Gebietstyp nicht sinnvoll nutzbar, da die die Anzahl der beobachteten Parkvorgänge zu gering ist.

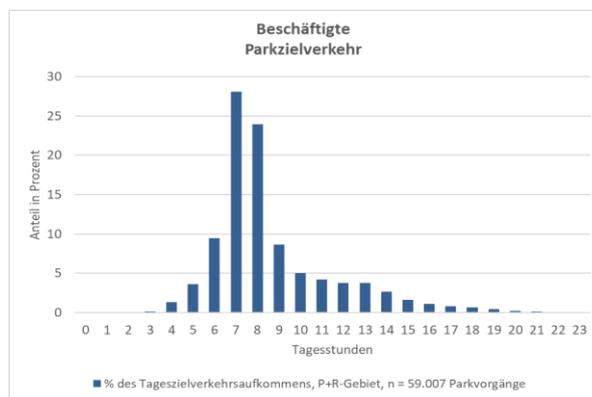


Abbildung 33: Ganglinien Parkzielverkehr, P+R-Gebiet, Daten Parkraumbewirtschaftung (eigene Darstellung)

6.6 Vergleich und Fazit

In Tabelle 8 werden die Ganglinien aus Daten der Parkraumbewirtschaftung mit den EAR-Ganglinien zusammenfassend verglichen.

Tabelle 8: Vergleich Ganglinien aus Daten Parkraumbewirtschaftung vs. EAR-Ganglinien (eigene Darstellung)

| Nachfrager | Einwohner | Beschäftigte | Kunden | Besucher und Gäste |
|---|--|---|--|--|
| Stadtkerngebiet | | | | |
| PZV | Späteren Nachmittagsstunden am höchsten. | ähnlich EAR | ähnlich EAR | In EAR nicht enthalten. |
| PQV | keine Aussage möglich | ähnlich EAR | ähnlich EAR | In EAR nicht enthalten. (Häufung um 22.00 Uhr) |
| Belegung | keine Aussage möglich | ähnlich EAR | ähnlich EAR | In EAR nicht enthalten. |
| Datenmenge | zu gering | ausreichend | hoch | ausreichend |
| Anmerkung | Einbezug AP möglich | | In EAR keine Abgrenzung zwischen Kunden vs. Besuchern. | |
| Stadtkernnahes Altstadtgebiet | | | | |
| PZV | ähnlich EAR | ähnlich EAR | ähnlich EAR | In EAR nicht enthalten. (Häufung um 20 Uhr) |
| PQV | ähnlich EAR | ähnlich EAR | ähnlich EAR | In EAR nicht enthalten. |
| Belegung | ähnlich EAR | ähnlich EAR | ähnlich EAR | In EAR nicht enthalten. |
| Datenmenge | gering | ausreichend | hoch | ausreichend |
| Anmerkung | Einbezug AP möglich | | In EAR keine Abgrenzung zwischen Kunden vs. Besuchern. | |
| Wohngebiet | | | | |
| PZV | nicht möglich | nicht möglich | In EAR nicht dargestellt. plausibler Verlauf | In EAR nicht dargestellt. |
| PQV | nicht möglich | nicht möglich | In EAR nicht dargestellt. plausibler Verlauf | In EAR nicht dargestellt. |
| Belegung | nicht möglich | nicht möglich | zu geringe Datenmenge | zu geringe Datenmenge |
| Datenmenge | keine | keine | gering | zu gering |
| Anmerkung | Einbezug AP möglich | | In EAR keine Abgrenzung zwischen Kunden vs. Besuchern. | |
| Gewerbe- und Industriegebiet | | | | |
| PZV | nicht möglich | ähnlich EAR | In EAR nicht dargestellt. plausibler Verlauf | In EAR nicht dargestellt. (Häufung um 20 Uhr) |
| PQV | nicht möglich | nur Kurzparktickets, nicht valide ermittelbar | In EAR nicht dargestellt. plausibler Verlauf | In EAR nicht dargestellt. plausibler Verlauf |
| Belegung | nicht möglich | nicht valide ermittelbar | nicht valide ermittelbar | nicht valide ermittelbar |
| Datenmenge | keine | ausreichend / zu gering | ausreichend | gering |
| Anmerkung | Einbezug AP möglich | Langzeitticketproblematik | In EAR keine Abgrenzung zwischen Kunden vs. Besuchern. | |
| P+R-Gebiet | | | | |
| PZV | nicht möglich | In EAR nicht dargestellt. plausibler Verlauf | nicht möglich | nicht möglich |
| PQV | nicht möglich | nicht valide ermittelbar | nicht möglich | nicht möglich |
| Belegung | nicht möglich | nicht valide ermittelbar | nicht möglich | nicht möglich |
| Datenmenge | keine | ausreichend bzw. keine | keine | keine |
| Anmerkung | | Langzeitticketproblematik | In EAR keine Abgrenzung zwischen Kunden vs. Besuchern. | |
| PZV: Parkzielverkehr, PQV: Parkquellverkehr, AP: Anwohnerparken | | | | |

Für die Daten der Parkraumbewirtschaftung lässt sich also festhalten, dass in den Gebietstypen Stadtkerngebiet sowie stadtkernnahes Altstadtgebiet bis auf die Nachfragegruppe der Einwohner die Datenmenge ausreichend bis hoch ist. In der Nachfragegruppe der Einwohner könnte jedoch der Einbezug von Informationen zu Anwohnerparkausweisen Abhilfe schaffen. Die erzeugten Ganglinien sind plausibel und zeigen einen ähnlichen Kurvenverlauf wie die EAR-Ganglinien.

Im Gebietstyp Wohngebiet ist die Datenmenge zu gering, um plausible Ganglinien zu erzeugen. Hier könnten GPS-Trip-Daten sinnvoll genutzt werden, da die Datenmenge in diesem Gebietstyp sehr hoch ist. Allerdings müssten an dieser Stelle methodische Fragen, wie die Ermittlung der Parkdauern und damit die Zuordnung von Parkvorgängen zu den Nachfragegruppen gelöst werden.

Für die Gebietstypen Gewerbe- und Industriegebiet sowie P+R-Gebiet können über die Daten der Parkraumbewirtschaftung plausible Ganglinien für den Parkzielverkehr in der Nachfragegruppe der Beschäftigten erzeugt werden. Die Darstellung von Ganglinien des Parkquellverkehrs sowie der Parkraumbelastung sind aufgrund der Nutzung von Tages- und Wochentickets und damit fehlender Informationen zum Parkende und somit der Parkdauer nicht darstellbar. Alternativ könnten GPS-Trip-Daten für den Gebietstyp Gewerbe- und Industriegebiet hier Abhilfe schaffen. Für den Gebietstyp P+R-Gebiet sind GPS-Trip-Daten keine Alternative, da hier die beobachteten Parkvorgänge zu gering sind. Tabelle 9 fasst die Eignung der Datenquellen nach Gebietstypen und Nachfragegruppen zusammen.

Tabelle 9: Eignung der Datenquellen nach Gebietstypen und Nachfragegruppen (eigene Darstellung)

| Merkmale | | Daten der Parkraumbewirtschaftung | | | | | GPS-Trip-Daten | | | | |
|---------------------|---|---|-----|-----|------|------|--|---|---|------|------|
| | | Nachfragegruppen | | | | | | | | | |
| Gebietstypen | Stadtkerngebiet | Empfohlene Datenquelle + Einbezug von Anwohnerparkausweisen | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | alle | 1 | 2 | 3 | 4 | alle |
| | | x | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | x | (✓) |
| | Stadtkernnahes Altstadtgebiet | Empfohlene Datenquelle + Einbezug von Anwohnerparkausweisen | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | alle | 1 | 2 | 3 | 4 | alle |
| | | (✓) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | x | x | x | x | (✓) |
| | Wohngebiet | | | | | | Empfohlene Datenquelle, aber Lösungen für Zuordnung zu Nachfragegruppen nötig! | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | alle | 1 | 2 | 3 | 4 | alle |
| | | x | x | (✓) | x | x | x | x | x | x | (✓) |
| | Gewerbe- und Industriegebiet | Geeignet, aber Lösungen für Ermittlung des Parkendes/Parkdauer bei Tagestickets | | | | | Geeignet, aber Lösungen für Zuordnung zu weiteren Nachfragegruppen nötig! | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | alle | 1 | 2 | 3 | 4 | alle |
| | | x | (✓) | (✓) | (✓) | (✓) | x | ✓ | x | x | (✓) |
| P+R-Gebiet | Empfohlene Datenquelle, aber Lösungen für Ermittlung des Parkendes/Parkdauer bei Tagestickets | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | alle | 1 | 2 | 3 | 4 | alle | |
| | x | (✓) | x | x | x | x | x | x | x | x | |

1: Einwohner, 2: Beschäftigte, 3: Kunden, 4: Besucher
 ✓: gut geeignet, (✓): eingeschränkt geeignet, x: nicht geeignet

7 Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarf

Die Handlungsempfehlungen richten sich zum einen an Kommunen sowie die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) sowie zum anderen an die Forschung.

Kommunen und kommunale Parkraumbewirtschaftung

Es konnte gezeigt werden, dass Kommunen über ihre **Parkraumbewirtschaftungsdaten** Ganglinien des ruhenden Verkehrs nach Nachfragegruppen insbesondere in Gebietstypen mit hohem Parkdruck (*Stadtkerngebiet* und *stadtkernnahes Altstadtgebiet*) erzeugen können.

Im Gebietstyp *Wohngebiet* sind Daten der Parkraumbewirtschaftung nicht für eine Ganglinienerstellung geeignet.

Grundsätzlich können diese Daten auch in den Gebietstypen *Gewerbe- und Industriegebiet* bzw. *P+R-Gebiet* für die Erstellung der Ganglinien des Parkzielverkehrs genutzt werden. Um darüber aber auch Ganglinien des Parkquellverkehrs und der Parkraumbewirtschaftung in diesen Gebietstypen ermitteln zu können, müssten Lösungen im Rahmen der Parkraumbewirtschaftung gefunden werden, die eine exakte Ermittlung des Parkendes möglich machen.

Eine jährliche, automatisierte Aktualisierung dieser Ganglinien ist problemlos möglich, sofern die zugrundeliegende Datenstruktur unverändert bleibt.

Die Nutzung von **GPS-Trip-Daten** zur Ganglinienerstellung ist eingeschränkt empfehlenswert. Einerseits sind die Beschaffungskosten relativ hoch und andererseits sind fortgeschrittene Kenntnisse in Bezug auf die Datenverarbeitung und -analyse nötig.

GPS-Trip-Daten können bis auf den Gebietstyp *P+R-Gebiet* plausible aggregierte Ganglinien liefern. Im Gebietstyp *Wohngebiet* stellen GPS-Trip-Daten eine gute Datenquelle dar, was deshalb von Bedeutung ist, da Daten der Parkraumbewirtschaftung hier kaum vorliegen.

Allerdings müssen noch Lösungen gefunden werden, wie Parkvorgänge den Nachfragegruppen zugeordnet werden können. Über die Detektion sich regelmäßig wiederholender Parkvorgänge konnte gezeigt werden, dass auch nachfragegruppenspezifische Ganglinien (*Beschäftigte* im Gebietstyp *Gewerbe- und Industriegebiet*) möglich sind. Ein Lösungsansatz, welcher geographische Informationen nutzt, wird im Abschnitt 8 vorgestellt.

Die **Durchführung von Verkehrserhebungen** gemäß den Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE) der FGSV ist also weiterhin – wenn auch in eingeschränktem Maße – dort nötig, wo keine (kaum) Daten der Parkraumbewirtschaftung vorliegen.

Sollen die Daten der Parkraumbewirtschaftung für die Ganglinienerstellung auf kommunaler Ebene genutzt werden, sollte das Parkraummanagement die **technische Infrastruktur** möglichst so konzipieren, dass auch bei der Benutzung von Tages- und Wochenkarten die Ausfahrt aus dem Parkraum datenmäßig erfasst und gespeichert wird. Empfehlenswert wäre außerdem ein differenzierteres Ticketsystem, mit welchem bessere Rückschlüsse auf die Nutzergruppe gezogen werden können. Vorstellbar wären hier z. B. „Punktekarten für Beschäftigte“, bei welchen sowohl die Einfahrt- und die Ausfahrt in den Parkraum aufgezeichnet werden. Auch bei der Auswahl der Schrankenanlagen in und aus dem Parkraum müsste darauf geachtet werden, dass für einen

Parkvorgang sowohl die Ein- als auch die Ausfahrt eindeutig zuordenbar aufgezeichnet wird. Diese Daten sind natürlich nicht nur für die Erstellung von Ganglinien relevant, sondern für viele Aspekte des modernen Parkraummanagements.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrstechnik (FGSV)

Wie in Tabelle 8 aufgezeigt, sind die Ganglinien aus Daten der Parkraumbewirtschaftung für einige Gebietstypen mit den Ganglinien aus den Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR) vergleichbar. Teilweise gehen sie über die Informationen aus den EAR hinaus (beispielsweise Ganglinien für die Nachfragegruppe der Besucher). Teilweise können Informationen, wie sie in den EAR dargestellt sind, aber nicht reproduziert werden, beispielsweise Ganglinien für den Parkquellverkehr und die Belegung im Gebietstyp Gewerbe- und Industrie.

Im Kontext der Methodik der differenzierten Parkraumprognose können Daten der Parkraumbewirtschaftung und GPS-Trip-Daten eine gute Schätzung für das Tageszielverkehrsaufkommen und je nach Ticketsystem auch für das Parkquellverkehrsaufkommen und die Parkraumbelastung liefern.

Forschung

Forschungsbedarf besteht in Bezug auf die Zuordnung von Parkvorgängen zu Nachfragegruppen. Eine Schwierigkeit bei der datengestützten Ermittlung von Ganglinien ist, dass man beobachtete Parkvorgänge – egal welche Methode verwendet wird – den Nachfragegruppen zuordnen muss. Diesbezüglich werden Zuordnungsvorschriften aufgestellt, welche den Anforderungen der einzelnen Nachfragegruppen an den Parkraum Rechnung tragen sollen. Zu untersuchen wäre, ob vorliegende Daten mit Hilfe von statistischen Methoden zur Gruppierung von Fällen (z. B. Clusteranalyse) analysiert werden können, um zu ermitteln, ob darüber trennscharfe Nachfragegruppen – sozusagen aus den Daten heraus – ermittelt werden können. Eine mögliche Methode für GPS-Trip-Daten wird in Kapitel 8 näher beschrieben.

GPS-Trip-Daten werden als moderner Datenschatz angesehen, mit welchem man Fragen rund um das Thema Mobilität und Verkehr analysieren kann. Im Forschungsprojekt haben wir aufgezeigt, dass die Nutzung von GPS-Trip-Daten noch viele zu klärende, offene Forschungsfragen, beispielsweise die Ermittlung von Parkdauern, enthält, welche in weiteren Forschungsprojekten beantwortet werden sollten.

8 Weiterer Forschungsbedarf: Kategorisierung der Parkvorgänge in den GPS-Trip-Daten mittels geographischer Informationen

Ein besseres Verständnis des Parkprozesses und der effektiven Kriterien für Parkmerkmale kann zu einer Verbesserung der bestehenden städtischen Infrastruktur führen und auch bei der Gestaltung künftiger Parkeinrichtungen helfen. Eine mögliche Maßnahme zum Thema ist das Clustering der Parkplätze und -prozesse. Das Ziel des Clustering ist es, mit Hilfe mathematischer Modelle Datenpunkte in möglichst homogene Cluster zu gruppieren, indem die Ähnlichkeiten innerhalb der Gruppe maximiert und die Ähnlichkeiten zwischen den Gruppen minimiert werden (Pantel und Lin 2002). Die Notwendigkeit, Muster und Korrelationen zwischen Merkmalen zu entdecken, hat diesem Thema eine wachsende Bedeutung verliehen (Zhang et al. 1997). Es sind verschiedene methodische Ansätze möglich. Der erste Ansatz besteht darin, Parkplätze nach ihren geografischen Eigenschaften zu segmentieren. Der komplexere Ansatz ist die Segmentierung von Parkvorgängen auf der Grundlage ihrer Charakteristika (wie Datum und Uhrzeit des Parkbeginns) und auch der geografischen

Eigenschaften des Parkplatzes. Die sich daraus ergebenden Cluster von Parkplätzen können zu wertvollen Informationen führen, die für weitere prädiktive Analysen wie die Bestimmung der Dauer der Parkplatzsuche oder die Vorhersage der Parkdauer hilfreich sein können.

Um diese Idee vorzustellen, wird eine einfache Demonstration der Parkplatzgruppierung durchgeführt. Der Datensatz besteht aus etwa 6700 Parkvorgängen, die jeweils mit einem Längengrad und einem Breitengrad verknüpft sind. Um geografische Informationen über diese Parkplätze abzurufen, wird die Foursquare-API verwendet. Foursquare ist ein Technologieunternehmen, das Standortinformationen in seiner mobilen App verwendet, um seinen Benutzern eine lokale Such- und Auffindungsfunktion zur Verfügung zu stellen. Mit mehr als 100 Millionen Orten, 50 Millionen monatlich aktiven Benutzern und 3 Milliarden monatlichen Check-Ins ist Foursquare einer der leistungsstärksten Anbieter von Standortdaten weltweit (Smith 2020). Mit Hilfe der „search“ und „explore“ Funktionen der API werden alle möglichen Orte (in der Foursquare-Datenbank vorhandene Orte) innerhalb eines Umkreises von 500 Metern um den Parkplatz heruntergeladen. Orten sind beispielsweise ein McDonald's, ein Lidl Supermarkt oder eine H&M Filiale. Jedem Standort ist eine Standortkategorie zugeordnet (z. B. Restaurant, Supermarkt und Bekleidungsgeschäft), mit der die Anzahl der Plätze in jeder Kategorie für jeden Parkplatz gezählt werden kann. Nachdem die Anzahl der Plätze in jeder Kategorie für alle Datenpunkte gezählt ist, werden sie für die Anwendung des mathematischen Modells vorbereitet, indem sie in eine tabellarische Form gebracht werden.

K-Means, einer der am häufigsten verwendeten Clustering-Algorithmen, wird für diese Demonstration verwendet. Er zielt darauf ab, n Beobachtungen (wobei jede Beobachtung ein d -dimensionaler reeller Vektor ist) in k Mengen aufzuteilen, um die Summe der Quadrate innerhalb des Clusters zu minimieren. Dies bedeutet (Piech 2020):

$$\arg \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x \in S_i} \|x - \mu_i\|^2$$

Es wird die Implementierung des Scikit-Learn von K-Means verwendet, die eine iterative Verfeinerungstechnik verwendet, die als Lloyd's-Algorithmus bezeichnet wird (Pedregosa et al. 2012). Im ersten Schritt werden Beobachtungen zufällig einem Cluster zugewiesen und die Clustermittelwerte berechnet. Dann wird für jeden Datenpunkt der euklidische Abstand zu jedem Clustermittelwert berechnet und der Datenpunkt dem Cluster mit dem nächsten Mittelwert zugewiesen. Es iteriert, indem die Clustermittel neu berechnet und die Datenpunkte neu zugewiesen werden. Es konvergiert auf ein Minimum, wenn sich die Zuordnungen nicht mehr ändern (MacKay 2003).

Vorerst ist die Anzahl der Cluster festgelegt, ohne die optimale Anzahl von Clustern zu untersuchen. Der Algorithmus wird ausgeführt. Wenn $k = 4$, werden die Parkplätze zu 4 Clustern gruppiert. In Abbildung 34 ist eine geografische Visualisierung der Cluster zu sehen.

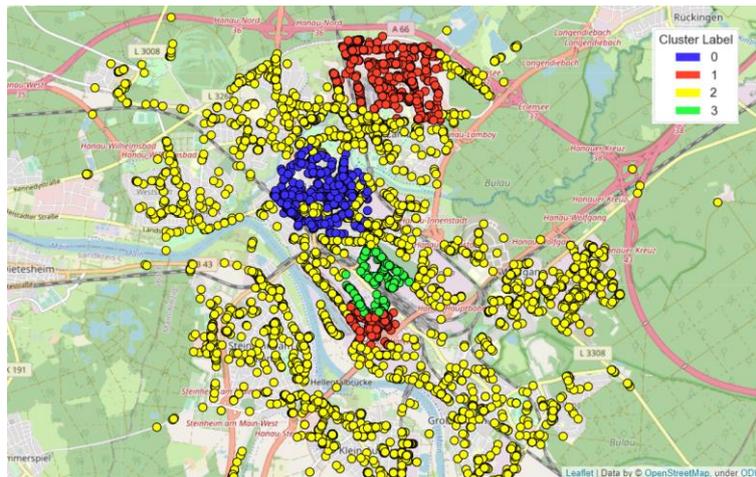


Abbildung 34: Stadt Hanau, Parkplätze in 4 Gruppen zugeordnet (eigene Darstellung)

Abbildung 35 zeigt den Unterschied zwischen 15 Ortskategorien in den 4 Clustern. Diese Ortskategorien weisen die höchste Varianz in den Clustern auf.⁶ Wie man sehen kann, repräsentiert Cluster 0 möglicherweise das Stadtzentrum mit vielen Cafés, Restaurants, Bekleidungsgeschäften, Friseursalons und anderen ähnlichen Orten. Cluster 1 liegt nahe der Stadtgrenze, entfernt vom Stadtzentrum mit Baumärkten und Autohäusern. Cluster 2 kann reine Wohngebiete umfassen, in denen es nicht viele Einrichtungen gibt und die hauptsächlich aus Häusern besteht. Cluster 3 kann sich auf den Hauptbahnhof beziehen und enthält viele Bahnsteige.

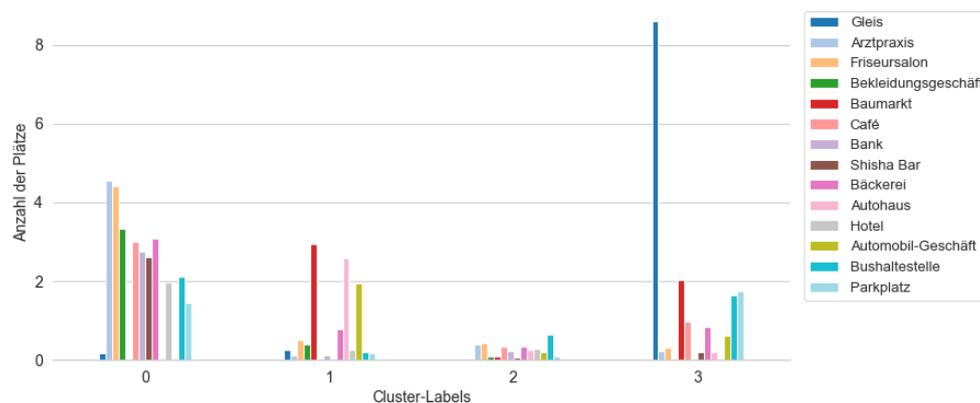


Abbildung 35: Cluster Zentroids (eigene Darstellung)

Obwohl K-Means ein leistungsfähiger Algorithmus ist, hat er einige Nachteile. Zum Beispiel muss k manuell gewählt werden, es kann Ausreißer nicht vernachlässigen, es hat kein intrinsisches Maß für die Unsicherheit und erlaubt keine Überlappung von Clustern. Um ein besseres Clustering zu erreichen, wird empfohlen, komplexere Clustering-Techniken wie Expectation-Maximization (EM), Clustering unter Verwendung von Gaussian Mixture Models (GMM) oder Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) zu verwenden. Einige andere Algorithmen, die mit Clustering kombiniert werden können, um die Modelle zu optimieren, sind Dimensionsreduktionsmodelle wie PCA oder Skalierung der Daten.

⁶ Die Varianz ist für jede der 310 Ortskategorien (Dimensionen) berechnet. Die 15 Kategorien mit der höchsten Varianz sind für die Visualisierung in Abbildung 35 ausgewählt.

9 Fazit

Das Forschungsprojekt untersuchte, ob Daten aus der Parkraumbewirtschaftung (Parkhäuser und Parkscheinautomaten) sowie GPS-Trip-Daten mögliche Datenquellen zur Erstellung von Ganglinien nach Gebietstypen und Nachfragegruppen darstellen.

Für das Untersuchungsgebiet Hanau wurde für das Jahr 2019 mit beiden Datenquellen analysiert, für welche Gebietstyp-Nachfragegruppe-Kombinationen plausible Tagesganglinien sowohl für den Parkziel- als auch den Parkquellverkehr sowie die Belegung erzeugt werden können. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse mit den Ganglinien aus den Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs (EAR) verglichen.

Die Forschungsergebnisse zeigen u.a., dass in Gebieten mit hohem Parkdruck (Stadtkerngebiet, stadtkernnahes Altstadtgebiet) Daten aus der Parkraumbewirtschaftung – als „kostengünstige“ Datenquelle – gut geeignet sind, um aktuelle Tagesganglinien zu erzeugen. Für die Nutzung dieser Daten in den Gebietstypen Gewerbe- und Industrie sowie P+R-Gebiet sollte das Parkraummanagement ein geeignetes Parkraumbewirtschaftungskonzept erarbeiten. Insbesondere sollte sichergestellt sein, dass für jeden Parkvorgang sowohl die Einfahrt als auch die Ausfahrt in den bzw. aus dem Parkraum erfasst werden. Darüber hinaus wäre eine differenziertere Tarifgestaltung vorteilhaft, da darüber Informationen für die Nachfragegruppenzuordnung genutzt werden könnten. Dies wäre auch hilfreich für andere Aspekten des datengestützten Parkraummanagements.

Die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt zeigen auch, dass GPS-Trip-Daten (bisher nur) eingeschränkt anwendbar sind. GPS-Trip-Daten wären eine geeignete Datenquelle, um im Gebietstyp Wohngebiet Ganglinien zu erstellen, wo Daten aus der Parkraumbewirtschaftung kaum verfügbar sind. GPS-Trip-Daten sind allerdings sehr kostspielig und es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, unter anderem, wie aus GPS-Weg- und Zeitdaten sinnvoll Parkdauern ermittelt und wie Parkvorgänge Nachfragegruppen zugeordnet werden können. Ein Verfahren, welches eine mögliche Zuordnung zu Nachfragegruppen ohne die Kenntnis der Parkdauer ermöglicht, wurde darüber hinaus vorgestellt.

III. Literaturverzeichnis

- Agora Verkehrswende (Hg.) (2018): Öffentlicher Raum ist mehr wert. Ein Rechtsgutachten zu den Handlungsspielräumen in Kommunen. Online verfügbar unter https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Oeffentlicher_Raum_ist_mehr_wert/Agora_Verkehrswende_Rechtsgutachten_oeffentlicher_Raum.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2020.
- Bill, R. (2016): Grundlagen der Geoinformationssysteme. 6. Aufl. Berlin: Wichmann.
- Ester, M.; Kriegel, H. P.; Sander, J.; Xu, X. (1996): A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. In: *Proceedings of 2. International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining 96* (34), S. 226–241.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (2005): Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs. EAR 05. Köln.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (2012): Empfehlungen für Verkehrserhebungen. EVE. Köln.
- MacKay, David J. C. (2003): Information Theory, Inference and Learning Algorithms. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pantel, Patrick; Lin, Dekang (2002): Document clustering with committees. In: Association for Computing Machinery (Hg.): 25th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (SIGIR '02). Association for Computing Machinery, S. 199–206.
- Pedregosa, F.; Varoquaux, G.; Gramfort, A.; Michel, V.; Thirion, B.; Grisel, O. et al. (2012): Scikit-learn: Machine Learning in Python. In: *Journal of Machine Learning Research* 12, S. 2825–2830.
- Piech, Chris (2020): Stanford. Online verfügbar unter <https://stanford.edu/~cpiech/cs221/handouts/kmeans.html>.
- Rikus, Simon; Hoffmann, Stephan; Ungureanu, Tudor; Rommerskirchen, Stefan; Plesker, Miriam (2015): Auskunft über verfügbare Parkplätze in Städten. FAT Schriftenreihe 271. Hg. v. Forschungsvereinigung Automobiltechnik e. V. Prognos AG. Berlin.
- Schäfer, Petra; Lux, Katharina; Wolf, Marco; Hagen, Tobias; Celebi, Kaan (2019): Entwicklung von übertragbaren Erhebungsmethoden unter Berücksichtigung innovativer Technologien zur Parkraumdatengenerierung und Digitalisierung des Parkraums - ParkenDigital. Frankfurt University of Applied Sciences. Online verfügbar unter https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich_1/FFin/Neue_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2019/ParkenDigital_Bericht_FRA-UAS.pdf, zuletzt geprüft am 28.08.2020.
- Schäfer, Petra; Quitta, Antje; Blume, Senja; Schocke, Kai-Oliver; Höhl, Silke; Kämmer, Antje; Brandt, Jesse (2017): Wirtschaftsverkehr 2.0. Analyse und Empfehlungen für Belieferungsstrategien der KEP-Branche im innerstädtischen Bereich. Forschungsbericht. Frankfurt University of Applied Sciences. Frankfurt am Main.
- Smith, Craig (2020): expandedramblings. Online verfügbar unter <https://expandedramblings.com/index.php/by-the-numbers-interesting-foursquare-user-stats/>.
- Topp, Hartmut H. (1991): Parking policies in large cities in Germany. In: *Transportation* 18 (1), S. 3–21. DOI: 10.1007/BF00150556.
- Zhang, T.; Ramakrishnan, T.; Livny, M. (1997): BIRCH: A New Data Clustering Algorithm and Its Applications: Data Mining and Knowledge Discovery.
- Zichar, Marianna (2012): Geovisualization based upon KML. In: *Agrárinformatika / Agricultural Informatics* 3 (1), S. 19–26.

Anhang

Tabelle 10: Methodische Schritte Parkhaus- und Parkscheinautomatendaten (eigene Darstellung)

| Schritte | Erläuterung |
|---|--|
| Datenaufbereitung | |
| Format, Größe, Quelle | 1: Excel-Datei (csv), 800 MB, Hanauer Parkhaus GmbH 2: Excel-Datei (csv), 150 MB, Hanauer Parkhaus GmbH (Flowbird Deutschland GmbH) |
| Statistik-Software | Stata |
| In den Ursprungsdaten enthaltene Variablen | 1: Carpark (Nummer, Beschreibung), Datum und Uhrzeit der Einfahrt, Device-Informationen, Artikelkategorie (z. B. Kurzparkticket, Dauerparkkarte) und Artikeldesign (zusätzliche Informationen zu Dauerparkkarten und Langzeittickets), Parkdauer, Datum und Uhrzeit der Ausfahrt 2: Parkscheinautomat (Nummer und Standortbeschreibung), Datum und Uhrzeit der Bezahlung, bezahlter Betrag in €, bezahlte Dauer in Minuten, gesamte Dauer in Minuten (= bezahlte Dauer in Minuten plus gebührenfreie Zeitperiode), Nutzung der Brötchentaste |
| Aufbereitete Variablen | 1: <u>Parkbeginn</u> : Wochentag (Berücksichtigung von Feiertagen), Datum, Uhrzeit der Einfahrt; <u>Parkende</u> *: Datum, Uhrzeit der Ausfahrt; Erzeugen der Variablen Gebiet (= 5 Gebietstypen) und Nachfrage (= 4 Nachfragegruppen) 2: <u>Parkbeginn</u> : Wochentag (Berücksichtigung von Feiertagen), Datum, Uhrzeit des Bezahlvorgangs; <u>Parkdauer</u> (= bezahlte Minuten plus 5 Minuten, Brötchentaste (= 15 plus 5 Minuten)); <u>Parkende</u> ** : Parkbeginn plus Parkdauer; Erzeugen der Variablen Gebiet (= 5 Gebietstypen) und Nachfrage (=4 Nachfragegruppen) |
| Zuordnung der einzelnen Parkvorgänge zu | |
| Nachfragegruppen | vgl. Abschnitt 5.3 |
| Gebietstypen | vgl. Abschnitt 5.2 |
| Datenauswertung | |
| Ermittlung der Einfahrten (Parkzielverkehr) | Aufaddieren der Einfahrten (Parkbeginn) für jede Tagesstunde und für jeden Parkscheinautomat bzw. Carpark nach Nachfragegruppe und Tag des Jahres 2019 |
| Ermittlung der Ausfahrten (Parkquellverkehr) | Aufaddieren der Ausfahrten (Parkende) für jede Tagesstunde und für jeden Parkscheinautomat bzw. Carpark nach Nachfragegruppe und Tag des Jahres 2019 |
| Ermittlung der Belegung (Parkraumbellegung) | Ermittlung der Parkraumbellegung für jede Minute des Jahres 2019 und jeden Parkscheinautomaten bzw. Carpark nach Nachfragegruppe durch das Zählen der zeitlich überlappenden Parkvorgänge. Dann Berechnung stündlicher Durchschnitte und Aggregation. |
| Anteil Kurzparker (Ultrakurzparker) an der Parkraumbellegung | Ermittlung der Parkraumbellegung für jede Minute des Jahres 2019 und jeden Parkscheinautomat bzw. Carpark nach Nachfragegruppe für Parkdauern kleiner 3 Stunden bzw. kleiner 30 Minuten. |
| Datenzusammenführung Parkscheinautomaten- und Parkhausdaten | |
| 1: Parkhausdaten, 2: Parkscheinautomatendaten *: Für Parkvorgänge mit einer Parkdauer = 0 wurden die Parkdauer über ein Regressionsmodell geschätzt. **: Parkvorgänge bei welchen Tages- oder Wochentickets genutzt wurden, werden aus der Ermittlung der Ganglinien für den Parkquellverkehr und Belegungsganglinien ausgeschlossen. | |

Tabelle 11: Methodische Schritte GPS-Trip-Daten (eigene Darstellung)

| Schritte | Erläuterung |
|---|---|
| Datenaufbereitung | |
| Format, Größe, Quelle | Trip und Waypoints-Datei 39 GB / Compress (.gz), Excel-Dateien (csv), Inrix |
| Statistik-Software | Python 3.7 und Python libraries: Pandas, sklearn, geopandas, geopy |
| In den Ursprungsdaten enthaltene Variablen | <p>1. Trip Date: TripId, DeviceId, ProviderId, Mode, StartDate, StartWDay, EndDate, EndWDay, StartLocLat, StartLocLon, EndLocLat, EndLocLon, IsStartHome, IsEndHome, GeospatialType, ProviderType, ProviderDrivingProfile, VehicleWeightClass, ProbeSourceType, OriginZoneName, DestinationZoneName, MultipleZones, MultipleCorridors, EndpointType, TripMeanSpeedKph, TripMaxSpeedKph, TripDistanceMeters, MovementType, OriginCbg, DestCbg, StartTimezone, EndTimezone, WaypointFreqSec, StartQk, EndQk.</p> <p>2. Waypoints Date: TripId, WaypointSequence, CaptureDate, Latitude, Longitude, SegmentId, ZoneName, Frc, DeviceId, RawSpeed, RawSpeedMetric</p> |
| Aufbereitete Variablen | Time_to_next, distance_to_next, Gebiets_type, minutes_of_the_year_start, holiday |
| Zuordnung der einzelnen Parkvorgänge zu | |
| Nachfragegruppen | Vgl. Abschnitt 5.1 |
| Gebietstypen | vgl. Abschnitt 5.2, alle Parkvorgänge werden Gebietstypen zugeordnet. |
| Datenauswertung | |
| Trips als Parkvorgang dedektieren | Nur Trips mit dem korrekten Endpunkt Typ |
| Parkdauer | Lässt sich nur für einen Bruchteil der Parkvorgänge ermitteln. |

Tabelle 12: EAR-Ganglinien - Stadtkerngebiet (Oberzentrum < 400.000 Einw.) (eigene Darstellung)

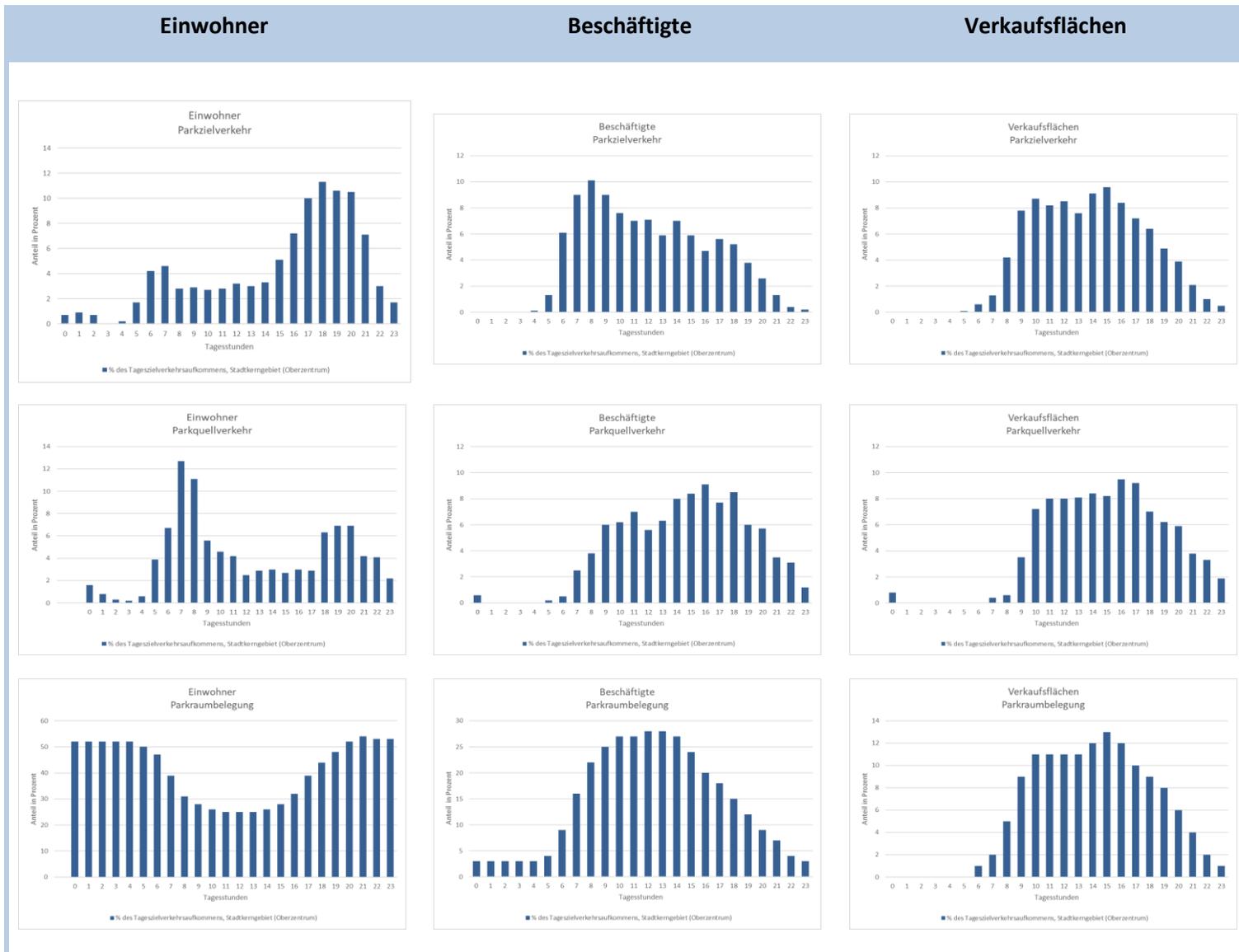


Tabelle 13: EAR-Ganglinien - stadtkernnahes Altstadtgebiet (eigene Darstellung)

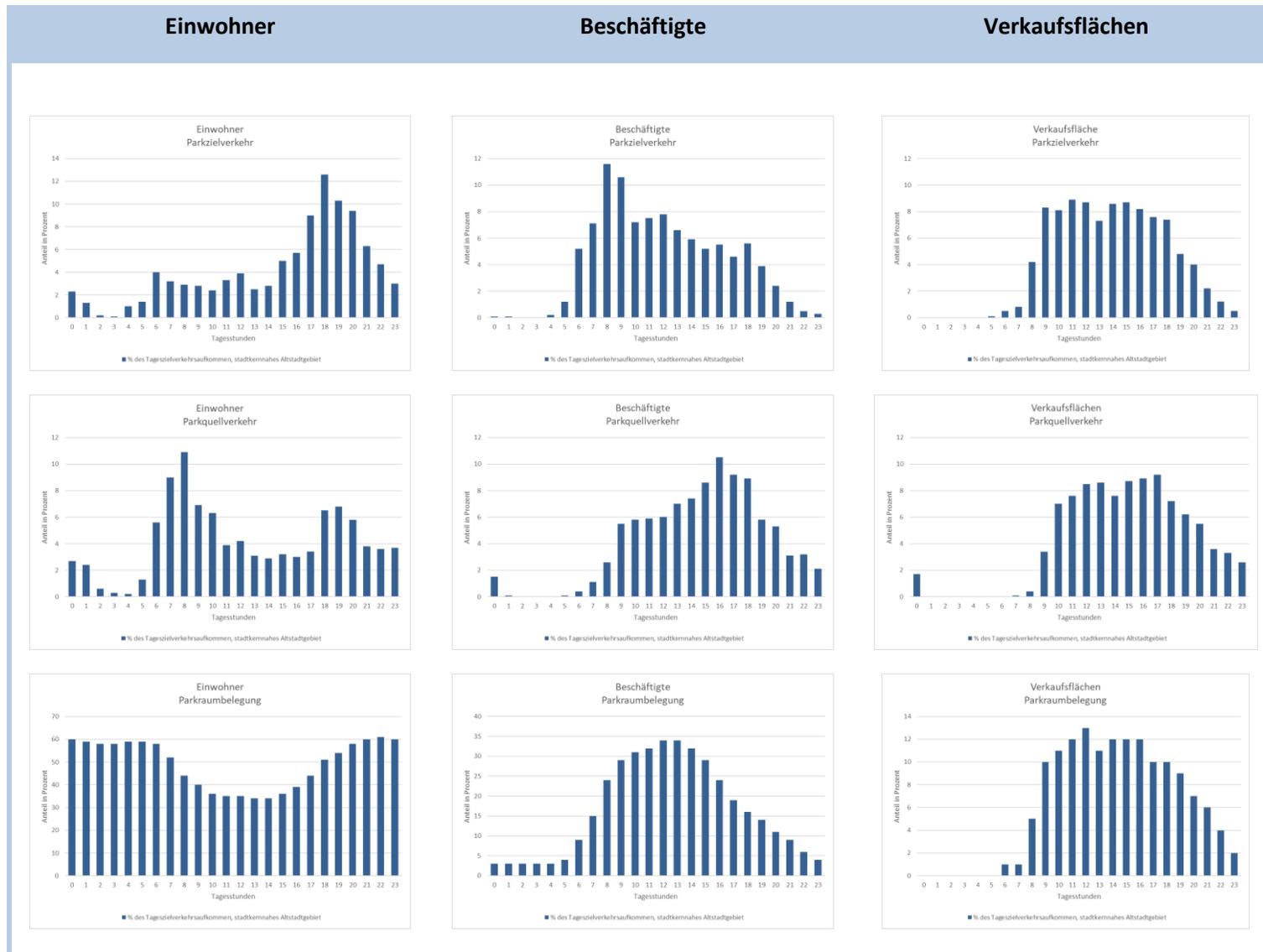


Tabelle 14: EAR-Ganglinien - Kurzparker - alle Gebietstypen (eigene Darstellung)

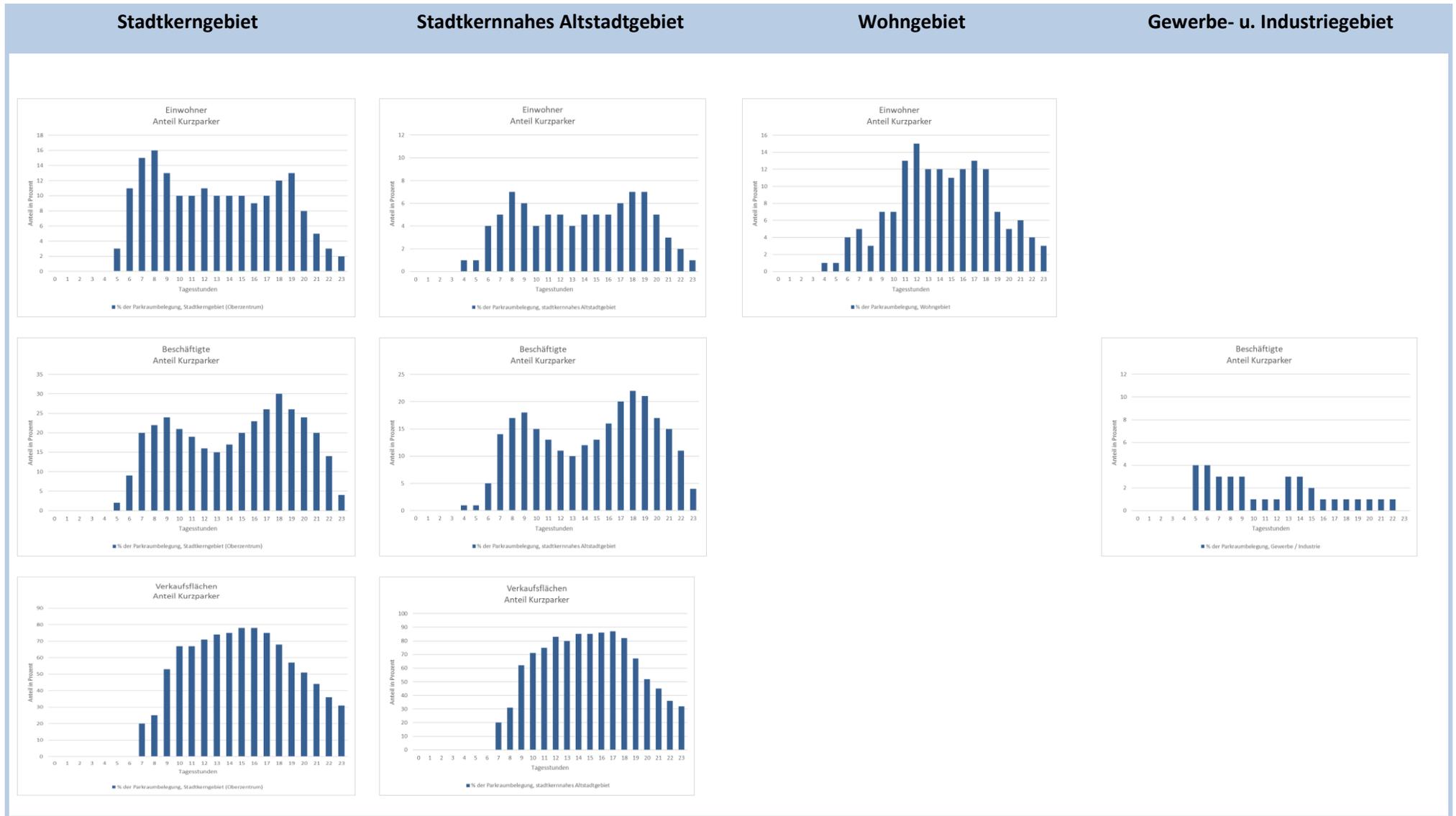
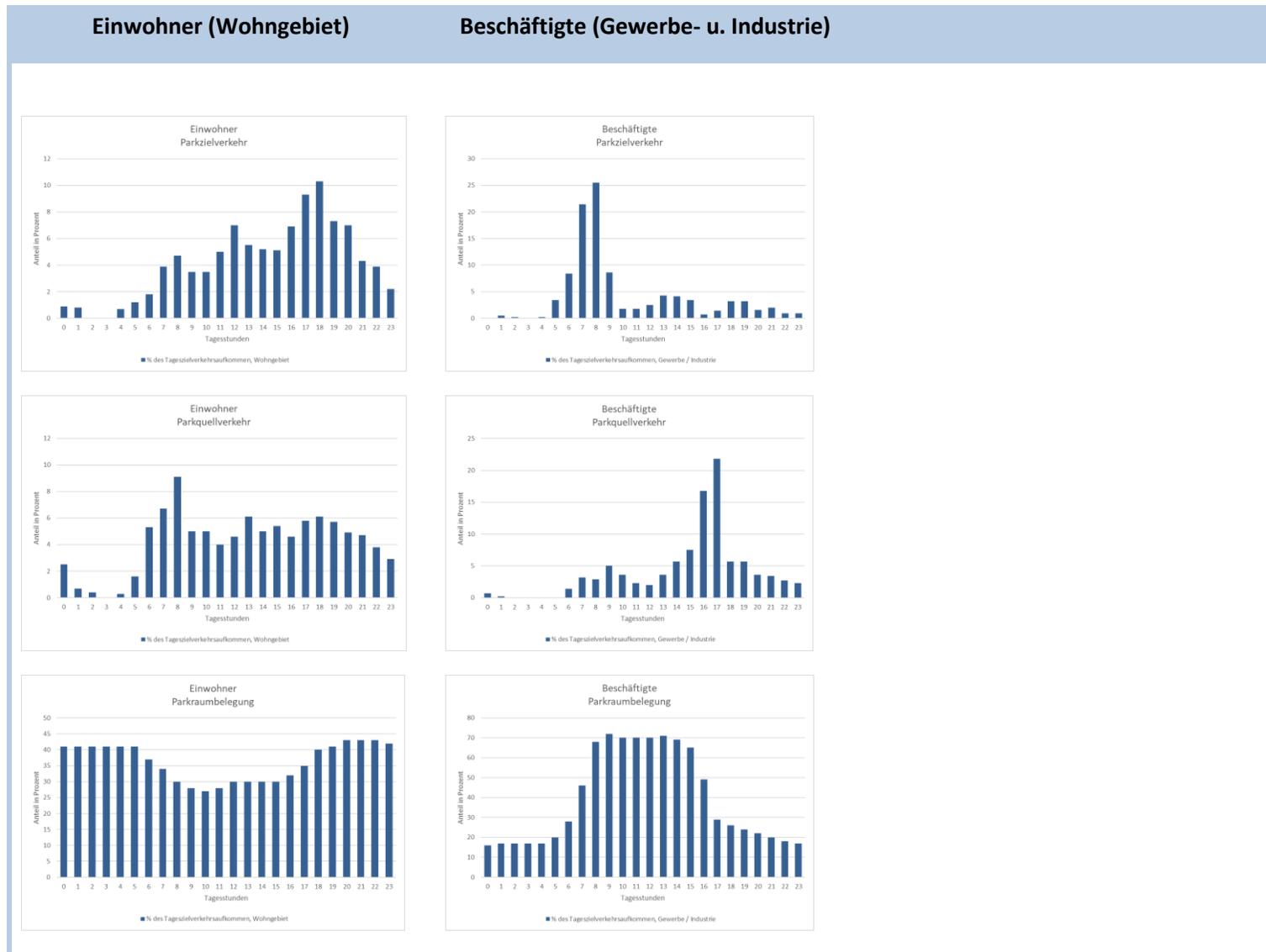


Tabelle 15: EAR-Ganglinien - Wohngebiet/Gewerbe- u. Industriegebiet (eigene Darstellung)



Kontakt:

Frankfurt University of Applied Sciences

Prof. Tobias Hagen

Nibelungenplatz 1

60318 Frankfurt am Main

Tel. 0 69 15 33-8396

E-Mail: thagen@fb3.fra-uas.de

www.frankfurt-university.de/verkehr

www.ReLUT.de