DIPLOMARBEIT

Anwendungspotenzial von General Transit Feed Specification für Erreichbarkeitsanalysen in Netzwerkmodellen

Am Beispiel einer Wohnstandortanalyse der Bevölkerungsgruppe 65+ in Wien

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades

eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Dipl.-Ing. Robert Kalasek

E280/2

Forschungsbereich Stadt- und Regionalforschung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Michael Gidam BSc

01225065

Wien, am 21.05.2019

Abstract Deutsch

Seit dem Jahr 2009 existiert mit „General Transit Feed Specification“ (GTFS) ein Datenformat, in welchem Fahrplandaten öffentlicher Personennahverkehrssysteme sowie räumliche Informationen über zugehörige Stationen, Haltestellen und Routenführungen in standardisierter Form strukturiert sind. Bis heute werden diese Daten im Bereich der Verkehrs- und Mobilitätsforschung in Österreich jedoch kaum eingesetzt. Die vorliegende Arbeit stellt sich der Frage, inwiefern GTFS im Rahmen von Erreichbarkeitsanalysen auf Basis des öffentlichen Personennahverkehrs inhaltlich und technisch einsetzbar ist und worin dabei die potenziellen Vor- und Nachteile liegen.
Um dies zu untersuchen, wird die Wohnstandortverteilung älterer Bevölkerungsgruppen in Wien auf Baublockebene untersucht und mit deren Erreichbarkeitsqualität, hinsichtlich der Möglichkeit zur Befriedigung alltäglicher Mobilitätsbedürfnisse durch den öffentlichen Personennahverkehr, verglichen. Dafür wird in ArcGIS ein Netzwerkmodell erstellt, welches das Fußwegenetz sowie das gesamte Netz der Wiener Linien vereint. Auf dieser Basis wurde für jeden Baublock in Wien ein Indexwert ermittelt, der die Qualität der Erreichbarkeit von fünf ausgewählten Einrichtungskategorien im Stadtgebiet sowie die Anbindung an das öffentliche Personennahverkehrsnetz, anhand der Untersuchung und Zusammenführung von 23 Einzelfaktoren, die mithilfe von GTFS ermittelt wurden, vereint. Die Auswahl der Ziele und die Kalibrierung des Netzwerks sind auf Personen ab dem 65. Lebensjahr und deren Mobilitätsbedürfnisse zugeschnitten.
Das Ergebnis der Arbeit ist der Nachweis einer hohen Dichte der Wohnbevölkerung Wiens im fortgeschrittenen Alter in Baublocks, die eine gute Erreichbarkeitsqualität hinsichtlich der Bedürfnisse und Ansprüche älterer Bevölkerungsgruppen bieten.

Abstract English

„General Transit Feed Specification“ (GTFS) – in existence since 2009 – is a data format, which enables the standardization of timetable data of public transport systems as well as spatial information about stops, stations and routes. To this day there is no published use of GTFS in the field of traffic- and mobility research in Austria. The present work raises the question to what extent this data format can be used in the field of accessibility analysis based on public transportation and what the potential advantages and disadvantages are.
In order to perform the investigation, the distribution of older population groups in Vienna is examined at building block level and compared with the prevailing accessibility quality of each building block, regarding the ability to satisfy everyday mobility needs by public transport. For this purpose, a network model is created in ArcGIS, which combines a footpath network with the entire Wiener Linien network. On that basis, an index value is determined for each building block in Vienna, which combines the quality of accessibility of five selected uses and the connection to the public transport system. The index is based on the investigation and merger of 23 individual factors, which were created by analyzing GTFS data. The selection of objectives and the calibration of the network are tailored to people over the age of 65 and their mobility needs.
The result of the work is the proof of a higher population density of the residential population of Vienna of advanced age in building blocks, which offer a good accessibility quality regarding the needs and demands of older population groups.

Inhalt

0. Mobilität und Verkehr ... 6

1. Städtischer Verkehr und die steigende Relevanz öffentlicher Personennahverkehrssysteme ... 6

1.1. Flächeninanspruchnahme und Emissionen durch Dominanz des motorisierten Individualverkehrs ... 7

1.2. Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) als Teil eines modernen Verkehrssystems.. 7

1.3. Erreichbarkeit als Grundlage für die Wahl des Verkehrsmittels ... 8

1.4. Dominanz des MIV in der Analyse innerstädtischer Erreichbarkeit ... 9

2. Ziel der vorliegenden Arbeit ... 10

3. General Transit Feed Specification (GTFS) ... 13

3.1. Aufbau eines GTFS-Datensatzes ... 14

3.2. Beschaffenheit der Daten in GIS ... 28

3.3. Potenziale von GTFS in der Erreichbarkeitsanalyse ... 31

4. Mobilität und Erreichbarkeit aus der Sicht mobilitätseingeschränkter Personengruppen ... 40

4.1. Analyse der Situation älterer Bevölkerungsgruppen ... 41

5. Der aktuelle demografische Wandel ... 42

5.1. Die Entwicklung der Bevölkerungsstruktur in Österreich ... 44

5.2. Herausforderungen des demografischen Wandels an die Mobilitäts- und Verkehrsplanung ... 47

6. Mobilität im Alter ... 47

6.1. Strukturelle Veränderungen bezüglich Mobilität ... 48

6.2. Veränderungen des Mobilitätsverhaltens aufgrund physischer und psychischer Umstände ... 52

7. Graphentheorie als Grundlage für Berechnungen in Netzwerkmodellen ... 60

7.1. Graphentheorie im Verkehrsbereich ... 61

7.2. Der Dijkstra-Algorithmus zur Ermittlung der kürzesten Wege innerhalb eines Graphennetzwerks ... 62

8. Die Erstellung des Analysenetzwerks ... 64

8.1. Erstellung der GTFS-Netzwerkelemente ... 65

8.2. Die Erstellung des Netzwerks ... 69

8.3. Startpunkte für Analysen im erstellten Netzwerk ... 76

9. Die Analyse der Anbindungsqualität des Wohnstandorts an den ÖPNV durch die Stationserreichbarkeit ... 80

9.1. Die Anzahl fußläufig erreichbarer ÖPNV-Stationen – Verteilung für Wien insgesamt 81

9.2. Anzahl wahrnehmbarer Fahrten im Umkreis von fünf bzw. zehn Minuten 86

9.3. Zusammenhang zwischen der Erreichbarkeit von Stationen und der Anzahl wahrnehmbarer Fahrten 96

9.4. Wesentliche Erkenntnisse 99

10. Die Erreichbarkeit relevanter Einrichtungen im Stadtgebiet 101

10.1. Darstellung der Vorgehensweise in der Berechnung 101

11. Ermittlung der Erreichbarkeitsqualität von Baublocks auf Basis der städtischen Erreichbarkeit durch den ÖPNV 137

11.1. Kategorisierung der Ergebnisse 137

11.2. Gewichtung und Zusammenführung der einzelnen Faktoren 139

11.3. Analyse der Verteilung der Baublocks gemäß ihrer Erreichbarkeitsqualität 141

12. Die Analyse der Verteilung älterer Bevölkerungsgruppen 144

12.1. Struktur der älteren Wohnbevölkerung in Wien 144

12.2. Die Verteilung älterer Bevölkerungsgruppen auf Baublocks in Wien 146

12.3. Der Vergleich zur Verteilung der Gesamtbevölkerung 153

13. Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit 157

13.1. Potentielle Verwendung der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung 158

13.2. Kritische Betrachtung der Vorgehensweise 158

14. Beantwortung der Forschungsfrage und die Bedeutung von GTFS für die Raumplanung 162

14.1. Schwächen von GTFS und Hürden in der Anwendung 162

14.2. Weitere potentielle Anwendungbereiche von GTFS in der Raumplanung 163

14.3. Weiterer Forschungsbedarf 164

15. Quellen 165

15.1. Literaturquellen: 165

15.2. Datenquellen: 170

16. Abbildungsverzeichnis 171

17. Tabellenverzeichnis 176

18. Anhang 178

Einleitung

Im ersten Teil der Arbeit wird, im Zuge einer Einleitung, die Zunehmende Relevanz des öffentlichen Verkehrs in Städten und die dieser Arbeit zugrunde liegende Problemstellung näher erläutert. Ebenso werden die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Forschungsfragen präsentiert sowie die angewandte Methodik, die zu deren Beantwortung beitragen soll, in ihren Grundzügen vorgestellt.

Zwei wesentliche Begriffe werden im Laufe dieser Arbeit oft verwendet. Dabei handelt es sich um „Mobilität“ sowie „Verkehr“. Da diese Begriffe hinsichtlich ihrer Bedeutung oft nicht unterschieden und synonym verwendet werden, ist am Beginn dieser Arbeit eine kurze Begriffsdefinition angeführt, in der die Bedeutung beider Begriffe erläutert wird.

0. Mobilität und Verkehr

Der Begriff Mobilität beschreibt die Möglichkeit und Bereitschaft zur Bewegung im geografischen Raum (Nuhn, H., Hesse, M., 2006, S. 19). Der Begriff räumliche Mobilität hat sich, als Abgrenzung des Mobilitätsbegriffs von der Bedeutung des Vermögens eines Lebewesens, unterschiedliche Stellungen und Haltungen einzunehmen (was auch als Beweglichkeit bezeichnet werden kann) sowie abstrakteren Bedeutungen, wie etwa soziale Mobilität, durchgesetzt (vgl. Spode, H., 2017). Im Zuge dieser Arbeit bezieht sich der Begriff Mobilität ausschließlich auf die Bedeutung räumlicher Mobilität und betont damit auch individuelle Motive und persönliche Hintergründe. Faktoren wie das Alter, Geschlecht, sozioökonomische Verhältnisse, kulturelle Faktoren und andere Rahmenbedingungen bestimmen wesentlich das Mobilitätsverhalten und die Rahmenbedingungen zur Realisierung von Mobilität mit.
Mobilität ist nicht gleichzusetzen mit dem Begriff Verkehr. Verkehr stellt die physische Manifestation von Mobilität(-sbedürfnissen) dar und ist sozusagen „realisierte Mobilität“ (vgl. Tully C. J., Baier D., 2006).

1. Städtischer Verkehr und die steigende Relevanz öffentlicher Personennahverkehrssysteme

Die Verteilung verschiedenster Einrichtungen innerhalb eines räumlichen Gefüges, wie beispielsweise einer Stadt, bedingt die Tatsache, dass zur deren Erreichung und der Inanspruchnahme des dortigen Angebots, räumliche Distanz zurückgelegt werden muss. Die zum Teil bestehende funktionale Trennung ganzer Stadtgebiete verstärkt diese Notwendigkeit zusätzlich. Je höher die Anzahl der gut zu erreichenden Einrichtungen und Stadtteile ist, desto höher ist die Lagegunst eines Standorts zu bewerten, weswegen Grundstücks- und Mietpreise entlang attraktiver Verkehrswege meist höher ausfallen als im Durchschnitt (vgl. Heineberg, H., 2001). Doch nicht nur der Bedarf der Inanspruchnahme des Angebots bestimmter Einrichtungen, sondern ebenso das Angebot an Verkehrsmitteln ist ausschlaggebend für die Entstehung von Verkehr (vgl. Kichhoff, P., 2002). Dies bedeutet, dass Faktoren wie die Verfügbarkeit über einen PKW genauso wie das Vorhandensein eines öffentlichen Personennahverkehrssystems (ÖPNV) das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung

und die Wahl des zur Befriedigung der individuellen Mobilitätsbedürfnisse genutzten Verkehrsmittels direkt beeinflussen.

1.1. Flächeninanspruchnahme und Emissionen durch Dominanz des motorisierten Individualverkehrs

Der Modal Split einer Gesellschaft - oder einer Teilgruppe dieser - gibt an, wie hoch der Anteil ist, der jedem Verkehrsmodus an der Bewältigung der täglich anfallenden Wege einer untersuchten Bevölkerungsgruppe zukommt. Er gibt Aufschluss darüber, wie mono- bzw. multimodal ausgeprägt die Verhaltensweisen der untersuchten Gruppe hinsichtlich der Befriedigung ihrer täglichen Mobilitätsbedürfnisse sind. In den meisten Städten Europas dominiert der motorisierte Individualverkehr (MIV) den Modal Split (vgl. EPOMM/TEMS, 2011). Faktoren wie Alter oder PKW-Verfügbarkeit im Haushalt haben wesentliche Auswirkungen auf die Dimensionen der Anteile darin. Eine wesentliche Einflussgröße ist allerdings der räumliche Kontext. In urbanen Räumen, die über ein zuverlässiges und nutzerfreundliches ÖPNV-System verfügen und meist kürzere Wege zur Befriedigung alltäglicher Bedürfnisse erfordern, herrscht ein tendenziell höherer Anteil an ÖPNV- und Radnutzung vor als beispielsweise in ländlichen Gebieten (vgl. Bmvit, 2016).

Die Folgen einer MIV-Dominanz in Bezug auf innerstädtischen Verkehr sind vielfältig. Dabei sind zwei wesentliche negative Aspekte hervorzuheben:

- Ein immer größerer Teil der Menschen weltweit lebt in Städten (vgl. UN, 2018), wodurch es bei Beibehaltung von Mobilitätsverhaltensmustern die auf dem MIV basieren, zu einem hohen Flächenverbrauch und der hohen Inanspruchnahme öffentlichen Raums durch fließenden und ruhenden Verkehr kommt.
- Ebenso führen Überlastungen der Verkehrsadern in Städten – besonders zu Stoßzeiten (vgl. Çolak S., Lima A., González M. C., 2016) zu negativen Effekten wie Lärm- und Schadstoffemissionen. Diese decken sich ebenso wenig mit den steigenden Ansprüchen städtischer Lebensqualität sowie den Klimazielen der europäischen Kommission. Dabei wird unter anderem eine Senkung der Treibhausgasemissionen um 80% bis zum Jahr 2050 vorgesehen (vgl. Europäische Kommission, 2018).

1.2. Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) als Teil eines modernen Verkehrssystems

Attraktive Alternativen zum PKW und die Planung eines attraktiven räumlichen Gefüges sind nach Curtis und Scheurer (2010) sowie Susnienė (2012) unabdinglich dafür, den MIV in Städten zu reduzieren. Ein grundlegender Weg zur Lösung des Problems der zunehmenden Verkehrsüberlastung in Städten ist, neben einer Stadtplanung die kurze Wege fördert, welche zu Fuß oder via Fahrrad zurückgelegt werden können, ebenso die Etablierung städtischer ÖPNV-Systeme und die gezielte Förderung deren Nutzung. Eine Verschiebung des Modal Split hin zu nachhaltigeren Verkehrsmitteln wie dem Zu-Fuß-Gehen, dem Fahrrad oder dem öffentlichen Personennahverkehr ist deshalb ein naheliegendes Ziel, welches viele Stadtregierungen in Bezug auf deren Verkehrssystemplanung verfolgen.
Einem attraktiven ÖPNV-System, dessen Zugangspunkte und Umsteigerelationen attraktiv und unkompliziert gestaltet sind und welches Zentrumsbereiche und hoch frequentierte Gebiete im Stadtgebiet erschließt, kommt dabei die größte Relevanz zu. Bei adäquater Gestaltung ermöglicht es

Stadtbewohnern das bequeme und sogar schnellere Erreichen nachgefragter Ziele, als mit dem privaten PKW.

Drei wesentliche Faktoren zeichnen ÖPNV-Systeme aus. Dabei handelt es sich um die allgemeine Zugänglichkeit für alle NutzerInnen aufgrund der gesetzlichen Beförderungs- bzw. Transportpflicht, der Betrieb auf zeitlich und räumlich definierten Linien durch konzessierte Betriebe sowie festgelegte Beförderungsbedingungen und Preise (Pfaffenbichler, P., Toth, P., 2014, S.18). Eine weitere Definition des ÖPNV findet sich bei Diana, M. (2010, S. 317): *„Allgemein kann öffentlicher Verkehr als ein System zur Beförderung von Personen gesehen werden, welches eigens dafür vorgesehene Ressourcen (Infrastrukturen und/oder Fahrzeuge) nutzt. Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal des öffentlichen Verkehrs ist dessen allgemeine Zugänglichkeit (…).“*

1.3. Erreichbarkeit als Grundlage für die Wahl des Verkehrsmittels

Das Verstehen und Visualisieren von Erreichbarkeitsmustern sowie deren Veränderung hilft der Entwicklung gezielter räumlicher Eingriffe hinsichtlich der Flächennutzung sowie im Bereich des gesamten Verkehrssystems. Die Heranziehung von Erreichbarkeitsindizes, als Grad der Möglichkeit, bestimmte Ziele zu erreichen (vgl. Preston J., Rajé F., 2007), ist eine gängige Methode Standortentscheidungen sowie die Qualität von Verkehrssystemen zu bewerten (vgl. Wachs, M., Kumagai, T., 1973; El-Geneidy, A., Levinson, D., 2006). Die Qualität der Erreichbarkeit (dabei gilt die Frage „Was kann ich erreichen?“ genauso wie das „Wer und wie viele können mich erreichen?“) innerhalb einer Stadt hat gesellschaftliche und verhaltensbeeinflussende Auswirkungen. So trägt ein hohes Maß an Erreichbarkeit beispielsweise dazu bei, soziale Exklusion mobilitätseingeschränkter Bevölkerungsgruppen zu verringern (vgl. Lao, Y., Liu, L., 2009; Murray, A. T., Davis, R., 2001). Eine hohe Erreichbarkeitsqualität auf Grundlage des ÖPNV trägt außerdem nachweislich zu einer intensiveren Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel bei (vgl. Chen, C., Gong, H., Paaswell, R., 2008; Owen, A., Levinson, D., 2015) und kann damit helfen die MIV-Nutzung und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen zu reduzieren (vgl. Handy, S., 2002; Levinson, D., 1998). Weil das Konzept der Erreichbarkeit die mobilitätsbezogenen und verkehrlichen Auswirkungen spezifischer Flächennutzungsmuster und die Gestaltung von Verkehrssystemen in verständlicher Weise vermittelt, wird es im Bereich der Verkehrssystemplanung immer mehr als Schlüsselelement eingesetzt (vgl. Handy, S., 2002; Banister, D. 2008, Straatemeier, T., 2008).

Erreichbarkeit hängt von vielen miteinander in Beziehung stehenden Variablen ab, die sich in drei Kategorien zusammenfassen lassen. Darunter fallen die Verteilung von Einrichtungen im Raum (die Kategorie der Flächennutzung), das Verkehrsnetz, dessen Gestaltung über Reisezeiten, Kosten und Komfort bestimmt (die Verkehrskategorie) sowie individuelle Faktoren wie Alter, Gender, Einkommen, Bildung, Eigentümerschaft an einem Auto, usw. (die individuelle Kategorie). Aufgrund dieser breiten Palette an Einflussfaktoren, wurden diverse Methoden entwickelt, um Erreichbarkeit zu messen, die sich anhand ihres Disaggregationsniveaus sowie der Komplexität in der Anwendung unterscheiden (vgl. Handy, S., Niemeier, D., 1997; Geurs, K., van Wee, B., 2004; Miller, H., 2005). Im Bereich der Planung haben Erreichbarkeiten vor allem im Zusammenhang mit standortbasierten Untersuchungen Relevanz. Im Vergleich zu individuellen Routenanalysen, bei denen die Reisezeit von A nach B (z.B. vom Wohnort zum Arbeitsplatz) - und damit vor allem die Verkehrs- und die individuelle Kategorie - im Mittelpunkt steht, befinden sich bei standortbasierten Untersuchungen

die Erreichbarkeit einer Vielzahl von Einrichtungen (Zielen) von einer Vielzahl an Ausgangspunkten (Quellen) innerhalb eines relevanten Zeitraums im Vordergrund (vgl. Geurs, K., van Wee, B., 2004).

Das Thema Erreichbarkeit wurde in der Verkehrsforschung bereits in großem Ausmaß untersucht. Der Schwerpunkt in der Verkehrsplanung liegt dennoch weiterhin auf der verkehrlichen Komponente, mit Fokus auf dem MIV (vgl. Levinson, D., Gillen, D., 2005; Halden, D., 2011). Um Erreichbarkeitsverbesserungen zu schaffen wird vorwiegend am reibungslosen vorankommen von Fahrzeugen angesetzt, was eine Minimierung der Reisezeiten sowie Reduzierung von Reiseverzögerungen durch Erhöhung der Reisegeschwindigkeit und den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur bedeutet. Aspekte der Verbesserung der Erreichbarkeit bestimmter Ziele, die sich auf den Aspekt der Flächennutzung beziehen, werden dabei wenig bis gar nicht beachtet; Verbesserungen beziehen sich fast ausschließlich auf das Verkehrssystem.
Dadurch erreichte Verbesserungen der Erreichbarkeit von Einrichtungen und Gebieten betreffen nur die zeitliche Komponente, jedoch nicht die räumliche. Für mobilitätseingeschränkte Personen, die beispielsweise nicht in der Lage sind einen PKW zu bedienen bzw. auf den öffentlichen Verkehr angewiesen sind, bedeutet eine darauf basierende Verbesserung nicht zwangsläufig eine Verbesserung individueller Mobilitätsbedingungen in Bezug auf Erreichbarkeit. Wenn Reduktionen der Reisezeiten nur ein Ergebnis von Infrastrukturverbesserungen, der Erweiterung der Straßenbreite und Geschwindigkeitserhöhungen sind, kann dies langfristig zu einer größeren räumlichen Dispersion von Einrichtungen, größeren Reisedistanzen und Reisekosten, einer höheren Abhängigkeit von motorisierten Mobilitätsformen und größeren Diskrepanzen hinsichtlich einzelner Bevölkerungsgruppen in Bezug auf deren Erreichbarkeit bestimmter Einrichtungen führen (vgl. Levine, J., Grengs, J., Shen, Q., 2012; Handy, S., 2002; Levinson, D., Krizek, K., 2007).

Konzepte wie die "Stadt der kurzen Wege" haben eine weitgehende Nutzungsmischung zum Ziel. Die daraus resultierende Verringerung der Zersiedelung und der Wegelängen zur Befriedigung alltäglicher Bedürfnisse wie Wohnen, Arbeit, (Nah-)Versorgung, Dienstleistungen, Freizeit und Bildung führt für sämtliche Bevölkerungsgruppen zu einer Erhöhung der innerstädtischen Erreichbarkeit einer Vielzahl von Einrichtungstypen sowie einer geringeren Abhängigkeit von motorisierten Mobilitätsformen. Automatisch kommt dabei der Fußgänger- und Fahrradmobilität sowie dem öffentlichen Verkehr höhere Relevanz zu (vgl. Grund, E., 1997).

1.4. Dominanz des MIV in der Analyse innerstädtischer Erreichbarkeit

Gängige Erreichbarkeitsanalysen haben meist den MIV oder den Fußweg im Fokus. Analysen auf dieser Grundlage sind insofern einfacher zu erstellen als Untersuchungen auf ÖPNV-Basis, da die Berechnung von Wegzeiten, durch vorgegebene Höchstgeschwindigkeiten sowie durchschnittliche Fahr- und Gehgeschwindigkeiten, für den MIV und Fußgängerverkehr vergleichsweise einfach durchzuführen sind. Die daraus entstehende Fokussierung auf den MIV als primäres Verkehrsmittel in Erreichbarkeitsanalysen stärkt dessen Bedeutung in der gesellschaftlichen Wahrnehmung zusätzlich.

Aufgrund der Fahrplanabhängigkeit der Wegzeiten, ist die Erstellung von Routing- und Erreichbarkeitsuntersuchungen auf Basis des ÖPNV schwierig. Die Untersuchungsergebnisse sind unter Nutzung herkömmlicher Methoden in der Regel grob generalisiert. Dies ist primär darauf zurückzuführen, dass Daten bezüglich der Bedienungsfrequenz von ÖPNV-Stationen und Fahrzeiten

geschätzt werden müssen. Ebenso ist es schwierig Umstiege zwischen den ÖPNV-Linien zu modellieren.
Mit der Etablierung eines Datenformats, das sich General Transit Feed Specification (GTFS) nennt, wurde im Jahr 2009 erstmals ein internationaler Standard für die Katalogisierung innerstädtischer ÖPNV-Systeme und deren Fahrpläne sowie Routenführungen geschaffen. Auf dieser Grundlage sind Untersuchungen zu Reisezeiten und Umsteigerelationen auf einer detaillierten Datenbasis möglich. Die Nutzung von GTFS könnte die Erstellung von Erreichbarkeitsuntersuchungen ermöglichen, die den öffentlichen Personennahverkehr zur Grundlage haben und deren Augenmerk schwerpunktmäßig auf der städtischen Fortbewegung mittels ÖPNV liegt.

Erreichbarkeitsanalysen aus der Sicht des ÖPNV zu erstellen, bedeutet - neben einem möglichen Einsatz in der Planung - diesen in der öffentlichen Wahrnehmung zu stärken und als attraktive und ernstzunehmende Alternative für den MIV in Städten zu positionieren. Erreicht werden kann damit eine zeitgemäße Betrachtung städtischen Verkehrs, in der dem ÖPNV als Mittel zur Befriedigung individueller Mobilitätsbedürfnisse in Zukunft höhere Relevanz zukommen wird als dem MIV (vgl. Gakenheimer, R., 1999).

2. Ziel der vorliegenden Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, das Anwendungspotential von GTFS in Bezug auf die Analyse von Erreichbarkeit und der Nutzung in Netzwerkmodellen zu untersuchen. Inhaltlich soll dies anhand von Analysen zur innerstädtischen Erreichbarkeit aus Sichtweise älterer Personengruppen untersucht werden. Älteren Bevölkerungsgruppen kommt aufgrund der demografischen Entwicklung der österreichischen Bevölkerung eine steigende gesellschaftliche Relevanz zu.

Im Zuge dessen sollen Potenziale einer zeit- und zielgruppenspezifischen Erreichbarkeitsanalyse mit gängigen Methoden verglichen werden. Der räumliche Bezugsrahmen fällt dabei auf Wien, um das Potenzial von GTFS auch für die Wiener Stadtplanung darzustellen. Bislang existieren in und für Wien und auch den Rest Österreichs keine offiziellen Studien und Untersuchungen zum Thema Erreichbarkeit auf GTFS-Basis. Die Analysen im Rahmen dieser Arbeit basieren auf einem Netzwerkmodell, welches aus einem Fußwegenetz und einem auf GTFS basierendem ÖPNV-Netz für das Wiener Stadtgebiet besteht. Sämtliche den Untersuchungen zugrundeliegende Annahmen beruhen auf einer eingehenden Literatursichtung, deren Erkenntnisse im Theorieteil dieser Arbeit dargelegt werden.

2.1.1. Hypothesen und Forschungsfragen

Nach einer ersten Recherche bezüglich GTFS und der Sichtung der Datenstruktur werden folgende Hypothesen erstellt:

- GTFS liefert eine brauchbare Grundlage dafür, Erreichbarkeitsanalysen auf ÖPNV-Basis zu erstellen.
- Durch die Nutzung von GTFS ist es möglich, Erkenntnisse zu generieren, deren Schaffung durch die Anwendung herkömmlicher Methoden zur Erstellung von Erreichbarkeitsanalysen auf ÖPNV-Basis nicht möglich ist.

- GTFS lässt sich gut im Zusammenhang mit anderen räumlichen Daten innerhalb eines Geoinformationssystems, sowie einem darin erstellten Netzwerkmodell verwenden.

Die Untersuchung dieser Hypothesen ist Grundlage dieser Arbeit. Um dies umzusetzen, sowie den inhaltlichen Rahmen der Arbeit klar abzugrenzen, werden Forschungsfragen definiert, durch deren Beantwortung die Falsifizierung oder Bestätigung der dargelegten Hypothese erfolgt. Als zentrale Forschungsfrage steht dabei folgende im Mittelpunkt:

„Eignet sich GTFS als Datengrundlage für den Einsatz in intermodalen Erreichbarkeitsanalysen auf Basis eines Netzwerkmodells?“

Diese Forschungsfrage lässt sich auf weitere Sub-Forschungsfragen herunterbrechen, deren Beantwortung zur umfassenden Bearbeitung der oben genannten Forschungsfrage dient:

- Welche technischen Voraussetzungen sind für die Nutzung von GTFS in Geoinformationssystemen notwendig?
- Welche inhaltlichen und technischen Hürden können in der Anwendung von GTFS entstehen?
- Welche Vorteile hat die Anwendung von GTFS im Vergleich zu bisherigen Vorgehensweisen in der Erstellung von Erreichbarkeitsanalysen auf ÖPNV-Basis?

2.1.2. Methodik

Im theoretischen Teil der Arbeit wird die Funktionsweise und Charakteristik von GTFS erläutert. Daneben wird dargelegt, weshalb der ÖPNV vor allem für mobilitätseingeschränkte Personengruppen relevant ist und weshalb ältere Personen als mobilitätseingeschränkt angesehen werden können. Als Übergang in den praktischen Teil der Arbeit, dient die Hervorhebung der Bedeutung von GTFS in der zielgruppenspezifischen Analyse von Erreichbarkeit.

Der praktische Teil der Arbeit beinhaltet die Erstellung eines Index, der die Qualität der Anbindung jedes einzelnen Baublocks in Wien an das ÖPNV-Netz sowie die Erreichbarkeit zielgruppenspezifischer Einrichtungen vereint. In dem Index laufen 23 unterschiedliche Faktoren gewichtet zusammen. Er dient zur Klassifizierung jedes Baublocks hinsichtlich der Erreichbarkeitsqualität für ältere Personengruppen. Ein Vergleich mit den tatsächlichen EinwohnerInnenzahlen in der relevanten Altersklasse soll zeigen, in welcher Weise sich ältere Personengruppen im Stadtgebiet verteilen, ob eine Präferenz für Baublocks mit hoher Erreichbarkeitsqualität nachweisbar ist und ob sich dies von der Verteilung der Gesamtbevölkerung Wiens unterscheidet.

Als Werkzeug wird hierfür die Geoinformationssoftware ArcGIS der Firma Esri verwendet. ArcGIS ist auf Grundlage einer relationalen Datenbank (vgl. Kapitel 3.1) für Geoobjekte konzipiert. Damit ist es möglich, geografische Informationen zu bearbeiten, miteinander zu verschneiden und in Karten darzustellen. Die Generierung neuer Daten ist damit genauso möglich wie deren bloße Aufbereitung und Präsentation. ArcGIS wurde für die Bearbeitung der Inhalte dieser Arbeit gewählt, weil es sich als eine der führenden Geoinformationssoftwares weltweit etabliert hat und der Umfang bezüglich

der darin anwendbaren Werkzeuge und Skripten groß ist. Des Weiteren existieren von Esri entwickelte Erweiterungen, die die Integration und Bearbeitung von GTFS in ArcGIS erlauben.

In ArcGIS wird ein Netzwerkmodell erstellt, welches auf dem Fußwege- und ÖPNV-Netz Wiens basiert. In diesem wird für jeden Baublocks innerhalb des Wiener Stadtgebiets dessen Anbindung an den ÖPNV sowie die Erreichbarkeit von für ältere Personen relevante Punkte im Stadtgebiet untersucht. Im Anschluss wird die Verteilung der älteren Bevölkerungsgruppen in Wien hinsichtlich ihres Wohnstandorts mit der ermittelten Erreichbarkeitsqualität des Baublocks verglichen. Die Daten werden mittels ArcGIS[1], IBM-SPSS[2], Microsoft-Access[3] sowie Microsoft-Excel[4] bearbeitet, aufbereitet und die Ergebnisse in Form von Tabellen, Diagrammen und Karten präsentiert und in Form von Text interpretiert.

[1] ArcGIS Desktop 10.6, Copyright ©1999-2017 Esri.Inc.
[2] IBM SPSS Statistics 22, Copyright ©IBM Corporation and other(s) 1989, 2013
[3] Microsoft Access 14. Bestandteil von Microsoft Office Professional Plus 2010, Copyright ©2010 Microsoft Corporation
[4] Microsoft Excel 14. Bestandteil von Microsoft Office Professional Plus 2010, Copyright ©2010 Microsoft Corporation

Theoretischer Teil der Arbeit

Im folgenden Teil der Arbeit werden die theoretischen Grundlagen, auf denen die getroffenen Annahmen für die Beantwortung der Forschungsfrage(n) beruhen, dargelegt und fundamentale Begriffe definiert. Der aktuelle Stand der Forschung im Bereich der Bevölkerungsentwicklung westlicher Gesellschaften - speziell in Österreich - sowie der aktuelle Stand der Forschung im Bereich der Verhaltensforschung bezüglich älterer Personen im Straßenverkehr und deren Mobilitätsbedürfnisse sind dabei ebenso Bestandteil wie die Vorstellung von GTFS als Datenformat und dessen Charakteristika.

3. General Transit Feed Specification (GTFS)

General Transit Feed Specification (GTFS) ist ein international genormtes digitales Datenformat, das den gesamten Sollfahrplan sowie die Stationen und Haltestellen eines ÖPNV-Systems, welcher für Fahrgäste bestimmt ist, in strukturierter Form digital abbildet.
Das Datenformat besteht in der jetzigen Form seit 2009 und geht auf das Unternehmen Google zurück, welches bereits 2005 Bemühungen in die Richtung einer Standardisierung von Fahrplandaten öffentlicher Verkehrssysteme zeigte (vgl. Roush, W., 2012). Heute teilen tausende Städte in fast jedem Land der Welt Daten ihres ÖPNV-Systems und den zugrundeliegenden Fahrplänen miteinander. Grundlage für die Bestrebung einer Vereinheitlichung sämtlicher Fahrplandaten des ÖPNV und die Entwicklung des GTFS-Datenformats ist die zunehmende Relevanz des öffentlichen Personennahverkehrs in Städten und das wachsende Bedürfnis, Routing-Informationen auf ÖPNV-Basis liefern zu können. Immer mehr Menschen in Städten legen aus Zeit-, Kosten- oder Komfortgründen ihre alltäglichen Wege mit dem ÖPNV zurück. Daraus folgt ein steigender Bedarf hinsichtlich konkreter Angaben über Erreichbarkeiten auf Basis des ÖPNV. Ebenso besteht die Möglichkeit, Erkenntnisse bezüglich Auswirkungen auf Erreichbarkeitsverhältnisse, die diverse Eingriffe in das ÖPNV-System und dessen Umfeld zur Folge haben können, zu generieren. Eine einheitlich strukturierte Abbildung eines ÖPNV-Systems in digitaler Form - wie etwa GTFS - bildet eine Grundlage dies umzusetzen und ÖPNV-Systeme umfassend zu analysieren. Dadurch können Defizite erkannt und potentielle Veränderungen und Verbesserungen auf rationaler Ebene untersucht werden.

GTFS-Datensätze sind zunehmend als Open Data online, kostenlos und frei verfügbar. In der Regel können sie auf den Websites der jeweiligen ÖPNV-Betreiber oder einer anderen Organisation, die für die Erstellung des Datensatzes verantwortlich ist, heruntergeladen werden. Ebenso existieren Online-Plattformen, die sämtliche frei verfügbaren GTFS-Datensätze sammeln und kategorisiert nach Ländern und Städten zum Download anbieten. Beispielsweise bietet die Website „transitfeeds.com“ GTFS-Datensätze von 1.108 ÖPNV-Betreibern aus 606 Städten weltweit frei zum Download an (Stand 29.04.2019). Sämtliche GTFS-Datensätze haben dabei dieselbe Datenstruktur. Die Nutzung der Daten im kommerziellen Sinn unterliegt jedoch den Bestimmungen der jeweiligen Anbieter. Eine einheitliche Vorgehensweise hat sich hierbei noch nicht durchgesetzt (vgl. Google Groups, 2017).

3.1. Aufbau eines GTFS-Datensatzes

Ein GTFS-Datensatz besteht zumindest aus sechs CSV-Textdateien, die um weitere sieben optionale CSV-Textdateien ergänzt werden können (vgl. Tabelle 1 bzw. Abbildung 1). CSV (Comma Seperated Values) ist ein Dateiformat, das Inhalte innerhalb einer Textdatei nach bestimmten Regeln organisiert. Der Inhalt wird dabei mittels Satzzeichen strukturiert (vgl. Shafranovich, Y., 2005). Meistens werden die einzelnen Datensätze dabei mithilfe eines Zeilenumbruchs voneinander getrennt, während innerhalb eines Datensatzes meist ein Komma die einzelnen Attributeinträge voneinander abgrenzt. In der ersten Zeile der Datei werden in der Regel die Attribute definiert, deren Bezeichnungen ebenso von einem Komma getrennt werden müssen. Die Reihenfolge der Dateneinträge innerhalb eines Datensatzes folgt der Reihenfolge der Attribute, die in der ersten Zeile der Datei festgelegt ist.

Jede Datei eines GTFS-Datensatzes beschreibt einen bestimmten Aspekt der Information bezüglich des Aufbaus und der Struktur des Fahrplans eines ÖPNV-Systems sowie die Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen, wie Stationen und Linien. Zusammengenommen bilden sie ein Abbild einer relationalen Datenbank. In einer relationalen Datenbank sind einem Datenbankobjekt Inhalte zuschreibbar, die an einem gänzlich anderen Ort innerhalb der Datenbank gespeichert sind. Dies ist über die Festlegung von Attributen möglich, die eine eindeutige Identifikation der Datenbankobjekte ermöglicht. Durch die Referenzierung dieser Identifikationscodes in einem anderen Datenbankobjekt, kann ein Verweis auf die dort gespeicherte Information geschaffen, und die Daten verschiedener Datenbankobjekte im Zuge einer Datenbankabfrage kombiniert werden (vgl. Kapitel 3.1.14).

Um die Daten nach Integration in eine Datenbank zu bearbeiten, wird die Datenbanksprache SQL (Structured Query Language) genutzt. Deren theoretische Grundlage beruht auf relationaler Algebra. Durch das In-Beziehung-Setzen der einzelnen Dateien sind Abfragen betreffend des Fahrplans der einzelnen Linien, Umsteigerelationen und der kürzesten Verbindungen zwischen zwei oder mehr Punkten innerhalb des ÖPNV-Netzes möglich.

Folgende Tabelle beschreibt den konzeptionellen Inhalt jeder potentiellen Datei, die in einem GTFS-Datensatz beinhaltet ist bzw. beinhaltet sein kann (vgl. developers.google.com). Nicht alle angeführten Datensätze müssen Teil eines GTFS-Datensatzes sein. Fett markiert sind jene Datensatznamen, die auch Bestandteil des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien sind:

Dateiname	Erforderlich/Optional	Inhalt
agency.txt	Erforderlich	Informationen des Betreibers des jeweiligen ÖPNV-Systems.
stops.txt	Erforderlich	Standorte, an denen die Fahrzeuge halten um Personen Ein- und Aussteigen zu lassen.
routes.txt	Erforderlich	Information über die einzelnen ÖPNV-Linien.
trips.txt	Erforderlich	Abschnitte der ÖPNV-Linien. Eine Fahrt (trip) entspricht einer Sequenz von mindestens zwei Stops (zu einem bestimmten Zeitpunkt) und ist mit einer Fahrt von einer Station zur nächsten gleichzusetzen.
stop_times.txt	Erforderlich	Zeitpunkt des Ankommens und Abfahrens eines Fahrzeugs an der Station.
calendar.txt	Erforderlich/optional	Wöchentlicher Fahrplan. Angabe der Start- und Endzeit des Betriebs an den einzelnen Wochentagen. Wird nicht benötigt, wenn sämtliche Tage in der Datei

		„calender_dates.txt“ definiert sind.
calender_dates.txt	Erforderlich/optional	Ausnahmen vom regelmäßigen Fahrplan. Wenn die Datei „calender.txt“ nicht existiert, muss in dieser Datei der Fahrplan für sämtliche Tage des Jahres definiert werden.
fare_attributes.txt	Optional	Informationen bezüglich der Fahrpreise der einzelnen ÖPNV-Linien.
fare_rules.txt	Optional	Fahrpreise für die Nutzung einzelner ÖPNV-Linien.
shapes.txt	Optional	Angabe der Koordinaten, die die Routenführung der einzelnen ÖPNV-Linien darstellbar machen.
frequencies.txt	Optional	Bedienungsfrequenz für ÖPNV-Linien mit unregelmäßigen Bedienzeiten.
transfers.txt	Optional	Angabe von Regeln für Umstiege an Knotenpunkten zweier Routen.
feed_info.txt	Optional	Zusätzliche Information zum Datensatz (Herausgeber, Version, etc.)

Tabelle 1: Dateien, die einen GTFS-Datensatz bilden.

Abbildung 1 zeigt den hierarchischen Aufbau der einzelnen Dateien und wie diese miteinander in Beziehung stehen (eine detailliertere Grafik dazu ist in Kapitel 3.1.14 zu finden (Abbildung 2))

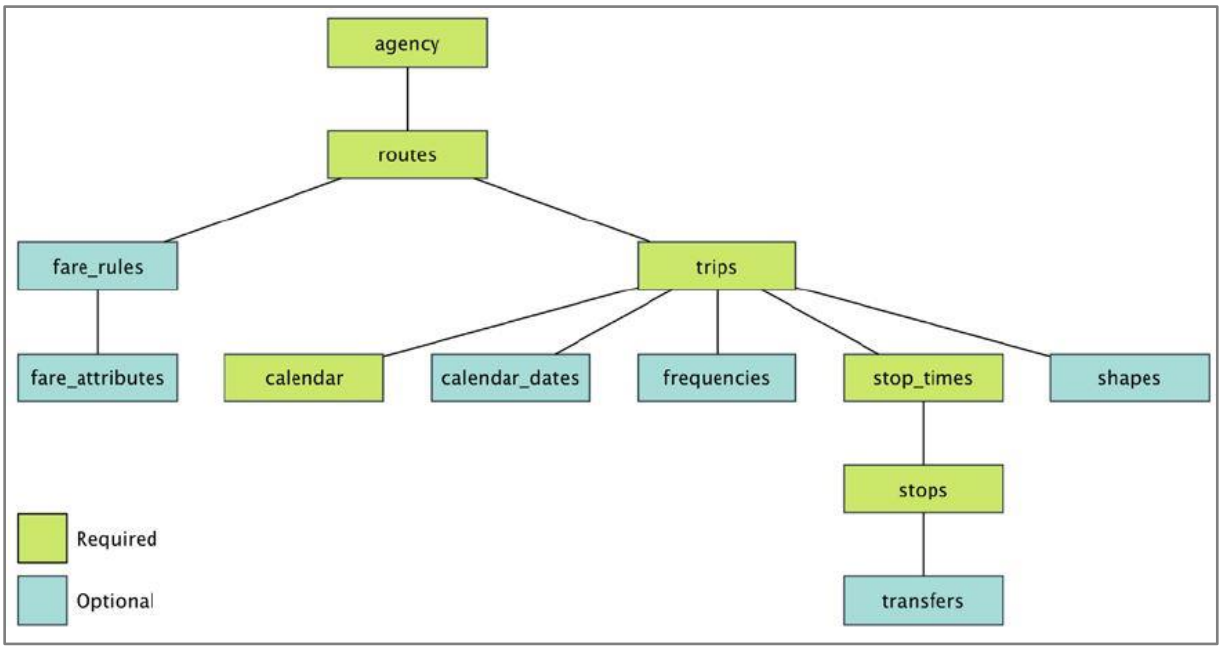


Abbildung 1: Diagramm eines kompletten GTFS-Datensatzes (Fortin, P., Morency, C., Trépanier, M., 2016, S. 21)

In den folgenden Kapiteln wird auf den Inhalt und den Aufbau der einzelnen CSV-Textdateien eingegangen. Der konkrete Inhalt wird anhand des für diese Arbeit herangezogenen GTFS-Datensatzes der Wiener Linien beispielhaft dargestellt. Da es keine einheitliche Definition über den Aufbau des CSV-Formats gibt, sind unterschiedliche Möglichkeiten, diese zu strukturieren, gegeben (vgl. Shafranovich, Y., 2005). GTFS-Daten folgen jedoch einer einheitlichen Struktur, deren wichtigste Bestandteile an dieser Stelle kurz dargelegt werden (vgl. developers.google.com):

- Die erste Zeile der Textdatei enthält die Attribut- bzw. Spaltenbezeichnungen.

- Das Vorhandensein bestimmter Attribute bzw. Spalten ist innerhalb der einzelnen Dateien zwingend erforderlich, andere sind hingegen optional.
- Einzelne Datensätze sind mittels Zeilenumbruchs voneinander getrennt, wodurch jede Zeile einem Datensatz entspricht.
- Zur Trennung der einzelnen Inhalte und der Definition deren Zugehörigkeit zur jeweiligen Spalte bzw. zum jeweiligen Attribut werden Kommas verwendet.
- Spaltenbezeichnungen, die über Anführungszeichen und/oder Kommas verfügen, müssen als Ganzes unter Anführungszeichen gestellt werden. Zusätzlich dazu müssen sämtliche Inhalte innerhalb der Spaltenbezeichnung, die unter Anführungszeichen gestellt sind, nochmals unter Anführungszeichen gestellt werden.
- Es dürfen keine extra Leerzeichen in den Feldern und Spaltenbezeichnungen vorhanden sein.
- Die Dateien müssen im UTF-8 Format codiert sein um alle Unicode-Zeichen unterstützen zu können.
- Die einzelnen Dateien müssen mittels zip komprimiert werden.

3.1.1. Datensatzbeschreibung: agency.txt

Diese Datei enthält lediglich die Information über den Betreiber des ÖPNV-Systems. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
agency_id	Erforderlich/Optional	Identifikation des ÖPNV-Betreibers. Ein GTFS-Datensatz kann Informationen mehrerer Betreiber beinhalten. Wenn das der Fall ist, ist dieses Attribut zwingend erforderlich.
agency_name	Erforderlich	Name des ÖPNV-Betreibers.
agency_url	Erforderlich	URL des ÖPNV-Betreibers.
agency_timezone	Erforderlich	Zeitzone, in welcher der ÖPNV-Betreiber lokalisiert ist
agency_lang	Optional	Information über die Sprache, in welcher der ÖPNV-Betreiber operiert.
agency_phone	Optional	Telefonnummer des ÖPNV-Betreibers.
agency_fare_url	Optional	URL der Website, über die Tickets zur Nutzung des ÖPNV-Systems erworben werden können.
agency_email	Optional	E-Mail-Adresse des ÖPNV-Betreibers.

Tabelle 2: Inhalt einer agency.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Inhalt der der agency.txt Datei des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien:

```
agency_id,agency_name,agency_url,agency_timezone,agency_lang,agency_phone

"1","Wiener Linien","https://www.wienerlinien.at/","Europe/Vienna","DE","+43 (0)1 7909 - 0"

"2","WLB","https://www.wlb.at/","Europe/Vienna","DE","+43 (0) 1/ 90 444"
```

3.1.2. Datensatzbeschreibung: stops.txt

Die Datei stops.txt beinhaltet die Information über die konkreten Standorte der Haltestellen und Stationen innerhalb des ÖPNV-Systems. Zusätzlich kann die Datei weitere Informationen bezüglich der Stationszugehörigkeit und -ausstattung beinhalten. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
stop_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation jeder ÖPNV-Station bzw. Haltestelle. Eine ÖPNV-Station kann Bestandteil mehrerer Linien sein.
stop _code	Optional	Eine Nummer bzw. ein kurzer Text, der die Station bzw. Haltestelle für Fahrgäste identifizierbar macht (meistens nicht vorhanden).
stop _name	Erforderlich	Name der Station bzw. Haltestelle.
stop _desc	Optional	Qualitative Beschreibung der Station bzw. Haltestelle (Anm.: meistens nicht vorhanden).
stop _lat	Erforderlich	Breitengrad, entlang dessen sich die Station bzw. Haltestelle gemäß dem Koordinatensystem WGS 84 befindet.
stop _long	Erforderlich	Längengrad, entlang dessen sich die Station bzw. Haltestelle gemäß dem Koordinatensystem WGS 84 befindet.
zone_id	Optional	Identifikation der Tarifzone, in der sich die Station bzw. Haltestelle befindet.
stop_url	Optional	URL der Website der Station.
location_type	Optional	Identifikation darüber, ob es sich um eine Station, einen Stationseingang oder eine Haltestelle handelt: • 0 oder Leer = Haltestelle • 1 = Station, die eine oder mehrere Haltestellen beinhaltet. • 2 = Stationseingang. Der eigentliche Ort, an dem man in das Fahrzeug einsteigt befindet sich nicht direkt an diesem Punkt (z.B. bei U-Bahn-Stationen).
parent_station	Optional	Information über die Station, von welcher eine Haltestelle Bestandteil ist, wenn sich die Haltestelle innerhalb einer Station befindet, die über mehrere Haltestellen verfügt.
stop_timezone	Optional	Zeitzone, in der sich die Station bzw. Haltestelle befindet.
wheelchair_boarding	Optional	Information über die barrierefreie Zugänglichkeit der Station bzw. der Haltestelle: • 0 oder Leer = Keine Information vorhanden. • 1 = Barrierefrei zugänglich. • 2 = Nicht barrierefrei zugänglich.
platform_code	Optional	Bahnsteig, an welchem sich die Station bzw. Haltestelle befindet.

Tabelle 3: Inhalt einer stop.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Während die Unterscheidung der einzelnen Einträge in Stationen, Stationseingänge und Haltestellen eine hilfreiche Kategorisierung zwecks der Datenanalyse darstellt, ist diese in der Strukturierung der Daten von Seiten der Wiener Linien nicht vorgenommen worden. Besonders bei U-Bahn Stationen birgt dies, unter bestimmten Bedingungen, spezielle Herausforderungen. Auf diesen Umstand wird in Kapitel 8.2.2.1.2. eingegangen.

Auszug des Inhalts der stops.txt Datei des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien:

```
stop_id,stop_name,stop_lat,stop_lon

"at:43:3121:0:1","Baden Josefsplatz","48.0059514477605","16.2336980467103"

"at:49:57:0:2","Ammerweg","48.2184118090252","16.2603690274996"

"at:49:606:0:6","Johnstraße","48.1989854666407","16.3195141058142"

"at:49:606:0:7","Johnstraße U","48.1990213927179","16.3194781732028"
```

3.1.3. Datensatzbeschreibung: routes.txt

Die Datei routes.txt enthält die Daten bezüglich der einzelnen Linien innerhalb eines ÖPNV-Systems. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
route_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der ÖPNV-Linie.
agency_id	Optional	Identifikation des ÖPNV-Betreibers, der die Linie betreibt. Festgelegt in agency.txt.
route_short_name	Erforderlich/Optional	Kurzbezeichnung der ÖPNV-Linie (ohne Angabe der Namen bedienter Stationen). Zumindest eine der zwei Felder „route_short_name“ und „route_long_name“ muss vorhanden sein.
route_long_name	Erforderlich/Optional	Voller Name der ÖPNV-Linie samt Angabe der jeweiligen Endstationen. Zumindest eine der zwei Felder „route_short_name“ und „route_long_name“ muss vorhanden sein.
route_desc	Optional	Qualitative Beschreibung der ÖPNV-Linie (meistens nicht vorhanden).
route_type	Erforderlich	Verkehrsmittel, welches die ÖPNV-Linie bedient: • 0 = Straßenbahn • 1 = U-Bahn • 2 = Zug • 3 = Autobus • 4 = Fähre • 5 = Straßenseilbahn • 6 = Seilbahn • 7 = Standseilbahn
route_url	Optional	URL der Website der ÖPNV-Linie.
route_color	Optional	Farbe der ÖPNV-Linie.
route_text_color	Optional	Angabe einer Farbe, in der Text abgebildet werden soll, um diesen vor dem Hintergrund der in dem Feld „route_colour“ angegebenen Farbe lesen zu können (Default = „FFFFFF“ (Weiß)).
route_sort_order	Optional	Dient zur Reihung der ÖPNV-Linien zur optimalen Präsentation für Nutzer.

Tabelle 4: Inhalt einer routes.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Auszug des Inhalts der routes.txt Datei des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien:

```
route_id,agency_id,route_short_name,route_long_name,route_type,route_color,route_text_color

"21-U3-j18-1","1","U3","Ottakring - Simmering","1","EF7C00","FFFFFF"

"22-1-j18-1","1","1","Prater, Hauptallee - Stefan-Fadinger-Platz","0","C00808","FFFFFF"

"23-13A-j18-1","1","13A","Alser Straße, Skodagasse - Hauptbahnhof","3","0A295D","FFFFFF"

"24-N43-j18-1","1","N43","Neuwaldegg - Schottentor","3","0A295D","FFFFFF"
```

3.1.4. Datensatzbeschreibung: trips.txt

In der Datei trips.txt wird die Information bezüglich der Fahrten entlang der ÖPNV-Linien katalogisiert. Eine Fahrt bzw. ein Trip entspricht dabei einer Sequenz von mindestens zwei ÖPNV-Stationen einer ÖPNV-Linie zu einer bestimmten Zeit. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
route_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der ÖPNV-Linie, von der die jeweilige Fahrt ein Teil ist. Festgelegt in routes.txt.
service_id	Erforderlich	Information bzgl. der Daten der Bedienung der Linie. Festgelegt in calender.txt bzw. calender_dates.txt.
trip_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der Fahrt.
trip_headsign	Optional	Ziel der Fahrt. Dient zur Unterscheidung unterschiedlicher Bedienungsmuster entlang der ÖPNV-Linie.
trip_short_name	Optional	Kurzbezeichnung der Fahrt (Anm.: meistens nicht vorhanden).
direction_id	Optional	Binäre Angabe der Fahrtrichtung: • 0 = Fahrt in eine festgelegte Richtung (z.B. Stadteinwärts) • 1 = Fahrt in die entgegengesetzte Richtung (z.B. Stadtauswärts)
block_id	Optional	Block, dem die Fahrt angehört. Einzelne Fahrten lassen sich Blocks zuordnen. Ein Block entspricht dabei einer bzw. mehreren aufeinanderfolgenden Fahrten, die mit demselben Fahrzeug durchgeführt werden.
shape_id	Optional	Eindeutige Identifikation der der Fahrt zugehörigen Geometrie. Festgelegt in shapes.txt.
wheelchair_accessible	Optional	Information über die barrierefreie Nutzung der Fahrt: • 0 oder Leer = Keine Information vorhanden. • 1 = Barrierefrei zugänglich. • 2 = Nicht barrierefrei zugänglich.
bikes_allowed	Optional	Information über die Möglichkeit der Fahrradmitnahme: • 0 oder Leer = Keine Information vorhanden. • 1 = Fahrradmitnahme möglich/erlaubt. • 2 = Fahrradmitnahme nicht möglich bzw. nicht erlaubt.

Tabelle 5: Inhalt einer trips.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Auszug des Inhalts der trips.txt Datei des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien:

```
route_id,service_id,trip_id,shape_id,trip_headsign,direction_id,block_id
"21-U1-j18-1","T8","7525.T8.21-U1-j18-1.3.H","21-U1-j18-1.3.H","Wien Leopoldau","0",""
"21-U1-j18-1","T8","7526.T8.21-U1-j18-1.3.H","21-U1-j18-1.3.H","Wien Leopoldau","0",""
"21-U1-j18-1","T8","7527.T8.21-U1-j18-1.3.H","21-U1-j18-1.3.H","Wien Leopoldau","0",""
"21-U1-j18-1","T8","7528.T8.21-U1-j18-1.3.H","21-U1-j18-1.3.H","Wien Leopoldau","0",""
"23-10A-j18-1","T8","928.T8.23-10A-j18-1.4.H","23-10A-j18-1.4.H","Wien Niederhofstraße U","0",""
"23-10A-j18-1","T8","902.T8.23-10A-j18-1.4.H","23-10A-j18-1.4.H","Wien Niederhofstraße U","0",""
"23-10A-j18-1","T8","832.T8.23-10A-j18-1.4.H","23-10A-j18-1.4.H","Wien Niederhofstraße U","0",""
"23-10A-j18-1","T8","880.T8.23-10A-j18-1.4.H","23-10A-j18-1.4.H","Wien Niederhofstraße U","0",""
```

3.1.5. Datensatzbeschreibung: stop_times.txt

In der Datei stop_times.txt befinden sich sämtliche Informationen bezüglich der Ankunfts- und Abreisezeit der Fahrzeuge für jede Station bzw. Haltestelle. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
trip_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der Fahrt. In trips.txt festgelegt.
arrival_time	Erforderlich	Die Ankunftszeit einer bestimmten Fahrt an einer bestimmten Station/Haltestelle der Route.
departure_time	Erforderlich	Die Ankunftszeit einer bestimmten Fahrt an einer bestimmten Station/Haltestelle der Route.
stop_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation jeder ÖPNV-Station bzw. Haltestelle.
stop_sequence	Erforderlich	Reihenfolge der Stationen/Haltestellen, die im Zuge der Fahrt bedient werden.
stop_headsign	Optional	Kurzbezeichnung der Fahrt (meistens nicht vorhanden).
pickup_type	Optional	Angabe darüber, ob Personen an den Stationen bzw. Haltestellen normal zusteigen können, oder ob der Zusteigewunsch telefonisch arrangiert werden muss: • 0 = Normaler Zustieg über die Station bzw. Haltestelle laut Fahrplan. • 1 = Kein Zustieg möglich. • 2 = Arrangement über Telefondienst notwendig. • 3 = Arrangement mit dem Fahrer notwendig.
drop_off_type	Optional	Angabe darüber, ob Personen an den Stationen bzw. Haltestellen normal aussteigen können, oder ob der Wunsch auszusteigen telefonisch arrangiert werden muss: • 0 = Normaler Ausstieg über die Station bzw. Haltestelle laut Fahrplan. • 1 = Kein Ausstieg möglich. • 2 = Arrangement über Telefondienst notwendig. • 3 = Arrangement mit dem Fahrer notwendig.

shape_dist_traveled	Optional	Entfernung. die im Zuge der Fahrt entlang der ÖPNV-Linie zurückgelegt wird.
timepoint	Optional	Angabe strikter Ankunfts- und Abfahrtszeiten, deren Einhaltung vom ÖPNV-Betreiber zwingend vorgegeben ist: • 0 = Zeiten müssen exakt eingehalten werden. • 1 = Zeiten müssen nicht exakt eingehalten werden. • 2 oder Leer = Zeiten müssen exakt eingehalten werden.

Tabelle 6: Inhalt einer stop_times.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Auszug des Inhalts der stop_times.txt Datei des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien:

```
trip_id,arrival_time,departure_time,stop_id,stop_sequence,pickup_type,drop_off_type,shape_dist_traveled

"909.UI.11-WLB-8-j18-1.13.R","24:14:00","24:14:00","at:49:103:0:1","1","0","0","0"

"909.UI.11-WLB-8-j18-1.13.R","24:16:00","24:16:00","at:49:865:0:10","2","0","0","5357.2332544521"

"909.UI.11-WLB-8-j18-1.13.R","24:17:00","24:17:00","at:49:1015:0:12","3","0","0","9972.07993184379"

"909.UI.11-WLB-8-j18-1.13.R","24:19:00","24:19:00","at:49:1160:0:5","4","0","0","12378.4045875426"

"909.UI.11-WLB-8-j18-1.13.R","24:20:00","24:20:00","at:49:1214:0:1","5","0","0","24698.0925397256"

"909.UI.11-WLB-8-j18-1.13.R","24:21:00","24:21:00","at:49:444:0:3","6","0","0","30263.6330356249"

"909.UI.11-WLB-8-j18-1.13.R","24:23:00","24:23:00","at:49:585:0:1","7","0","0","43418.7989692347"
```

3.1.6. Datensatzbeschreibung: calendar.txt

In dieser Datei befinden sich unterschiedliche Strukturen bezüglich der Bedienungsmuster. In unterschiedlichen Kombinationen wird darin angegeben an welchen Wochentagen der Betrieb stattfindet. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes nur zwingend erforderlich wenn in der Datei calendar_dates.txt nicht sämtliche Tage des Jahres definiert sind (vgl. Kapitel 3.1.7.).

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
service_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation des Bedienungsmusters. Einzigartige Zusammenstellung aus Wochentagen an denen der Fahrbetrieb stattfindet. Wird von trips.txt abgefragt.
monday	Erforderlich	Binäre Festlegung darüber, ob der Fahrbetrieb an dem Wochentag stattfindet: • 0 = Fahrbetrieb findet nicht statt. • 1 =Fahrbetrieb findet statt.
tuesday	Erforderlich	Siehe „monday“.
wednesday	Erforderlich	Siehe „monday“.
thursday	Erforderlich	Siehe „monday“..
friday	Erforderlich	Siehe „monday“.
saturday	Erforderlich	Siehe „monday“.
sunday	Erforderlich	Siehe „monday“.
start_date	Erforderlich	Datum, ab dem die Betriebsstruktur in Kraft tritt.
end_date	Erforderlich	Datum, ab dem die Betriebsstruktur außer Kraft tritt.

Tabelle 7: Inhalt einer calendar.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Auszug des Inhalts der calendar.txt Datei des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien:

```
service_id,monday,tuesday,wednesday,thursday,friday,saturday,sunday,start_date,end_date

"UI","0","0","0","0","0","1","0","20171210","20181208"

"UG","1","1","1","1","1","0","0","20171210","20180331"

"T2+ms042","0","0","0","0","0","1","0","20171210","20181208"

"T3+ms054","0","0","0","0","0","0","1","20171210","20181208"
```

3.1.7. Datensatzbeschreibung: calendar_dates.txt

In calendar_dates.txt werden Festlegungen bezüglich Ausnahmen in den in calendar.txt festgelegten Betriebsmustern getroffen. Wird der Betrieb für sämtliche Tage im Jahr innerhalb der Datei calendar_dates.txt festgelegt, ist die Datei calender.txt obsolet und calendar_dates.txt innerhalb eines GTFS-Datensatzes zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
service_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation des Bedienungsmusters. Einzigartige Zusammenstellung aus Wochentagen an denen der Fahrbetrieb stattfindet. Wird von trips.txt abgefragt.
day	Erforderlich	Datum, an welchem das Betriebsmuster von der in calendar.txt festgelegten Norm abweicht.
exception_type	Erforderlich	Information bezüglich der Art der Ausnahme: • 1 = Fahrbetrieb findet statt. • 2 =Fahrbetrieb findet nicht statt.

Tabelle 8: Inhalt einer calendar_dates.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Es bestehen zwei Möglichkeiten die Integration der Ausnahmen im Fahrplan mittels der Datei calendar_dates.txt umzusetzen. Sollte es nur selten Ausnahmen vom regulären Fahrplan geben, ist es am besten, die wenigen Tage, an denen eine Abweichung vom regulären Fahrbetrieb gegeben ist, mittels einer Relation über die service_id mit calender.txt zu verknüpfen und die Ausnahme vom Betriebsmuster für die in calender_dates.txt angegebene Daten zu ersetzen.
Sind jedoch viele Ausnahmen vom regulären Fahrbetrieb vorhanden, ist es sinnvoller ganz auf die Datei calendar.txt zu verzichten und den Fahrbetrieb für sämtliche Tage im Jahr in calendar_dates.txt festzulegen.

Auszug des Inhalts der calendar_dates.txt Datei des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien:

```
service_id,date,exception_type

"T0","20180402","2"

"T0+ms025","20180329","2"

"T9+ms025","20180326","2"

"TE","20171212","2"
```

3.1.8. Datensatzbeschreibung: fare_attributes.txt

In fare_attributes.txt werden Informationen über den Fahrpreis, die Währung und die Art der Entrichtung strukturiert. Ebenso sind die Anzahl an möglichen Umsteigevorgängen sowie die maximale Fahrzeit, die damit zurückgelegt werden kann, festgehalten. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes nicht zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
fare_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der Fahrpreisstruktur.
price	Erforderlich	Angabe des Fahrpreises.
currency_type	Erforderlich	Angabe der Währung, in welcher der Fahrpreis zu entrichten ist.
payment_method	Erforderlich	Angabe bezüglich der Art der Fahrpreisentrichtung: • 0 = Vor Fahrtantritt. • 1 = Während der Fahrt.
transfers	Erforderlich	Anzahl möglicher Umstiege mit einem Ticket: • 0 = Keine Umstiege erlaubt. • 1 = Ein Umstieg erlaubt. • 2 = Zwei Umstiege erlaubt. • Leer = Unlimitierte Anzahl an Umstiegen möglich.
agency_id	Optional	Identifikation des ÖPNV-Betreibers, zu dessen Gunsten der Fahrpreis zu entrichten ist.
transfer_duration	Optional	Maximale Fahrtzeit mit einem Ticket.

Tabelle 9: Inhalt einer fare_attributes.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Der GTFS-Datensatz der Wiener Linien enthält keine fare_attributes.txt Datei. Folgende Datenzeilen sind lediglich ein Beispiel eines potenziellen Inhalts (vgl. support.google.com):

```
fare_id price ,currency_type,payment_method,transfers,transfer_duration

1,0.00,USD,0,0,0

2,0.50,USD,0,0,0

3,1.00,USD,0,0,0

4,1.50,USD,0,0,0

5,2.00,USD,0,0,0
```

3.1.9. Datensatzbeschreibung: fare_rules.txt

Die fare_rules.txt Datei spezifiziert nach welchen Regeln die in fare_attributes.txt festgelegten Tarifmuster angewendet werden. Dabei ist eine Mischung aus folgenden Regeln die Norm:

- Der Tarif ist abhängig von der Start- und Zielstation bzw. -Haltestelle.
- Der Tarif ist abhängig von festgelegten Tarifzonen, die der Fahrgast während der Fahrt durchquert.
- Der Tarif ist abhängig von der genutzten ÖPNV-Route.

Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes nicht zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
fare_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der Fahrpreisstruktur. Festgelegt in fare_attributes.txt.
route_id	Optional	Eindeutige Identifikation der ÖPNV-Linie der die Fahrt angehört. Festgelegt in routes.txt.
origin_id	Optional	zone_id der ÖPNV-Station von der die Fahrt ausgeht. Festgelegt in stops.txt.
destination_id	Optional	zone_id der ÖPNV-Station an der die Fahrt endet. Festgelegt in stops.txt.
contains_id	Optional	Information bezüglich der Tarifzonen (zone_id), die während der Fahrt durchquert werden, wird mit der fare_id in Verbindung gebracht.

Tabelle 10: Inhalt einer fare_rules.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Der GTFS-Datensatz der Wiener Linien enthält keine fare_rules.txt Datei. Folgende Datenzeilen sind lediglich ein Beispiel eines potenziellen Inhalts (vgl. support.google.com):

```
fare_id,route_id,origin_id,destination_id,contains_id

a,TSW,1,1,,

a,TSE,1,1,,

a,GRT,1,1,,

a,GRJ,1,1,,

b,GRT,3,3,,

c,GRT,,, 6
```

3.1.10. Datensatzbeschreibung: shapes.txt

In der Datei shapes.txt wird der physische Pfad dargestellt, den die Fahrzeuge während ihrer Fahrten zwischen den Stationsstandorten zurücklegen. Die Pfade stehen in Relation zu den Fahrten, die in trips.txt festgelegt sind. Jeder Pfad ist in Segmente unterteilt. Jedes Segment verfügt einen eigenen Eintrag im Datensatz. Zu einem Pfad zugehörige Pfadsegmente verfügen über eine gemeinsame Kennzeichnung. Über die aufeinanderfolgenden Einträge der Pfadsegmente wird der Pfad sozusagen Punkt für Punkt gespeichert. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes nicht zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
shape_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation des Pfades.
shape_pt_lat	Erforderlich	Breitengrad, entlang dessen sich die Punkte befinden, entlang denen sich das Pfadsegment orientiert. Angabe gemäß dem Koordinatensystem WGS 84.
shape_pt_lon	Erforderlich	Längengrad, entlang dessen sich die Punkte befinden, entlang denen sich das Pfadsegment orientiert. Angabe gemäß dem Koordinatensystem WGS 84.
shape_pt_sequence	Erforderlich	Angabe über den Rang des Pfadsegments in der Reihenfolge aller Pfadsegmente des Pfades.
shape_dist_traveled	Optional	Kumulierte Distanz der bis zum jeweiligen Punkt

		zurückgelegten Pfadsegmente.

Tabelle 11: Inhalt einer shapes.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Auszug des Inhalts der shapes.txt Datei des GTFS-Datensatzes der Wiener Linien:

```
shape_id,shape_pt_lat,shape_pt_lon,shape_pt_sequence,shape_dist_traveled

"11-WLB-8-j18-1.1.H","48.005956","16.233716","1","0"

"11-WLB-8-j18-1.1.H","48.005512","16.233967","2","510.036273219856"

"11-WLB-8-j18-1.1.H","48.005344","16.234219","3","812.902580358832"

"11-WLB-8-j18-1.1.H","48.0052","16.234488","4","1118.02059031564"
```

3.1.11. Datensatzbeschreibung: frequencies.txt

Die Datei frequencies.txt dient dazu, Bedienungsintervalle anzugeben, die keinem regelmäßigen Muster folgen. Wenn Fahrten in frequencies.txt enthalten sind, werden deren Ankunfts- und Abfahrzeiten, die in stop_times.txt definiert sind, für die Ermittlung des Bedienungsintervalls ignoriert. Diese dienen dann nur noch der Ermittlung der Stations- bzw. Haltestellensequenz und der Zeitdifferenz zwischen den einzelnen Stationen bzw. Haltestellen. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes nicht zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
trip_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der Fahrt. Festgelegt in trips.txt.
start_time	Erforderlich	Uhrzeit, zu der das erste Fahrzeug von der ersten Station bzw. Haltestelle der jeweiligen Fahrt, mit dem in „headway_secs“ festgelegten Zeitintervall, startet.
end_time	Erforderlich	Uhrzeit, zu der in der ersten Station bzw. Haltestelle der jeweiligen Fahrt der Fahrbetrieb, in dem in „headway_secs“ festgelegten Zeitintervall, endet oder gänzlich eingestellt wird.
headway_secs	Erforderlich	Zeit zwischen den Abfahrten an derselben Station bzw. Haltestelle während des festgelegten Zeitfensters. Muss in Sekunden angegeben werden.
exact_times	Optional	Gibt an, ob die letzte Fahrt, die innerhalb des angegebenen Zeitfensters begonnen wird, vor der festgelegten „end_time“ abgeschlossen sein muss oder nicht: • 0 = Überziehung möglich. • 1 = Überziehung nicht möglich.

Tabelle 12: Inhalt einer frequencies.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Der GTFS-Datensatz der Wiener Linien enthält keine frequencies.txt Datei. Folgende Datenzeilen sind lediglich ein Beispiel eines potenziellen Inhalts (vgl. support.google.com):

```
trip_id,start_time,end_time,headway_secs

AWE1,05:30:00,06:30:00,300

AWE1,06:30:00,20:30:00,180

AWE1,20:30:00,28:00:00,420
```

3.1.12. Datensatzbeschreibung: transfers.txt

Die transfer.txt Datei bietet die Möglichkeit spezielle Umsteigesituationen abzubilden, die sich nicht aus der relativen Nähe der Stations- bzw. Haltestellenpunkte ableiten lassen und deswegen hervorgehoben werden sollen. Dabei lassen sich bestimmte Festlegungen bezüglich der Art der Umsteigerelation treffen. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes nicht zwingend erforderlich.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/Optional	Inhalt
from_stop_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der Station, von der die Umsteigerelation ausgeht. Festgelegt in stops.txt (stop_id).
to_stop_id	Erforderlich	Eindeutige Identifikation der Station, an der die Umsteigerelation endet. Festgelegt in stops.txt (stop_id).
transfer_type	Erforderlich	Art der Umsteigerelation: • 0 oder Leer = Empfohlene Umsteigerelation. • 1 = Zeitlich abgestimmte Umsteigerelation. Das abfahrende Fahrzeug wartet bis das ankommende Fahrzeug eintrifft. Ein Zeitfenster für den Umstieg der Fahrgäste muss zwischen Ankunft des einfahrenden Fahrzeugs und vor Abfahrt des abfahrenden Fahrzeugs eingehalten werden. • 2 = Minimal notwendiger Zeitaufwand für den Umstieg (Festgelegt in „min_transfer_time“). • 3 = Kein Umstieg möglich.
min_transfer_time	Optional	Minimal benötigte Umsteigezeit, wenn „transfer_type“ den Wert 2 hat. Muss in Sekunde angegeben werden.

Tabelle 13: Inhalt einer transfers.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

Der GTFS-Datensatz der Wiener Linien enthält keine transfers.txt Datei. Folgende Datenzeilen sind lediglich ein Beispiel eines potenziellen Inhalts (vgl. support.google.com):

```
from_stop_id,to_stop_id,transfer_type,min_transfer_time

S6,S7,2,300

S7,S6,3,

S23,S7,1,
```

3.1.13. Datensatzbeschreibung: feed_info.txt

Die Datei feed_info.txt enthält Metadaten zum GTFS-Datensatz insgesamt sowie Informationen bezüglich des Herausgebers. Auch wenn in agency.txt der zuständige ÖPNV-Betreiber angeführt ist,

ist dieser nicht immer ident mit dem Herausgeber des GTFS-Datensatzes. Die Datei ist innerhalb eines GTFS-Datensatzes nicht zwingend erforderlich. Der GTFS-Datensatz der Wiener Linien enthält keine feed_info.txt Datei.

Spaltenbezeichnung	Erforderlich/optional	Inhalt
feed_publisher_name	Erforderlich	Vollständiger Name der Organisation, die für die Herausgabe des GTFS-Datensatzes und dessen Inhalte verantwortlich ist.
feed_publisher_url	Erforderlich	URL der Website der Organisation, die für die Herausgabe des GTFS-Datensatzes und dessen Inhalte verantwortlich ist.
feed_lang	Erforderlich	Sprache, in der die Inhalte des GTFS-Datensatzes beschrieben sind (gemäß IETF BCP 47 Sprachcode).
feed_start_date	Optional	Das Datum, ab dem die Daten des GTFS-Datensatzes gültig sind.
feed_end_date	Optional	Das Datum, bis zu dem die Daten des GTFS-Datensatzes gültig sind.
feed_version	Optional	Version des GTFS-Datensatzes.
feed_contact_email	Optional	E-Mail-Adresse, über welche die Kommunikation bezüglich des GTFS-Datensatzes und der Datenveröffentlichung möglich ist.
feed_contact_url	Optional	URL der Website, über welche die Kommunikation bezüglich des GTFS-Datensatzes und der Datenveröffentlichung möglich ist.

Tabelle 14: Inhalt einer feed_info.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes.

3.1.14. Gesamtheitliche Betrachtung des GTFS-Datensatzes

Dem Wesen einer relationalen Datenstruktur entsprechend, steht jede der CSV-Textdateien innerhalb des GTFS-Datensatzes mit zumindest einer weiteren dieser CSV-Textdateien inhaltlich in Beziehung. Diese Verbindung besteht in Form eines Attributs, das in der einen Datei definiert wird und auf welches in einer anderen Datei wieder verwiesen wird, um die Daten der beiden Textdateien miteinander in Beziehung zu setzen.

Ein anschauliches Beispiel hierfür bietet die Beziehung der Daten zwischen den Dateien routes.txt und trips.txt. In routes.txt wird jeder ÖPNV-Linie über das Feld „route_id“ eine eindeutige Identifikation in Form einer Kombination aus Zahlen und/oder anderen Zeichen zugeordnet. Jeder Eintrag in trips.txt verweist auf jene Identifikationsnummer der ÖPNV-Linie, der die jeweilige Fahrt mit sämtlichen anderen, der Fahrt über dieselbe Weise von unterschiedlichen CSV-Textdateien, zugeordneten Daten angehört.

Abbildung 2 veranschaulicht die Relationen der Inhalte der einzelnen CSV-Textdateien. Dabei sind die zwingend notwendigen Dateien auf der linken Seite der Abbildung in ihrer hierarchischen Logik zu finden. Auf der rechten Seite der Abbildung befinden sich sämtliche optionale Datensätze, sowie die Dateien calendar.txt und calendar_dates.txt, von denen zumindest eine der beiden vorhanden sein muss (vgl. Kapitel 3.1.6. und 3.1.7.). Die Kanten zwischen den einzelnen CSV-Textdateibezeichnungen geben an, welche davon miteinander verbunden sind. Die den Kanten zugehörigen Feldbezeichnungen geben an, über welches - in beiden Datensätzen vorhandene – Feld die Beziehung definiert wird.
Über diese Systematik lassen sich die Inhalte miteinander verschneiden und datenbanktypische Abfragen auf SQL-Basis konstruieren.

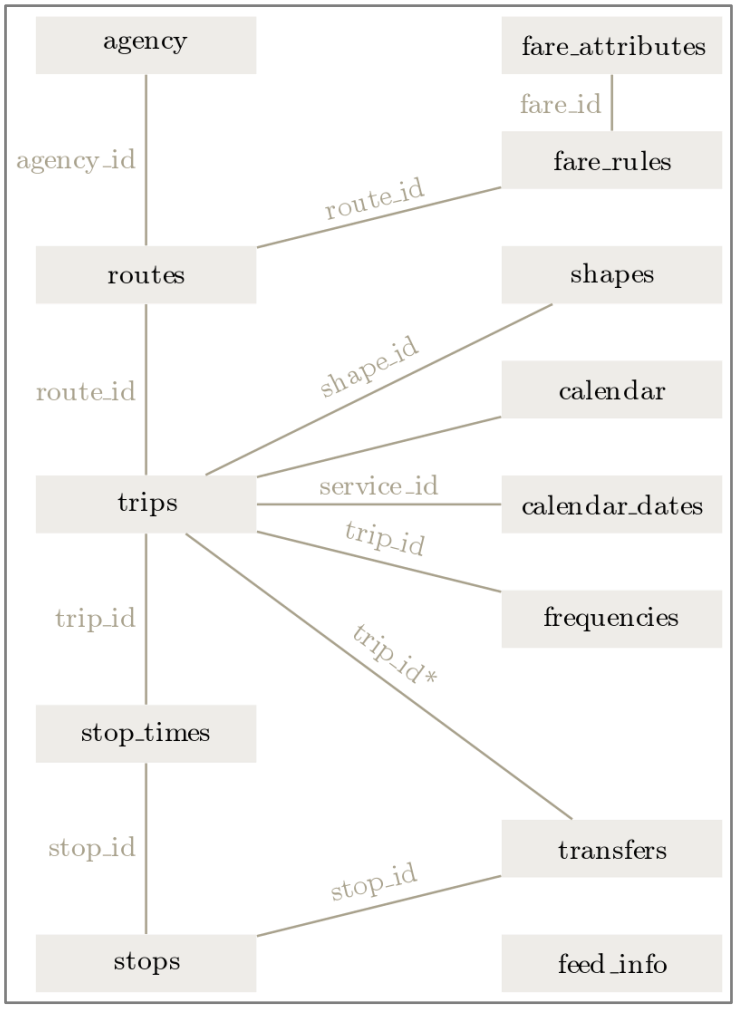


Abbildung 2: Darstellung der Felder, über die die einzelnen Dateien miteinander in Beziehung stehen (Kaufmann, S., 2014, S.33.)

3.2. Beschaffenheit der Daten in GIS

Da die Stations- bzw. Haltestellenpunkte in der Datei stops.txt und die Fahrten zwischen den Stationen in der Datei shapes.txt über Koordinatenangaben im WTS 84 Format verfügen, ist es möglich, diese Inhalte in Geoinformationssystemen darzustellen und zu bearbeiten. Um die Daten in Geometrie zu übersetzen und mit Hilfe von Geoinformationssystemen in den unterschiedlichsten Arten analysieren zu können, ist die Nutzung spezieller Konversionstools notwendig, die ohne Probleme aus dem Internet heruntergeladen und installiert werden können (vgl. Kapitel 8). Bei Integration der GTFS Datensätze in GIS wird eine SQL-Datenbank erstellt, über die auf sämtliche Informationen der anderen CSV-Textdateien zugegriffen und über gemeinsame Datenfelder mit den sichtbaren Geoobjekten in der GIS-Oberfläche in Verbindung gebracht wird. Untersuchungen zur Ermittlung des schnellsten Weges im ÖPNV-Netz rufen die Daten dieser SQL-Datenbank ab und ermitteln das Ergebnis nicht aus den Daten der Attributtabellen der in der GIS-Oberfläche sichtbaren Geoobjekte.

Wichtig hervorzuheben ist, dass es sich bei der Nutzung von GTFS in GIS um ein topologisches Modell handelt. Der Begriff Topologie geht auf die Graphentheorie zurück und ist ein Teilgebiet der Mathematik. Im Gegensatz zur Topografie, die sich mit der Vermessung und Darstellung der

Erdoberfläche sowie deren realitätsgetreuen Abbildung befasst, beschreibt der Begriff Topologie die Beschäftigung mit den strukturellen Beziehungen räumlicher Elemente in der realen Welt (vgl. Volkmann, L., 1996). In einer topologischen Struktur sind lediglich die wechselseitigen Beziehungen raumbezogener Objekte zueinander relevant (vgl. Schubert, H., 1975), die konkrete Form der Objekte, Punkte und Linie spielt keine Rolle. Somit lassen sich Nachbarschaftsbeziehungen konkreter Objekte in abstrakter Form darstellen. Die Topologie ist so zu sagen die Lehre von Lage und Anordnung geometrischer Gebilde im Raum (vgl. Rösch, N., 1998) mit einer engen Verbindung zur Graphentheorie (vgl. Kapitel 7) und zu Geoinformationssystemen.

Bezogen auf GTFS in GIS bedeutet dies, dass die einzelnen Stationspunkte durch Geraden (Kanten) miteinander verbunden sind. Die tatsächliche Topografie der Routenführungen der einzelnen Linien spiegelt sich darin nicht wider, weshalb Analysen der räumlichen Entfernung auf Basis der Geometrie alleine nicht möglich sind. Den Stationspunkten und Routenkanten sind jedoch sämtliche Informationen bezüglich der Fahrpläne für sämtliche Tage eines ganzen Jahres zugeschrieben, weshalb sich Berechnungen zur zeitlichen Entfernung durchführen lassen. Für diesen Zweck ist die korrekte topografische Linienführung irrelevant. Die Stationspunkte sind georeferenziert und befinden sich an dem Standort, an dem sie auch in der Realität vorzufinden sind. Eine weitere wichtige Eigenschaft der Datenstruktur ist die Tatsache, dass jeder Stationspunkt exakt einer Fahrtrichtung zugeordnet ist.

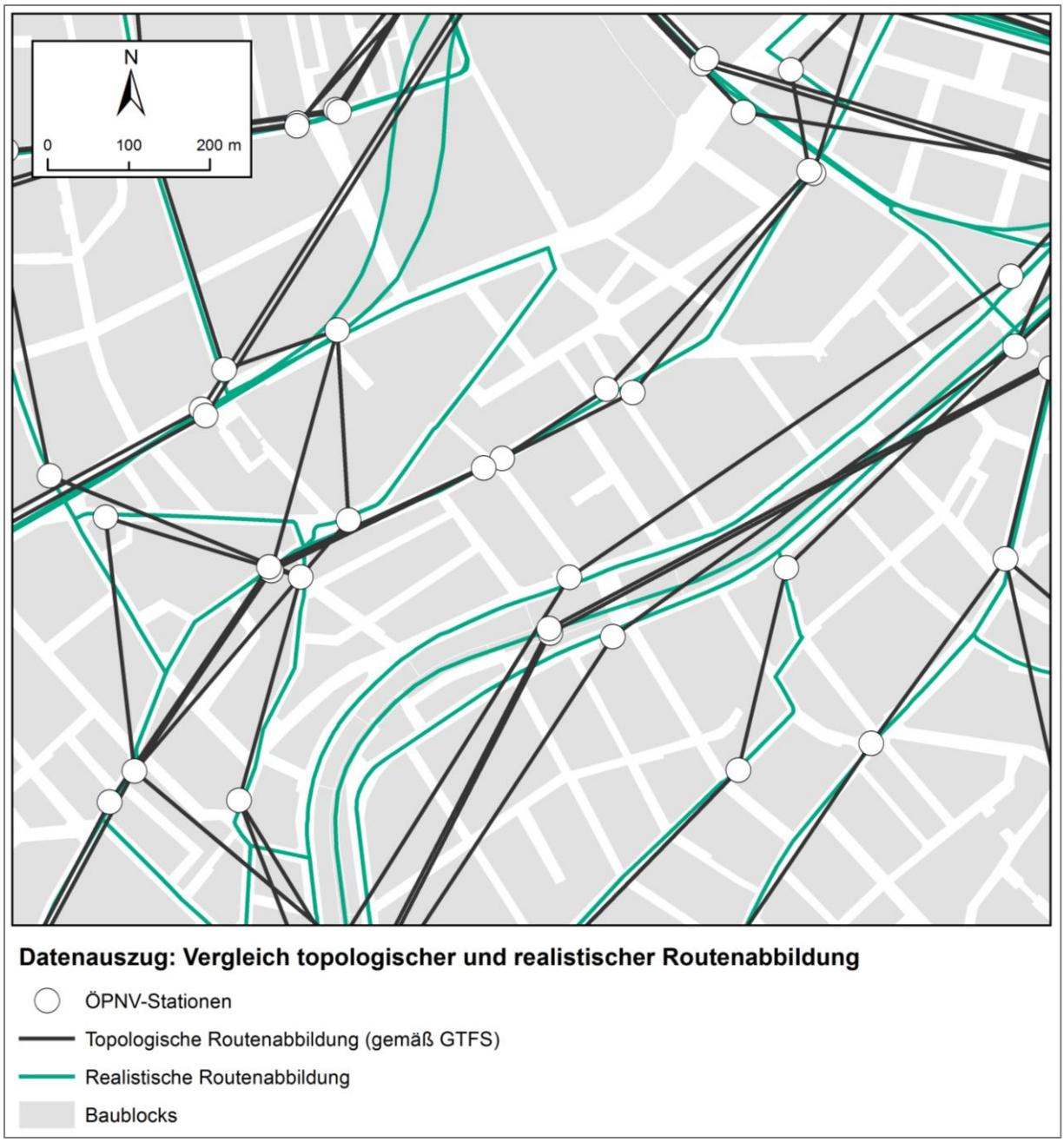


Abbildung 3: Gegenüberstellung der tatsächlichen ÖPNV-Routenführung und der GTFS-Darstellung in GIS (eigene Darstellung).

Während bei Bus- und Straßenbahnhaltestellen hinsichtlich des Stationsstandortes und der Fahrtrichtung tatsächlich eine Unterscheidung möglich ist (jede Station bedient lediglich eine Fahrtrichtung und diese Stationen sind in der Regel räumlich versetzt), ergibt dies bei U-Bahn-Stationen keinen Sinn. Dort ist es in der Regel möglich, Fahrten in beide Fahrtrichtungen durch ein und dieselbe Station wahrzunehmen. GTFS in GIS integriert weist jedoch sämtlichen U-Bahn Stationseinstiegen eine Fahrtrichtung zu und berücksichtigt dabei die Tatsache, dass einzelne Stationspunkte keinerlei Bindung an eine spezifische Fahrtrichtung unterliegen, nicht.

Um GTFS sinnvoll im Rahmen von gesamtstädtischer Analysen zu nutzen, ist es erforderlich das GTFS-Netzwerk mit anderen den städtischen Verkehr betreffenden Netzwerken, wie etwa einem Straßen-, Radweg- oder Fußwegenetz, zu kombinieren. Eine genaue Darstellung einer solchen Vorgehensweise befindet sich im empirischen Teil der Arbeit (vgl. Kapitel 8).

3.2.1. GTFS Realtime

Die den gängigen GTFS-Datensätzen hinterlegten Fahrpläne sind geplante Fahrzeiten, so wie man sie auf gedruckten Fahrplänen im Stationsbereich finden kann und entsprechen nicht zwingend dem tatsächlichen Fahrbetrieb, der sich durch Verspätungen und Routenänderungen aufgrund temporärer Gegebenheiten vom geplanten Fahrbetrieb unterscheiden kann. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, hat es Google ermöglicht, Echtzeit-GTFS-Daten implementier- und bearbeitbar zu machen (vgl. Google, 2015). ÖPNV-Betreiber haben so die Möglichkeit Informationen zu Routenänderungen, Stationsverschiebungen oder Stausituationen in Echtzeit in standardisierter Form zu teilen. Routen- und Erreichbarkeitsberechnungen sind auf dieser Basis realitätsnaher und aussagekräftiger.

Mithilfe speziell kreierter Tools ist das Arbeiten mit GTFS Realtime auch innerhalb von GIS möglich (vgl. esri.github.io). Jedoch ist die Implementierung in einem Graphennetzwerk um einiges schwieriger als die Heranziehung der Fahrpläne, die den geplanten Fahrbetrieb repräsentieren. Zum Zweck der Präsentation des Nutzungspotentials für GTFS in der Raumplanung, beruhen die Analysen im Rahmen dieser Arbeit auf den Fahrplänen des geplanten Fahrbetriebs. GTFS Realtime-Daten sind nicht Bestandteil dieser Arbeit.

3.3. Potenziale von GTFS in der Erreichbarkeitsanalyse

Bei GTFS-Datensätzen handelt es sich um dieselbe Datengrundlage, die auch für Online-Applikationen verwendet wird, um Nutzern Routen- und Fahrplaninformationen bereitzustellen. Bekannte Applikationen sind beispielsweise der Routenplaner von Google Maps, dessen Reisezeitkalkulationen bezüglich des ÖPNV GTFS zur Grundlage hat. Das tatsächliche Nutzungspotential von GTFS geht allerdings über die bloße Ermittlung der kürzesten Wege zwischen zwei oder mehreren Punkten innerhalb eines Netzwerks hinaus. Dieses Potenzial ist die Grundlage der vorliegenden Arbeit.

In offiziellen Studien und Planungen der Stadt Wien finden GTFS und darauf basierende Methoden zur Analyse und Bearbeitung planungsrelevanter Themen keine Erwähnung. Auf Nachfrage bei der für Stadtentwicklung und Stadtplanung zuständigen Magistratsabteilung 18 wurde die Auskunft erteilt, dass es tatsächlich keine veröffentlichten Studien oder Untersuchungen gibt, die auf der Anwendung von GTFS basieren. Als Grund wurden die hohe Komplexität in der Anwendung der Daten sowie der hohe bürokratische Aufwand, der notwendig ist, um die IT-spezifischen Genehmigungen für die Installation der Programmerweiterungen und Toolboxes zu erhalten, genannt. Fragestellungen, die mithilfe von GTFS beantwortet werden sollen, werden an die ITS Vienna Region ausgelagert. Die ITS Vienna Region ist ein Kompetenzzentrum für Intelligent Transport Systems (ITS) der Bundesländer Wien, Niederösterreich und Burgenland. Veröffentlichte Studien zum Thema Erreichbarkeit auf Basis von GTFS existieren jedoch auch hier nicht.

Im darauffolgenden Teil der Arbeit werden potenzielle Vorteile der Anwendung von auf GTFS basierenden Methoden, im Unterschied zu gängigen Erreichbarkeitsanalysen für den ÖPNV, auf theoretischer Ebene vorgestellt. Im später folgenden empirischen Teil der Arbeit werden die konkrete Vorgehensweise in der Art der Berechnung, die zugrundeliegenden Annahmen und die stärkere Aussagekraft der Ergebnisse präsentiert.

3.3.1. Keine Notwendigkeit von Durchschnittswerten aufgrund einer detaillierter Datengrundlage

In konventionellen Studien zum Thema Erreichbarkeit, wie etwa der Studie der Stadt Wien „Multikriterielle Modellierung der ÖV-Erreichbarkeit für die Stadt Wien“ (Stadt Wien MA 18, 2008) wird mit zahlreichen Durchschnittswerten gearbeitet, was die Beförderungsgeschwindigkeit und die Taktfrequenz der einzelnen ÖPNV-Linien betrifft. Dabei wird die durchschnittliche Reisezeit zu gewissen festgelegten Punkten, ausgehende von jedem Stationspunkt und die durchschnittliche Wartezeit an der Station bzw. Haltestelle ermittelt und als Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen hergenommen. Die Aussage der auf dieser Basis erstellten Analysen ist, dass die ermittelten Ergebnisse zu jeder Tageszeit (zu der Verkehrsbetrieb herrscht) gelten, da es sich meist um ganztägige Durchschnittswerte handelt. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel des Ergebnisses aus der oben genannten Studie.

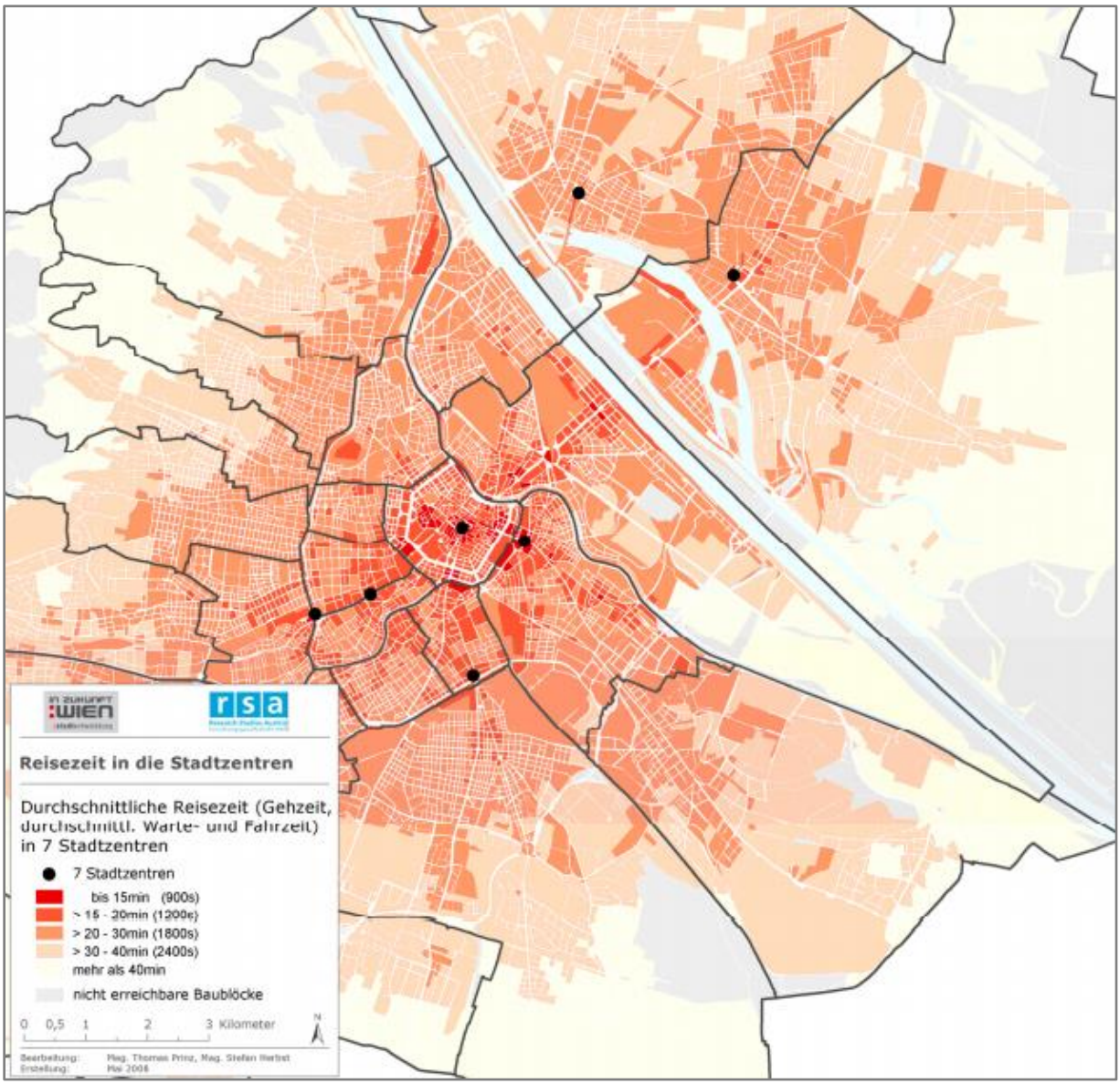


Abbildung 4: Ergebnis der Erreichbarkeitsanalyse einer Erreichbarkeitsstudie in Wien (MA 18, 2008, S. 25).

Wie zu sehen ist, wird als Ergebnis der Analyse jedem Baublock des Wiener Stadtgebietes ein Durchschnittswert zugeteilt, der angibt, in welchem Zeitraum bestimmte angegebene Zentren

erreicht werden können. Dieser Durchschnittswert gilt zu jeder Zeit und für alle Bevölkerungsgruppen. Die Unschärfe dieser Vorgehensweise wird in der Angabe der Klassen durchschnittlicher Reisezeiten ersichtlich, die einen Bereich zwischen 5 und 10 Minuten abdecken. Die Aussage: „Ich brauche von A nach B 20 bis 30 Minuten.“, ist zwar im Durchschnitt womöglich korrekt, die Information könnte allerdings um 05:00 Uhr oder 22:00 Uhr nicht mehr von großer Relevanz sein, da die tatsächliche Reisezeit durch Taktverschiebungen oder einer verringerten Bedienungsfrequenz der Stationen wesentlich länger sein kann. Dasselbe Problem tritt zu Stoßzeiten bei hoher Bedienungsfrequenz auf, in denen man entsprechend schneller an sein Ziel gelangen kann. Genau hier liegt das Problem der Unschärfe traditioneller Erreichbarkeitsanalysen auf ÖPNV-Basis.

Stärker als bei Erreichbarkeitsanalysen auf Grundlage anderer Verkehrsmodi, ist aufgrund der Relevanz von Fahrplänen in ÖPNV-Systemen, der Zeitpunkt der Analyse ausschlaggebend für die ermittelte Reisezeit. Die Zurücklegung eines Weges, für den ein Bus benötigt wird, dauert länger, wenn man diesen gerade verpasst, auch wenn man nur 1 Sekunde nach Abfahrt zur Station gelangt. Deswegen kann das Ergebnis einer Erreichbarkeitsanalyse um 08:00 Uhr signifikant anders aussehen als um 08:01 Uhr. Das in einem bestimmten Zeitfenster erreichbare Stadtgebiet kann, aufgrund eines verpassten Verkehrsmittels oder wenn Umsteigerelationen zeitlich unterschiedlich ausfallen, deswegen wesentlich kleiner oder größer sein.

Die Möglichkeit der Implementierung dieses Gedankens ist die grundlegende Stärke von GTFS im Rahmen solcher Analysen, da genau diese Umstände berücksichtigt werden können. Durch die minutengenaue Aufschlüsselung aller Fahrpläne sämtlicher ÖPNV-Linien sind Erreichbarkeitsanalysen in solch einer Genauigkeit möglich, dass die Angabe der Tageszeit sowie des Wochentages relevante Untersuchungsparameter sind und miteinbezogen werden können.

3.3.2. Die Angabe von Zeitpunkten und Zeiträumen als grundlegender Bestandteil der Analyse

Die potenzielle Stärke von Erreichbarkeitsanalysen auf GTFS-Basis liegt in ihrem hohen Detailgrad, der durch die Heranziehung minutengenauer Fahrpläne zustande kommt. Damit ist es möglich, für jede Minute jedes Tages im Jahr eindeutige Reisezeiten für Routen anzuführen. Durch die Aggregation mehrerer Routing-Berechnungen lässt sich Erreichbarkeit über einen angegebenen Zeitraum in Form einer prozentualen Wahrscheinlichkeit darstellen. So lassen sich genaue Erreichbarkeitsprofile für unterschiedliche Zeiträume erstellen. Für bestimmte Nutzergruppen, Einrichtungen oder Unternehmen können Informationen im Zusammenhang mit räumlicher und zeitlicher Erreichbarkeit zu bestimmten Tageszeiten von besonderer Relevanz sein, wie etwa Schüler, die in einem konkreten Zeitraum in der Früh ihre Bildungsstätte mit Hilfe des ÖPNV erreichen müssen.

Traditionelle Erreichbarkeitsanalysen können darauf nicht oder nur sehr umständlich mit Hilfe von Durchschnittswerten eingehen. Da beispielsweise die Bedienhäufigkeit der meisten ÖPNV-Routen auslastungsbedingt in den späten Abend- und frühen Morgenstunden geringer ist, fällt die Reisezeit aufgrund längerer Wartezeiten und Umsteigerelationen in den meisten Situationen länger aus. Auf diesen Umstand kann eine Analyse auf Grundlage von GTFS durch eine schnelle Änderung des betrachteten Zeitraums (z.B. von 21:00 Uhr bis 24:00 Uhr) angepasst werden. Unter Heranziehung herkömmlicher Methoden muss eine durchschnittliche Bedienhäufigkeit und Fahrtzeit für genau diesen Zeitraum erhoben werden, was mit einer mühsamen Sichtung sämtlicher Fahrpläne für diesen

Zeitraum einhergeht. Analysen auf GTFS-Basis bergen deswegen das Potenzial, besonders im Zusammenhang mit zeitpunkt- und zeitraumsensitiven Diensten bzw. Nachfragemustern, eine weitaus bessere Grundlage zu liefern, um aussagekräftige Erreichbarkeitsanalysen zu erstellen.

Um die Vielzahl an möglichen Routenmöglichkeiten, die in einem betrachteten Zeitfenster anfallen können, gemeinsam zu analysieren, wird innerhalb eines vorab definierten Zeitraums (z.B. 60 Minuten zwischen 13:09 Uhr und 14:09 Uhr) in festgelegten, beliebig wählbaren Intervallen (z.B. jede Minute, alle 5 Minuten, alle 13 Minuten, etc.) immer dieselben Quell-Ziel-Relationen hinsichtlich der benötigten Reisezeit untersucht. Die einzelnen Untersuchungen (bei einer Untersuchung pro Minute wären das 60 Stück für den Untersuchungszeitraum einer Stunde) werden nun hinsichtlich der benötigten Reisezeit miteinander verglichen. Auf dieser Basis wird, mittels der Betrachtung des Verhältnisses zwischen der Anzahl der Untersuchungen, in denen das Ziel innerhalb des angegebenen Zeitraums erreicht wurde, und der Gesamtanzahl der Untersuchungen, die Wahrscheinlichkeit ausgerechnet, ein Ziel innerhalb einer bestimmten Zeit zu erreichen. Bei mehreren Zielen wird angegeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Anzahl an Zielen innerhalb eines bestimmten Zeitfensters erreicht wird.

Während die Frage konventioneller Erreichbarkeitsanalysen lautet: "Wie schnell komme ich von A nach B?", ist es möglich, die Fragestellung im Rahmen einer Analyse auf Basis von GTFS-Daten zu erweitern und zu fragen: "Mit welcher Wahrscheinlichkeit komme ich während eines bestimmten Zeitraums/einer bestimmten Tageszeit innerhalb von x Minuten von A nach B?" oder „Mit welcher Wahrscheinlichkeit erreiche ich während eines bestimmten Zeitrahmens/einer bestimmten Tageszeit innerhalb von x Minuten wie viele der angegebenen Ziele?“. Selbstverständlich ist unter Voraussetzung der Angabe eines Startzeitpunktes und eines Wochentages ebenso die Durchführung einer klassischen Erreichbarkeitsanalyse möglich; diese gilt jedoch eben nur zu dem angegebenen Zeitpunkt.

3.3.3. Erweitertes Konzept der Ermittlung erreichbarer Gebiete

In älteren Untersuchungen zu Erreichbarkeit, wurde diese oft in Form von konzentrischen Kreisen (Buffer) präsentiert. Diese sollten darstellen, wie groß die Entfernung ist, die man innerhalb einer bestimmten Zeit vom Mittelpunkt des Kreises aus zurücklegen kann. Darauf dass die zurückgelegte Entfernung aufgrund der tatsächlichen Wegsituation jedoch länger sein kann, wurde in dieser Konzeption keine Rücksicht genommen. Diese ist abgesehen von der Topographie der Straßen zusätzlich von Steigungen, der Straßenbeschaffenheit, Geschwindigkeitsbegrenzungen, speziellen Kreuzungssituationen und vielen weiteren Faktoren abhängig, auf die in der Vorgehensweise durch Heranziehung simpler Entfernungsbuffer keine Rücksicht genommen wird. Im Zuge einer Vorgehensweise auf Basis eines Graphennetzwerks (vgl. Kapitel 7), kann dieses Problem gelöst werden, indem die konzentrischen Kreise dahingehend adaptiert werden, dass sie sich gemäß der tatsächlichen Erreichbarkeit des Raumes verformen (vgl. Abbildung 5).

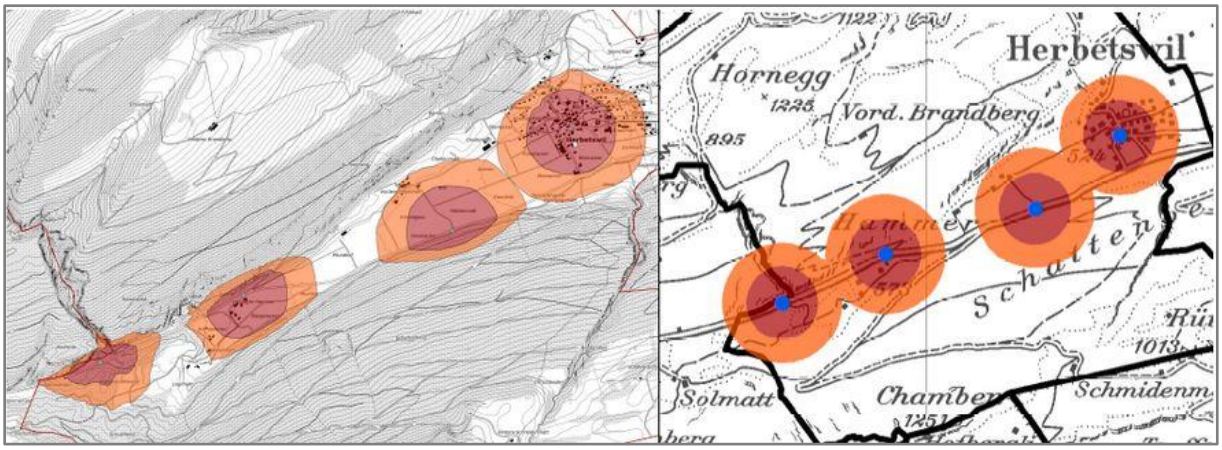


Abbildung 5: Vergleich herkömmlicher (rechts) und an die Umgebungssituation angepasster (links) Entfernungsbuffer (geo7.ch, 2018).

Dieses Konzept der umgebungsangepassten Entfernungsbuffer kann durch die Zuhilfenahme von GTFS nochmals entscheidend erweitert werden. In einem ÖPNV-Netz ist das innerhalb einer bestimmten zeitlichen Begrenzung erreichbare Gebiet nicht zusammenhängend bzw. geschlossen. Grund dafür ist die Tatsache, dass der Bereich nach Ausstieg aus einer Station erreichbar ist, jedoch nicht der Bereich um die ÖPNV-Linie selbst, da man zwischen den Stationen keine Möglichkeit hat auszusteigen. Gebiete, die womöglich näher am analysierten Standort liegen als weiter entfernte Orte, die sich innerhalb des erreichbaren Bereichs befinden, müssen nicht zwangsläufig auch innerhalb des erreichbaren Gebiets liegen. Mit zunehmender Entfernung vom Ausgangs- bzw. Zielpunkt kommt es zu einer zunehmenden Einschränkung des erreichbaren Gebietes auf die die ÖPNV-Stationen umgebenden Bereiche (vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7). Diese Erweiterung der Buffer-Logik ist im Zusammenhang mit Erreichbarkeitsanalysen auf ÖPNV-Basis durch die Anwendung von GTFS möglich.

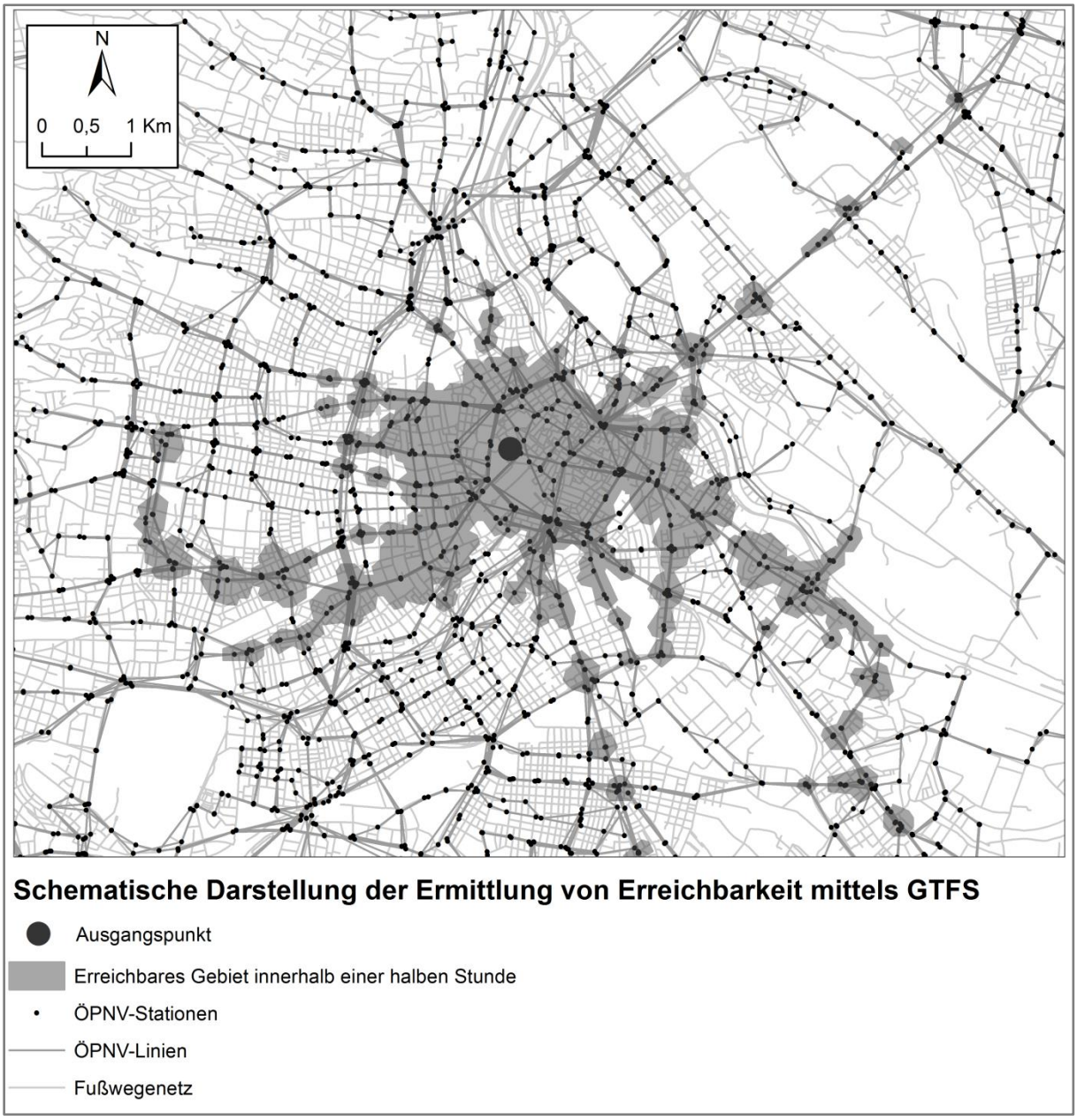


Abbildung 6: Schematische Darstellung des erreichbaren Gebiets ausgehend von einem Analysepunkt in einem GTFS Netzwerkmodell.

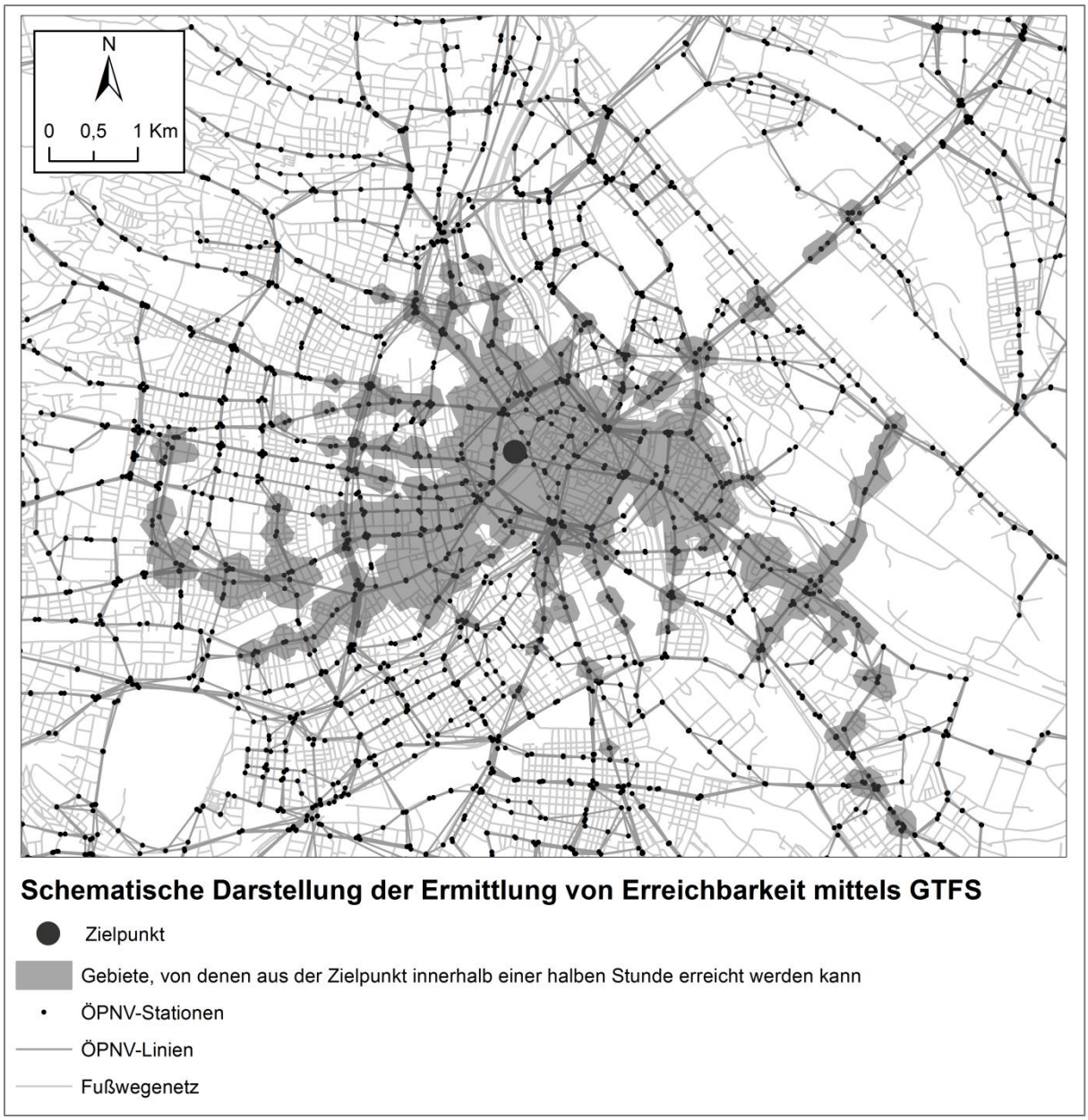


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Gebiets, von dem aus ein festgelegter Punkt innerhalb eines GTFS Netzwerkmodells erreicht werden kann.

3.3.4. ÖPNV-Stationen und Anschlussqualität

Ein weiterer Aspekt, der in Arbeiten zu städtischer Erreichbarkeit oft untersucht wird, ist die Analyse der Erreichbarkeit der jeweils nächstgelegenen ÖPNV-Stationen und deren Qualität hinsichtlich der Vernetztheit innerhalb des ÖPNV-Systems. Dem liegt die Tatsache zugrunde, dass eine nahe gelegene ÖPNV-Station nicht gleichbedeutend mit einer guten Anbindung ist. Wenn diese Station beispielsweise nur alle 30 Minuten bedient wird und die dort haltende Linie womöglich nicht einmal in die Nähe eines Zentrums fährt. Zielführender ist eine Analyse der Bedienungsfrequenz der Station und der Qualität der Anbindung zu Stationen anderer Linien im System, um die Anbindungsqualität für den die Station umgebenden Bereich zu bestimmen.

Im Beispiel der bereits erwähnten Wiener Studie zum Thema Erreichbarkeit wurden, als Vorbereitung für die eigentliche Erreichbarkeitsanalyse, sämtliche Stationen hinsichtlich ihrer Vernetztheit bzw.

der Anbindung an eines der sieben definierten Zentren kategorisiert. Auch hier wird mit Durchschnittswerten (Daten über einen Zeitraum von 20h Betriebszeit) gearbeitet, was die Fahrzeiten sowie Taktung betrifft. Mithilfe mathematischer Modelle wird dabei jede Station mit den Stationen im näheren Umfeld in Beziehung gebracht, um die Relevanz räumlicher Nähe (beispielsweise für Umsteigesituationen) in die Untersuchung zu integrieren. "*Um die erhöhte Attraktivität von Haltestellenagglomerationen abzubilden, werden zur eigentlichen Anzahl der Abfahrten jene Abfahrten distanzabgewichtet hinzu aggregiert, deren Haltestellen innerhalb eines Distanzschwellwertes liegen* (MA18, 2008, S.11)."

Abbildung 8 ist das Ergebnis dieses Prozesses und stellt eine Kategorisierung vor, die sämtliche Stationen innerhalb des Stadtgebiets anhand von zwei Achsen in fünf Klassen einteilt. Diese Kategorisierung hat allerdings stark generalisierte Durchschnittswerte zur Grundlage. Außerdem bezieht sich die Güte der Stationen auf die Anbindung an die in der Studie definierten Zentren, weshalb diese Kategorisierung - wenn überhaupt - nur für eben diese Studie anwendbar und für andere Untersuchungen unbrauchbar ist.

	Mittlere Fahrzeit in ausgewählte Zentren[3]				
Anzahl der Abfahrten in räumlicher Nähe	< 10 Min (600s) (RZ Grenze1[1])	< 20min (1200s) (RZ Grenze2[1])	< 30min (1800s) (RZ Grenze3[1])	< 40min (2400s) (RZ Grenze4[1])	> 40min
> 600 Abf (< 2 min[2]) (Abf Grenze1[1])	A	A	B	C	D
> 400 Abf (< 3 min[2]) (Abf Grenze2[1])	A	B	B	C	D
> 200 Abf (< 6 min[2]) (Abf Grenze3[1])	B	B	C	C	D
> 100 Abf (< 12 min[2]) (Abf Grenze4[1])	C	C	C	D	E
< 100 Abf	D	D	D	E	E

[1] *Name der Variable in Model 2*

[2] *durchschnittlicher Takt bei 20h Betriebszeit*

[3] *durchschnittliche Fahrzeit von der Haltestelle zu 7 definierten Stadtzentren*

Abbildung 8: Matrix zur Klassifikation der Stationsgüte (MA 18, 2008, S. 12).

Ungeachtet der Kategorisierung der einzelnen Stationen wird als Ausgangspunkt für die Erreichbarkeitsanalyse im Zuge der Studie, immer die nächste Station herangezogen, auch wenn sich eine höher kategorisierte Station nur ein bisschen weiter weg befindet. Zusammengefasst wird dann die Gehzeit zur nächstgelegenen Station, die dortige durchschnittliche Wartezeit sowie die durchschnittliche Reisezeit ausgehend von der jeweiligen Station zu allen sieben definierten Stadtzentren, um die durchschnittliche Gesamtreisezeit zu allen Zentren auszurechnen. An dieser Stelle sei nochmals angemerkt, dass sich die verwendeten Durchschnittswerte alle auf eine 20-stündige Betriebszeit beziehen.

Ebenso wie in den vorhergehenden Fällen, besticht auch in diesem Fall eine Vorgehensweise auf Grundlage von GTFS aufgrund der detaillierten Datenlage. Dadurch ist es nicht notwendig auf ungenaue Durchschnittswerte zurückgreifen zu müssen. Dieselbe Art von Untersuchungen bezüglich der Anschlussqualität der einzelnen Stationen und deren Vernetztheit im ÖPNV-Netzwerk sind mit einem Bruchteil des Aufwands möglich und die Ergebnisse sind zusätzlich detaillierter. So ist es möglich, minutengenaue Angaben darüber zu machen, zu welchem Zeitpunkt jede einzelne ÖPNV-Station eines ÖPNV-Netzes bedient wird, mit genauen Daten bezüglich Ein- und Ausfahrt des jeweiligen Fahrzeugs in bzw. aus der Station. Untersucht man diese Daten über einen festgelegten Zeitraum, sind genaue Angaben bezüglich des Bedienungsintervalls an jeder einzelnen ÖPNV-Station möglich. Durch die Betrachtung mehrerer Untersuchungen für verschiedene Tageszeiten, kann ein Unterschied der Bedienungsintervalle je nach Tageszeit analysiert werden (vgl. Kapitel 9).

3.3.5. Ein differenziertes Verständnis von Erreichbarkeit

Aufgrund des grundlegenden Unterschieds in der Betrachtungsweise von Erreichbarkeit verwende ich im Rahmen dieser Arbeit, im Zusammenhang mit dem Vergleich herkömmlicher Erreichbarkeitsanalysen für den ÖPNV und Analysen auf GTFS-Basis, die Begriffe absolute und relative Erreichbarkeit. Während herkömmliche Erreichbarkeitsanalysen einen festen Wert oder einen Wertebereich, wie zum Beispiel fünf bis sechs Minuten, zum Ergebnis haben, arbeiten erweiterte Analysen auf GTFS-Basis mit Wahrscheinlichkeiten innerhalb eines angegebenen Zeitraums, da ihnen die Annahme zugrunde liegt, dass sich Erreichbarkeiten (auf Basis eines ÖPNV-Netzwerks) minütlich ändern können und damit abhängig vom Zeitpunkt der Messung sind. Deswegen wird in diesem Fall (im Rahmen dieser Arbeit) der Begriff relative- bzw. zeitelastische Erreichbarkeit verwendet.
Die Erkenntnis, dass ein Ort nicht immer in derselben Zeit erreichbar ist und dessen Erreichbarkeit von vielen Faktoren abhängt, macht es möglich, diese Faktoren in der Analyse zu berücksichtigen und diese qualitativ hochwertig durchzuführen.

Die potentiellen Vorteile der Anwendung von GTFS in der Erreichbarkeitsanalyse auf ÖPNV-Basis werden an dieser Stelle zum Abschluss nochmals in Form von Stichpunkten zusammengefasst:

- Die Möglichkeit der Nutzung sämtlicher Fahrplaninformationen des gesamten ÖPNV-Netzes der Wiener Linien zu sämtlichen Tageszeiten.
- GTFS verfügt über ein einheitliches relationales Datenformat, welches in einer Vielzahl von Datenbankprogrammen les- und bearbeitbar ist.
- Die Stations- und Linieninformation ist in Geometrie übersetzbar, die mittels GIS bearbeitbar ist und mit anderen räumlichen Daten verschnitten werden kann.
- Die Möglichkeit die Analyse von Erreichbarkeitsverhältnissen nicht nur für einen bestimmten Wochentag und Zeitpunkt, sondern auch für ganze Zeiträume durchzuführen.
- Die Möglichkeit der Hervorhebung des Messzeitpunkts als integraler Bestandteil von Erreichbarkeitsanalysen.

4. Mobilität und Erreichbarkeit aus der Sicht mobilitätseingeschränkter Personengruppen

Untersuchungen zur Analyse von Lebensqualität und der subjektiven Lebenszufriedenheit zeigen, dass eine grundlegende Komponente der subjektiven Lebenszufriedenheit mit der Fähigkeit zusammenhängt, ein selbstbestimmtes und unabhängiges Leben führen zu können (vgl. Veenhoven, R., 2006). Dies beinhaltet die Fähigkeit mobil zu sein und damit seine Mobilitätsbedürfnisse erfüllen und am Verkehrsgeschehen teilhaben zu können.

Als mobilitätseingeschränkt gelten Personen und Personengruppen, die aufgrund von altersbedingten, psychischen und/oder physischen Gründen langfristig oder temporär an der Befriedigung ihrer Mobilitätsbedürfnisse behindert werden (vgl. FIS, 2012). Dies bedeutet jedoch nicht, dass sämtliche Personen, die in diese Kategorie fallen, dieselben Bedürfnisse haben. Wie die folgende Abbildung zeigt, unterscheiden sich betroffene Bevölkerungsgruppen grundlegend in der Herkunft, Art, Dauer und Grad ihrer Einschränkung, was eine individuelle Betrachtung der jeweiligen Gruppe erfordert.

Art der Mobilitätseinschränkung	Beispiele
körperlich	• Sprach- und Hörstörungen • Rollstuhlfahrer, Personen im Rollator • Sehbehinderte/Erblindete • Greifbehinderung • Geh- und Stehbehinderung • Klein- bzw. Großwuchs
altersbedingt	• Kinder • Senioren
zeitweilig	• Sperriger/schweres Gepäck • Kinderwagen • Schwangere • Ortsunkundige • Zeitlich beschränkte körperliche Beeinträchtigung
geistig	• Wahrnehmungs-/Reaktionseinschränkung
psychisch	• unsichere Verhaltensweisen

Tabelle 15: Arten der Mobilitätseinschränkung (Quelle: FIS, 2012)

Abhängig von Art und Grad der Beeinträchtigung, kann die Nutzung selbstständig zu bedienender Mobilitätsformen wie beispielsweise Personenkraftwägen oder Fahrrädern unmöglich werden. Für diese Personengruppen können individuelle Mobilitätsdienstleistungen wie beispielsweise Sammeltaxis, Taxis, Uber oder Ähnliches eine Lösung darstellen. Besonders im urbanen Raum nimmt zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse mobilitätseingeschränkter Personengruppen jedoch der ÖPNV einen sehr hohen Stellenwert ein (vgl. Bmvit, 2013a). Dadurch entsteht, gegenüber Personen ohne Mobilitätseinschränkung, ein stärkeres Abhängigkeitsverhältnis hinsichtlich der Fortbewegung im Stadtraum. Der Grad der Vernetztheit im Stadtgefüge sowie des in einer bestimmten Zeit

erreichbaren Areals hängt damit mit der Qualität des umliegenden ÖPNV-Angebots zusammen und kann sich, aufgrund dynamischer Fahrpläne oder Änderungen von Linienführungen, ändern.

Mobilität, als die Möglichkeit und Fähigkeit Alltagswege zurücklegen zu können, ist eine der Grundvoraussetzungen für ein selbstbestimmtes und eigenständiges Leben, entscheidend für den Erhalt der Selbstständigkeit sowie der sozialen Integration und damit unverzichtbar für körperliche und psychische Gesundheit (vgl. IFES, 2010; Amann, A., 2009). Um so vielen Bevölkerungsgruppen wie möglich die Teilhabe an unserer Gesellschaft bieten zu können und so einen hohen Grad an Lebensqualität sicherzustellen oder zumindest zu ermöglichen, sollte es erklärtes Ziel sein, die Gestaltung des ÖPNV-Systems hinsichtlich seiner Bedienbarkeit sowie der Versorgungsqualität und – Quantität gezielt auch für mobilitätseingeschränkte Personen zu optimieren.

4.1. Analyse der Situation älterer Bevölkerungsgruppen

Im Zuge der vorliegenden Arbeit steht die Situation der älteren Bevölkerung in Wien - als mobilitätseingeschränkte Personengruppe - hinsichtlich ihrer Mobilitätsqualität im Fokus. Neben der im Alter zunehmenden Beeinträchtigung des Mobilitätsverhaltens ist vor allem der vorherrschende - und laut Prognosen anhaltende - Trend der Überalterung der österreichischen Bevölkerung Grund für die Fokussierung der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen auf eben jene Bevölkerungsgruppe. Die Zahl älterer und vor allem sehr alter Menschen steht künftig einem kleiner werdenden Anteil an erwerbstätigen Erwachsenen, Kindern und Jugendlichen gegenüber. Dies hat weitreichende Auswirkungen auf sämtliche Grundlagen unserer Gesellschaft. Neben politischen, infrastrukturellen, finanziellen und sozialpolitischen Herausforderungen, hat diese Entwicklung auch Einfluss auf die unmittelbare Lebensumgebung der Menschen und birgt ebenso Herausforderungen für die Konzipierung innerstädtischer Mobilität und die Raumplanung.

Eine eindeutige Bestimmung eines Zeitpunkts im menschlichen Entwicklungsprozess der Aufschluss darüber gibt, ab wann jemand als alt gilt, existiert nicht. Altersbedingte Beeinträchtigungen physischer und psychischer Natur treten hinsichtlich des Zeitpunkts des Einsetzens sowie der Qualität und Schwere höchst individuell auf (vgl. Kalache, A., Kickbusch, I., 1997). Im Rahmen dieser Arbeit, wird aus pragmatischen Gründen die Kategorie "ältere Bevölkerung" dennoch am Lebensalter festgemacht.
Laut Weltgesundheitsorganisation gelten Personen, die das 65. Lebensjahr vollendet haben als alt und werden bis zur Vollendung des 100. Lebensjahres weiter in Untergruppen gegliedert (Bmvit, 2013, S. 1). Dieses ist auch das gesetzliche Pensionsantrittsalter für Männer in Österreich. Das Pensionsantrittsalter für Frauen beträgt zwar noch 60 Jahre, wird allerdings bis zum Jahr 2032 schrittweise an jenes der Männer angepasst (vgl. PV, 2019). Wie in einem späteren Kapitel dieser Arbeit dargelegt wird, bedeutet ein Austritt aus dem Erwerbsleben eine radikale Veränderung für das Mobilitätsverhalten in vielerlei Hinsicht (vgl. Kapitel 6.1). Aufgrund der offiziellen Definition der Weltgesundheitsorganisation und der gesetzlichen Grundlage für die Alterspension, werden im Rahmen dieser Arbeit Personen ab 65 Jahren in der Kategorie der älteren Bevölkerung zusammengefasst und bilden die Zielgruppe, für die weitere Untersuchungen und Analysen durchgeführt werden.

5. Der aktuelle demografische Wandel

Die demografische Struktur und Entwicklung einer Gesellschaft, lässt sich durch die Betrachtung dreier Faktoren beschreiben. Dabei handelt es sich um die aktuelle Bevölkerungsstruktur (Aufteilung der Bevölkerung nach Alter und Geschlecht), um den natürlichen Bevölkerungssaldo (die Anzahl der Geburten abzüglich der Sterbefälle) sowie um den Wanderungssaldo (Zuwanderung abzüglich der Abwanderung). Im Zuge der Betrachtung der Geburtenzahlen, der Anzahl der Sterbefälle sowie Werte bezüglich der Zu- und Abwanderung vergangener Zeiträume lassen sich Szenarien für die künftige Bevölkerungsentwicklung prognostizieren.

Während die Weltbevölkerung insgesamt im Wachstum begriffen ist (vgl. United Nations, 2017), herrscht in wirtschaftlich höher entwickelten Regionen der Welt ein gegenläufiger Trend. Es ist schon lange erwiesen, dass westliche Gesellschaften aufgrund sinkender Geburtenzahlen und einer steigenden bzw. bereits hohen Lebenserwartung einem Trend unterliegen, der zu einer Überalterung der Gesellschaft führt.

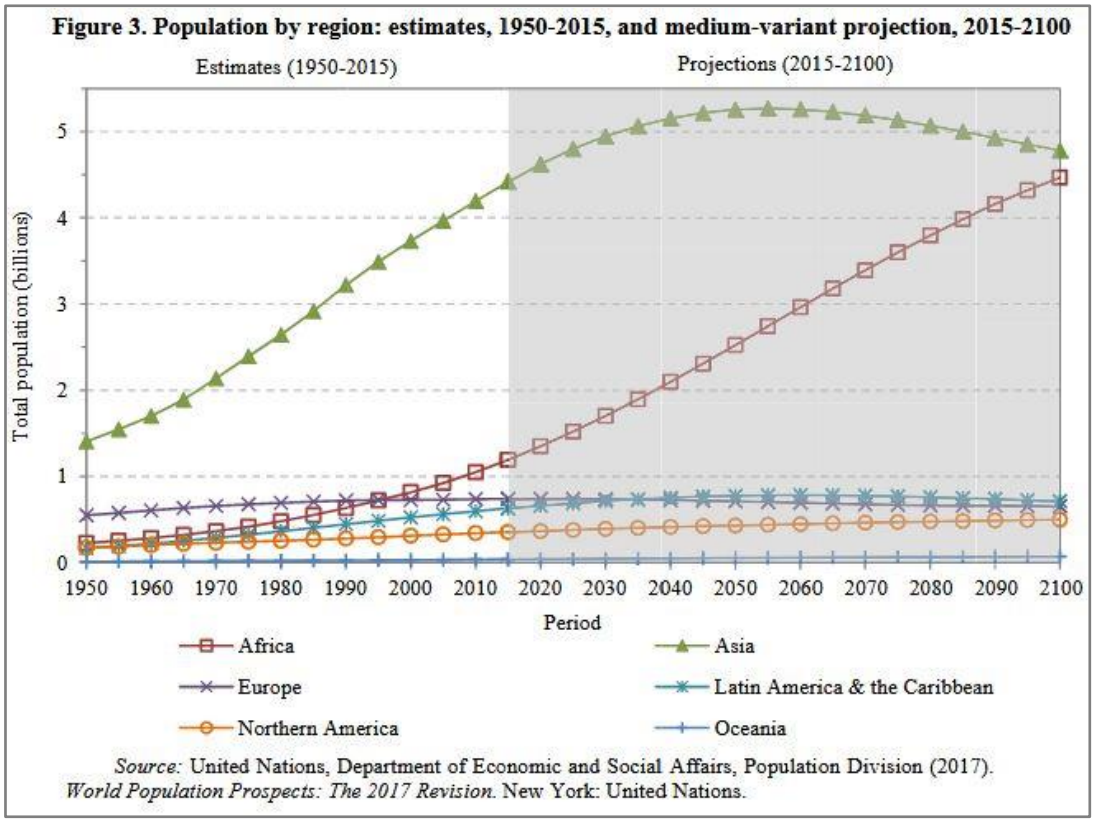


Abbildung 9: Prognose der Entwicklung der Weltbevölkerung bis 2100 nach Regionen

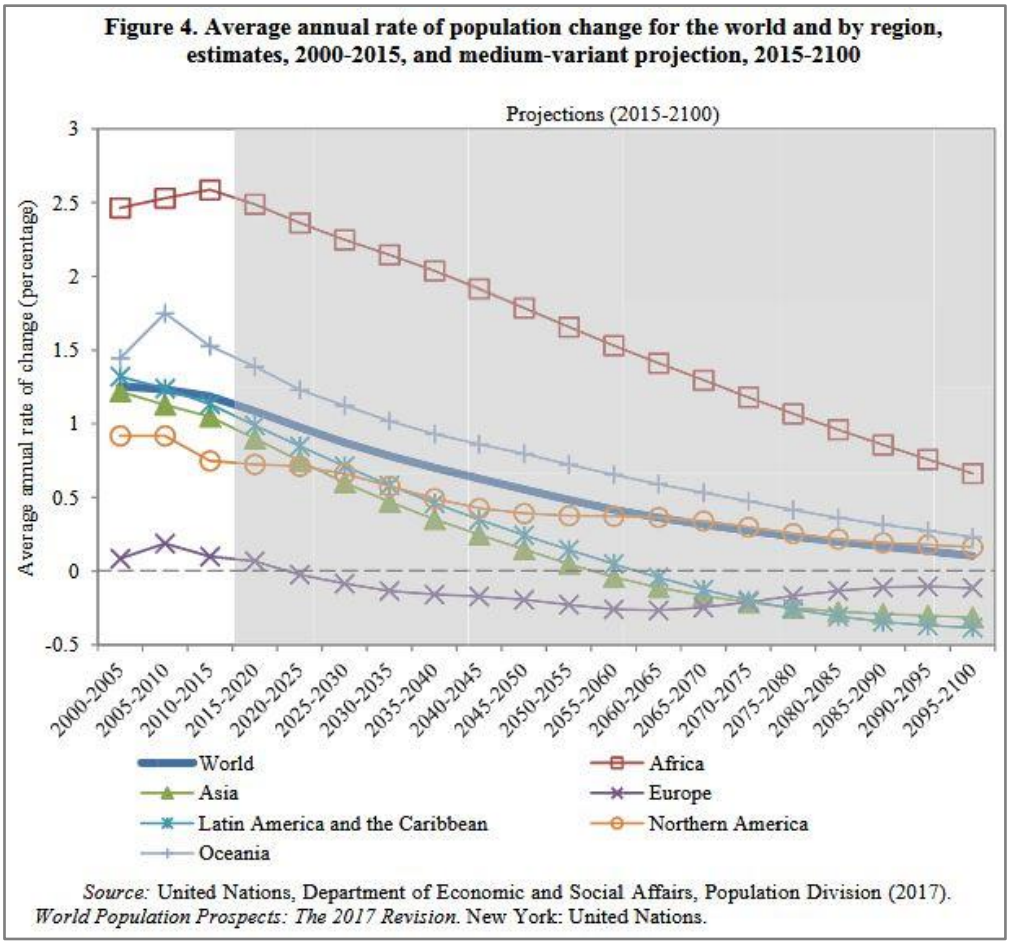


Abbildung 10: Prognostizierte Wachstumsraten der Weltbevölkerung bis 2100 nach Regionen

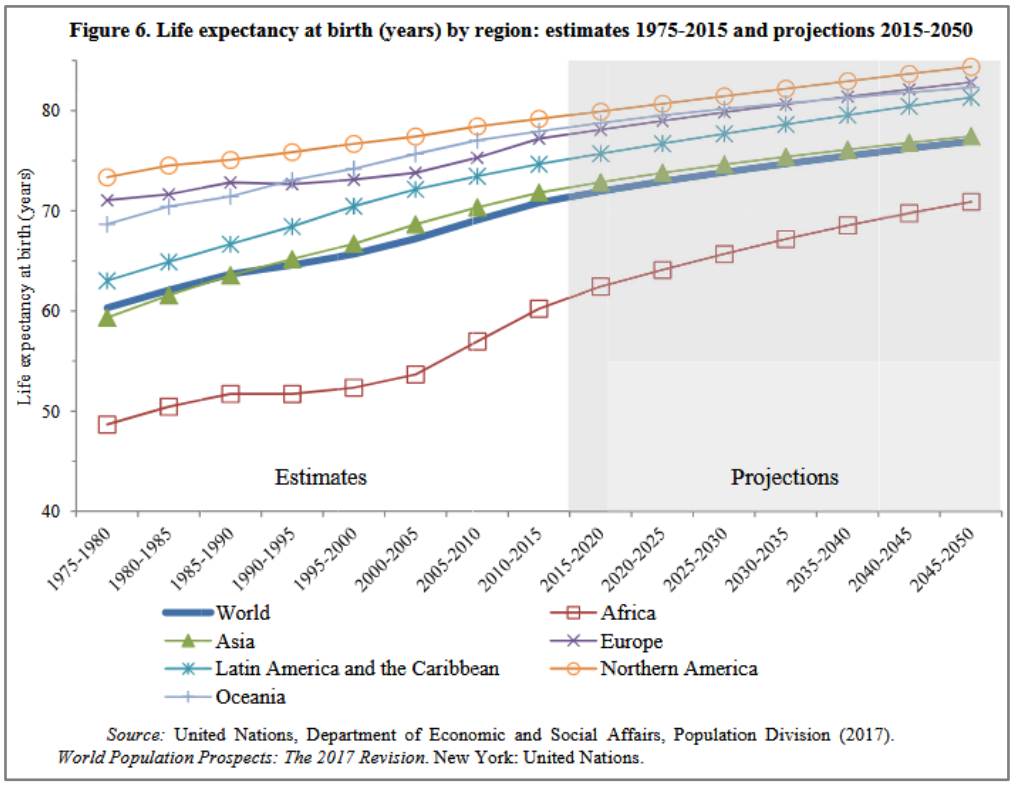


Abbildung 11: Prognostizierte Lebenserwartung der Weltbevölkerung bis 2050 nach Regionen.

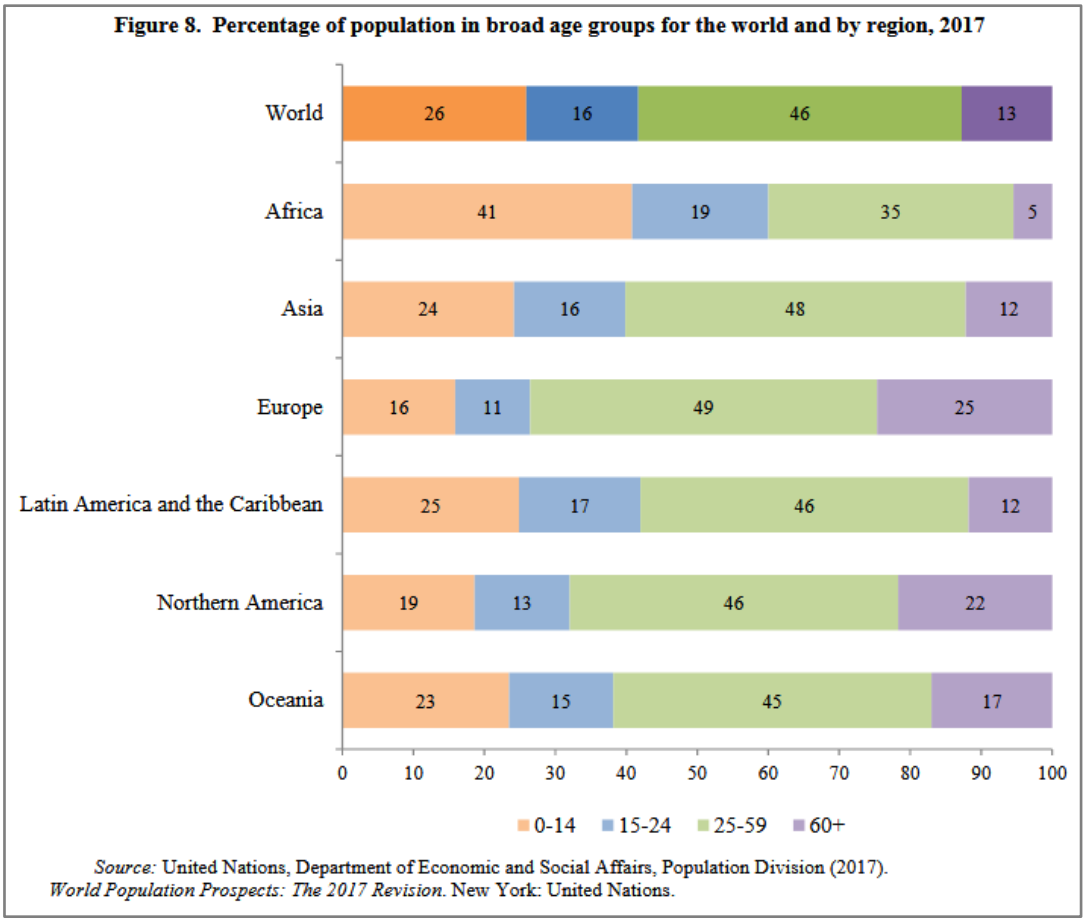


Abbildung 12: Altersstruktur der Weltbevölkerung 2017 nach Regionen.

Aus Abbildung 9 und Abbildung 10 ist dies anhand der stagnierenden bzw. sinkenden Bevölkerungszahlen ablesbar. Vor allem in Europa ist das Bevölkerungswachstum so weit zurückgegangen, dass es mittlerweile zu einer Schrumpfung der Bevölkerungszahl kommt. Gleichzeitig erhöht sich die Lebenserwartung weltweit, selbst in jenen Regionen, in denen diese bereits ein sehr hohes Niveau erreicht hat (vgl. Abbildung 11). Dies führt in letzter Konsequenz zu einer Situation, in der sinkende Geburtenzahlen einer sinkenden Sterberate gegenüberstehen, wodurch sich die Struktur der Bevölkerung hinsichtlich eines steigenden Anteils älterer Bevölkerungsgruppen und eines sinkenden Anteils jüngerer Bevölkerungsgruppen verschiebt (vgl. Abbildung 12).

5.1. Die Entwicklung der Bevölkerungsstruktur in Österreich

Auch Österreich ist keine Ausnahme hinsichtlich dieser Entwicklungen. Entwicklungstrends bezüglich der Struktur der Bevölkerung, die für entwickelte westliche Gesellschaften typisch sind, sind auch hier erkennbar. Die Bundesanstalt Statistik Österreich (Statistik Austria) erstellt regelmäßig Bevölkerungsprognosen in unterschiedlichen Varianten. Dabei werden positive Szenarien (hohe Fertilitätsräte, hohe Lebenserwartung und Zuwanderung) genauso gebildet, wie negative Szenarien (niedrige Fertilitätsrate, niedrige Lebenserwartung und Abwanderung). In dieser Arbeit gehe ich vom sogenannten "Hauptszenario" aus, in welchem die Statistik Austria eine Entwicklung auf Basis der realistischsten Annahmen bezüglich der relevanten Faktoren trifft. Gemäß der Daten der Statistik Austria ist ein anhaltendes Wachstum älterer Bevölkerungsgruppen zu erwarten, während die Zahl

der 0 bis 19-Jährigen sowie der 20 bis 65-Jährigen stagniert bzw. leicht fällt (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14). Grund dafür ist eine negative Geburtenbilanz. Diesem steht zwar ein positiver Wanderungssaldo entgegen, dieser sorgt jedoch nur für geringes Wachstum in den unteren Alterskohorten, wie die folgenden Abbildungen zeigen.

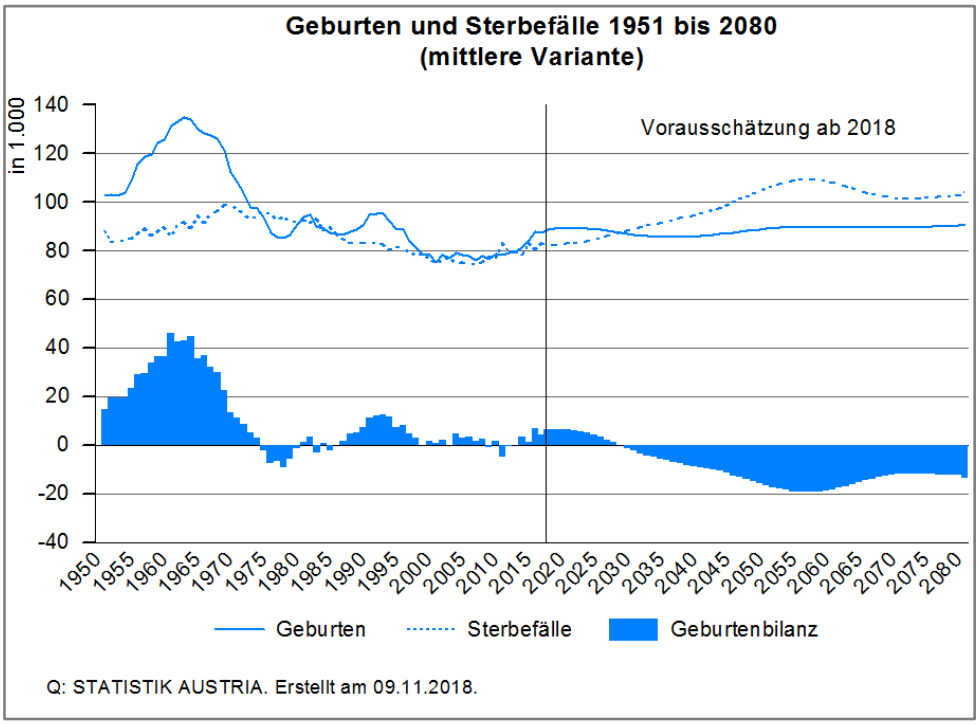


Abbildung 13: Prognose der Geburten und Sterbefälle der österreichischen Bevölkerung bis 2080.

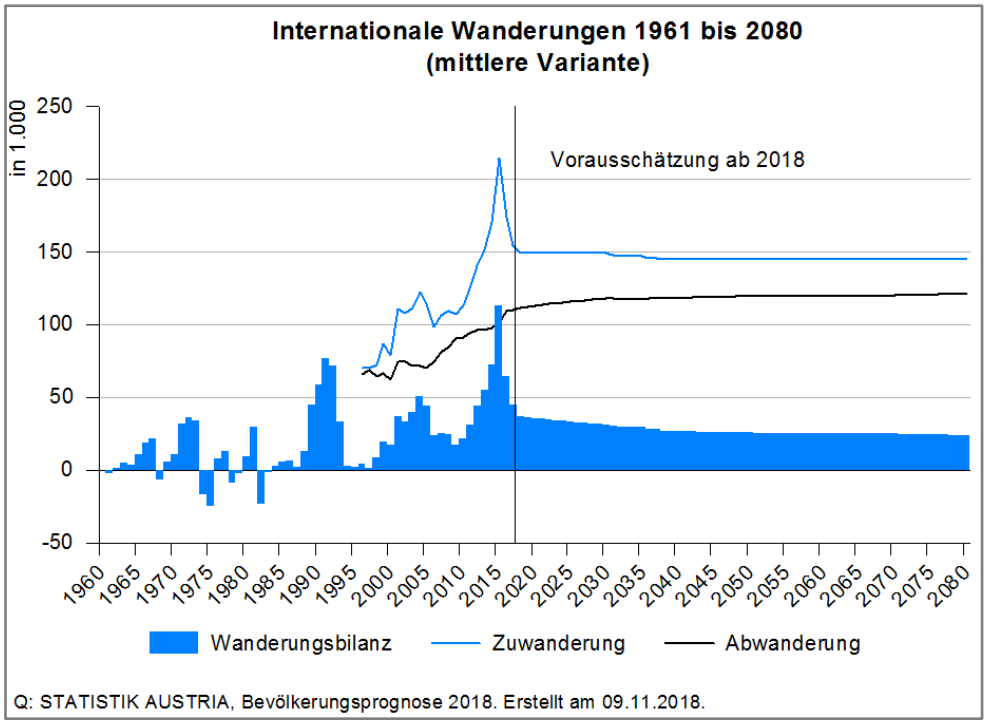


Abbildung 14: Prognose der Wanderungsbilanz in Österreich bis 2080.

Aus dieser Entwicklung folgt ein steigender Anteil älterer Bevölkerungsgruppen an der Gesamtbevölkerung (vgl. Abbildung 15 und Abbildung 16). Der Anteil der Bevölkerung über 65 Jahren

beträgt in Österreich künftig etwa 30% (vgl. Statistik Austria, 2018). Die positive Wanderungsbilanz, die die negative Geburtenbilanz übersteigt, sorgt zwar weiterhin für ein geringes Bevölkerungswachstum, ändert allerdings wenig an der Altersstruktur. In Anbetracht sämtlicher Entwicklungstendenzen lässt sich zusammenfassen, dass die Bevölkerungsprognose für Österreich dem Trend westlicher Gesellschaften zur Überalterung folgt, der mit vielfältigen Herausforderungen verbunden ist.

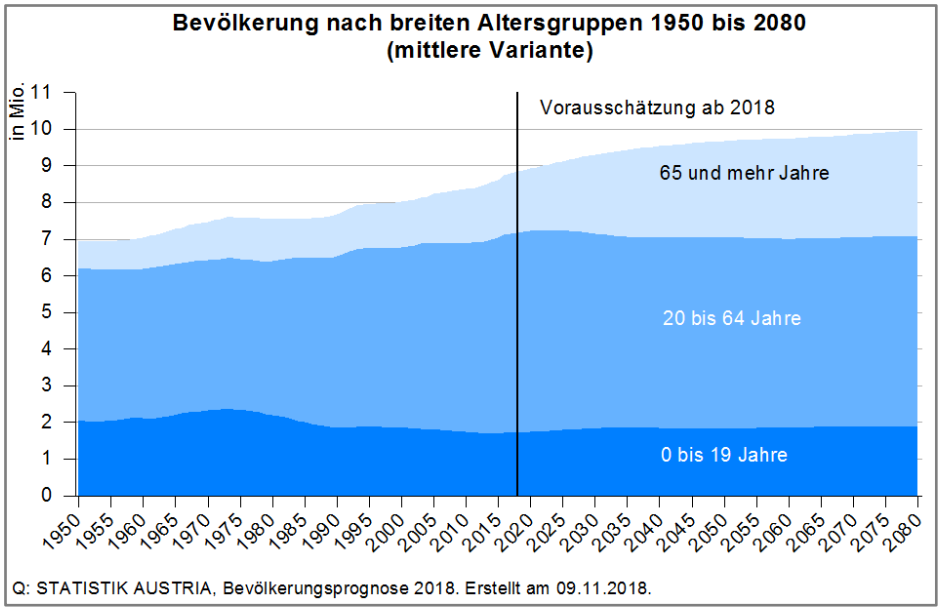


Abbildung 15: Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung in Österreich bis 2080.

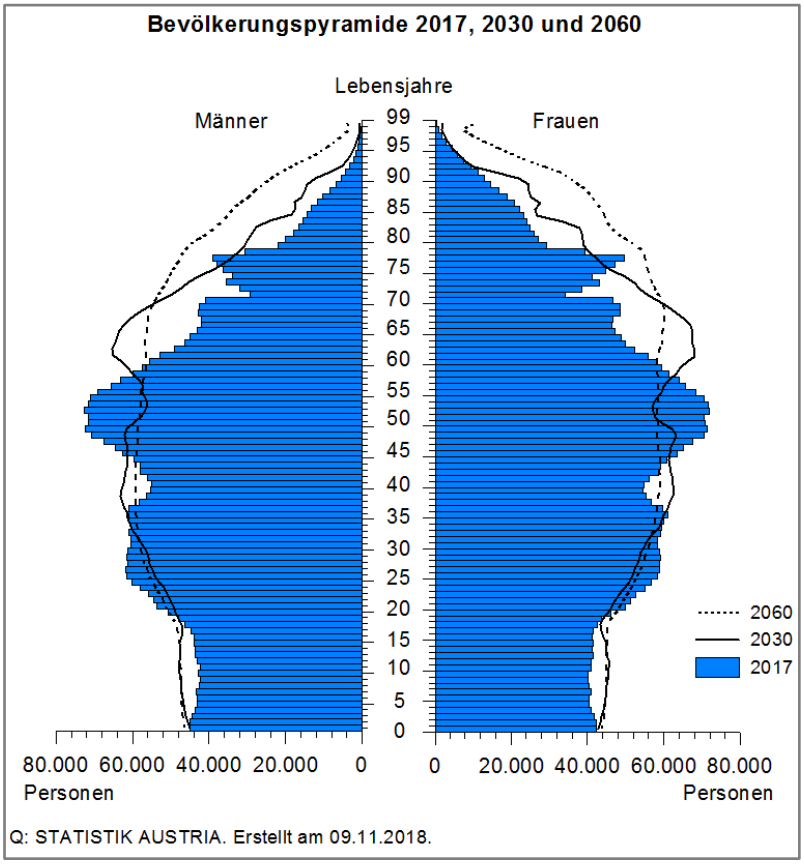


Abbildung 16: Österreichische Bevölkerungspyramide 2017 und Prognosen für das Jahr 2030 sowie 2060.

5.2. Herausforderungen des demografischen Wandels an die Mobilitäts- und Verkehrsplanung

Aus dem dargestellten demografischen Wandel entstehen Herausforderungen, die sämtliche gesamtgesellschaftliche Systeme und Strukturen betreffen. Die Notwendigkeit der Einnahme neuer Sichtweisen und die gezielte Adaptierung von Dienstleistungen an die Ansprüche älterer Bevölkerungsgruppen betreffen, neben sämtlichen anderen Bereichen des täglichen Lebens, ebenso den Mobilitäts- und Verkehrssektor. Alleine hier gibt es eine Vielzahl an Herausforderungen, die sich auf unterschiedliche Aspekte von Mobilität und Verkehr auswirken. Davon betroffen ist die direkte physische Umgebung und die Gestaltung von Fahrzeugen, Stationsbereichen, aber ebenso der Stadtraum, wie beispielsweise Gehsteigabsenkungen und die barrierefreie Erreichbarkeit von Orten und Einrichtungen. In einem weiteren Aspekt betrifft der demografische Wandel auch die Konzeption neuer Formen von Mobilitätsdienstleistungen, die auf die Bedürfnisse älterer Personen sowie deren körperlichen und geistigen Kapazitäten zugeschnitten sind und spezifischen Ansprüchen hinsichtlich der Bedienbarkeit und Usability genügen müssen (vgl. Pfaffenbichler, P., Toth, P., 2014).

Ebenso schafft der demografische Wandel Anforderungen an die Raumplanung, hinsichtlich der Qualität und Möglichkeiten, sich in der Stadt fortzubewegen und relevante Ziele zu erreichen. Dies betrifft die Distribution von Einrichtungen und altersgerechtem Wohnraum im Stadtgebiet genauso, wie die Qualität des Fußwege- sowie ÖPNV-Netzes. Die Analyse des Bedarfs einer besseren Anbindung, die Optimierung der Erreichbarkeit von für ältere Personen relevante Einrichtungen sowie die Ausweisung gut an den ÖPNV angebundener Wohnquartiere, die besonders den Ansprüchen älterer Bevölkerungsgruppen hinsichtlich der Erreichbarkeit wesentlicher Einrichtungen und Angebote im Stadtraum gerecht werden, sind dabei wesentliche Punkte.

Die Nutzung von GTFS kann eine Bewertung des ÖPNV-Netzes und der Verteilung von Einrichtungen im Raum an gesellschaftliche Ansprüche, hinsichtlich innerstädtischer Erreichbarkeit an neue Gegebenheiten und Nachfragemustern, die das ÖPNV-Netz als Basis primäres Fortbewegungsmittel betrachten, ermöglichen. Dabei können auf spezifische Charakteristika in der Struktur von und den Anforderungen für Mobilität im Alter eingegangen werden. Dies kann die Schaffung einer Grundlage für Anpassungen des Verkehrssystems sowie der urbanen Raumstruktur ermöglichen.

Im folgenden Abschnitt wird detailliert auf die besonderen mobilitätsbezogenen Umstände eingegangen, die bei Menschen mit zunehmendem Alter auftreten und Auswirkungen auf Bedürfnisse hinsichtlich innerstädtischer Mobilität mit sich bringen.

6. Mobilität im Alter

Die Veränderungen im Mobilitätsverhalten älterer Personen lassen sich auf drei wesentliche Gründe beschränken:

- Die Veränderung von Tagesstrukturen als Folge des Austritts aus dem Erwerbsleben
- altersbedingte physische Beeinträchtigungen
- altersbedingte kognitive Beeinträchtigungen

Diese Gründe beeinflussen beispielsweise die Wegehäufigkeit, Ziel- und Verkehrsmittelwahl genauso wie das Verhalten im Straßenverkehr oder die Reaktionsgeschwindigkeit bei Auftreten unvorhergesehener Ereignisse (vgl. Bmvit, 2013a; Brecht, M., 2012, Haustein, S., 2010).

Weitere Faktoren, die das Mobilitätsverhalten im Allgemeinen und damit auch jenes älterer Bevölkerungsgruppen mitbestimmen sind (vgl. Haustein, S., 2010):

- Persönliche Gesundheit und persönliche Fähigkeiten respektive auch Mobilitätsbeeinträchtigungen (nicht zwangsläufig altersbedingt)
- Soziale und ökonomische Rahmenbedingungen (wie z.B. soziales Netz, Einkommenssituation etc.)
- Räumliche und infrastrukturelle Rahmenbedingungen (wie z.B. Siedlungsstruktur, Wohnumfeld, Verkehrsangebote, vorhandene Versorgungs-/Serviceeinrichtungen, Mobilitätsangebote etc.)
- Subjektive Faktoren (wie z.B. Einstellungen und Wertorientierungen)

Generell können altersbedingte Strukturveränderungen und auftretende Beeinträchtigungen nicht allgemein angenommen werden, da sich individuelle Lebensstile und Lebensumstände von Person zu Person unterscheiden. Dennoch lassen sich in der Literatur signifikante Unterschiede im Vergleich zu jüngeren Bevölkerungsgruppen ausmachen. Diese werden im aktuellen Kapitel erläutert und dienen als Grundlage für weitere Untersuchungen.

6.1. Strukturelle Veränderungen bezüglich Mobilität

Die durchschnittliche Anzahl der zurückgelegten Wege pro Tag wird in den Verkehrswissenschaften üblicherweise als grundlegender Indikator für Mobilität verwendet. Bei jüngeren Bevölkerungsgruppen bestehen aufgrund von Ausbildung und Erwerbstätigkeit Verpflichtungen, deren Erfüllung ein gewisses Mindestmaß täglich anfallender Wege erfordern. Da diese starre Tagesstruktur nach Austritt aus dem Erwerbsleben nicht mehr gegeben ist, sinkt die durchschnittliche tägliche Wegeanzahl mit zunehmendem Alter deutlich. Aufgrund dessen ist die durchschnittliche tägliche Wegeanzahl bei älteren Bevölkerungsgruppen auch ein Indikator für deren soziale Eingebundenheit (Bmvit, 2013, S. 11).

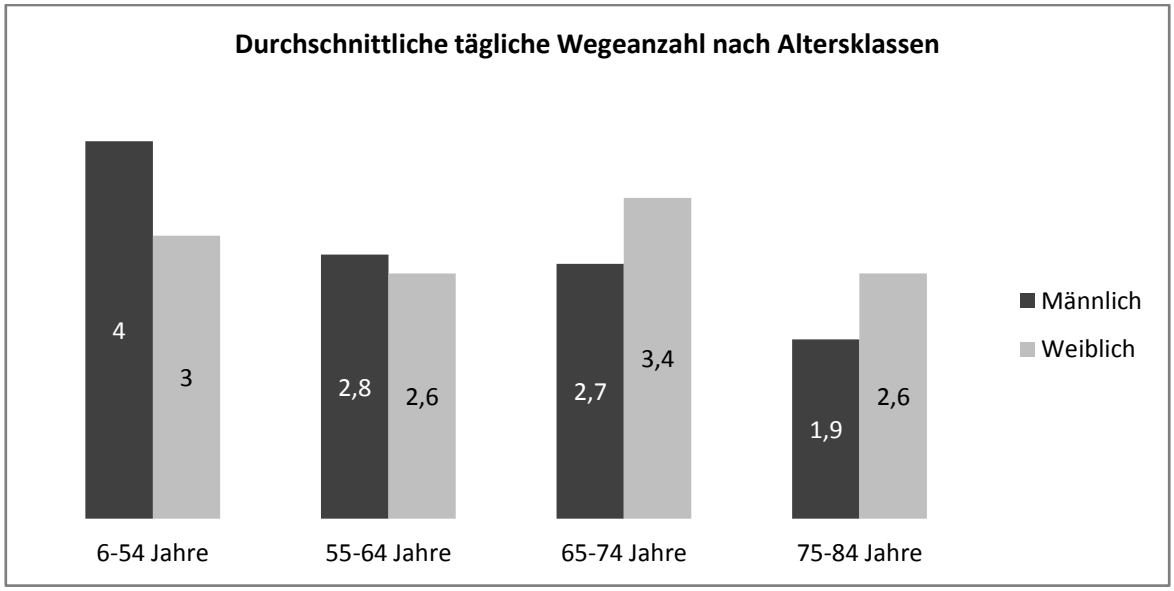


Abbildung 17: Durchschnittliche tägliche Wegeanzahl nach Altersklassen (Quelle: Herry M., Sammer G., Ruß M., Schuster M., Röschel G., 1998; eigene Darstellung)

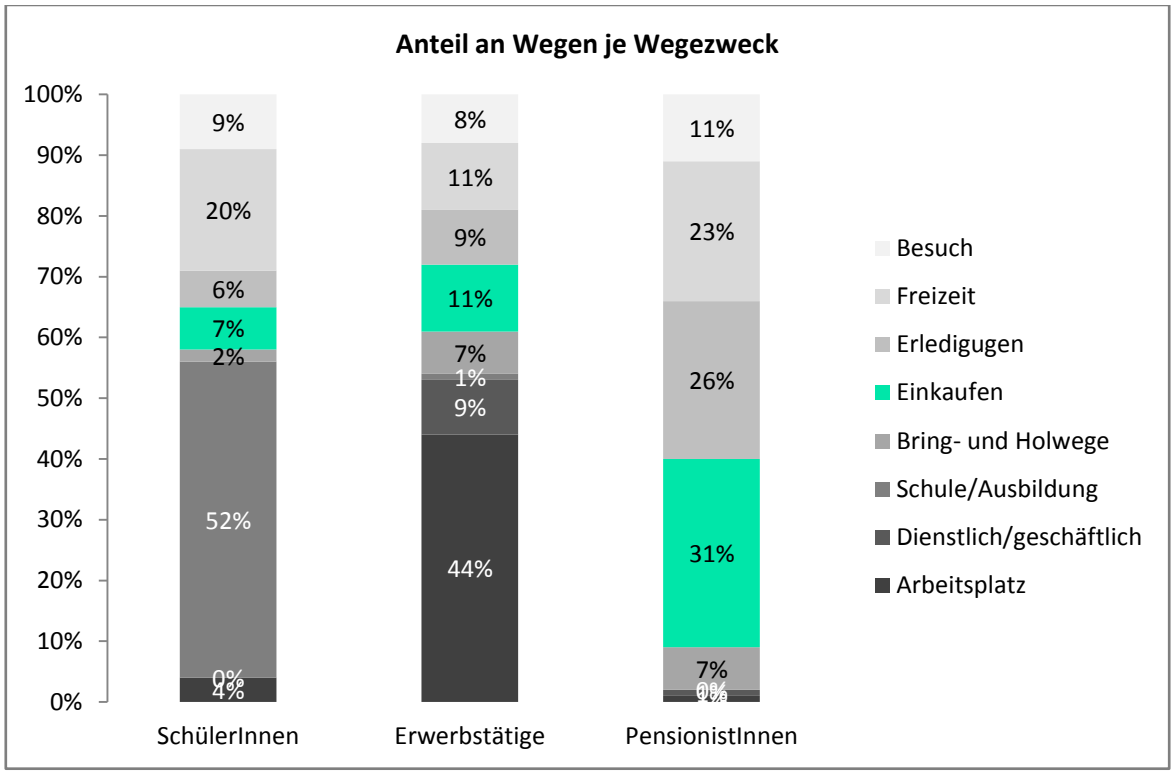


Abbildung 18: Anteil an Wegen je Wegezweck (Quelle: Bmvit, 2016; eigene Darstellung)

Abbildung 18 lässt deutlich erkennen, dass nach Pensionsantritt die Wegezwecke für die Kategorien Freizeit, Erledigungen und Einkaufen 80% aller zurückgelegten Wege ausmachen, verglichen mit rund einem Drittel der Wege in denselben Kategorien in den Gruppen der SchülerInnen und Erwerbstätigen. Bei diesen Gruppen dominieren Ausbildungs- und Arbeitswege deutlich. Dieser Umstand hat ebenso zur Folge, dass sich die bevorzugte Tageszeit, zu der die täglich anfallenden Wege zum Großteil zurückgelegt werden, ändert. Während die meisten Wege von SchülerInnen und Menschen im erwerbsfähigen Alter zwischen 07:00 Uhr und 09:00 Uhr erledigt werden, verschiebt

sich der Schwerpunkt für ältere Bevölkerungsgruppen nach hinten. Die meisten Wege werden hier erst ab 09:00 Uhr zurückgelegt (Bmvit, 2013, S. 16).

Eine interessante Erkenntnis ist, dass die Zeit die eine Person täglich durchschnittlich im Verkehr verbringt über sämtliche Altersklassen bis ins hohe Alter nahezu konstant bleibt, die dabei insgesamt zurückgelegte Entfernung jedoch drastisch sinkt.

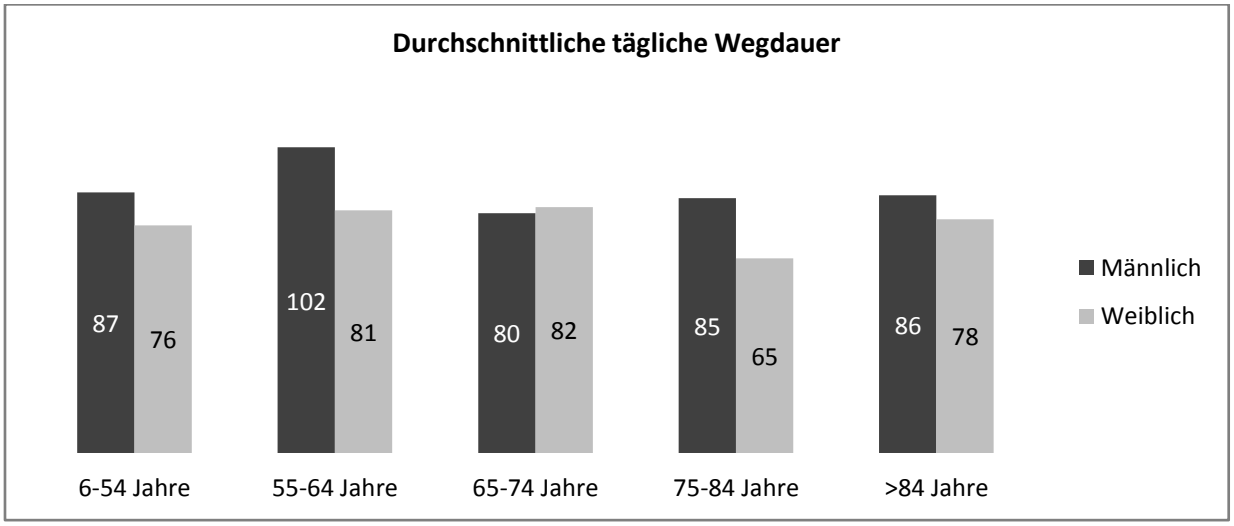


Abbildung 19: Durchschnittliche tägliche Wegdauer nach Altersklassen und Geschlecht in Minuten (Quelle: Herry M., Sammer G., Ruß M., Schuster M., Röschel G., 1998; eigene Darstellung).

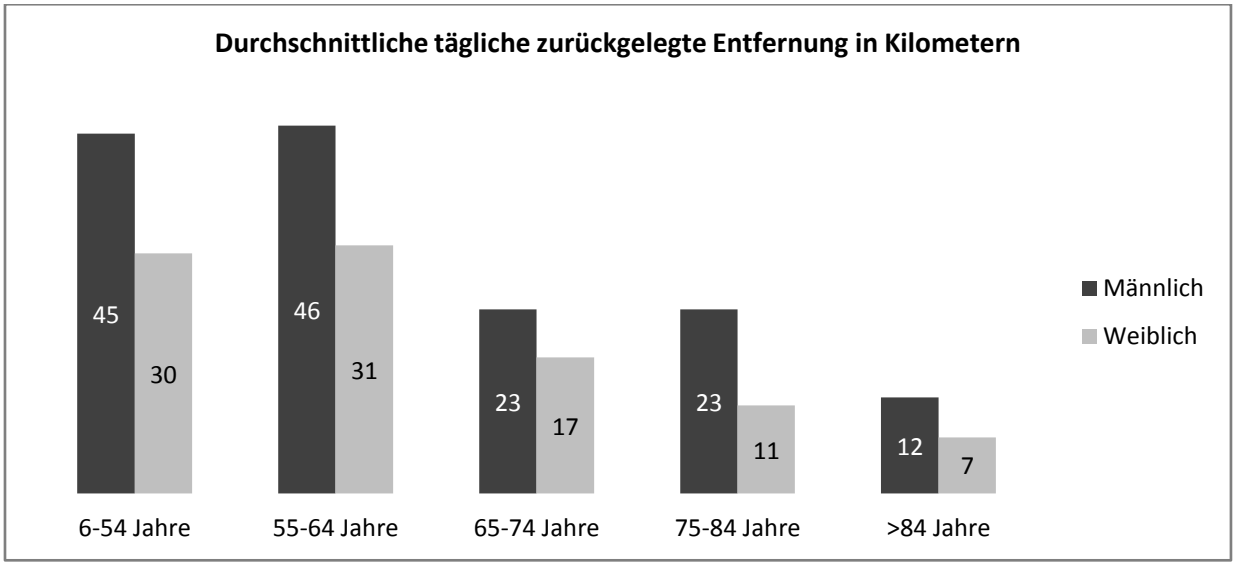


Abbildung 20: Durchschnittliche tägliche zurückgelegte Entfernung nach Altersklassen und Geschlecht in Kilometern (Quelle: Herry M., Sammer G., Ruß M., Schuster M., Röschel G., 1998; eigene Darstellung).

Daraus abzulesen ist, dass sich der Aktionsradius älterer Menschen stark verkleinert. Ältere Menschen befriedigen ihre täglichen Bedürfnisse zu einem weit größeren Teil als jüngere Alterskohorten im nahen Wohnumfeld (vgl. Bmvit, 2013). Aufgrund der Tatsache, dass die durchschnittliche Reisezeit jedoch kaum schwankt, lässt sich eine Veränderung der bevorzugten Verkehrsmittelwahl vermuten.

6.1.1. Verkehrsmittelwahl/Modal Split

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Modal Split (vgl. Kapitel 1.1) älterer Bevölkerungsgruppen in Österreich. Wie daraus abzulesen ist, ist die Fortbewegung zu Fuß, bezogen auf die Anzahl zurückgelegter Wege, die wichtigste Art der Mobilitätsbewältigung und nimmt mit zunehmendem Alter zu. Da es sich bei der Darstellung um den Modal Split für Österreich insgesamt handelt, fällt der ÖPNV-Anteil vergleichsweise niedrig aus.

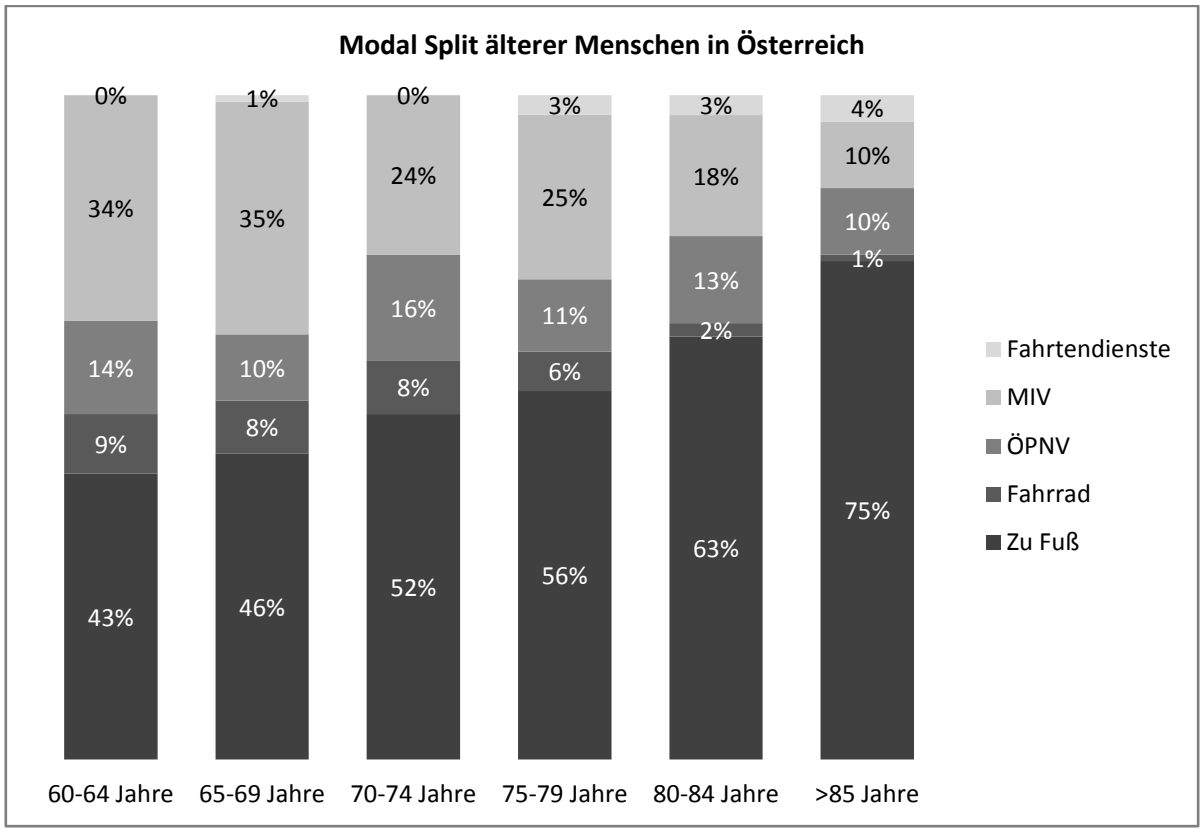


Abbildung 21: Modal Split älterer Menschen in Österreich nach Altersklassen (Quelle: Bmvit, 2016; eigene Darstellung).

Für die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit, in denen der räumliche Fokus auf Wien liegt, ist eine höhere Relevanz des ÖPNV anzunehmen. Verglichen mit anderen Regionen Österreichs, stellt Wien eine Sondersituation hinsichtlich städtischen öffentlichen Personennahverkehrs dar. Durch das Vorhandensein eines U-Bahn-Netzes, einer Vielzahl an Bus, Straßenbahn- und Schnellbahnlinien gepaart mit dichten Intervallen, niedrigen Kosten sowie eines großflächigen Betriebsgebiets, ist das Wiener ÖPNV-System eine lukrative Option für die Bewältigung der Mobilitätsbedürfnisse der Stadtbewohner. In den übrigen Gemeinden Österreichs - und vor allem in den ländlich geprägten Regionen - ist der öffentliche Personennahverkehr, vor allem aufgrund unregelmäßiger und niedriger Bedienungsintervallen, keine vielgenutzte Option. Dies zeichnet sich deutlich im Modal Split ab.

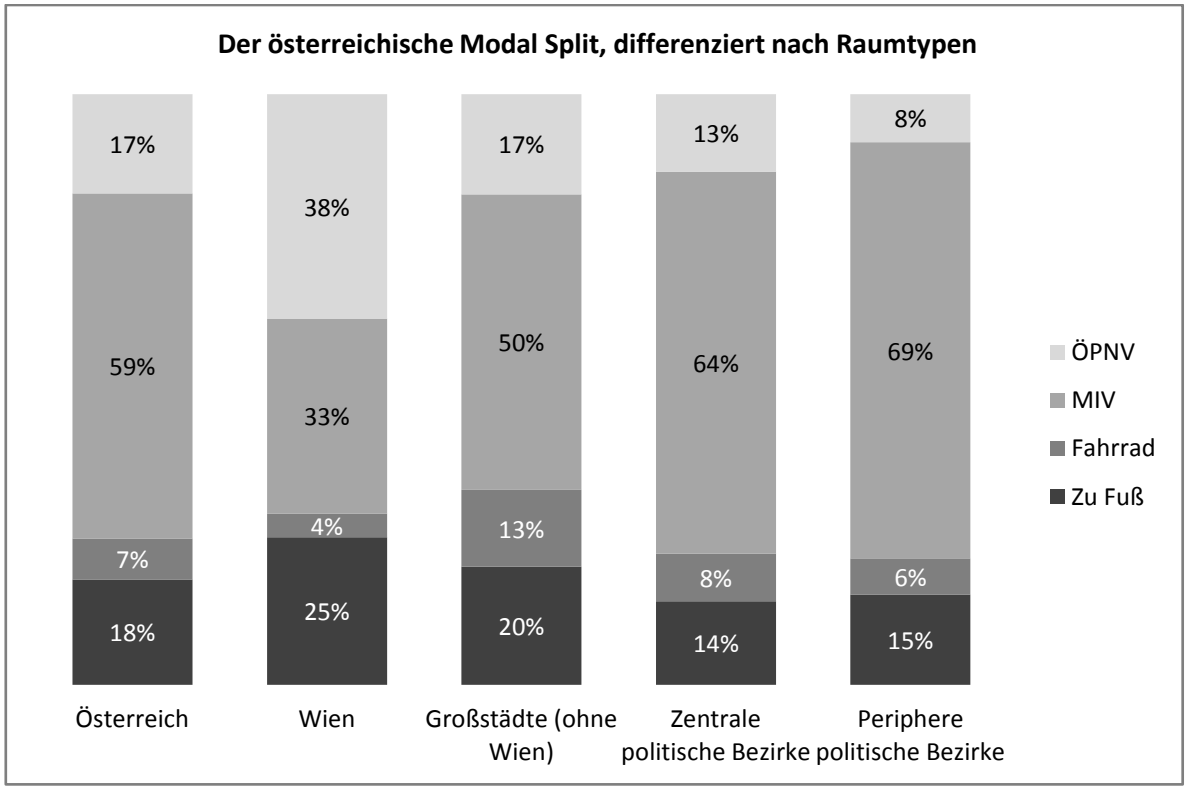


Abbildung 22: Der österreichische Modal Split differenziert nach Raumtypen (Quelle: Bmvit, 2016; eigene Darstellung).

Mit 38% kommt dem ÖPNV in Wien die höchste Relevanz bezüglich der innerstädtischen Mobilitätsbewältigung zu. Deswegen ist auch für Wien eine höhere Relevanz des ÖPNV für ältere Bevölkerungsgruppen anzunehmen, als in Abbildung 21 dargestellt. Künftige Entwicklungsziele im Mobilitätsbereich der Stadt Wien sind unter anderem eine Steigerung des Rad-, Fuß- und ÖPNV-Anteils sowie die Verringerung des PKW-Anteils am Modal Split (vgl. Stadt Wien, 2015), wodurch der Anteil des ÖPNV am Modal Split für das Wiener Stadtgebiet tendenziell weiter steigen wird.

Der im Laufe der Zeit stetig sinkende Anteil der PKW-Nutzung bei älteren Personen steht bis zu einem gewissen Grad in Zusammenhang mit körperlichen und kognitiven Einbußen, die die Bedienung eines PKW erschweren oder unmöglich machen. Dieselben Umstände haben, neben der strukturellen Umgestaltung des Alltags aufgrund des Ausscheidens aus der Arbeitswelt, Einfluss auf sämtliche bereits dargestellten Indikatoren zur Charakteristik des Mobilitätsverhaltens. Gleichzeitig wird dadurch jedoch nicht nur die Mobilitätsstruktur, sondern ebenso das Verhalten im Straßenverkehr auf unterschiedliche Art und Weise beeinflusst.

6.2. Veränderungen des Mobilitätsverhaltens aufgrund physischer und psychischer Umstände

Wie bereits erwähnt, verbirgt sich hinter der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Bezeichnung "ältere Bevölkerungsgruppen" keine homogene Gruppe und eine Einteilung jenseits von Altersklassen ist nahezu unmöglich (vgl. Haustein, S., 2010). Dies trifft auf strukturelle Ausprägungen von Mobilität genauso zu, wie auf Komponenten des Verhaltens im Straßenverkehr, wie zum Beispiel die Schrittgeschwindigkeit, die Möglichkeit zur Überwindung von Hindernissen wie Treppen oder das Einsteigen in niveauversetzte Verkehrsmittel wie Busse. Nicht jedes Individuum der betrachteten Gruppe hat mit denselben Einschränkungen zu kämpfen. Die folgende Darlegung der Effekte altersspezifischer Einschränkungen im physischen und kognitiven Bereich ist daher mehr eine

Aufzählung zu berücksichtigender Umstände im Zusammenhang mit Altersmobilität und bedeutet nicht, dass jede Person eines bestimmten Alters mit diesen Alterserscheinungen zu kämpfen hat.

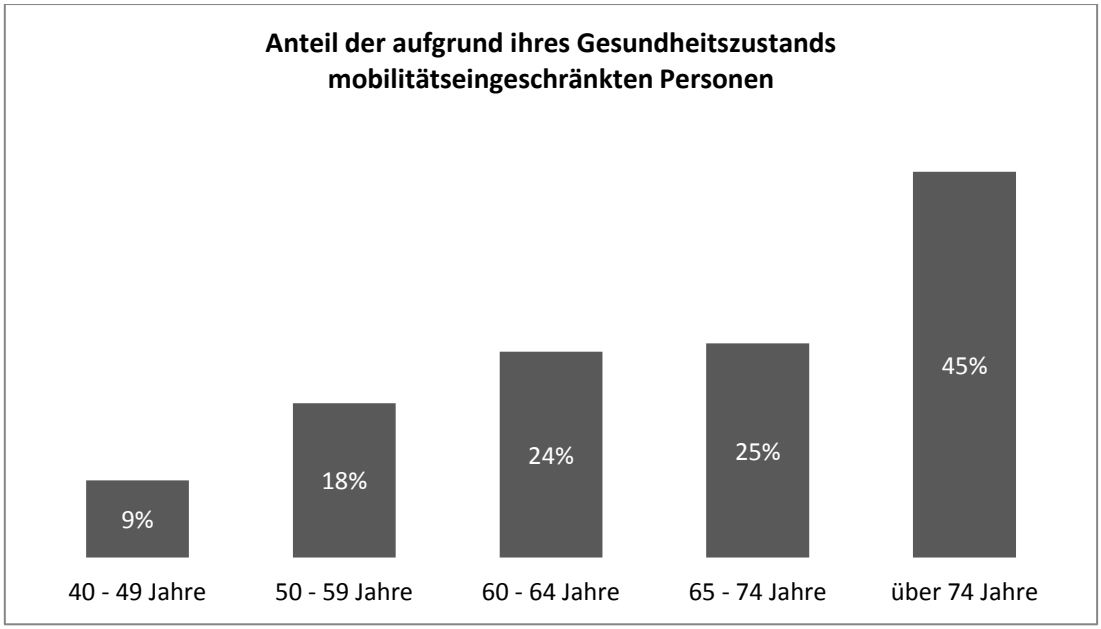


Abbildung 23: Anteil der aufgrund ihres Gesundheitszustands mobilitätseingeschränkten Personen (Quelle: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Bonn und Berlin, 2010, S.86; eigene Darstellung).

Dennoch ist eine klare Tendenz einer zunehmenden Beeinträchtigung der Alltagsmobilität erkennbar, die mit dem zunehmenden Alter korreliert. Wesentliche altersbedingte Veränderungen betreffen neben der körperlichen Sphäre, wie zum Beispiel das Sehen und Hören oder auch das Schwinden der Körperkraft, ebenso die mentale und soziale Sphäre. Nach Ewert (2012, S. 9) lassen sich altersbedingte Einschränkungen wie folgt zusammenfassen:

- *„Im Bereich der Wahrnehmung:*
    - *Die Sehschärfe inkl. der dynamischen Sehschärfe, also die Fähigkeit, bewegte Objekte zu erkennen, nimmt ab.*
    - *Die Kontrastsensitivität, also das Erkennen von Gegenständen, die sich in ihrer Helligkeit nur wenig unterscheiden, verschlechtert sich.*
    - *Das Gesichtsfeld sowohl in horizontaler wie vertikaler Richtung wird kleiner.*
    - *Die Blendempfindlichkeit nimmt zu.*
    - *Das Hörvermögen lässt nach.*
- *Im Bereich der Informationsverarbeitung:*
    - *Es fällt schwerer, die Aufmerksamkeit selektiv auszurichten oder sie auf verschiedene Teilaufgaben aufzuteilen (…).*
    - *Die Verarbeitung von Informationen, d.h. deren Integration, Organisation und Interpretation, verschlechtert sich.*
    - *Die Reaktionszeiten werden länger.*
    - *Die Zeiten bis zur Entscheidungsfindung steigen an.*
    - *Die Gedächtnisleistung lässt nach.*

- *<u>Im Bereich der Motorik:</u>*
    - *Nachlassende Körperkräfte, schwindende Muskelmasse*
    - *Verlust an Gelenkigkeit*
    - *Verschlechterung des Gleichgewichts"*

Der im letzten Unterkapitel bereits dargestellte Rückgang der PKW-Nutzung mit zunehmendem Lebensalter, ist auf die steigende körperliche und kognitive Beeinträchtigung zurückzuführen. Gehbehinderungen und andere die motorischen Fähigkeiten beeinträchtigende Umstände führen zu Probleme beim Aus- und Einsteigen, Sehbehinderungen machen die sichere Inbetriebnahme des Fahrzeugs und die Reise unmöglich und durch die Einnahme von Medikamenten kann die Fähigkeit zum Bedienen eines PKW ebenso stark beeinträchtigt sein. Es wird sogar angenommen, dass die Einnahme bestimmter Medikamente der Grund für 10% bis 25% der Verkehrsunfälle im Seniorenalter ist (Bmvit, 2013a, S. 25).
Ebenso spielt dabei auch der natürliche Rückgang der kognitiven Leistungen eine Rolle, wodurch ein höherer Zeitbedarf zur Informationsverarbeitung notwendig ist. Dies wirkt sich auf die Reaktionszeit im Straßenverkehr aus. Nach Kocherscheid, K. und Rudinger, G. (2011, S, 19) braucht eine 70-jährige Person rund 40% länger um darüber entscheiden zu können, wie sie sich in einer Kreuzungssituation richtig einzuordnen hat.

Aufgrund von Einbußen im Bereich der generellen Leistungsfähigkeit treten im zunehmenden Alter vermehrt Gehstörungen wie etwa eine verringerte Schrittlänge, Schwindel und Balancestörungen, eine verringerte Fußabhebung vom Boden, Gangasymmetrien und weitere Störungen auf. Die Folge davon ist eine im Durchschnitt reduzierte Gehgeschwindigkeit. Ab dem 60. Lebensjahr nimmt diese durchschnittlich um jährlich ca. 1% ab und beträgt ab 70 Jahren etwa 1,7km/h und im Alter von 80 Jahren nur mehr 1,25km/h (verglichen mit etwa 2km/h bei 60-Jährigen und zwischen 2-2,5km/h in jüngeren Altersklassen)(vgl. Jahn, K., Zwergal, A., Schniepp, R., 2010).
Besonders bei Querungssituationen kommt es aufgrund der altersbedingten Einschränkungen und des dadurch verschlechterten subjektiven Sicherheitsgefühls bei älteren Personen zu langen Querungszeiten (vgl. Ewert, U., 2012, S. 10).

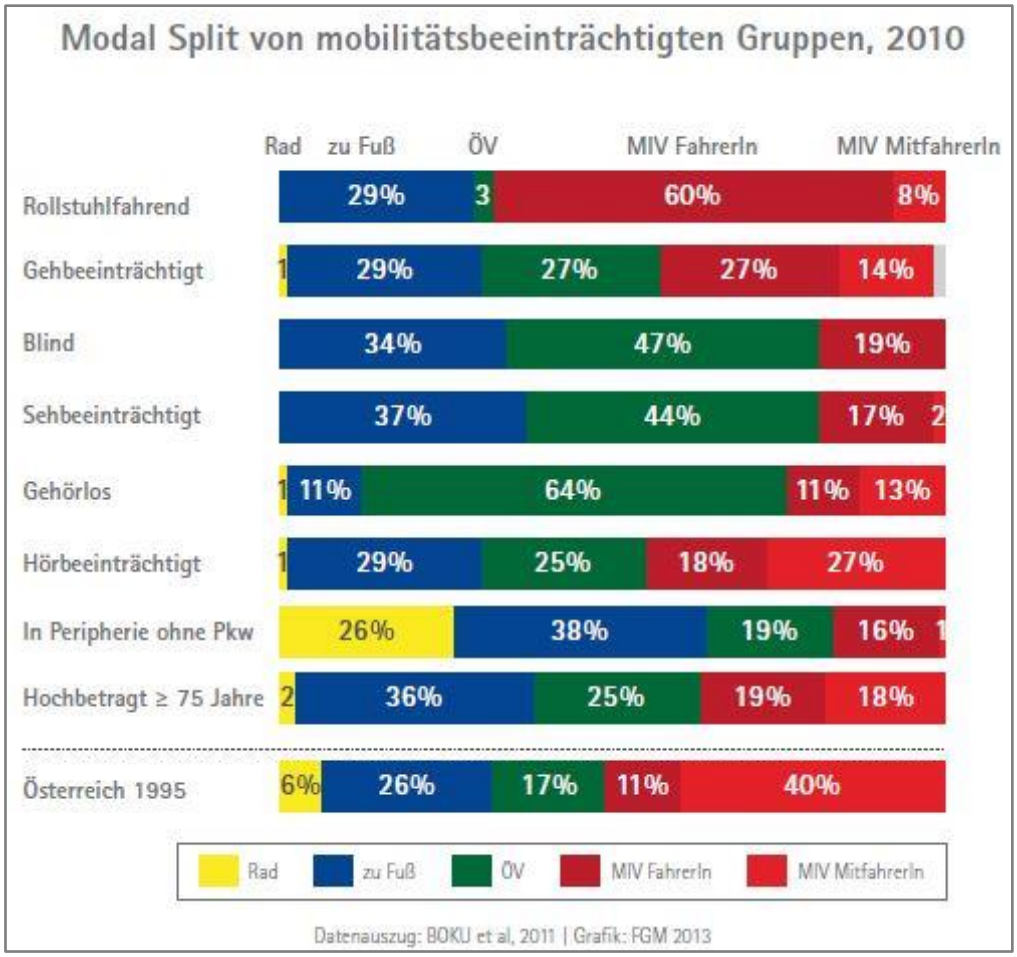


Abbildung 24: Der Modal Split mobilitätseingeschränkter Gruppen (Quelle: Bmvit, 2013b, S. 36).

Wie Abbildung 24 zeigt, haben Personen mit bestimmten Arten altersbedingter Beeinträchtigungen bestimmte Präferenzen bezüglich des primär verwendeten Verkehrsmittels zur Folge. Dabei ist zu erkennen, dass dem ÖPNV in den meisten dieser Gruppen eine hohe Relevanz zukommt. Auch wenn der ÖPNV im städtischen Bereich den eigenen PKW bis zu einem gewissen Grad ersetzen kann, kompensieren altersbedingt-mobilitätseingeschränkte Personen ihre Leistungseinbußen dennoch auch mit Verzicht auf Mobilität (vgl. Bmvit, 2013a). Sämtliche angeführten Beeinträchtigungen, die die PKW-Nutzung erschweren und/oder verhindern, haben ebenso in der Bedienung des ÖPNV-Angebots behindernde Effekte, auf die im folgenden Teil der Arbeit eingegangen wird.

6.2.1. Auswirkungen altersbedingter Beeinträchtigungen auf die Nutzung des ÖPNV

Auftretende körperliche und kognitive Einbußen haben eine starke Auswirkung auf das subjektive Sicherheitsgefühl älterer Personengruppen, wenn es um die Teilhabe im Straßenverkehr geht. Mobilitätsbezogene Ängste und Sicherheitsbedenken älterer Personen lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen (Bmvit, 2013a, S. 30):

- Stürze und Unfälle
- Mangelnde Rücksichtnahme anderer VerkehrsteilnehmerInnen (vor allem AutofahrerInnen, RadfahrerInnen und freilaufende Hunde)
- Verbrechen und Belästigung

Der aus diesen Ängsten entstehende Verzicht auf Mobilität und die räumliche Isolation im eigenen Zuhause kann eine weitere Verschlechterung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit zur Folge haben, was wiederum die Angst zur Mobilitätsbewältigung steigert. Diese Ängste sind keineswegs unberechtigt, da etwa 10% der Stürze älterer Personen einen Krankenhausaufenthalt zur Folge haben, nach na welchem ca. 12-24% der Patienten innerhalb des ersten Jahres sterben und etwa 25% dauerhaft pflegebedürftig sind (vgl. Brecht, M., 2012).
Rund 60% der durch Unfälle im Straßenraum verletzten Personen im Seniorenalter in Österreich verletzen sich in Unfällen ohne Beteiligung eines Kraftfahrzeugs. Häufige Ursachen dabei sind zu hohe Gehsteigkanten, unebene und zu schmale Gehwege, schlechte Pflasterungen, Witterungsbedingungen und ungeräumte Fußwege oder unzureichende Straßenbeleuchtung (Bmvit, 2013a, S. 31).

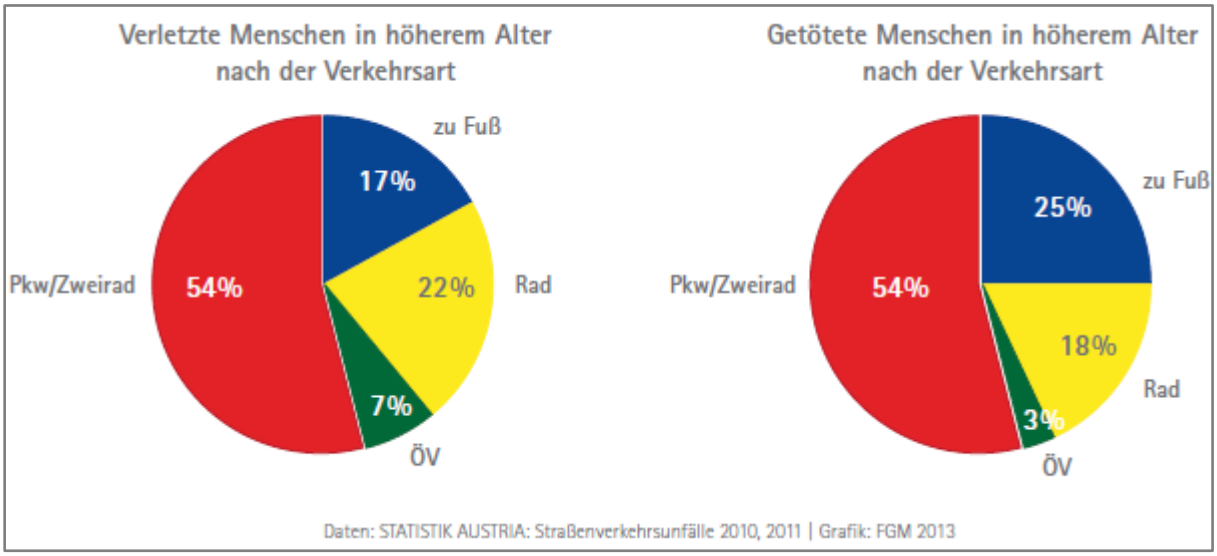


Abbildung 25: Verteilung der verletzten und getöteten Personen höheren Alters im Straßenverkehr nach Verkehrsmodus.

Auch wenn der ÖPNV hinsichtlich der Zahl verletzter und getöteter Personen im Seniorenalter die scheinbar sicherste Verkehrsform ist (siehe Abbildung 25), beeinträchtigen körperliche und geistige Behinderungen (und die dadurch auftretenden Unsicherheiten und Ängste) dessen Nutzung. Die Angst, aufgrund von Fliehkräften oder auftretendem Schwindelgefühl zu stürzen, zu kurze Ein- und Ausstiegszeiten, die Unfähigkeit längere Zeiträume zu stehen oder Fahrpläne zu lesen sind nur einige wenige Beispiele für Auswirkungen hinsichtlich der Nutzung des ÖPNV, die aufgrund von altersbedingten Einschränkungen körperlicher und kognitiver Art auftreten können. Hinzu kommt die Notwendigkeit von Wegen, die beim Umsteigen oder zwischen der ÖPNV-Station und dem Reiseziel bzw. dem Startpunkt der Reise auftreten, die fußläufig zurückgelegt werden müssen und einen zusätzlichen Mobilitätsaufwand darstellen. Ebenso können andere Verkehrsteilnehmer, besonders zu dunklen Tageszeiten, eine Quelle der Unsicherheit darstellen.

Neben Faktoren, die das subjektive Sicherheitsgefühl und die objektive Sicherheit betreffen, gibt es weitere Umstände, wie die Gestaltung von Fahrplänen oder die Nutzerfreundlichkeit von Fahrscheinautomaten, die eine kognitive Hürde für die Nutzung des ÖPNV-Angebots sein können. Die Gestaltung der Fahrzeuge und der Stationsareale in Bezug auf Barrierefreiheit und Komfort (z.B. öffentliche WC-Anlagen, Aufzüge, genug Sitzplätze, Abstellflächen für Rollatoren, etc.) sind ebenso Punkte, die es hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit von ÖPNV-Systemen für ältere Bevölkerungsgruppen zu berücksichtigen gilt.

An dieser Stelle werden spezielle Rahmenbedingungen in Verbindung mit Mobilität älterer Bevölkerungsgruppen sowie die Begründung der Subsummierung älterer Bevölkerungsgruppen in die Gruppe mobilitätseingeschränkter Personen anhand einiger Stichpunkte zusammengefasst:

- Altersbedingte Beeinträchtigungen physisch-motorischer sowie psychisch-kognitiver Natur behindern in großem Ausmaß vor allem ältere Personen an der Nutzung verschiedenster Mobilitätsformen und Verkehrsmittel/-infrastruktur.
- Die Mobilitätsstruktur älterer Bevölkerungsgruppen unterscheidet sich stark von anderen Bevölkerungsgruppen.
- Das Unfallrisiko sowie die Folgen eines Unfalls sind bei älteren Personen vergleichsweise hoch.
- Der Aktionsradius älterer Personen ist vergleichsweise niedrig.
- Alltagsmobilität wird zunehmend als Unsicherheit empfunden und verstärkt gemieden.
- Der ÖPNV und das zu-Fuß-Gehen nehmen den größten Anteil am Modal Split ein.

6.2.2. Potenziale von GTFS in der Analyse innerstädtischer Erreichbarkeit älterer Bevölkerungsgruppen

Mobilität ist ein Teilaspekt der subjektiven Lebensqualität. Wie aus den vorangegangenen Abschnitten hervorgeht, sind ältere Personengruppen, vor allem in Städten wie Wien, hinsichtlich der Befriedigung ihrer Mobilitätsbedürfnisse auf den ÖPNV angewiesen (vgl. Abbildung 22 und Abbildung 25). Für die Raumplanung bedeutet dies, die Sicherstellung der Mobilität sämtlicher Personengruppen zu gewährleisten, um auch gezielt mobilitätseingeschränkten Personen die Möglichkeit eines selbstbestimmten Lebens bieten zu können. Um dies zu ermöglichen und die Erreichbarkeit relevanter Dienste und Einrichtungen für ältere Bevölkerungsgruppen zu verbessern, ist neben der Optimierung des ÖPNV-Netzes, der Aspekt der Verteilung der Einrichtungen im Raum zu analysieren und gegebenenfalls zu verbessern. Um die Lebenswelt für ältere Personengruppen, deren Anteil an der Gesamtbevölkerung zunimmt und die ihre Mobilitätsbedürfnisse zu einem Großteil fußläufig und auf Basis des ÖPNV befriedigen, ist eine polyzentrale Stadtstruktur auf Basis des Konzepts der "Stadt der kurzen Wege" (Grund, E., 1997) notwendig. Da der alltägliche Aktionsradius im zunehmenden Alter schrumpft (vgl. Abbildung 20) und weite Wege schwieriger zu bewältigen sind, hat die Erreichbarkeit von Einkaufs-, Versorgungs- sowie Freizeiteinrichtungen und konsumfreie öffentliche (Grün-)Räume, ohne auf einen PKW angewiesen zu sein, besondere Relevanz.

GTFS erlaubt es, detaillierte Erreichbarkeitsanalysen auf Basis des ÖPNV durchzuführen, der gemeinsam mit dem Fußgängerverkehr die Grundlage innerstädtischer Mobilität älterer Personengruppen bildet. Untersuchungen zu bestimmten Tageszeiten (wie beispielsweise während der Öffnungszeiten von für ältere Personengruppen relevanten Einrichtungen) erlauben es, Ergebnisse für speziell für ältere Bevölkerungsgruppen relevante Zeitfenster zu kreieren. Auf konkrete Erfordernisse und Eigenheiten des Mobilitätsverhaltens älterer Personengruppen kann dadurch gezielt eingegangen werden.

Im Zuge einer Zusammenfassung der vorangegangenen Kapitel, haben sich relevante Faktoren hinsichtlich des speziellen Mobilitätsverhaltens älterer Personengruppen herauskristallisiert, die es in der Konzipierung des Analysenetzwerks zu berücksichtigen gilt:

- Die Gehgeschwindigkeit sowie die bevorzugte Tageszeit zur Erledigung von Aufgaben, unterscheiden sich von jüngeren Bevölkerungsgruppen.
- Die Überwindung von Querungen ist mit einem hohen zeitlichen und körperlichen Aufwand verbunden.
- Das Umsteigen zwischen einzelnen ÖPNV-Linien während einer Fahrt wird gemieden.
- Lange Wege die zu Fuß zurückgelegt werden müssen werden gemieden.

Empirischer Teil der Arbeit

In diesem Teil der Arbeit wird die Vorgehensweise in der Durchführung von Erreichbarkeitsanalysen auf GTFS-Basis vorgestellt und anhand der Nutzbarkeit für die Schaffung gezielter empirischer Aussagen bewertet. Inhaltlicher Rahmen bildet dabei die Fokussierung der Betrachtung auf ältere Personen als mobilitätseingeschränkte Bevölkerungsgruppe mit zukünftiger Relevanz in der Österreichischen Gesellschaftsentwicklung.
Die kleinste Untersuchungseinheit bildet dabei der Baublock samt der Anzahl der darin lebenden Bevölkerung, differenziert nach Altersklassen. Im Rahmen der Arbeit wird der Sachverhalt innerstädtischer Erreichbarkeit anhand von zwei grundlegenden Analysen untersucht. Dabei handelt es sich um:

- Die Anbindungsqualität des Wohnstandorts an den ÖPNV durch die Erreichbarkeit von Stationen und die Anzahl der dort wahrnehmbaren Fahrten.
- Die Erreichbarkeit der Anzahl von für die untersuchte Bevölkerungsgruppe relevanten Einrichtungen mithilfe des ÖPNV.

Die Analysen in Kapitel 9 bearbeiten das Thema des Anschlusses an das ÖPNV-System. Eine nahe gelegene ÖPNV-Station ist nicht gleichzusetzen mit einer guten Anbindung. Ausschlaggebend für die Anbindungsqualität ist die Linienführung der über die nächstgelegenen ÖPNV-Stationen erreichbaren ÖPNV-Linien, deren Bedienungsfrequenz sowie potenzielle Umsteigemöglichkeiten innerhalb des Netzwerks. Über die Analyse der Anzahl nahegelegener ÖPNV-Stationen und der Fahrten die innerhalb eines angegebenen Zeitraums von diesen Stationsstandorten in Anspruch genommen werden können, lässt sich ein umfangreicheres Bild der wohnortbezogenen Anbindungsqualität an den ÖPNV zeichnen. Kapitel 10 untersucht, wie gut ältere Personengruppen in Wien an Einrichtungen angebunden sind, deren Erreichbarkeit für ältere Bevölkerungsgruppen von besonderer Relevanz ist. Die Erreichbarkeit dieser Einrichtungen wird zu unterschiedlichen Tageszeiten eruiert.

Die Ergebnisse der Untersuchungen bilden die Grundlage für die Ausweisung von Wohnblocks, die aus Sichtweise der älteren Bevölkerung Wiens über hohe Erreichbarkeitsqualität verfügen. Durch Gewichtung und Verschneidung der einzelnen Analyseergebnisse aus Kapitel 9 und 10 werden sämtliche Baublocks hinsichtlich ihres Potenzials, die Mobilitätsbedürfnisse älterer Personen befriedigen zu können, kategorisiert. Um die Baublocks hinsichtlich ihres Wohnstandortpotentials für ältere Personengruppen auf Basis ihrer innerstädtische Erreichbarkeitsqualität kategorisieren zu können, werden 23 Merkmale gewichtet miteinander in Beziehung gesetzt und dienen nach ihrer Zusammenführung als Kennzahl, die Auskunft über die Erreichbarkeitsqualität eines Baublocks gibt. Durch Betrachtung der EinwohnerInnenzahlen und der Altersverteilung in den einzelnen Baublocks lässt sich erkennen, ob ältere Personengruppen in Wien in höherem Ausmaß in Gegenden leben, die ein hohes Maß an Erreichbarkeitsqualität auf Basis des ÖPNV bieten. Auf die einzelnen Faktoren, deren Gewichtung sowie deren Verschneidung wird detailliert eingegangen.

Die durchgeführten Analysen basieren auf Berechnungen innerhalb eines Graphennetzwerks und beruhen auf dem Prinzip des kostengünstigsten Weges von A nach B. Als Kostenfaktor wird im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich die Zeit herangezogen, die zur Überwindung des Raumwiderstandes notwendig ist. Neben dem minimalen Zeitaufwand werden zusätzliche Nebenbedingungen, die erfüllt werden müssen (diese werden im Laufe der Arbeit an relevanten Stellen hervorgehoben), definiert. Zum besseren Verständnis dieses Vorgehens wird im folgenden

Kapitel kurz auf die Grundzüge der Graphentheorie und deren Anwendung in der Verkehrssystemplanung eingegangen.

7. Graphentheorie als Grundlage für Berechnungen in Netzwerkmodellen

Graphen bilden die Grundlage jeder Netzwerkmodellierung. Der Begriff Graph definiert eine Menge von Objekten, die durch Verbindungen miteinander in Beziehung stehen. In abstrahierter Form spricht man bei den Objekten von Knoten und die Verbindungen werden als Kanten bezeichnet. Ein Knoten kann dabei durch eine beliebige Anzahl an Kanten mit anderen Knoten in Verbindung stehen (vgl. Diestel, R., 1996). Graphen können für die Darstellung sämtlicher relationaler Entitäten herangezogen werden. Die Möglichkeiten reichen dabei von der Darstellung ideeller Sachverhalte, wie etwa sozialer Gruppendynamiken, bis hin zu konkreten Dingen wie Straßennetzen.

Ein anschauliches Beispiel eines solchen Graphennetzwerks ist beispielsweise ein U-Bahn-Plan. Üblicherweise werden darin Stationen des U-Bahn-Netzes sowie die Linien, die diese Stationen bedienen, auf topologische Weise dargestellt. Die darin abgebildeten Entfernungen zwischen den Stationen und deren Lage (absolut sowie relativ zueinander) entsprechen nicht der Realität. Im Mittelpunkt der Informationsvermittlung stehen die Verbindungen der einzelnen Stationen untereinander durch U-Bahn-Linien. Erkennt man in diesem anschaulichen Beispiel einen Graphen, handelt es sich bei den Stationen um Knoten und bei der Darstellung der U-Bahn-Linien um Kanten, die diese Knoten verbinden.

Die Beziehung der durch Kanten miteinander verbundenen Knoten wird durch bestimmte Eigenschaften der Kanten definiert. Kanten können Informationen hinsichtlich deren Richtung oder Gewichtung beinhalten (vgl. Diestel, R., 1996). In unserem Beispiel des U-Bahn-Plans würden die Kanten keine Beschränkungen hinsichtlich einer Richtungsgebundenheit aufweisen, da die Linien in der Regel in beide Richtungen befahren werden können. In diesem Fall handelt es sich um einen ungerichteten Graph. Ersetzt man den U-Bahn-Plan durch die gleiche Darstellung eines Autobus-Netzwerks einer Stadt sind dessen Kanten richtungsgebunden, da jede Verbindung zwischen zwei Knoten (den Stationen) in nur eine Richtung erfolgt. In diesem Zusammenhang spricht man von einem gerichteten Graphen. Knoten können dabei durch eine beliebige Anzahl richtungsgebundener Kanten miteinander in Verbindung stehen, dies auch mehrmals.

Durch das Gewicht einer Kante können unterschiedliche Inhalte ausgedrückt werden, je nachdem welchen Charakter die Beziehung der Knoten zueinander hat. Um bei dem dargestellten Beispiel der ÖPNV-Pläne zu bleiben, könnte das Gewicht einer Kante die räumliche oder zeitliche Entfernung zwischen den Knoten darstellen. Jeder Kante würde demnach ein Wert zugeschrieben, der für die erforderlichen Meter bzw. Minuten steht, die es benötigt von Knoten A zu Knoten B zu gelangen. In einer anderen Netzwerkdarstellung, die beispielsweise Zahlungsflüsse zwischen verschiedenen Konten darstellt, könnte es sich bei dem Kantengewicht um die Summe an Euros handeln, die zwischen den Konten (welche in Form von Knoten dargestellt werden) transferiert werden.

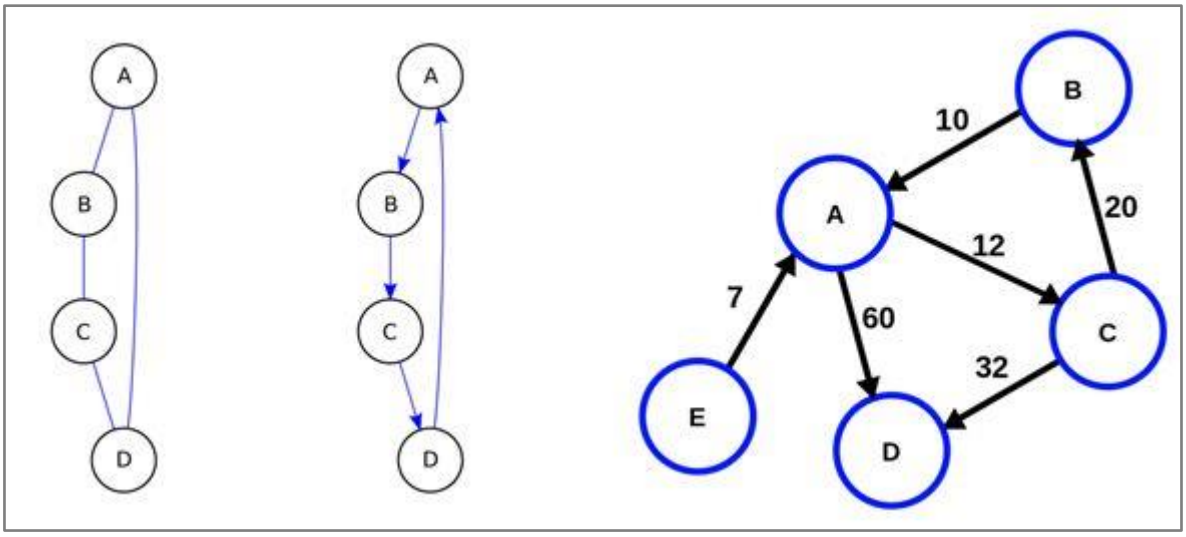


Abbildung 26: Beispiel eines ungerichteten Graphen (links), eines gerichteten Graphen (mitte) und eines gerichteten gewichteten Graphen (rechts) (Quelle: wikipedia.at).

Auf Grundlage der Kantenmenge, Kantenrichtungen und der Analyse der Anzahl zurückzulegender Kanten zur gegenseitigen Erreichung der Knoten untereinander, kann eine Vielzahl an Untersuchungen innerhalb eines Netzwerks durchgeführt werden (vgl. Meyerhenke, H., 2017). Diese dienen zu Beschreibung dessen Eigenschaften hinsichtlich des Vernetzungsgrades einzelner Bestandteile des Netzwerks und des Netzwerks insgesamt. Auf dieser Basis können auch einfache Analysen zu Entfernungen zweier Knoten zueinander über die Anzahl der zu überwindenden Kanten erstellt werden.
Die Bestimmung des familiären Verwandtschaftsgrades ist ein Beispiel hierfür: Je entfernter ein Verwandter im Familienstammbaum ist, desto mehr Kanten (als Verbindungen zwischen direkten Verwandten) trennen uns von diesem (z.B. besteht eine Kante zwischen Mutter und Kind, während zwischen Kind und Großmutter zwei Kanten bestehen).

Komplexere Analysen lassen sich jedoch in gewichteten Graphen durchführen. Dabei ist die bloße Anzahl der zurückzulegenden Kanten nicht ausschlaggebend für die kürzeste bzw. längste Verbindung zweier oder mehrerer Knoten. Relevant für die Bewertung einer Knotenfolge ist dabei die Summe der Kantengewichte. Dabei kann eine Verbindung über mehrere niedriggewichtete Kanten eine niedrigere Kantensumme als eine Verbindung über beispielsweise nur eine Kante, deren Gewicht die Summe der Kantengewichte der ersten Verbindung übersteigt, aufweisen. Die Verbindung über den Umweg mehrerer Kanten kann also kostengünstiger sein, als eine Verbindung über wenige Kanten. Dies bildet die Grundlage sämtlicher graphenbasierter Untersuchungen zum Thema Erreichbarkeit im Mobilitäts- und Verkehrsbereich.

7.1. Graphentheorie im Verkehrsbereich

Die Anwendung graphentheoretischer Ansätze im Verkehrsbereich wurde ab Anfang der 1960er Jahre verstärkt im Rahmen der Netzgestaltung eingesetzt. Faktoren, wie die Komplexität, die Konnektivität sowie Zyklität eines Netzwerks standen dabei im Fokus der Betrachtung (vgl. Lypp, D., 2015). Diese und weitere in späterer Folge definierte Indikatoren (z.B. die durchschnittliche Kantenlänge, die Gesamtlänge des Systems, Umsteigefunktionen, Systemdurchmesser, Verkehrsfluss, etc.) dienten zur Klassifizierung von Verkehrsnetzen und der Beschreibung ihrer Eigenschaften.

Aspekte wie die Konnektivität oder Komplexität eines Netzwerks sind besonders im ÖPNV-Bereich ausschlaggebende Faktoren, die die Funktionalität sowie die Attraktivität eines ÖPNV-Systems ausmachen und Auswirkungen auf die Erreichbarkeit haben. Eine Typologisierung von Verkehrsnetzen ist auf dieser Basis möglich, wie Derrible, S. und Kennedy C. (vgl. 2010a, 2010b, 2011) zeigen.
Einige Beispiele für die Bedeutung der Ergebnisse solcher graphentheoretischen Untersuchungen können in folgenden Zitaten gefunden werden:

„Aus Fahrgastsicht ist dabei ein Netzwerk mit hoher Gesamtlänge und geringem Durchmesser von Vorteil, da es sehr wahrscheinlich kurze Fahrzeiten bieten kann, indem es viele Ziele in kurzer Entfernung zueinander verbindet (Lypp, D., 2015, S. 14)*.“*

„So erklärt der durchschnittliche Abstand zwischen Stationen, ob ein Netz eher kleinräumige Erreichbarkeit oder großräumiges, schnelles Vorankommen bietet. Je kürzer der Abstand ist, desto langsamer ist die Reisegeschwindigkeit, allerdings liegen die Stationen näher aneinander, womit die Erschließungsqualität steigt (Lypp, D., 2015, S. 16)*.“*

Doch nicht nur für die Untersuchung von Netzwerkeigenschaften ist die Anwendung der Graphentheorie innerhalb von Verkehrsnetzen brauchbar. Durch die Bildung gewichteter Netzwerke ist die Analyse von Erreichbarkeit auf Grundlage der Annahme von Kosten zur Raumüberwindung möglich. Diese Kosten finden sich in der Gewichtung von Kanten und Knoten wieder. Grundlage aller Analysen zum Thema Erreichbarkeit, ist die Ermittlung kürzester Wege zwischen zwei oder mehreren Punkten über ein Netzwerksystem (Routing). Im Zuge dieser Arbeit beruhen die ermittelten kürzesten Verbindungen allein auf der benötigten Zeit zur Raumüberwindung. Subjektive Faktoren (wie zum Beispiel die Tendenz den längeren Weg durch eine sichere/schönere Umgebung dem kürzeren Weg durch eine unsicherere/wenig ansprechende Umgebung zu wählen), die die Wahl eines gewählten Weges zur Befriedigung der Mobilitätsbedürfnisse stark beeinflussen können (vgl. Prato, C., G., 2009), werden dabei nicht berücksichtigt.

7.2. Der Dijkstra-Algorithmus zur Ermittlung der kürzesten Wege innerhalb eines Graphennetzwerks

Eine sehr prominente Methode zur Ermittlung kürzester Wege in einem Graphennetzwerk ist die Anwendung des von Dijkstra, E., W. (1959) entwickelten und nach ihm benannten Algorithmus. Er bildet die Grundlage für sämtliche Routing-Tools in GIS-Anwendungen, so auch für Berechnungen mit Hilfe des ArcGIS Network Analyst (vgl. Esri, 2018), der im Rahmen dieser Arbeit für sämtliche Analysen verwendet wird. Die Anwendung des Dijkstra-Algorithmus, der unter Beibehaltung der Minimierung des angegebenen Kostenattributs den kürzesten Weg zwischen zwei Punkten innerhalb eines gewichteten Graphennetzwerks sucht, kann durch zusätzliche Beschränkungen bezüglich Einbahnrestriktionen, Präferenzen und Meidungen bestimmter Netzwerkbestandteile oder Barrieren für die Verwendung innerhalb eines Graphenmodells für Routung-Analysen im Verkehrsbereich ergänzt werden.

Der Dijkstra-Algorithmus geht, ausgehend von einem Startknoten, schrittweise in seiner Berechnung vor, indem sämtliche benachbarte Knotenpunkte hinsichtlich der Kosten für deren Erreichung untersucht werden. Das Gewicht der Kante, die zur Erreichung des nächsten Knoten genutzt wird, wird "im Knoten gespeichert". Im nächsten Schritt werden sämtliche bereits analysierte Knoten

betrachtet und ausgehend vom Knoten mit der geringsten Gewichtssumme dieselbe Analyse durchgeführt. Die dem Knoten zugewiesenen Kantengewichte werden dabei stets mit dem Gewicht der am nächsten verwendeten Kante ergänzt, indem die Summe deren Werte gebildet wird. Der jeweils nächste Analyseschritt geht von jenem Knoten aus, der die geringste Kantengewichtssumme zu dessen Erreichung aufweist. Dieser Prozess wird so lange wiederholt, bis der gesuchte Zielknoten erreicht wurde (Dijkstra, E., W., 1959; Byrne, M., 2015; Corman T., H., Leiserson C., E., Rivest R., L., Stein C., 2009).

Folgende schrittweise Erläuterung der Funktionsweise des Algorithmus soll – zusätzlich zu dem letzten Absatz - zu deren besseren Verständnis beitragen:

1. Alle Knoten im Netzwerk bekommen den Status "unbesucht" zugeschrieben und haben (noch) keinen Wert.
2. Der für den Start der Analyse ausgewählten Knoten bekommt den Wert 0 zugeschrieben (und verliert damit den Status "unbesucht"). Dies ist der aktuelle Analyseknoten.
3. Ausgehend vom aktuellen Analyseknoten wird jeder direkte Nachbarknoten (= über eine einzige Kante mit dem aktuellen Analyseknoten verbunden) hinsichtlich der Kosten diesen zu erreichen untersucht. Dabei wird jedem unbesuchten Knoten der Wert des aktuellen Analyseknotens plus den Wert des Kantengewichts der verbindenden Kante zugeschrieben und der Status "unbesucht" wird entfernt. Handelt es sich bei dem untersuchten Knoten um einen bereits besuchten Knoten, wird diesem der Wert des aktuellen Analyseknotens plus der Wert des Kantengewichts der verbindenden Kante zugeschrieben, wenn diese Summe geringer ist als der aktuelle Wert dieses Knotens. Ist sie es nicht, bleibt der dem Knoten bereits zugewiesene Wert erhalten.
4. Nach der Untersuchung aller Nachbarknoten wird der Knoten mit dem geringsten zugeschriebenem Wert innerhalb der Menge aller bereits besuchten Knoten im Netzwerk (= Knoten, die bereits einen Wert zugewiesen bekommen und damit den Status "unbesucht" verloren haben), die jedoch noch nicht Analyseknoten waren, der neue aktuelle Analyseknoten. Ein Knoten kann nicht zweimal als aktueller Analyseknoten fungieren.
5. Punkt drei und vier werden so lange wiederholt, bis der Zielknoten als aktueller Analyseknoten ausgewählt wird. Der Algorithmus endet an dieser Stelle. Die kürzeste Route zwischen dem Ausgangs- und dem Zielknoten ergibt sich aus der Knotenfolge, deren Kantensumme, ausgehend von Startknoten, minimal ist.

Die Funktionsweise des Dijkstra-Algorithmus folgt keineswegs einem „direkten“ Weg zur Ermittlung des kürzesten Weges zwischen zwei Punkten. Vielmehr werden sämtliche mögliche Verbindungen ausgehend vom Startpunkt hinsichtlich ihrer Gesamtkosten untersucht. Die Verbindungen werden in diesem Prozess schrittweise gebildet, wobei sämtliche benachbarte Knotenpaare zwischen dem Quell- und Zielpunkt untersucht werden. Die Anwendung des Dijkstra-Algorithmus erfordert aufgrund des großen Analyseumfangs einen hohen Rechenaufwand und beansprucht bei großen Netzwerkdatensätzen lange für die Durchführung. Bei dem Ergebnis der Berechnung handelt es sich jedoch zwangsläufig um den kürzesten Pfad zwischen zwei Knoten innerhalb eines Graphennetzwerks.

Sämtlichen Routing-Tools in der Network Analyst Erweiterung von ArcMap, und den diesen zugrundeliegenden Skripten, basieren auf dem Dijkstra-Algorithmus. Die Ermittlung des kürzesten

Weges zwischen zwei Punkten innerhalb eines Graphennetzwerks ist dabei der einfachste Anwendungsbereich. Die Erstellung von Einzugsbereichen um bestimmte Punkte oder von Start-Ziel-Kostenmatrizen haben denselben Algorithmus zur Grundlage, nur kommen dabei zusätzliche Bedingungen wie Grenzen bezüglich des maximalen Kostenaufwandes oder die Angabe einer Anzahl zu erreichender Ziele hinzu. Im Zuge der in dieser Arbeit durchgeführten Analysen werden für bestimmte Fragestellungen mehrere Untersuchungen auf Grundlage des Dijkstra-Algorithmus innerhalb eines angegebenen Zeitfensters erstellt und die Ergebnisse zusammengefasst. Im Zuge einer statistischen Auswertung kann dadurch beispielsweise die durchschnittliche Reisezeit oder aber auch - durch die Bestimmung des Anteils der Untersuchungen, bei denen das Ziel erreicht wurde - die prozentuelle Wahrscheinlichkeit, das Ziel in einem bestimmten Zeitfenster zu erreichen, ermittelt werden (vgl. Kapitel 10.1).

8. Die Erstellung des Analysenetzwerks

Um Erreichbarkeitsanalysen in einem Graphennetzwerk durchführen zu können, ist es notwendig, dieses Netzwerk in einer Abfolge konkreter Schritte zusammenzusetzen. Die Besonderheit dabei liegt in der Nutzung eigens kreierter Tools, um GTFS-Daten in ArcMap integrier-und bearbeitbar zu machen. Dadurch können innerhalb des erstellten Netzwerks Erreichbarkeitsanalysen nicht nur zu einem bestimmten Zeitpunkt, sondern über ganze Zeiträume hinweg erstellt werden.

Da es sich bei dem GTFS-Datenformat um ein vergleichsweise neues Datenformat handelt, befindet sich direkt in ArcMap keine Möglichkeit GTFS-Daten zu importieren, darzustellen und zu bearbeiten. Esri hat allerdings diverse Skripten und Toolboxes zum freien Download bereitgestellt, welche sich direkt in ArcMap implementieren lassen (vgl. esri.github.io). Nach Download und Installation sind diese ohne Umwege nutzbar. Beilegende Benutzermanuals erklären die Funktionsweise der einzelnen Tools und geben Aufschluss darüber, wie diese im Detail zu handhaben sind. Für die Analysen im Rahmen dieser Diplomarbeit sind vor allem die Tools „Add GTFS to a Network Dataset“, samt dem darin enthaltenen „Transit Analysis Tool“, sowie das „Better Bus Buffers“ Tool von Relevanz. Die eingesetzten Tools werden im Laufe der Darstellung des Untersuchungsablaufs näher beschrieben.

Als Grundlage für alle vorgenommenen Berechnungen dient ein Netzwerk, das sich aus zwei Teilen zusammensetzt. Zum einen ist dies ein Straßennetzwerk, bestehend aus dem Straßendatensatz für Wien, welcher auf data.gv.at gratis als Download verfügbar ist. Ebenso frei verfügbar ist der zweite Teil des Netzwerks, bei dem es sich um den GTFS-Datensatz der Wiener Linien handelt (vgl. data.gv.at). Da sich meine Analysen auf den Fußgänger- und öffentlichen Personennahverkehr beschränken, sind keine weiteren Datenquellen für die Erstellung des Netzwerks erforderlich. Es muss lediglich sichergestellt werden, dass beide Grundlagen in einem gemeinsamen Netzwerk verbunden werden und der Übergang zwischen diesen reibungslos funktioniert. Dies wird mit Hilfe der Esri Tools zur Integration von GTFS-Daten in GIS ermöglicht (vgl. Kapitel 8.2).

Datengrundlage	Quelle	Link
Straßengraph Wien	Open Data Wien	https://www.data.gv.at/katalog/dataset/1039ed7e-97fb-435f-b6cc-f6a105ba5e09 (zuletzt abgerufen am 31.01.2019)
GTFS Daten der Wiener Linien	Open Data Wien	https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-

		linien-fahrplandaten-gtfs-wien (zuletzt abgerufen am 02.02.2019)

Tabelle 16: Verwendete Datengrundlagen für die Erstellung des Fußwege- und ÖPNV-Netzes

8.1. Erstellung der GTFS-Netzwerkelemente

Um das Netzwerk erstellen zu können, ist es notwendig, den GTFS-Datensatz der Wiener Linien in eine für die Arbeit in ArcMap geeignete Struktur zu bringen und in konkrete Geometrie zu übersetzen. Zu diesem Zweck enthält die „Add GTFS to a Network Dataset“ Toolbox drei Tools, mit deren Hilfe es möglich ist, GTFS in ArcMap zu importieren:

- 7.1.1. Generate Transit Lines and Stops
- 7.1.2. Generate Stop-Street Connectors
- 7.1.2. Get Network EIDs

Diese drei Tools dienen einzig und allein dazu, das Wiener ÖPNV-Netz in ein Netzwerkmodell zu integrieren. Sämtliche andere Netzwerkelemente, die ebenso verwendet werden sollen, müssen unabhängig davon bearbeitet und miteinander sowie mit dem erstellten ÖPNV-Netz verbunden werden (vgl. Kapitel 8.2.1). Dies geschieht nach durchlaufen der Tools „Generate Transit Lines and Stops“ sowie „Generate Stop-Street Connectors“ und vor Durchlaufen des Tools „Get Network EIDs“. Letzteres benötigt ein bereits fertig erstelltes Netzwerk als Input.

8.1.1. Generate Transit Lines and Stops

Das Tool „Generate Transit Lines and Stops“ dient im ersten Schritt dazu, die GTFS-Textdateien in Geometrie der Stationen und Routen des Wiener ÖPNV-Systems zu übersetzen. Nach Durchführung des Tools erhält man jeweils ein Shapefile für die Stationen (Stops) und eines für die Routen (TransitLines), unterteilt in die Kategorien Bus, Straßenbahn und U-Bahn. Die Stationen sind dabei lagegenau dargestellt, während es sich bei den ÖPNV-Routen lediglich um gerade Verbindungslinien zwischen den Stationen handelt. Die Routenlinien repräsentieren daher nicht die tatsächliche Streckenführung, sondern bloß die topologische Relation zwischen den Stationen (vgl. Kapitel 3.2). Nach erfolgreicher Durchführung des Tools ist es allerdings wichtig zu beachten, den Outputnamen der Stationen (Stops) nicht zu verändern, da sich das darauffolgende Tool in seinem Skriptcode genau auf diese Bezeichnung bezieht.

Input	Prozess und Ergebnis	Output
Ordner, der sämtliche CSV-Textdateien enthält	Aus den Koordinateninformationen der Dateien „stops.txt“ und „trips.txt“ werden die geometrischen Grundlagen für Stationen und ÖPNV-Routen generiert.	Stationen ("Stops")
		ÖPNV-Routen ("TransitLines")

Tabelle 17: Input, Funktionsweise und Output des Tools „Generate Transit Lines and Stops“.

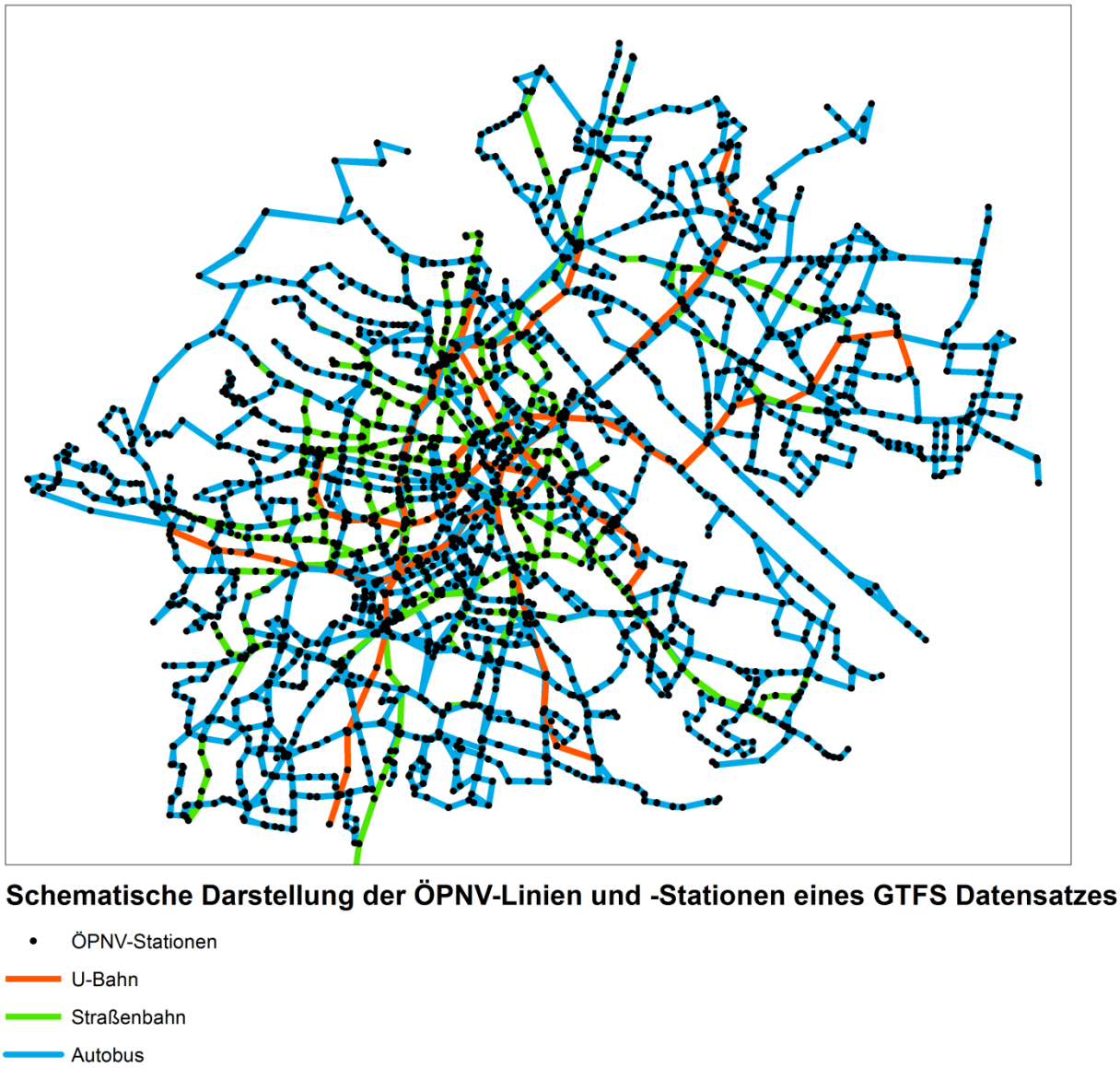


Abbildung 27: Schematische Darstellung der ÖPNV-Linien sowie Stationspunkte als Ergebnis des „Generate Transit Lines and Stops" Tools.

8.1.2. Generate Stop-Street Connectors

Im Anschluss an die Generierung des ÖPNV-Netzwerks, wird mit dem Tool „Generate Stop-Street Connectors“ die geometrische Grundlage dafür erstellt, dieses mit dem zu verwendenden Straßennetz zu verbinden. Dafür werden die zuvor generierten Stationspunkte (Stops) sowie das für die Erstellung des Netzwerks gewünschte Straßengraphen-Shapefile verwendet. Der Straßendatensatz der Stadt Wien, der hierfür verwendet wird, bietet den Vorteil, keine Straßensegmente, die für Fußgänger unzugänglich sind (z.B. Stadtautobahnen), zu enthalten.

Bei Durchlaufen des Tools werden Linien erstellt, die die Stationspunkte entlang der kürzesten Entfernung mit der nächstgelegenen Kante des Straßengraphendatensatzes verbinden. Als eigenes Netzwerkelement dienen diese Linien später dazu, den Übergang von beispielsweise einem an der Straße gelegenen U-Bahn Stationseinstieg und dem tatsächlichen Bahnsteig, an dem die Züge ein- und abfahren, darzustellen. Dieselben Arten von Linien verbinden ebenso auch Bus- und Straßenbahnstationen (der Ort an dem der Bus bzw. die Straßenbahn tatsächlich zum Stillstand

kommen) mit dem Straßengraphen. Da die Entfernung von der Haltestelle am Gehsteig und dem Standort des Busses bzw. der Straßenbahn im Vergleich zu U-Bahn-Stationen sehr gering ist, ist die durch das Tool generierte Linie in der Regel wesentlich kürzer (mehr dazu im Kapitel 8.2.2.1.1).

Ebenso werden als Ergebnis nach Durchlaufen des Tools Punkte erzeugt, die den Standort der Station auf dem Straßengraphen repräsentieren. Diese Punkte stellen - im übertragenen Sinn - die physische Bus- oder Straßenbahnhaltestelle, oder aber auch den Zugang zur U-Bahn Station dar. Die zuvor beschriebene und durch das Tool erzeugte Linie verbindet also den Standort des Fahrzeugs bei Stillstand in der Station bzw. an der Haltestelle sowie den tatsächlichen physischen Haltestellenstandort bzw. Stationseingang miteinander. Als zusätzlicher Output wird ebenso ein aktualisierter Straßengraph ausgegeben.

<table>
<tr><th>Input</th><th>Prozess und Ergebnis</th><th>Output</th></tr>
<tr><td rowspan="3">„Stops“-Shapefile, das durch das Tool "Generate Transit Lines and Stops" erzeugt wurde sowie der Straßendatensatz, welcher das Fußwegenetz enthält.</td><td rowspan="3">Linien gemäß der kürzesten Distanz werden zwischen jeder Station und deren nächstgelegenen Kante des Straßengraphen erzeugt. An dem Kreuzungspunkt mit dem Straßengraphen wird ein Punkt erzeugt, der den Übergangsknoten vom Straßengraphen in das ÖPNV-Netz darstellt.</td><td>Stationsstandorte auf den Straßengraphenkanten (Outputname: StopsSnapped2Streets)</td></tr>
<tr><td>Liniensegmente als Verbindung zwischen den zusammengehörigen Stationspunktepaaren (Outputname: Stops2StreetsConnector)</td></tr>
<tr><td>Aktualisiertes Straßen-Shapefile (Outputname: Streets_UseThisOne)</td></tr>
</table>

Tabelle 18: Input, Funktionsweise und Output des Tools „Generate Stop-Street Connectors“.

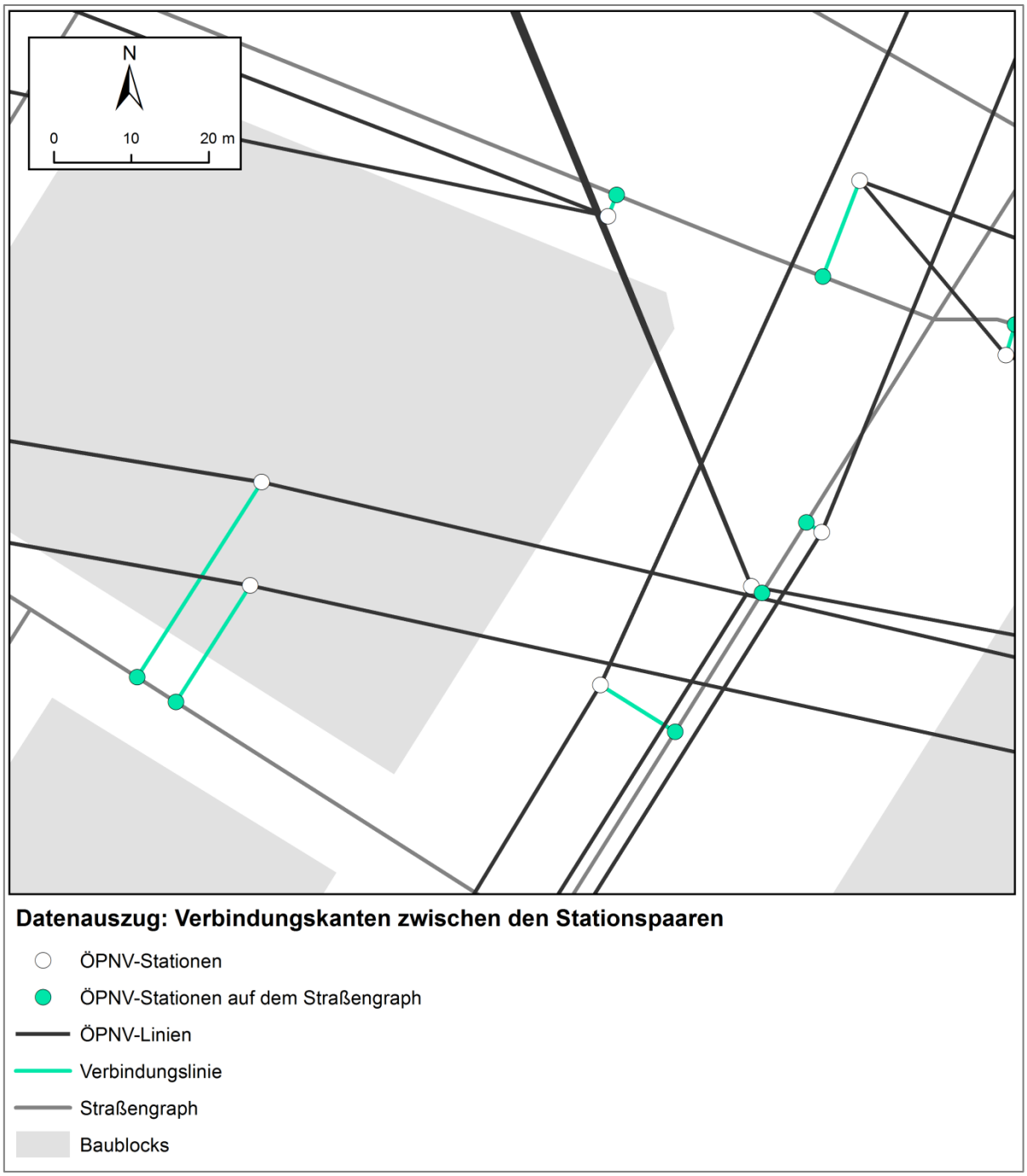


Abbildung 28: Projektionen der Stationspunkte auf dem Straßengraph sowie verbindende Linien als Ergebnis des „Generate Stop-Street Connectors" Tools.

8.1.3. Create Network EIDs

Das letzte der drei vorgestellten Tools kreiert die EIDs (EID = Element Identity) des gesamten Netzwerks. Dabei handelt es sich um eine Vergabe von Nummern für jedes Netzwerkelement, die der eindeutigen Identifizierung der einzelnen Netzwerkbestandteile dienen. Diese werden einer SQL-Datenbank hinzugefügt, die sämtliche Fahrplaninformationen des ÖPNV-Netzes enthält und im Zuge des „Generate Transit Lines and Stops“ Tools gebildet wird. Auf diese Datenbank wird für die Ermittlung der Zeitkosten bei Nutzung der ÖPNV-Kanten in Routing-Berechnungen zugegriffen (vgl. Kapitel 8.2.2.1.2). Das Tool kommt allerdings erst zum Einsatz, nachdem das Netzwerk erstellt wurde (vgl. Kapitel 8.2). Wichtig zu beachten ist, dass dieses Tool jedes Mal neu ausgeführt werden muss,

wenn das Netzwerk neu gebildet wird, da ansonsten keine Analysen auf Grundlage von GTFS durchgeführt werden können.

8.2. Die Erstellung des Netzwerks

Die Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitsschritte bilden als essenzielle Netzwerkelemente die Struktur des ÖPNV-Netzes, welches durch das Fußgängernetz ergänzt wird. Nach Ausführung der beiden vorgestellten Tools zur Nutzbarmachung von GTFS-Daten in ArcGIS, sind gemeinsam mit dem Straßen- bzw. Fußgängernetzgraphen, sämtliche Grundlagen vorhanden um das ÖPNV- und Straßengraphennetz miteinander zu verbinden und das endgültige Analysenetzwerk für die Durchführung der Untersuchungen zum Thema innerstädtische Erreichbarkeit im fortgeschrittenen Alter zu kreieren.

Um in weiterer Folge spezifischere Analysen erstellen zu können, wurden die Shapefiles der Stationen sowie der Verbindungskanten zwischen den Stationspunktepaaren um die Information der Verkehrsmittelzugehörigkeit erweitert. Zuerst wurde dafür mittels eines Spatial Join (Verschneidung von Information mehrerer Geoobjekte auf Grundlage deren räumlichen Beziehung zueinander) zwischen den Stationspunkten und den ÖPNV-Kanten die Information des Fahrzeugtyps (Bus, Straßenbahn oder U-Bahn) aus der Attributtabelle der ÖPNV-Kanten in die Attributtabelle der Stationspunkte übertragen. Mit derselben Vorgehensweise wurde die Information des Fahrzeugtyps von den Stationspunkten auf die Verbindungskanten übertragen. Das Ergebnis dieses Prozesses ist die eindeutige Zuweisung der Netzwerkelemente des ÖPNV-Netzes zu einem bestimmten Fahrzeugtyp. So ist es möglich bei jedem Stationspunkt und der dazugehörigen Verbindungskante zu ermitteln, ob dieser von einer Bus-, Straßenbahn- oder U-Bahn-Linie bedient wird (zur schematischen Darstellung der Vorgehensweise wird auf Abbildung 90 im Anhang verwiesen)

Um in weiterer Folge ebenso Umstiege zählen zu können, wurden den Verbindungskanten ein Feld mit dem Namen "Umstiege" hinzugefügt. Ein zugewiesener Wert von 1 soll die Nutzung jeder einzelnen Verbindungskante während des Zurücklegens einer Strecke zählen, wodurch es möglich ist, die Anzahl der benötigten Umstiege zu erfassen (vgl. Kapitel 13.2.3).

8.2.1. Definieren der Netzwerkelemente und deren Verschneidung (Connectivity)

Im ersten Schritt werden die einzelnen Elemente definiert, die Bestandteil des Netzwerks werden sollen. In diesem Fall sind dies sämtliche Outputs der GTFS-Tools sowie der Straßen-Datensatz.

Netzwerkelement	Dateiname	Formtyp
Fußgängernetzwerk	Streets_UseThisOne2	Linie
Verbindungsgerade zwischen Stationsstandorten und Haltepunkten der öffentlichen Verkehrsmittel	Connectors_Stop2Streets2	Linie
Routen der ÖPNV-Linien	TransitLines	Linie
Physische Stationen und Stationseingänge	StopsSnapped2Streets2	Punkt
Haltepunkte der öffentlichen Verkehrsmittel	Stops	Punkt

Tabelle 19: Die Bestandteile des Netzwerkmodells.

Regeln über die Möglichkeit von einem Netzwerkelement auf ein anderes Netzwerkelement zu gelangen, müssen konkret angegeben werden. Dafür werden die einzelnen Netzwerkelemente in Kategorien eingeteilt. Alle Elemente einer Kategorie befinden sich sozusagen auf einer Ebene und ein

Wechsel zwischen einzelnen Netzwerkelementen innerhalb der Ebene ist ohne Probleme möglich; sämtliche Elemente, die sich auf einer anderen Ebene befinden, können jedoch nicht begangen werden. Im konkreten Fall befindet sich das gesamte Fußwegenetz auf einer Ebene und das ÖPNV-Netz separat auf einer anderen. Um einen Übergang zu ermöglichen, wird eine dritte Ebene, die diese beiden Ebenen verbindet, benötigt. Dies geschieht über die Stationspunkte und deren lineares Verbindungselement, die sich als Paar auf genau eine Station in der Realität beziehen.

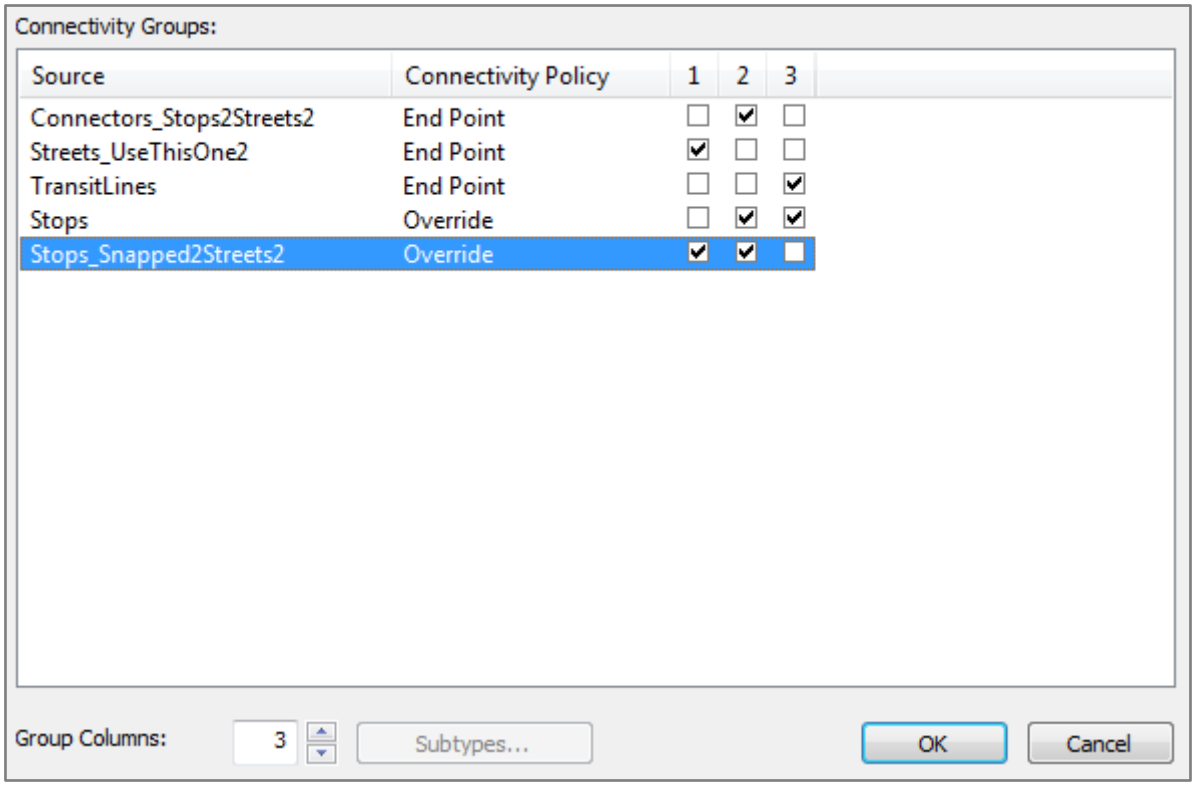


Abbildung 29: Darstellung der Zugehörigkeit der einzelnen Netzwerkelemente in die jeweiligen Kategorien/Ebenen.

Wie in Abbildung 29 zu sehen ist, befindet sich in der ersten Kategorie das Fußwegenetz (Streets_UseThisOne2), gemeinsam mit den auf das Fußwegenetz versetzten Stationspunkten (Stops_Snapped2Streets2). In der zweiten Kategorie – der Verbindungsebene - befinden sich die auf das Fußwegenetz versetzten Stationspunkte (Stops_Snapped2Streets2), die tatsächlichen Stationspunkte (Stops) sowie die Liniensegmente zwischen ihnen (Connectors_Stops2Streets2), die diese beiden Elemente verbinden. In der letzten Kategorie befinden sich die ÖPNV-Routen (TransitLines) gemeinsam mit den tatsächlichen Stationspunkten (Stops). Die Stationspunktelemente (Stops und Stops_Snapped2Streets2) befinden sich zum einen getrennt voneinander auf unterschiedlichen Ebenen, zum anderen jedoch gleichzeitig ebenso auf einer gemeinsamen dritten Ebene, die Kategorie welche die Verbindungsebene darstellt. Über diese kann nun – über die Stationspunkte und die Verbindungssegmente - zwischen der Fußgänger und der ÖPNV-Ebene gewechselt werden. Wichtig ist es allerdings noch die Einstellungen der Punktelemente von "Honor" auf "Override" umzustellen, da der Ebenenwechsel sonst nicht erfolgen kann.

8.2.2. Festlegung der Attribute

Um Erreichbarkeitsanalysen auf Grundlage des erstellten Netzwerks durchführen zu können, ist es notwendig Attribute zu definieren, nach denen die Berechnungen der Kosten für die Fortbewegung

auf den einzelnen Netzwerkelementen erfolgen. In den dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchungen greife ich dabei auf zwei grundlegende Attributtypen zurück: Kostenattribute und Restriktionen. Kostenattribute definieren den Aufwand, den es benötigt, sich entlang der Netzwerkkanten und –knoten fortzubewegen. Die gängigsten Einheiten zur Formulierung von Kostenattributen, im Rahmen von Untersuchungen im Mobilitätsbereich, beziehen sich auf die räumliche Distanz oder die benötigte Zeit zur Distanzüberwindung. Ebenso lassen sich aber auch viele weitere Arten der Kostenformulierung ableiten, wie zum Beispiel Geldeinheiten oder Schadstoffausstoß (die zur Berechnung jedoch meist ebenso Distanz- und/oder Zeiteinheiten basieren). Den Berechnungen für die vorliegende Arbeit liegt ein Zeitattribut als Kostenfaktor zugrunde.

Restriktionen können - ebenso wie Kosten – unterschiedlichen Charakter haben. Die grundlegende Idee dabei ist es, die Nutzung bestimmter Netzwerkelemente unter bestimmten Bedingungen zu verbieten, zu vermeiden oder zu bevorzugen. So ist es beispielsweise möglich, bei Routenberechnungen für Fußgänger eine Restriktion zu erstellen, die es verbietet, Autobahnen in die Analyse miteinzubeziehen. Dies geschieht über SQL (Structured Query Language)-Spezifikationen. Bei SQL handelt es sich um eine Programmiersprache, die vor allem im Zusammenhang mit relationalen Datenbanken und der Strukturierung relationaler Datenstrukturen verwendet wird.

8.2.2.1. Festlegung der Kostenattribute

Bei der Schaffung eines Attributes ist es für jedes Netzwerkelement möglich anzugeben, nach welchen Regeln die Kosten zur Fortbewegung auf den zu dem jeweiligen Netzwerkelement dazugehörigen Kanten und Knoten zu ermitteln sind. So können unterschiedliche Umstände und Gegebenheiten auf den einzelnen Netzwerkelementen berücksichtigt werden. Beispielsweise kann auf Autostraßen festgelegt werden, dass die Geschwindigkeit über die auf der Kante angegebenen Geschwindigkeitsbegrenzung (zu finden in deren Attributtabelle) definiert wird, während dies auf Wegen, die nur Fußgängern zugänglich sind, über eine Formel geschieht, die die durchschnittliche Schrittgeschwindigkeit mit der Länge der Kante in Beziehung setzt. Beide Arten der Berechnung wären dennoch im selben Kostenattribut vorzufinden und würden im Zuge einer Analyse auf den jeweiligen Netzwerkelementen zur Anwendung kommen.

Diese Grundlage wird auch für die Untersuchung im Rahmen der vorliegenden Arbeit angewendet. Das Kostenattribut für die Modellierung des zeitlichen Aufwands für ältere Personengruppen hinsichtlich der Fortbewegung entlang der einzelnen Netzwerkelemente wird je nach Netzwerkelement unterschiedlich berechnet. Das Kostenattribut nennt sich „Walk_Senioren“, dessen Kosten in Minuten angegeben werden.

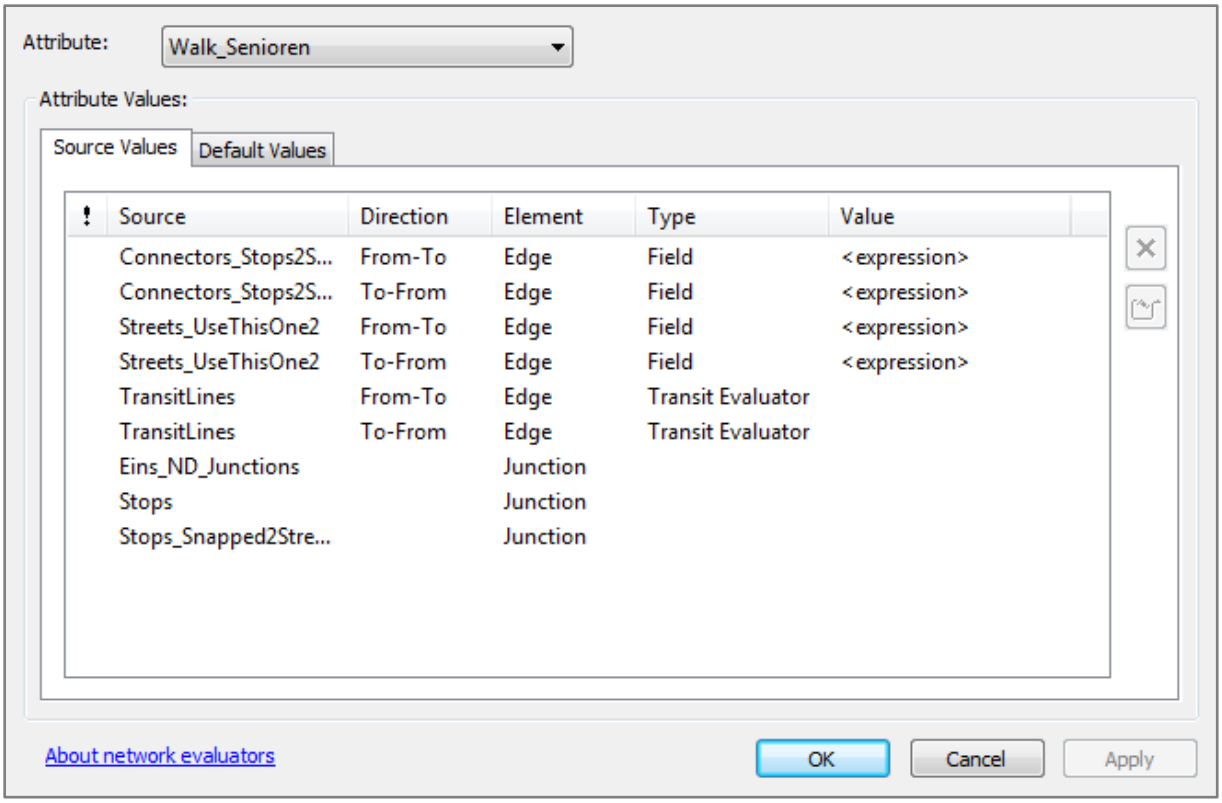


Abbildung 30: Festlegung der Berechnungsrundlagen für das Kostenattribut

Für jedes Netzwerkelement muss durch die Angabe eines Feldes in der Attributtabelle oder die Integrierung eines Feldes in eine Formel, eine klare Vorgehensweise zur Bildung der Kosten vorgegeben werden. In Abbildung 30 ist ersichtlich, dass hierbei auch nach Digitalisierungsrichtung (From-To und To-From)unterschieden werden kann.

8.2.2.1.1. Fortbewegung im Fußwegenetz

Grundlage für die Ermittlung des Zeitbedarfs für die Fortbewegung im Fußwegenetz sind die Länge der Kanten des Straßengraphen sowie die durchschnittliche Schrittgeschwindigkeit für Personen höheren Alters. Die benötigte Zeit wird durch die Anwendung der Formel t=s/v (Zeit = Strecke/Geschwindigkeit) ermittelt. Die Länge jedes Straßensegments befindet sich in der Attributtabelle des Shapefiles des Straßengraphen. Als Durchschnittsgeschwindigkeit wurden 1,475km/h angenommen, die aus dem Literaturstudium zu der Thematik ermittelt werden konnten (siehe Kapitel 6.2). Die Formel für die Ermittlung der Wegzeit auf regulären Straßensegmenten lässt sich innerhalb von ArcGIS wie folgt darstellen:

*Kosten in Minuten = !Shape_Length!*60/1475*

Bei *„!Shape_Length!“* handelt es sich um die Angabe des Feldes innerhalb der Attributtabelle des Straßengraphs, in dem die Information bezüglich der Länge (in Metern) der einzelnen Straßenkanten gespeichert ist. Der Wert 1475 stellt die Angleichung der Durchschnittsgeschwindigkeit von 1,475km/h an die Maßeinheit der Streckenlänge dar. Die Multiplikation mit dem Wert 60 ist notwendig um das Ergebnis in die Maßeinheit Minuten umzuformen.

Das Überqueren von Straßen ist nicht eindeutig automatisiert ermittelbar und datentechnisch nicht von dem Um-die-Ecke-Gehen an Baublockecken zu unterschieden. Grund dafür ist, dass in beiden

Fällen dieselben Knotenpunkte im Fußwegenetz genutzt werden. Um die höheren Kosten beim Überqueren von Straßen darzustellen wurde jedem Knoten im Fußwegenetz ein Gewicht von 0,12 Minuten zugeteilt, was umgerechnet 5 Sekunden entspricht. Sämtliche Vorgänge des Überquerens von Straßenzügen und des Um-die-Ecke-Gehens und die dadurch anfallenden Kosten innerhalb einer Routing-Berechnung bilden zusammen den Aufwand für das Überqueren von Straßen entlang der Route ab (näheres dazu in Kapitel 13.2.4).

Im Falle der Verbindungskanten zwischen den Stationspaaren, die den Übergang vom Fußwegenetz in das ÖPNV-Netz ermöglichen, wurde eine andere Vorgehensweise gewählt. Diese Kanten unterscheiden sich hinsichtlich ihres Bedeutungscharakters von regulären Straßenkanten, da sie sinnbildlich für den Prozess des Ein- bzw. Aussteigens in oder aus einem Fahrzeug der jeweiligen ÖPNV-Linie stehen und nicht mit dem bloßen Zurücklegen der Strecke gleichzusetzen sind. In diesem Fall ist es möglich, eine durchschnittliche Ein- und Aussteigezeit anzugeben, die unabhängig von der Kantenlänge gilt. Eine Unterscheidung zwischen Bus- und Straßenbahnhaltestellen einerseits und U-Bahn-Stationen andererseits muss dabei jedoch getroffen werden.
Aufgrund der Niveaugleichheit und der räumlichen Nähe zwischen dem Standort der Haltestelle und dem Punkt, an dem in das Fahrzeug eingestiegen wird, muss bei Ein-und Aussteigerelationen bei Bus- und Straßenbahnhaltestellen von einem wesentlich niedrigerem Wert ausgegangen werden als bei U-Bahn-Stationen. Die Entfernung zwischen den Standorten von U-Bahn-Stationen im Straßenraum und dem Ort, an dem man tatsächlich in das Fahrzeug einsteigt, ist aufgrund des hohen Niveauunterschieds (der nicht selten 10 Meter oder mehr beträgt) und der zurückzulegenden Distanz, wesentlich größer.

Die durchschnittlichen Zeiten, die es zur Überwindung der Distanzen braucht, wurden persönlich ermittelt. Für Busse und Straßenbahnen wurden mittels Beobachtungen älterer Personen während des Ein- und Aussteigevorgangs und der Messung der dafür benötigten Zeit ein Durchschnitt von 1 Minute ermittelt, der als Kantengewicht für die Verbindungskanten zwischen Bus und Straßenbahn-Stationspunktepaaren verwendet wird. Dabei Hervorzuheben ist allerdings, dass sich die ermittelte Ein- und Aussteigezeit letztendlich auf den gesamten Vorgang sämtlicher Fahrgäste bezieht die ein- und aussteigen, da das Fahrzeug nicht abfahrbereit ist, sobald nicht sämtliche Türen geschlossen sind.
Für die Ermittlung des Kantengewichts für die Verbindungskanten bei U-Bahn-Stationen wurde ein anderes Vorgehen gewählt. Hierfür wurde die durchschnittlich benötigte Zeit vom Betreten des Stationsbereichs bis zur Erreichung des Bahnsteigs gemessen. Das Ergebnis wurde mit dem Faktor 0,59 multipliziert, um eine Anpassung an die durchschnittliche Schrittgeschwindigkeit (siehe Kapitel 6.2) älterer Personengruppen vorzunehmen (1,475/2,5=0,59). Dabei wurde als Ergebnis ein durchschnittlicher Wert von 3 Minuten ermittelt.

Die dabei angewandte Wenn-Dann Spezifizierung bezieht sich auf die Verbindungskanten der Stationspaare und ist wie folgt definiert:

```
def isValue(!route_type!):
 if !route_type! == 1:
     return 3
 else:
     return 1
```

8.2.2.1.2. Fortbewegung im ÖPNV-Netz

Die Kosten für die Fortbewegung entlang der ÖPNV-Kanten wird nicht über deren Distanz und der durchschnittlichen Beförderungszeit berechnet, wie es mittels Anwendung der vorgestellten Formel für die Fortbewegung auf den Kanten des Straßengraphen möglich wäre. Der Ermittlung der benötigten Reisezeit liegt hier ein sogenannter Transit Evaluator zugrunde, der auf den GTFS-Fahrplandaten basiert. Dieser Transit Evaluator wird mit Installation der Toolbox „Add GTFS to a Network Dataset“ (siehe Kapitel 8.1) in ArcGIS integriert. Bei der Erstellung einer Erreichbarkeits- oder Routing-Analyse, die ÖPNV-Kanten miteinbezieht und einen Zeitparameter als Kostenfaktor angibt, wird bei dessen Benutzung auf eine Datenbank zugegriffen, in welcher die Fahrtzeiten zwischen den einzelnen Stationen zu dem angegebenen Zeitpunkt im ÖPNV-Netz abgefragt werden.

Bus- und U-Bahn-Routen sind hinsichtlich ihrer Haltestellen richtungsgebunden. Dies bedeutet, dass es für jede Fahrtrichtung de facto eine eigene Linienführung gibt, welcher jeweils eigene Stationen zugeordnet sind. Auch wenn die Routenführungen im Falle von Straßenbahnen in den meisten Fällen entlang einer Linie in beide Richtungen ident sind, unterscheiden sich diese im Fall von Busverbindungen aufgrund von Einbahnregelungen sehr. Dennoch gilt das Prinzip, dass eine Station einer Fahrtrichtung zugeordnet ist auch für Straßenbahnen, weshalb eine Kante nur in eine Richtung befahren werden kann. Deswegen bedarf es hierbei für Bus- und Straßenbahnlinien keiner weiteren Anpassung.
Die klassische Vorgehensweise dabei ist, den Transit Evaluator als Kostenparameter nur in Digitalisierungsrichtung (From-To) des Netzwerkelements TransitLines festzulegen. Entgegen der Digitalisierungsrichtung (To-From) wird dabei ein Wert von -1 angegeben, um das Befahren der Kanten entgegen der Digitalisierungsrichtung unmöglich zu machen, da Berechnungen auf Grundlagen des Dijkstra Algorithmus keine negativen Werte miteinbeziehen können. Die Digitalisierungsrichtung von GTFS-Routen entspricht der Fahrtrichtung in der Realität.

Auch im Fall von U-Bahnen sind die Daten so strukturiert, dass jeder Stationspunkt genau einer Fahrtrichtung (je Linie) zugeordnet ist. Aufgrund des Charakters von U-Bahn-Stationen und deren Gestaltung ist es allerdings möglich, bei jeder Station, sprich von jedem Stationspunkt aus, in beide Fahrtrichtungen zu fahren, ohne dabei an eine der Station zugeordneten Fahrtrichtung gebunden zu sein. Im Rahmen einzelner Routing-Analysen kann dies aufgrund der Datenstruktur zu unlogischen Ergebnissen führen. Wenn eine U-Bahn-Station nur für eine Fahrtrichtung kostengünstig erreicht werden kann und die Erreichung des Stationspunkts derselben Station für die andere Fahrtrichtung (die für die Routing-Analyse den schnellsten Weg ergeben würde) einen Mehraufwand, aufgrund der physischen Trennung durch beispielsweise einen Fluss, darstellt, wird diese Option nicht wahrgenommen, da die Überquerung des Flusses hohe Kosten verursachen würde. In der Realität wäre es jedoch ohne Probleme möglich, die Route in die gewünschte Fahrtrichtung auch über den kostengünstig zu erreichenden Stationspunkt befahren zu können.

Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde die Richtungsgebundenheit der U-Bahn indirekt aufgehoben. Anstatt für alle ÖPNV-Kanten einen Wert von -1 für die Fortbewegung entgegen der Digitalisierungsrichtung festzulegen, wurde für beide Digitalisierungsrichtungen und damit beiden Fahrtrichtungen der Transit Evaluator als Kostenparameter definiert. Die Fahrtrichtungsgebundenheit für Bus- und Straßenbahnrouten wurde über eine Restriktion gebildet (vgl. Kapitel 8.2.2.2.3).

8.2.2.2. Festlegung von Restriktionsattributen

Um Analysen unter bestimmten Bedingungen bzw. Annahmen durchführen zu können, wurden vier notwendige Restriktionen in das Netzwerk integriert. Diese können nach Belieben aktiviert und deaktiviert werden und beeinflussen das erlaubte oder bevorzugte Verhalten während der Fortbewegung entlang des Analysenetzwerks grundlegend. Alle erstellten Restriktionen beziehen sich auf die Kanten des ÖPNV-Netzes und dem diesem zugrunde liegendem Netzwerkbestandteil "TransitLines".

8.2.2.2.1. Verbot der Nutzung von ÖPNV-Kanten

Um Analysen zu ermöglichen, die sich rein auf das Fußwegenetz beziehen, wurde eine Restriktion entwickelt, die die Nutzung von ÖPNV-Kanten verhindert. Die Restriktion besagt lediglich, dass alle Kanten des dem ÖPNV-Netz zugrundeliegenden Shapefiles nicht in die Analyse miteinbezogen werden dürfen. Das Attribut wurde „No_OEPNV" genannt.

8.2.2.2.2. Präferenz für die Nutzung von ÖPNV- und U-Bahn-Kanten

Um den Fakt, dass ältere Personengruppen lange Fußwege vermeiden (siehe Kapitel 6.2), implementieren zu können, wurde eine Restriktion erstellt, die die Nutzung von ÖPNV-Kanten bevorzugt. Wenn bestimmte Netzwerkelemente bevorzugt werden sollen, werden Wege ermittelt, die einen Ausgleich zwischen Kosteneffizienz und der Einhaltung der definierten Präferenz suchen. Als Ergebnis kann dadurch ein Weg ermittelt werden, der zwar höhere Kosten aufweist, aber entlang präferierter Kanten gelegen ist. Es ist möglich anzugeben, wie stark auf die angegebene Präferenz Rücksicht genommen werden soll (leichte, mittlere oder starke Präferenz). Je stärker die Präferenz, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer Abweichung des kostengünstigsten Pfades zu Gunsten der Einhaltung der Präferenz.

Im Falle der Präferenz für ÖPNV-Kanten wurde eine mittlere Präferenz gewählt. Analog zur Restriktion für das Verbot der Nutzung von ÖPNV-Kanten bezieht sich diese Restriktion auf dasselbe Netzwerkelement. Der einzige Unterschied dabei ist, dass die absolute Restriktion der Nutzung geändert wurde auf eine mittlere Präferenz derselben Kanten. Der Name dieser Restriktion lautet „Praeferenz_OEPNV“

Zusätzlich wurde eine weitere Präferenz kreiert, die sich jedoch nur auf U-Bahn-Kanten bezieht. Dafür wurde die Restriktion "Praeferenz_OEPNV" dupliziert, auf „Praeferenz_UBAHN“ umbenannt und durch folgende Wenn-Dann-Spezifizierung erweitert:

```
def
isRestricted(!route_type!):
 if !route_type! == 0:
     return 1
 else:
  if !route_type! == 3:
     return 1
  else:
     return 0
```

Dabei wird die Restriktion mittels einer Spezifizierung über das Feld der Attributtabelle, das die Zugehörigkeit der einzelnen Kanten zu einem jeweiligen Verkehrsmittel regelt, ergänzt. Wenn es sich bei einer Kante um eine Kante einer U-Bahn-Linie handelt, ist die Restriktion anzuwenden, ansonsten nicht. Die Präferenz wird dabei als hoch festgelegt.

8.2.2.2.3. Regelung der Fahrtrichtung für ÖPNV-Linien

Die Restriktion zur Festlegung, dass Bus- und Straßenbahnkanten nur in Digitalisierungsrichtung befahren werden können, bezieht sich auf die ÖPNV-Kanten sämtlicher Verkehrsmittel (U-Bahn, Straßenbahn und Autobus), jedoch nur entgegen der Digitalisierungsrichtung. Hierbei wird für sämtliche ÖPNV Kanten (TransitLines) mit der Bezeichnung „To-From“ (vgl. Abbildung 30) mit Bezug auf das Feld der Attributtabelle, das die Zugehörigkeit der einzelnen Kanten zu einem jeweiligen Verkehrsmittel regelt (route_type), festgelegt, dass die Fortbewegung auf Kanten von Bus- und Straßenbahnrouten unzulässig ist. U-Bahn-Kanten sind von der Restriktion ausgeschlossen. Der Name der Restriktion lautet „Oneway_OEPNV“ und deren Bezug auf die Verkehrsmittelkategorie wird über folgende Wenn-Dann-Bedingung hergestellt:

```
def
isRestricted(!route_type!):
 if !route_type! == 0:
     return 1
 else:
  if !route_type! == 3:
     return 1
  else:
     return 0
```

8.3. Startpunkte für Analysen im erstellten Netzwerk

Zur Erstellung von Routing- und Erreichbarkeitsanalysen ist die Angabe von Punkten, die sich auf dem Netzwerk befinden, die als Ausgangspunkt für die jeweilige Untersuchung dienen, erforderlich. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen werden auf Baublockebene durchgeführt. Die ermittelten Entfernungen und Erreichbarkeitswerte beziehen sich deswegen auf die Entfernung zwischen den einzelnen Baublocks und dem zu erreichenden Ziel bzw. den zu erreichenden Zielen. Das Problem bei der Definierung von Startpunkten für Netzwerkanalysen auf Baublockebene ist die Tatsache, dass ein Baublock eine flächenmäßige Ausdehnung aufweist, deren Ränder in Regel von Straßen umgeben sind. Dadurch ist potentiell jeder Punkt am Rande des Baublockpolygons ein potenzieller Startpunkt für Routing- und Erreichbarkeitsanalysen.

Abbildung 31: Schematische Darstellung der Lagebeziehung zwischen den Baublocks und den Kanten des Straßengraphen.

Um eine rationale Begründung für die Festlegung eines Punktes pro Baublock, auf den sich sämtliche Analysen entweder als Quell- oder Zielpunkt beziehen, zu schaffen, wird auf Adresspunkte zurückgegriffen. Adresspunkte geben die Standorte einzelner Adressen an und sind, im Zusammenhang mit Baublocks, gleichzusetzen mit den Standorten der Haustore der jeweiligen Adressen. Die verwendeten Datengrundlagen für Adresspunkt und Baublocks wurden aus dem Open-Data Katalog der Stadt Wien bezogen (vgl. data.wien.gv.at).

Die Idee hinter der für diese Arbeit gewählte Vorgehensweise ist jene, den Analysepunkt eines Baublocks von der Lage aller Adresspunkte innerhalb desselben Baublocks abhängig zu machen. Durch die Ermittlung des geometrischen Mittelpunkts der Summe dieser Punkte je Baublock, wird ein Punkt ermittelt, dessen x- und y- Koordinate sich aus dem Mittelwert aller x- und y-Koordinaten sämtlicher innerhalb des Baublocks liegenden Adresspunkte ergibt. Zu diesem Zweck existiert ein eigenes ArcGIS Tool mit dem Namen „Mean Center“, welches als Input das Adresspunkte-Shapefile sowie als Gruppierungselement das Shapefile der Baublocks benötigt. Die Attributtabellen der als Ergebnis erstellten Punkte beinhalten die eindeutige Identifikationsnummer des jeweiligen

Baublocks, die in den Attributtabellen der Adresspunkte enthalten ist. Dies ist in weiterer Folge für die Verarbeitung und Darstellung der Analyseergebnisse - über die Verschneidung mit dem Baublock-Shapefile, in welchem die Information bezüglich Lage und Ausdehneung der Baublockflächen gespeichert ist - notwendig.

Für Baublocks, die über keine Adresspunkte verfügen, wird mit Hilfe des Tools „Feature to Point“ der geometrische Schwerpunkt des Baublocks erzeugt, der in weiterer Folge als Startpunkt fungiert. Die Zusammenführung der beiden Datensätze mittels des „Merge“-Tools ergibt ein Shapefile, das sämtliche erstellte Punkte enthält, welches im Rahmen dieser Arbeit als Ausgangsbasis für Routing- und Erreichbarkeitsanalysen verwendet wird (Zur schematischen Darstellung der Vorgehensweise wird auf Abbildung 91 im Anhang verwiesen).

Abbildung 32: Schematische Darstellung des Vergleichs der Lage der Adresspunkte (weiß) mit den auf deren Lage basierenden Analysestartpunkten (schwarz).

Die entstehenden Analyse-Ausgangspunkte befinden sich innerhalb der Baublockflächen und damit nicht direkt auf den Kanten des Netzwerks. Da sich die Ausgangspunkte für Analysen in einem Graphennetzwerk auf den Kanten des Netzwerks befinden müssen, werden die Analysepunkte der einzelnen Baublocks über die kürzeste Entfernung auf die Kanten des Straßengraphen verlegt.

Abbildung 32 sieht man sieht deutlich, dass sich viele Adresspunkte weit von dem definierten Analysepunkten entfernt befinden. Durch die Zusammenfassung der einzelnen Adresspunkte eines Baublocks zu einem einzelnen Referenzpunkt, der als Ausgangs- und Zielpunkt für Erreichbarkeitsanalysen dient, kommt es zu Ungenauigkeiten in den Ergebnissen. So kann es beispielsweise zu der Situation kommen, dass ein Baublock als nicht erreichbar eingestuft wird, weil der Analysepunkt des Baublock sich nicht innerhalb der zeitlichen Entfernung befindet, jedoch innerhalb des Baublocks sehr wohl Adresspunkte vorhanden sind, die innerhalb der zeitlichen Grenze erreichbar wären. Die ermittelten Ergebnisse im Zuge einer Analyse auf dieser Grundlage weisen Abweichungen von den erreichbaren Werten auf, die bei Verwendung der tatsächlichen Adresspunkte als Quell- und Zielpunkte für Analysen ermittelt werden würden. Diese Abweichung ist umso höher, je größer der Baublock insgesamt ist. Die im Zuge der im Rahmen dieser Arbeit gewählten Vorgehensweise entstehenden Resultate sind daher als Durchschnittswerte, die für jeden Adresspunkt innerhalb eines Baublocks gelten, zu interpretieren.

Um dem Umstand der Verzerrung durch die Zusammenfassung der Adresspunkte Rechnung zu tragen, gäbe es mehrere Möglichkeiten:

- Theoretisch wären sämtliche Analysen auch auf Basis von Adresspunkten möglich. Dies hätte allerdings einen wesentlich höheren Rechenaufwand (191.826 Adresspunkte verglichen mit 11.889 Baublocks) zur Folge.
- Um die im Rahmen dieser Arbeit gewählten Vorgehensweise der Bildung eines Durchschnitts-Referenzpunktes je Baublock zu verbessern, wäre es, bei Vorhandensein von Daten bezüglich der EinwohnerInnenzahl je Adresspunkt, möglich, nur jene Adresspunkte auszuwählen, in denen tatsächlich Personen wohnen. Zusätzlich dazu könnten gewichtete Durchschnittswerte für die x- und y-Koordinaten der Baublock-Analysepunkte, die von der EinwohnerInnenzahl jedes Adresspunktes abhängen, ermittelt werden. Die Baublock-Analysepunkte würden sich dann anhand der Adresspunkte orientieren, in denen eine größere Anzahl an Menschen wohnt.
  Auf Grundlage der für die Arbeit zu Verfügung stehenden Ausgangsdaten, können den einzelnen Adresspunkten keine Bevölkerungsdaten eindeutig zugeordnet werden, weshalb die beschriebene Vorgehensweise im Rahmen dieser Arbeit nicht umgesetzt werden kann.
- Es ist ebenso möglich, die durchschnittliche bzw. maximale Entfernung der Adresspunkte eines Baublocks von dem jeweiligen ermittelten Analysepunkt desselben Baublocks in das Ergebnis einfließen zu lassen. Dabei würde die räumliche Entfernung (in Metern) der Adresspunkte zu dem jeweiligen Baublock-Analysepunkt ermittelt und der Durchschnitt gebildet bzw. der Maximalwert herangezogen. Über die Kombination mit der Gehgeschwindigkeit (vgl. Kapitel 8.2.2.1.1) kann so die durchschnittliche bzw. maximale zeitliche Entfernung der einzelnen Adresspunkte zum Baublock-Analysepunkt in die Erreichbarkeitsermittlungen miteinbezogen werden. Dadurch wäre eine zusätzliche Verringerung der Ungenauigkeit der Berechnungen zu erreichen.

9. Die Analyse der Anbindungsqualität des Wohnstandorts an den ÖPNV durch die Stationserreichbarkeit

Der erste Analyseblock widmet sich der Anschlussqualität an das ÖPNV-Netz über die Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen. In vielen Fällen wird dies mit der Entfernung der nächsten ÖPNV-Station gleichgesetzt. Ein gutes Beispiel hierfür sind Marktanzeigen für Immobilien, die versuchen, die jeweilige Liegenschaft durch die Hervorhebung einer räumlichen Nähe zu ÖPNV-Stationen als gut angebunden erscheinen zu lassen. Eine solche Art der Betrachtung des Themas lässt allerdings außer Acht, dass die bloße räumliche Nähe zu einer Station oder Haltestelle kein valider Indikator hinsichtlich städtischer Erreichbarkeit ist, wenn die dadurch erreichten(n) ÖPNV-Linien(n) hinsichtlich ihrer Bedienungsfrequenz und Routenführung ein suboptimales Mobilitätsangebot liefern. Durch die Heranziehung von GTFS ist es möglich, diese Thematik in detaillierterer Form zu analysieren. Nicht nur kann die Anzahl innerhalb eines bestimmten Zeitfensters erreichbarer ÖPNV-Stationen, sondern ebenso die Anzahl der von diesen Stationen aus wahrnehmbaren Fahrten innerhalb eines angegebenen Zeitraums ermittelt werden.

Eine Annahme die dieser Methode zugrunde liegt ist die, dass eine größere Anzahl wahrnehmbarer Fahrten in zeitlicher bzw. räumlicher Nähe mit einer größeren Wahrscheinlichkeit einhergeht, größere Teile des Stadtraums direkt oder indirekt über Umsteigerelationen erreichen zu können, da die hohe Anzahl an Fahrten dadurch zustande kommt, dass eine Vielzahl unterschiedlicher ÖPNV-Linien in Anspruch genommen werden kann. Selbst wenn dies nicht der Fall sein sollte, und nur eine oder einige wenige Linien erreicht werden können und die Anzahl der wahrnehmbaren Fahrten dennoch hoch ist, kann davon ausgegangen werden, dass ÖPNV-Betreiber aus Sicht der Kapazitätsausnutzung unlukrative ÖPNV-Linien nicht mit einer solch hohen Frequenz bedienen würden.

Um die Anzahl der innerhalb eines bestimmten Zeitraums erreichbaren ÖPNV-Stationen bzw. von diesen ausgehenden wahrnehmbaren Fahrten zu ermitteln, existiert ein eigenes Tool, welches Teil einer Toolbox mit dem Namen „Better Bus Buffers“ ist, die der Analyse von ÖPNV-Routen und -Stationen auf GTFS-Basis gewidmet ist und gratis heruntergeladen werden kann (vgl. esri.github.io). Das dafür verwendete Tool trägt den Namen „Count Trips at Points“ und verlangt als Input die Ausgangspunkte für die Analyse (im Fall dieser Untersuchung sind das die Analysestartpunkte der einzelnen Baublocks), die Angabe einer maximalen Gehzeit, des Datums sowie eines Start- und Endzeitpukts, in dessen Rahmen die Analyse stattfinden soll. Als Ergebnis erhält man die Anzahl der fußläufig erreichbaren Stationen innerhalb einer gewissen Gehzeit, sowie die Anzahl der von dort wahrnehmbaren Fahrten innerhalb des angegebenen Zeitraums (Zur schematischen Darstellung der Vorgehensweise wird auf Abbildung 92 im Anhang verwiesen).

Um eine differenzierte Analyse zu ermöglichen, wird die in Abbildung 92 (siehe Anhang) dargestellte Vorgehensweise an verschiedenen Tagen (Mittwoch und Sonntag), zu jeweils unterschiedlichen Tageszeiten (Vormittag (09:00-11:00 Uhr), Nachmittag (14:00-16:00 Uhr) und Abend (18:00-20:00)) sowie innerhalb unterschiedlicher Distanzen (innerhalb von 5 bzw. 10 Minuten fußläufiger Erreichbarkeit) durchgeführt, was zu Analyseergebnissen hinsichtlich der erreichbaren ÖPNV-Stationen und wahrnehmbarer Fahrten unter 12 unterschiedlichen Rahmenbedingungen führt. Daten für den Tag Mittwoch stehen dabei stellvertretend für sämtliche reguläre Arbeitstage von Montag bis Freitag. Die Zeitspanne von 09:00 Uhr bis 11:00 Uhr ist im Zusammenhang mit der

Zielgruppe der älteren Bevölkerung besonders relevant, da hier das statistisch gesehen höchste Mobilitätsaufkommen in der betrachteten Altersklasse generiert wird (vgl. Kapitel 6.1).

9.1. Die Anzahl fußläufig erreichbarer ÖPNV-Stationen – Verteilung für Wien insgesamt

	Innerhalb von 5 Minuten	Innerhalb von 10 Minuten
Minimum:	0	0
Maximum:	8	24
Mittelwert:	0,4	2,3
Median:	0	2
Standardabweichung:	1,03	2,65

Tabelle 20: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Stationen je Baublock.

Für die Ermittlung der benötigten Gehzeit zu ÖPNV-Stationen ist weder die Tageszeit, noch der Wochentag relevant, weshalb hierbei auch keine Differenzierungen nach diesen Kriterien vorgenommen werden. Die Anzahl innerhalb von fünf Minuten erreichbarer ÖPNV-Stationen Stationen beträgt je Baublock durchschnittlich 0,4. Erhöht man das Zeitfenster auf zehn Minuten, werden durchschnittlich 2,3 ÖPNV-Stationen erreicht. 9.303 aller Baublocks (78%) liegen nicht im Umkreis von fünf Minuten Fußweg um eine ÖPNV-Station. In einem Zeitfenster von zehn Minuten erreicht man von 4.449 Baublocks aus (37%) keine einzige ÖPNV-Station. Betrachtet man die Fälle, in denen keine Station erreicht wird nicht und bewertet nur den Durchschnitt der erreichbaren Stationen derjenigen Baublocks, die innerhalb des jeweiligen Zeitfensters zumindest eine ÖPNV-Station erreichen, werden innerhalb von fünf Minuten durchschnittlich 2 ÖPNV-Stationen und innerhalb von zehn Minuten durchschnittlich 4,4 ÖPNV-Stationen erreicht.

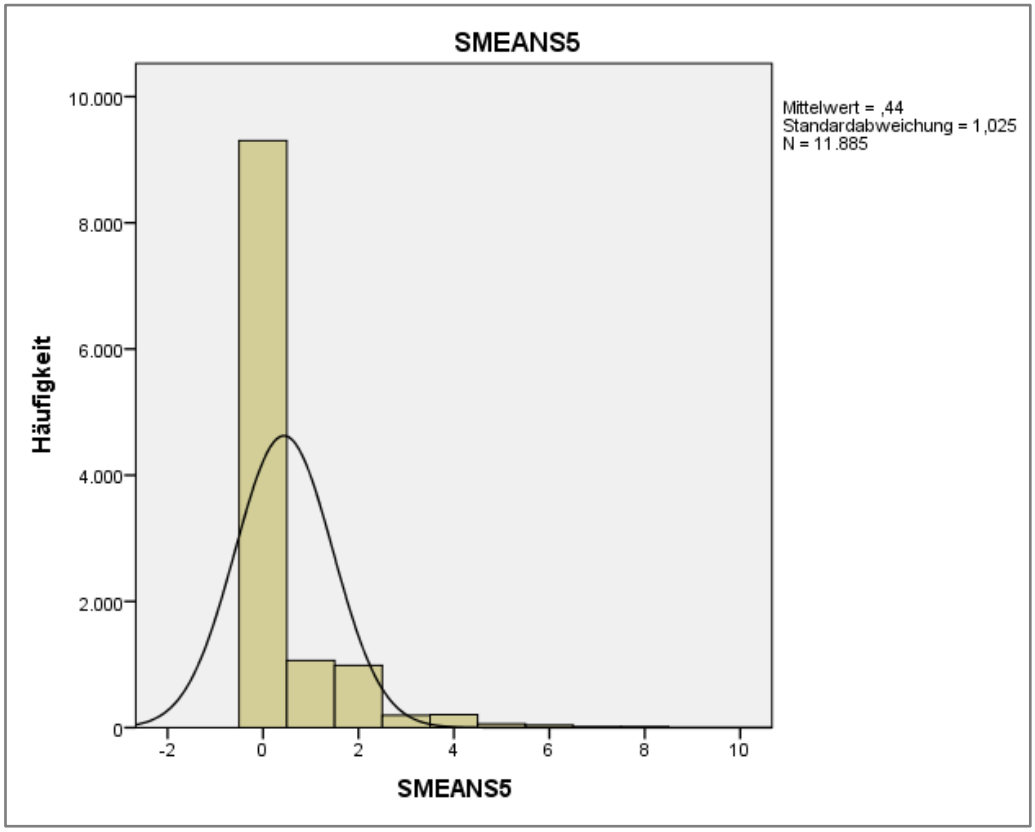


Abbildung 33: Histogramm der Verteilung der Baublocks nach der Anzahl fußläufig Erreichbarer ÖPNV-Stationen innerhalb von 5 Minuten.

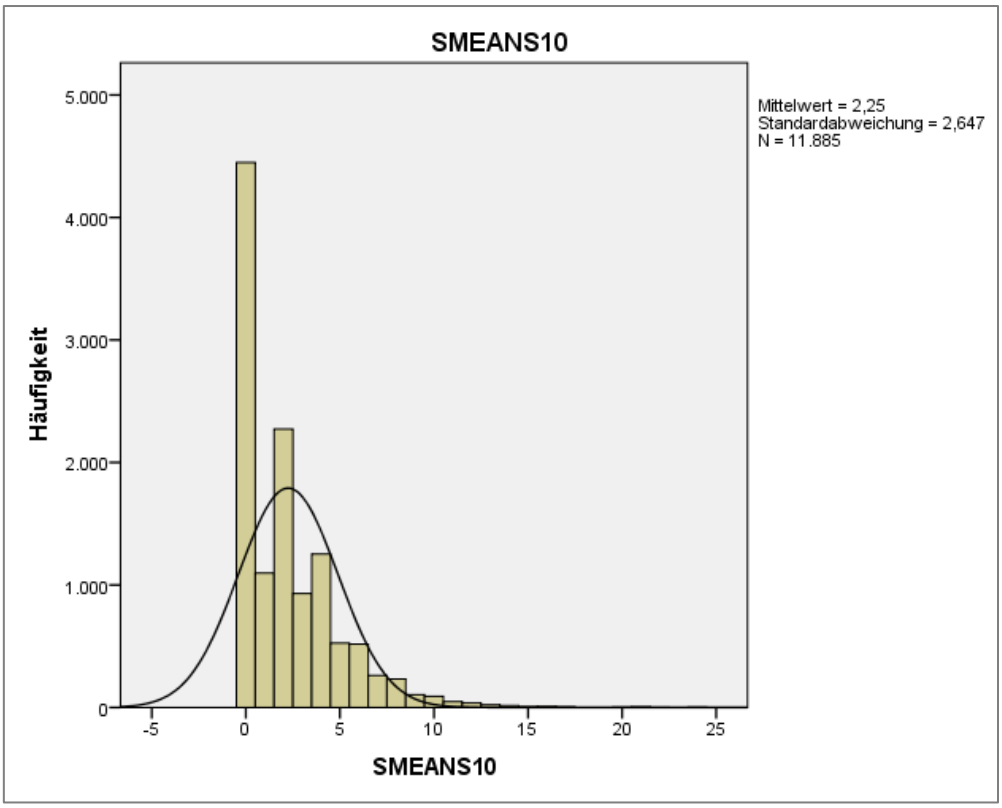


Abbildung 34: Histogramm der Verteilung der Baublocks nach der Anzahl fußläufig Erreichbarer ÖPNV-Stationen innerhalb von 10 Minuten.

Abbildung 33, Abbildung 34, Abbildung 35 sowie Abbildung 35 und Abbildung 37 zeigen den Vergleich der Verteilungen der Summe an Baublocks je nachdem wie viele ÖPNV-Stationen innerhalb von 5 bzw. 10 Minuten erreicht werden sowie den zu erwartenden Unterschied zwischen diesen.

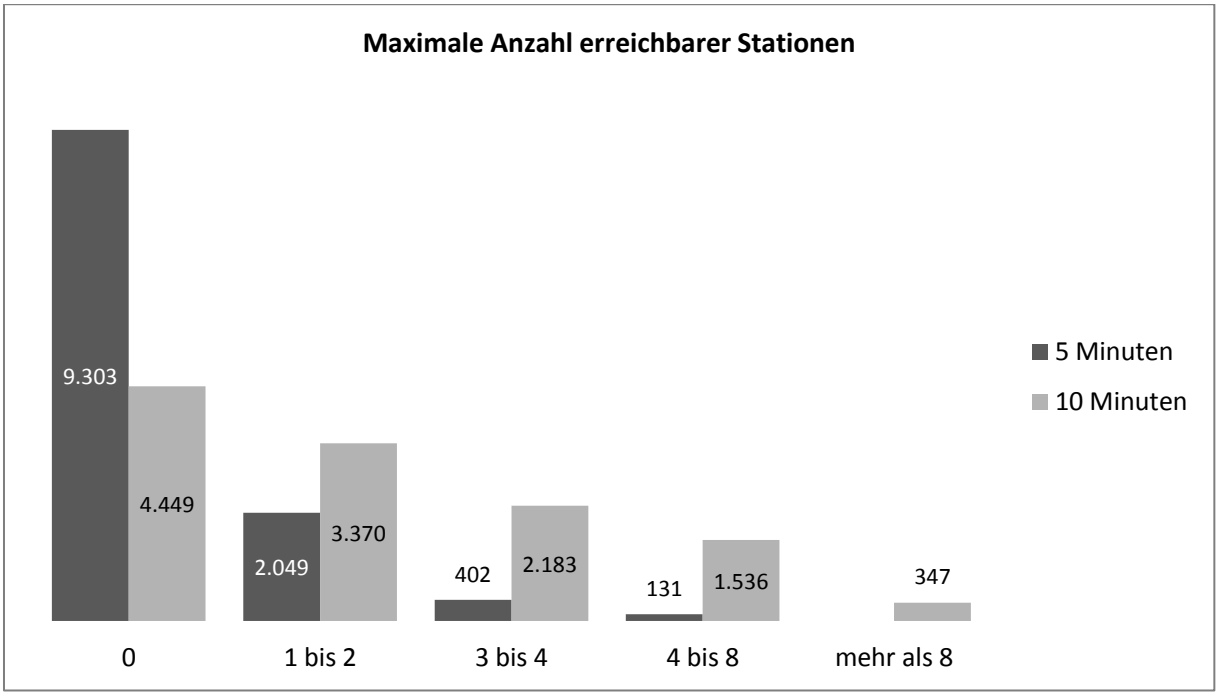
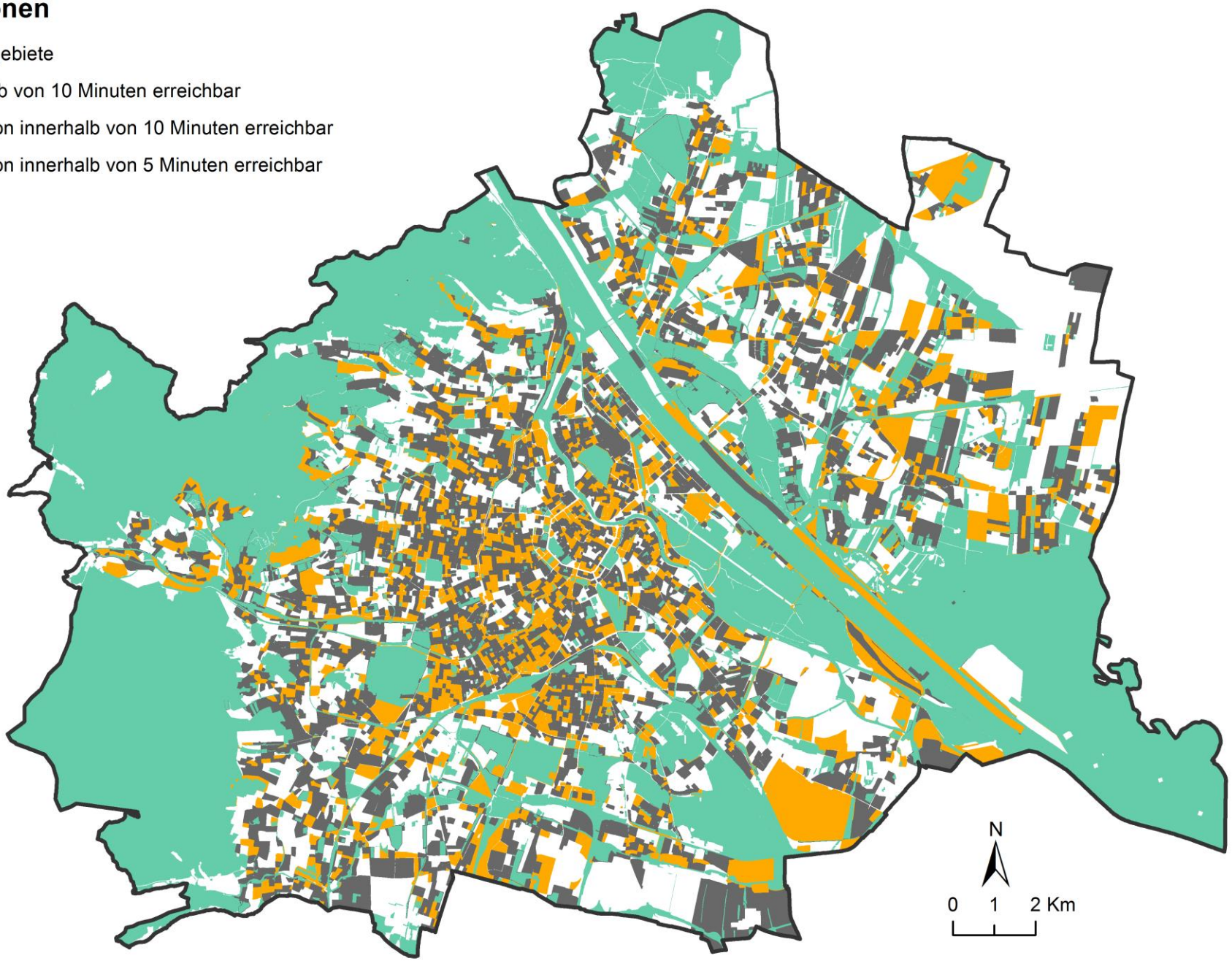


Abbildung 35: Verteilung der Baublocks nach der Anzahl erreichbarer ÖPNV-Stationen.

Erreichbare ÖPNV-Stationen

- Gewässer, Wald und Schutzgebiete
- Keine ÖPNV-Station innerhalb von 10 Minuten erreichbar
- Mindestens eine ÖPNV-Station innerhalb von 10 Minuten erreichbar
- Mindestens eine ÖPNV-Station innerhalb von 5 Minuten erreichbar

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien;
2) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790
3) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614

Abbildung 36: Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen je Baublock.

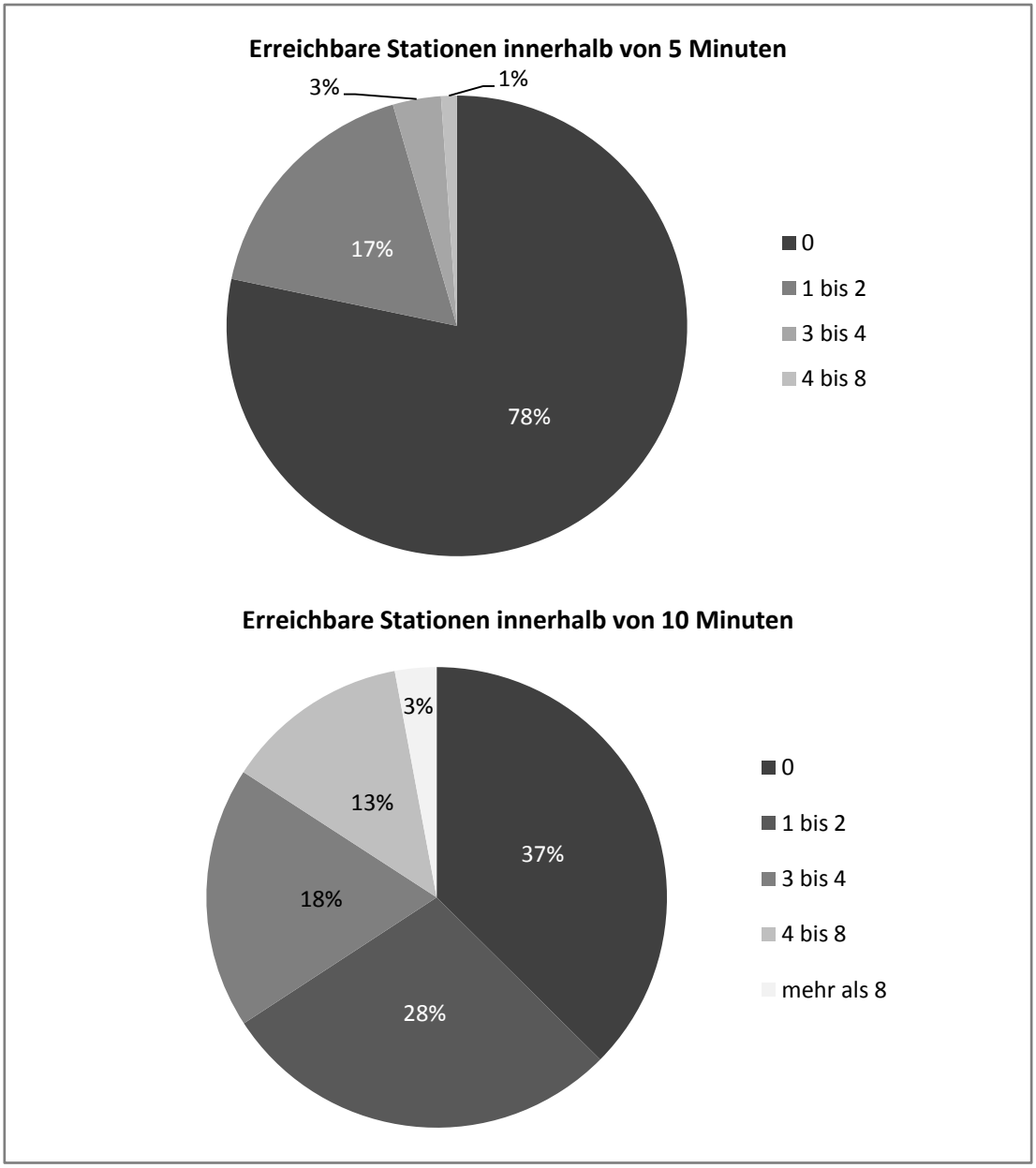


Abbildung 37: Verteilung der Baublocks nach der Anzahl erreichbarer ÖPNV-Stationen innerhalb von 5 und 10 Minuten.

9.1.1. Die Erreichbarkeit von U-Bahn-Stationen

Die bloße Anzahl der erreichbaren ÖPNV-Stationen sagt noch nichts über deren Bedienungsfrequenz, die Anzahl der dort haltenden Linien sowie die Fahrtstrecke der jeweiligen ÖPNV-Linie und die entlang dieser gelegenen Zentrumsbereiche bzw. relevanten Einrichtungen aus. Um Letzteres in die Untersuchung miteinzubeziehen, wurden die innerhalb der fünf und zehn Minuten fußläufig erreichbaren Stationen nochmals hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zu dem jeweiligen Verkehrsmittel, welches die Station bedient, untersucht. Besonders die Nähe zu U-Bahn-Stationen wird in diesem Zusammenhang als relevant betrachtet.

Die durchgeführte Untersuchung basiert auf der Anwendung einer OD-Cost-Matrix. Unter einer OD-Cost-Matrix (Das O und das D stehen dabei für Origin und Destination (Ursprung und Ziel)) versteht man das Ergebnis einer Quell-Ziel-Untersuchung, bei der die Beziehungen einer beliebigen Anzahl von Startpunkten und einer beliebigen Anzahl von Zielpunkten untersucht werden. Im gegenwärtigen

Fall ist das die (räumliche) Beziehung aller Baublocks zu allen ÖPNV-Stationen. Eine einfache OD-Cost-Matrix zwischen den Baublocks und den nach U-Bahn-Stationen gefilterten Stationspunkten sowie einer Zeitbegrenzung von fünf und zehn Minuten liefert das gesuchte Ergebnis.

Maximale Anzahl erreichbarer U-Bahn-Stationen	5 Minuten	10 Minuten
0	11.644	11.007
1	52	116
2	171	680
3	3	8

Tabelle 21: Die Anzahl von Baublocks je nachdem wie viele U-Bahn-Stationen fußläufig maximal erreicht werden können.

Wie Tabelle 21 zeigt, befinden sich nur wenige Baublocks in der unmittelbaren Umgebung einer U-Bahn-Station. Von 11.319 Baublocks in Wien ist nur in 249 Fällen zumindest eine U-Bahn-Station innerhalb von fünf Minuten erreichbar, im Fall einer zehnminütigen Entfernung steigt diese Zahl auf 873 Baublocks. Dies sind 2,15% bzw. 7,71% aller Baublocks. Durchschnittlich erreicht man von jedem Baublock 0,04 U-Bahn-Stationen innerhalb von fünf Minuten bzw. 0,16 U-Bahn-Stationen innerhalb von zehn Minuten.

Die ermittelten Werte sind allerdings mit Vorsicht zu betrachten. Ein Baublock gilt erst als erreicht, wenn sein Analysepunkt, der sich aus dem geometrischen Durchschnitt sämtlicher sich im Block befindlicher Adresspunkte ergibt, erreicht wird (vgl. Kapitel 8.3). Auch wenn sich die Grenze eines Baublocks oder sogar der nächstgelegene Adresspunkt sich direkt neben der U-Bahn-Station befindet, kann es sein, dass der Analysepunkt des Baublocks in größerer Entfernung liegt. In Kombination mit einer geringer angenommenen Gehgeschwindigkeit kann es deswegen dazu kommen, dass ein Baublock, obwohl er in direkter Nähe zu einer U-Bahn-Station liegt, im Netzwerkmodell, innerhalb des angegebenen Zeitfensters, nicht erreicht wird (vgl. Abbildung 38).

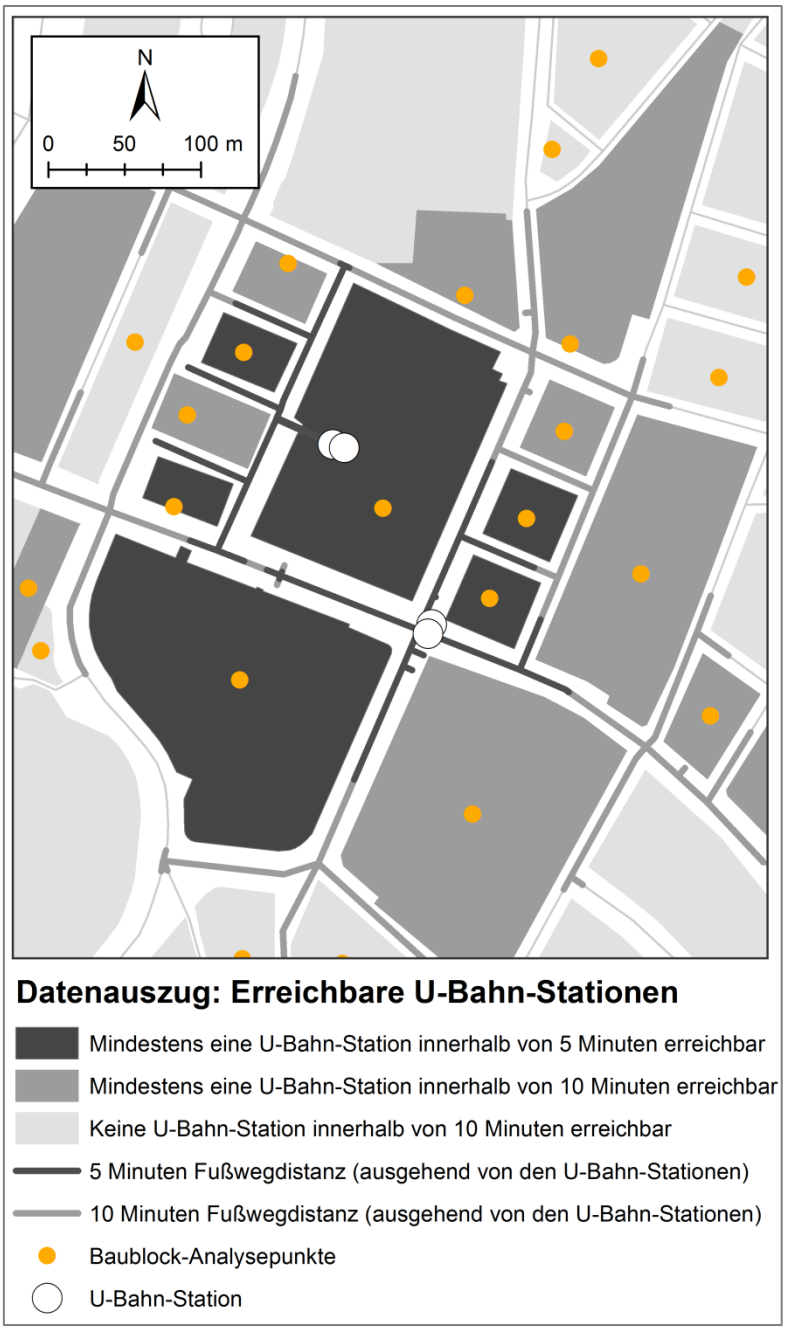


Abbildung 38: Erreichbarkeit von U-Bahn-Stationen innerhalb von fünf und zehn Minuten (Beispiel).

Die Vorgehensweise für die Ermittlung der Erreichbarkeit von U-Bahn-Station beruht auf der Anwendung einer OD-Cost Matrix. Da den Stationspunkten während der Vorbereitung des Aufbaus des Netzwerks die Information der Zugehörigkeit zu einem bestimmten Verkehrsmittel hinzugefügt wurde, mussten die Stationsfilter bloß nach der U-Bahn-Codierung gefiltert werden. Zwei OD-Cost-Matrizen wurden mit der jeweiligen Zeitbegrenzung erstellt und ausgeführt. Die Vorgehensweise wird in Abbildung 93 (siehe Anhang) anschaulich dargestellt.

9.2. Anzahl wahrnehmbarer Fahrten im Umkreis von fünf bzw. zehn Minuten

Die Bedienungsfrequenz der erreichbaren ÖPNV-Stationen wurde ebenso aus dem Prozess, der in Abbildung 93 (siehe Anhang) dargestellt ist, ermittelt. Grundlage dabei ist die Summe der innerhalb

eines festgelegten Zeitraums wahrnehmbaren Fahrten der ÖPNV-Stationen, die innerhalb von fünf bzw. zehn Minuten fußläufig erreichbar sind. Das Ergebnis ist nicht nach Stationen, sondern nach Baublocks differenziert und beinhaltet die Summe aller Fahrten, die von den Baublocks - innerhalb des festgelegten Zeitfensters (5 oder 10 Minuten) - an den erreichbaren ÖPNV-Stationspunkten zu der jeweiligen Tageszeit wahrgenommen werden können. In einem ersten Schritt wird untersucht wie stark sich die Messungen abhängig vom jeweiligen Wochentag und der Tageszeit unterscheiden.

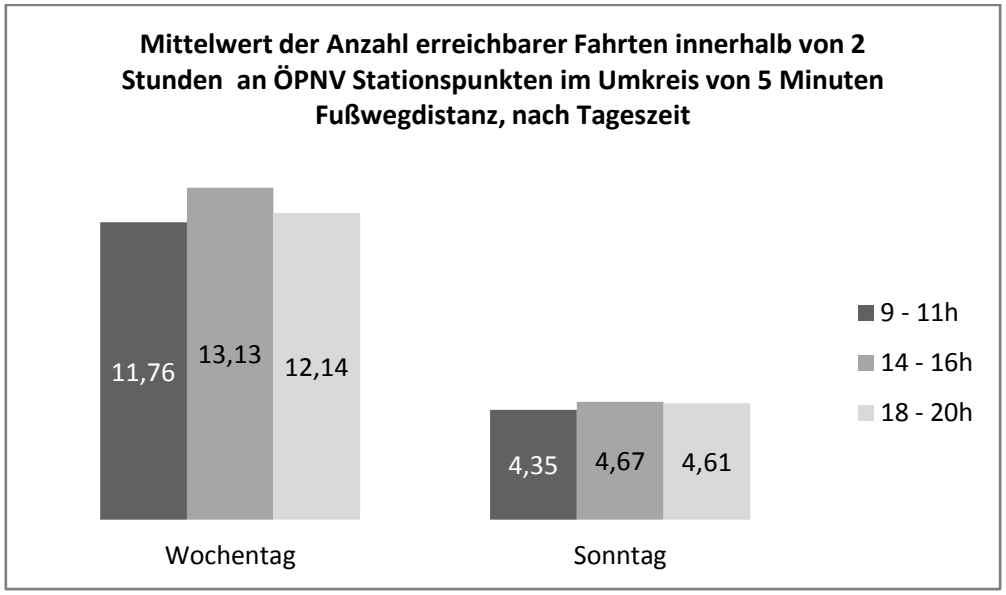


Abbildung 39: Vergleich der durchschnittlich wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von 5 Minuten, unterteilt nach Tag und Tageszeit

Wie in Abbildung 39 zu erkennen ist, besteht ein beträchtlicher Unterschied zwischen einem Sonntag und einem Wochentag hinsichtlich der Bedienungsfrequenz von ÖPNV-Stationen. An einem Sonntag beträgt diese – unabhängig von der Tageszeit – nur weniger als die Hälfte des Wertes unter der Woche. Ebenso zu erkennen ist, dass die Unterschiede zwischen den Tageszeiten minimal sind und vernachlässigt werden können. Entfernt man die Baublocks, von denen aus innerhalb von fünf Minuten keine einzige Fahrt mit einem Verkehrsmittel des ÖPNV wahrnehmbar ist, aus der Analyse, erhält man zwangsläufig wesentlich höhere Durchschnittswerte, wie Abbildung 40 darstellt. Der Unterschied zwischen den Tageszeiten bleibt jedoch auch hier vernachlässigbar. Die große Differenz zwischen den Ergebnissen der beiden Analysen lässt darauf schließen, dass ein hoher Anteil der Baublocks keine Fahrt innerhalb der 5-minütigen Zeitspanne wahrnehmen kann. Eine Untersuchung der Anzahl der Baublocks, von denen innerhalb von fünf Minuten keine ÖPNV-Fahrt wahrgenommen werden kann unterstützt diese Hypothese. An einem Wochentag beträgt deren Anteil 78% und an einem Sonntag 81%, unabhängig von der Tageszeit (vgl. Abbildung 41).

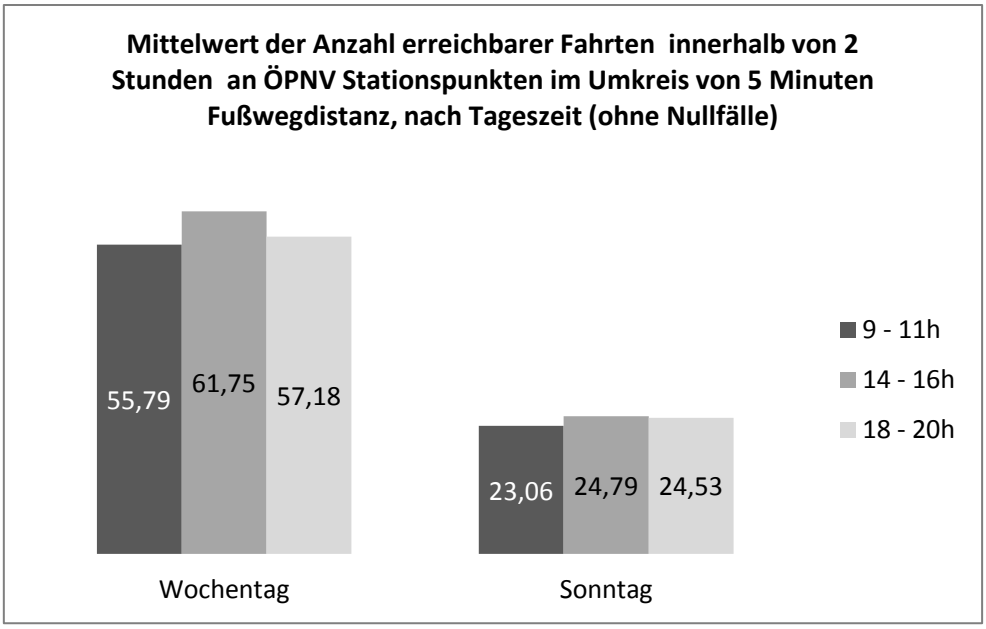


Abbildung 40: Vergleich der durchschnittlich wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von 5 Minuten, unterteilt nach Tag und Tageszeit (ohne Nullfälle)

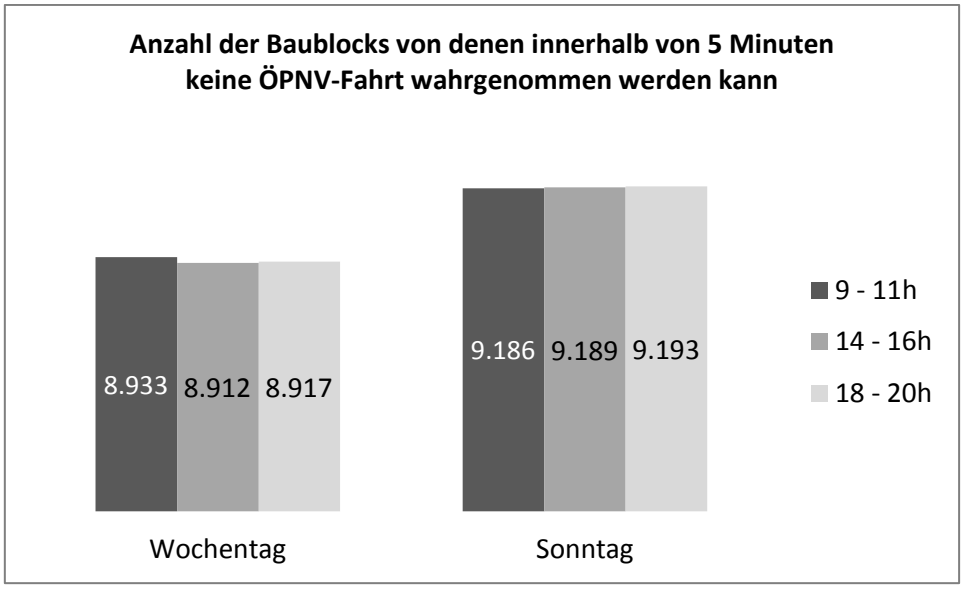


Abbildung 41: Anzahl der Baublocks, von denen innerhalb von 5 Minuten keine ÖPNV-Fahrt wahrgenommen werden kann.

Wie in Abbildung 37 zu sehen ist, ist die Wahrscheinlichkeit der Erreichbarkeit einer ÖPNV-Station innerhalb von fünf Minuten, in Anbetracht der angenommenen reduzierten Gehgeschwindigkeit für ältere Personengruppen sowie aufgrund der Festlegung eines Durchschnitts-Analyseausgangspunkts, sehr gering. Eine Analyse der Erreichbarkeit der Fahrtenanzahl innerhalb eines bestimmten Zeitfensters ist deswegen in diesem Zusammenhang unter der Heranziehung eines größeren Zeitfensters zur Erreichung der Stationen (und den dort wahrnehmbaren Fahrten) sinnvoller.
Folgende zwei Abbildungen zeigen die durchschnittliche Anzahl an Fahrten, die innerhalb von zehn Minuten wahrgenommen werden kann. Abbildung 43 präsentiert dabei die Daten ohne Miteinbezug der Fälle, in denen gar keine Fahrten wahrgenommen werden können.

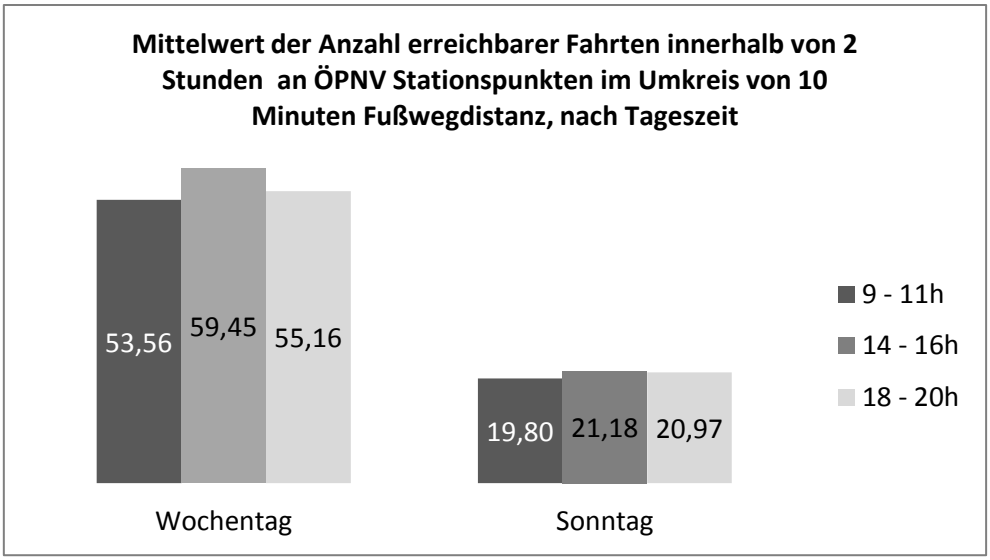


Abbildung 42: Vergleich der durchschnittlich wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von 10 Minuten, unterteilt nach Tag und Tageszeit

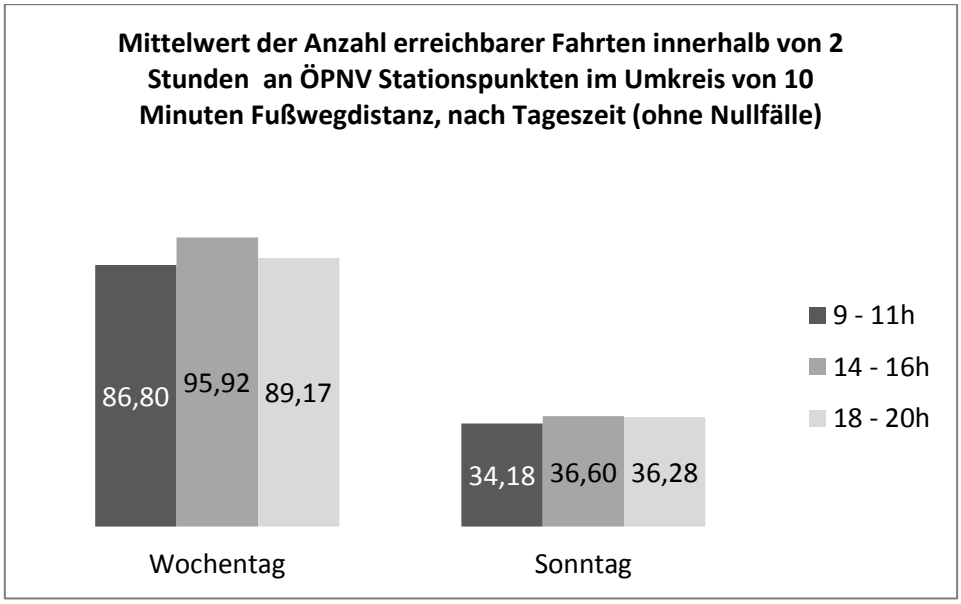


Abbildung 43: Vergleich der durchschnittlich wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von 10 Minuten, unterteilt nach Tag und Tageszeit (ohne Nullfälle)

Erneut besteht kaum ein Unterschied zwischen den Werten hinsichtlich der analysierten Tageszeit, jedoch zwischen Wochentagen und Sonntagen. Der Unterschied zwischen der durchschnittlichen Anzahl wahrnehmbarer Fahrten aller Baublocks und jenen Fällen, bei der zumindest eine Fahrt wahrgenommen werden kann, ist geringer als im Falle des 5-Minuten-Zeitfensters, was auf die erhöhte Anzahl erreichbarer Stationen innerhalb von zehn Minuten zurückgeführt werden kann. Abbildung 44 zeigt die verringerte Anzahl der Fälle, in denen keine Fahrten wahrgenommen werden können. Deren Anteil an der Gesamtzahl der Baublocks beträgt für einen Wochentag 38% und für einen Sonntag 42%, unabhängig von der Tageszeit.

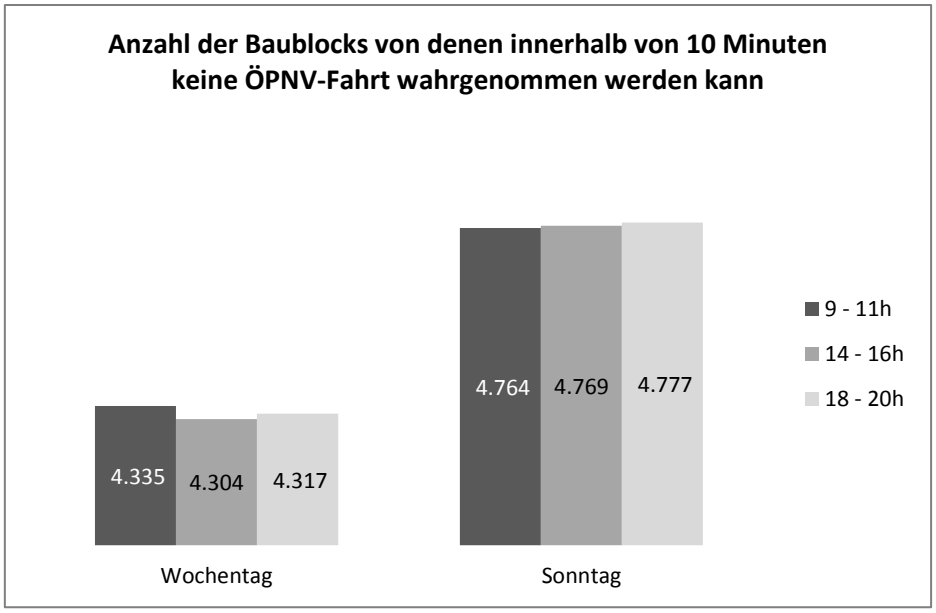


Abbildung 44: Anzahl der Baublocks, von denen innerhalb von 10 Minuten keine ÖPNV-Fahrt wahrgenommen werden kann.

9.2.1. Analyse der Daten nach Zusammenfassung der Tageszeiten

	5 Minuten Fußweg an einem Wochentag	5 Minuten Fußweg an einem Sonntag	10 Minuten Fußweg an einem Wochentag	10 Minuten Fußweg an einem Sonntag
Minimum:	0	0	0	0
Maximum:	702	924	251	328
Mittelwert:	12,18	55,23	4,51	20,46
Median:	0	26	0	11
Standardabweichung:	34,03	79,33	12,93	29,74

Tabelle 22: Statistische Verteilung der der durchschnittlichen Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 2 Stunden je Baublock.

Da sich die Zahl der wahrnehmbaren Fahrten hinsichtlich der untersuchten Tageszeiten kaum unterscheidet, wird deren Mittelwert für die weiteren Untersuchungen verwendet. Dieser bildet die durchschnittliche Anzahl an Fahrten ab, die innerhalb eines Zeitraums von zwei Stunden zwischen 09:00 und 20:00 Uhr wahrgenommen werden können. Dies ist in Abbildung 45 sowie Abbildung 46 dargestellt, in denen ein drastischer Unterschied zwischen Wochen- und Sonntagen zu erkennen ist.

Wirft man einen Blick auf die statistischen Kennwerte der Daten in Tabelle 22 bezüglich wahrnehmbarer Fahrten, wird ersichtlich, dass die hohen Standardabweichungen eine große Streuung der Werte um die Mittelwerte in den einzelnen Kategorien belegen. Dies ist ein Indikator dafür, dass der Mittelwert wenig aussagekräftig ist, um einen Durchschnittswert darzustellen. Einen Blick auf den Median der einzelnen Kategorien zeigt, dass die Anzahl wahrnehmbarer Fahrten in zumindest 50% der Fälle noch geringer ausfällt als der Mittelwert abbildet. Innerhalb von 5 Minuten beträgt der Median an Wochentagen sowie an Sonntagen 0. Innerhalb von 10 Minuten beträgt der Median 26 bzw. 11.

Analog zur Stationserreichbarkeit sind in der 5-Minuten-Kategorie der wahrnehmbaren Fahrten sowohl an Wochentagen als auch an Sonntagen die meisten Fälle in der Kategorie zu finden, welche jene Fälle zusammenfasst in denen keine Fahrten wahrnehmbar sind (vgl. Abbildung 45 und Abbildung 46). Dies ist nicht weiter überraschend, da keine Fahrten wahrgenommen werden können, wenn keine Stationen erreichbar sind. Dennoch ist zu sehen, dass die Anzahl der Baublocks in dieser Kategorie, hinsichtlich der erreichten Fahrten, leicht höher ausfällt als in der Betrachtung der erreichten ÖPNV-Stationen (vgl. Abbildung 35). Der Grund dafür kann darin liegen, dass bestimmte Stationen fußläufig zwar erreicht werden können, diese aber während des betrachteten Zeitraums nicht bedient werden. Vor allem an Sonntagen ist der Anteil in der Kategorie 0 besonders hoch.

Der Grund dafür, dass so wenige ÖPNV-Stationen, und damit auch ÖPNV-Fahrten, erreicht bzw. wahrgenommen werden können, ist – neben der Heranziehung eines Durchschnitts-Analyseausgangspunkts je Baublock - in der geringen Schrittgeschwindigkeit älterer Personen zu finden. Bei der angenommenen Durchschnittsgeschwindigkeit von 1,425 km/h können innerhalb von 5 Minuten nur in etwa 123 Meter zurückgelegt werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich innerhalb von 123 Metern um den Wohnstandort keine ÖPNV-Station befindet ist relativ hoch. Aus diesem Grund ist im Bereich älterer Personengruppen die Betrachtung des 10-Minuten-Zeitraums zielführender, auch wenn 10 Minuten Gehzeit für ältere Personen anstrengend sein können. Aufgrund der reduzierten Schrittgeschwindigkeit ist dieser Zeitraum als Heranziehung einer realistischen Wegzeit für das Erreichen von ÖPNV-Stationen sinnvoller.

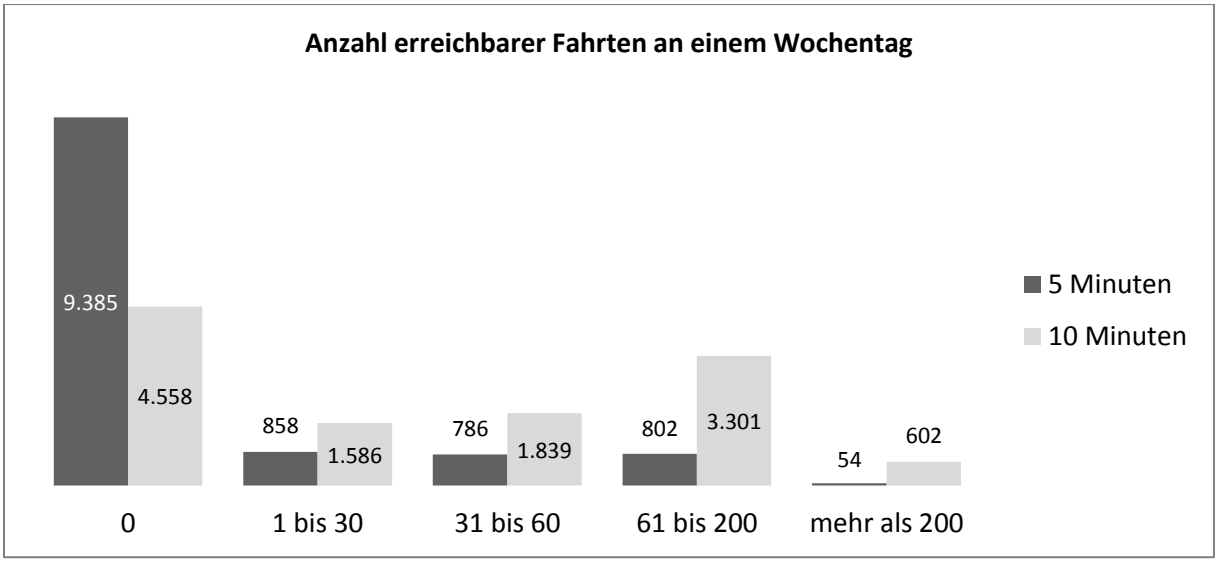


Abbildung 45: Verteilung der Baublocks nach der Anzahl wahrnehmbarer Fahrten an einem Wochentag.

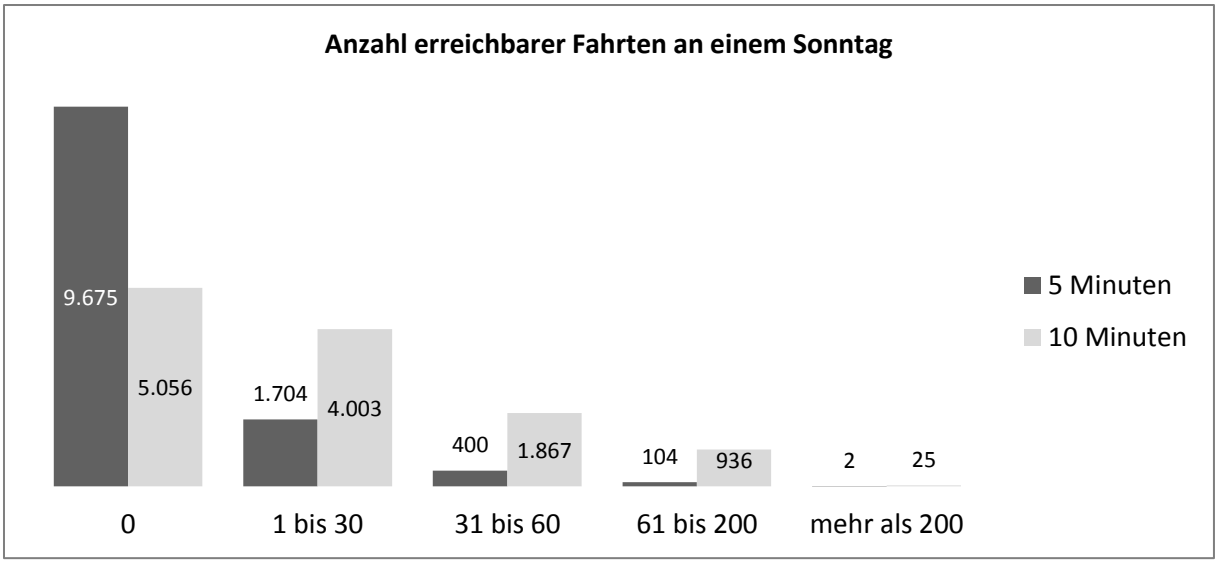


Abbildung 46: Verteilung der Baublocks nach der Anzahl wahrnehmbarer Fahrten an einem Sonntag.

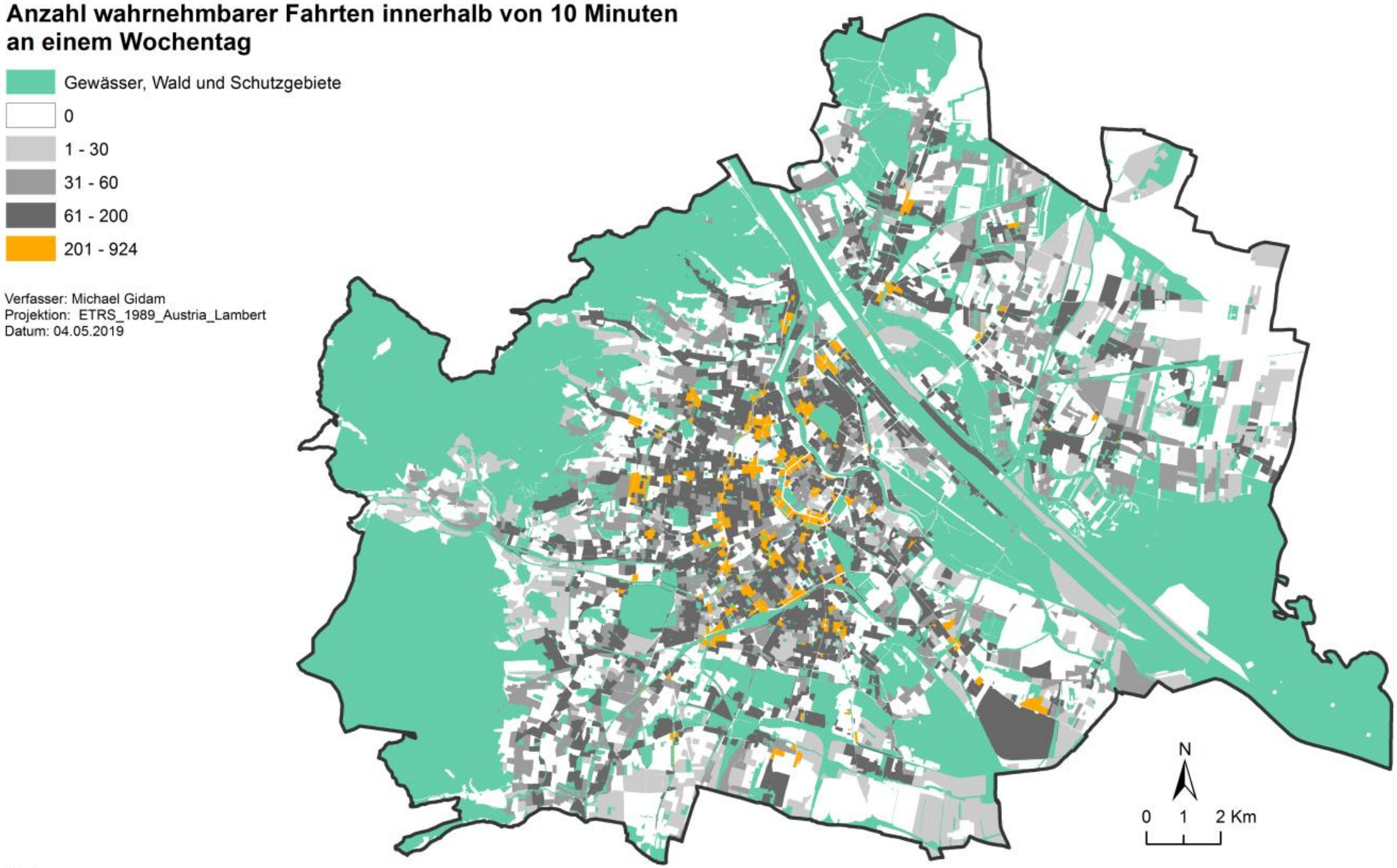
Auch in den restlichen Kategorien kommt es an Sonntagen zu einer Verschiebung der Verteilung. In den höheren Kategorien nimmt die Anzahl wahrnehmbarer Fahrten ab, dafür erhöht sich diese in der Kategorie 0 sowie der Kategorie 1 bis 30 Fahrten. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Verteilung der Baublocks auf die einzelnen Kategorien:

	Wochentag		Sonntag	
Anzahl wahrnehmbarer Fahrten	5 Minuten	10 Minuten	5 Minuten	10 Minuten
0	78,9%	38,3%	81,4%	42,5%
1 bis 30	7,2%	13,3%	14,3%	33,7%
31 bis 60	6,6%	15,5%	3,4%	15,7%
61 bis 200	6,7%	27,8%	0,9%	7,9%
mehr als 200	0,5%	5,1%	0,0%	0,2%

Tabelle 23: Verteilung der Baublocks auf die einzelnen Kategorien der durchschnittlichen Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 2 Stunden.

Diese Anteilsverschiebung lässt sich auch gut anhand der Kartendarstellungen in Abbildung 47 sowie Abbildung 48 erkennen. Durch die verminderte Taktfrequenz im Allgemeinen sowie der gezielten Einstellung des Betriebs ausgewählter Linien, kommt es an Sonntagen zu einer allgemeinen Verschlechterung der Bedienqualität durch den ÖPNV.

Ebenso zu erkennen ist, dass vor allem der Zentrumsbereich hinsichtlich der Anzahl wahrnehmbarer Fahrten gut bedient wird. Während dies auch im Süden sowie Südwesten der Stadt zutrifft, ist die Situation jenseits der Donau – und hier vor allem im 22. Wiener Gemeindebezirk – schlechter. Dort ist eine flächendeckende Möglichkeit der Wahrnehmung einer hohen Anzahl an ÖPNV-Fahrten vergleichsweise nicht gegeben. Interessant zu sehen ist außerdem, dass die Grenzlage am Stadtrand nicht zwangsläufig mit einer flächendeckend schlechten ÖPNV-Anbindung einhergeht.



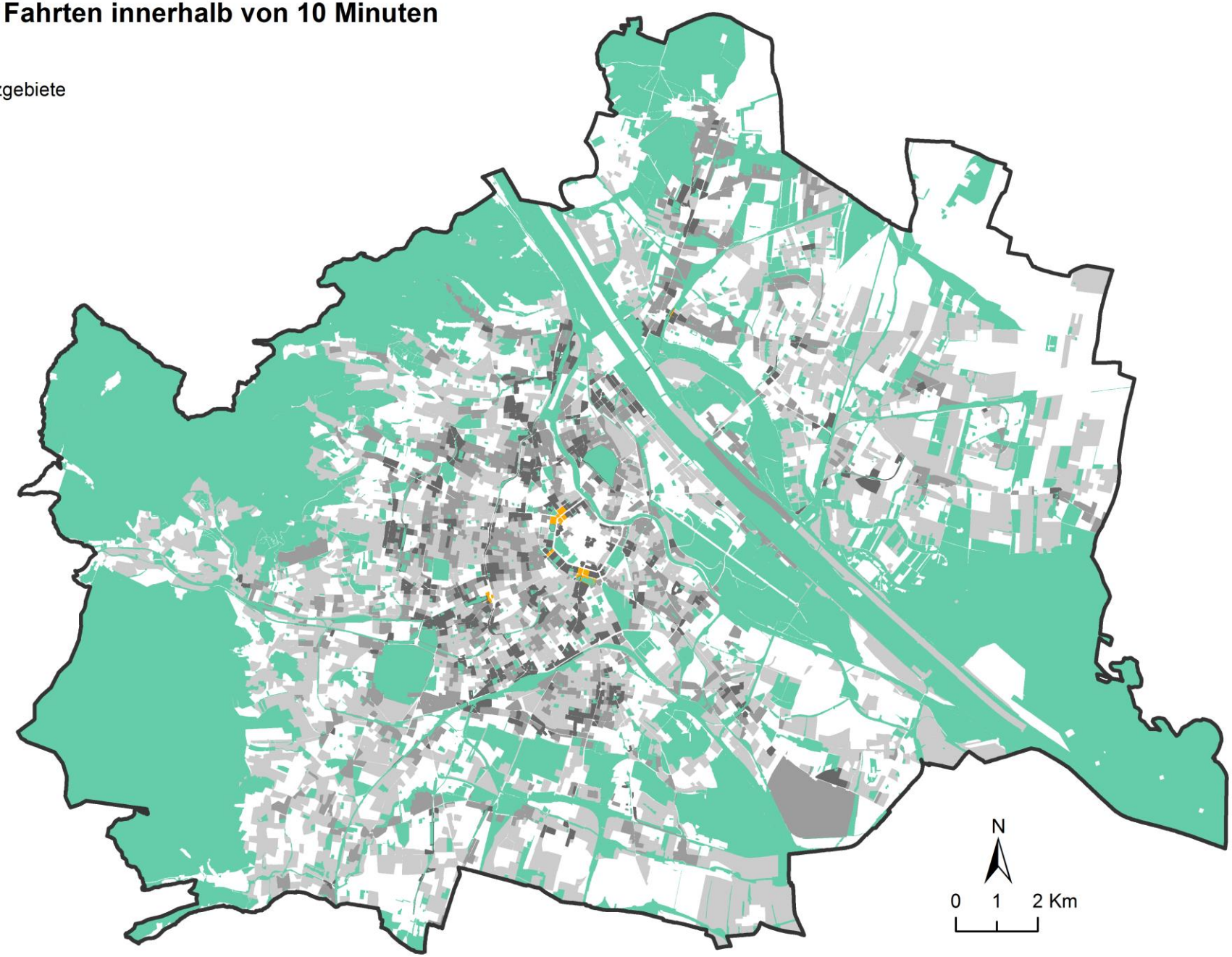
Quellen:
1) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien;
2) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790
3) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614

Abbildung 47: Die Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 10 Minuten an einem Wochentag.

Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 10 Minuten an einem Sonntag

Gewässer, Wald und Schutzgebiete
0
1 - 30
31 - 60
61 - 200
201 - 329

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien;
2) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790
3) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614

Abbildung 48: Die Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 10 Minuten an einem Sonntag.

9.3. Zusammenhang zwischen der Erreichbarkeit von Stationen und der Anzahl wahrnehmbarer Fahrten

Im Rahmen der Ausarbeitung dieses Kapitels drängt sich die Frage auf, ob Baublocks, die eine höhere Anzahl an ÖPNV-Stationen fußläufig erreichen, auch eine höhere an Fahrten wahrnehmen können. Um dies zu untersuchen, wurde eine Korrelationsanalyse der vier, in Tabelle 22 dargestellten, Variablen vorgenommen. Abbildung 49 untersucht die Korrelation der Anzahl der innerhalb von 5 bzw. 10 Minuten erreichbaren ÖPNV-Stationen mit der durchschnittlichen Anzahl an von diesen Stationen aus wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von zwei Stunden jeweils an einem Wochentag sowie einem Sonntag.

Die Korrelationskoeffizienten liegen zwischen 0,801 und 0,840, bei einem p-Wert von durchgehend 0,01, was eine zufällige Korrelation zu 99,99% ausschließt. Der durchschnittliche Korrelationskoeffizient beträgt 0,822. Ein Korrelationskoeffizient zwischen 0,7 und 0,9 wird in der Regel als hoch angesehen.

Korrelationen

		TMEANM10	SMEANM10	TMEANM5	SMEANM5	TMEANS5	SMEANS5	TMEANS10	SMEANS10
TMEANM10	Pearson-Korrelation	1	,816**	,493**	,394**	,463**	,394**	,968**	,816**
	Sig. (2-seitig)		,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
SMEANM10	Pearson-Korrelation	,816**	1	,433**	,481**	,418**	,481**	,801**	1,000**
	Sig. (2-seitig)	,000		,000	,000	,000	,000	,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
TMEANM5	Pearson-Korrelation	,493**	,433**	1	,840**	,962**	,840**	,482**	,433**
	Sig. (2-seitig)	,000	,000		,000	,000	,000	,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
SMEANM5	Pearson-Korrelation	,394**	,481**	,840**	1	,829**	1,000**	,395**	,481**
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000		,000	,000	,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
TMEANS5	Pearson-Korrelation	,463**	,418**	,962**	,829**	1	,829**	,490**	,418**
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000		,000	,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
SMEANS5	Pearson-Korrelation	,394**	,481**	,840**	1,000**	,829**	1	,395**	,481**
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000		,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
TMEANS10	Pearson-Korrelation	,968**	,801**	,482**	,395**	,490**	,395**	1	,801
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000		,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
SMEANS10	Pearson-Korrelation	,816**	1,000**	,433**	,481**	,418**	,481**	,801	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000	
	N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

Abbildung 49: Korrelationen zwischen der Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen und wahrnehmbaren Fahrten nach Wochentag und Gehzeit.

Wie in Kapitel 9.2.1 ersichtlich ist, weisen die Werte eine signifikante Streuung auf, die die Untersuchung der Korrelation beeinflussen können. Da der Korrelationskoeffizient aus Streuungsparametern gebildet wird, ist dieser nicht robust gegenüber stark abweichenden Einzelwerten. In solchen Fällen wird oft der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman herangezogen um einen Zusammenhang nachweisen zu können. Im Unterschied zum klassischen Korrelationskoeffizient werden nicht die tatsächlichen Wertausprägungen, sondern deren jeweilige Ränge miteinander in Beziehung gesetzt. Wendet man diese Vorgehensweise in dem vorliegenden Beispiel an, erhält man eine wesentlich höhere Korrelation als durch die Bildung des klassischen Korrelationskoeffizienten.

Nach Spearman liegen die Rangkorrelationskoeffizienten zwischen 0,877 und 0,976 (vgl. Abbildung 50). Im Durchschnitt beträgt er 0,921 bei einem p-Wert von 0,01. Daraus wird ersichtlich, dass nach Auslöschung des Einflusses der Ausreißer-Werte die Korrelation noch wesentlich stärker ausfällt.

Korrelationen

			TMEANM10	SMEANM10	TMEANM5	SMEANM5	TMEANS5	SMEANS5	TMEANS10	SMEANS10
Spearman-Rho	TMEANM10	Korrelationskoeffizient	1,000	,916**	,441**	,430**	,423**	,430**	,956**	,916**
		Sig. (2-seitig)	.	,000	,000	,000	,000	,000	,000	,000
		N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
	SMEANM10	Korrelationskoeffizient	,916**	1,000	,477**	,488**	,447**	,488**	,877**	1,000**
		Sig. (2-seitig)	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	.
		N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
	TMEANM5	Korrelationskoeffizient	,441**	,477**	1,000	,976**	,942**	,976**	,414**	,477**
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000
		N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
	SMEANM5	Korrelationskoeffizient	,430**	,488**	,976**	1,000	,916**	1,000**	,405**	,488**
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	.	,000	.	,000	,000
		N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
	TMEANS5	Korrelationskoeffizient	,423**	,447**	,942**	,916**	1,000	,916**	,443**	,447**
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	.	,000	,000	,000
		N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
	SMEANS5	Korrelationskoeffizient	,430**	,488**	,976**	1,000**	,916**	1,000	,405**	,488**
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	.	,000	.	,000	,000
		N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
	TMEANS10	Korrelationskoeffizient	,956**	,877**	,414**	,405**	,443**	,405**	1,000	,877**
		Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000	.	,000
		N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885
	SMEANS10	Korrelationskoeffizient	,916**	1,000**	,477**	,488**	,447**	,488**	,877**	1,000
		Sig. (2-seitig)	,000	.	,000	,000	,000	,000	,000	.
		N	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885	11885

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

Abbildung 50: Die Rangkorrelation nach Spearman zwischen der Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen und wahrnehmbaren Fahrten nach Wochentag und Gehzeit.

Erkennbar ist, dass Wohnblocks, von denen aus eine höhere Anzahl an ÖPNV-Stationen erreicht werden kann, tendenziell auch mehr Fahrten innerhalb von zwei Stunden wahrgenommen werden können. Jedoch ist durch den Vergleich von Abbildung 51 und Abbildung 52 ersichtlich, dass auch Wohnblocks, von denen aus eine geringere Anzahl an ÖPNV-Stationen erreichbar ist, über eine hohe Zahl wahrnehmbarer Fahrten verfügen können. Dies liegt an einer Kombination aus der Erreichbarkeit hochfrequentierter Linien, sowie der Tatsache, dass mehrere Linien an diesen Stationen halten können. Aber auch der gegenteilige Fall lässt sich ausmachen: Baublocks, von denen aus mehrere ÖPNV-Stationen erreichbar sind, die Anzahl wahrnehmbarer Fahrten jedoch niedrig ist.

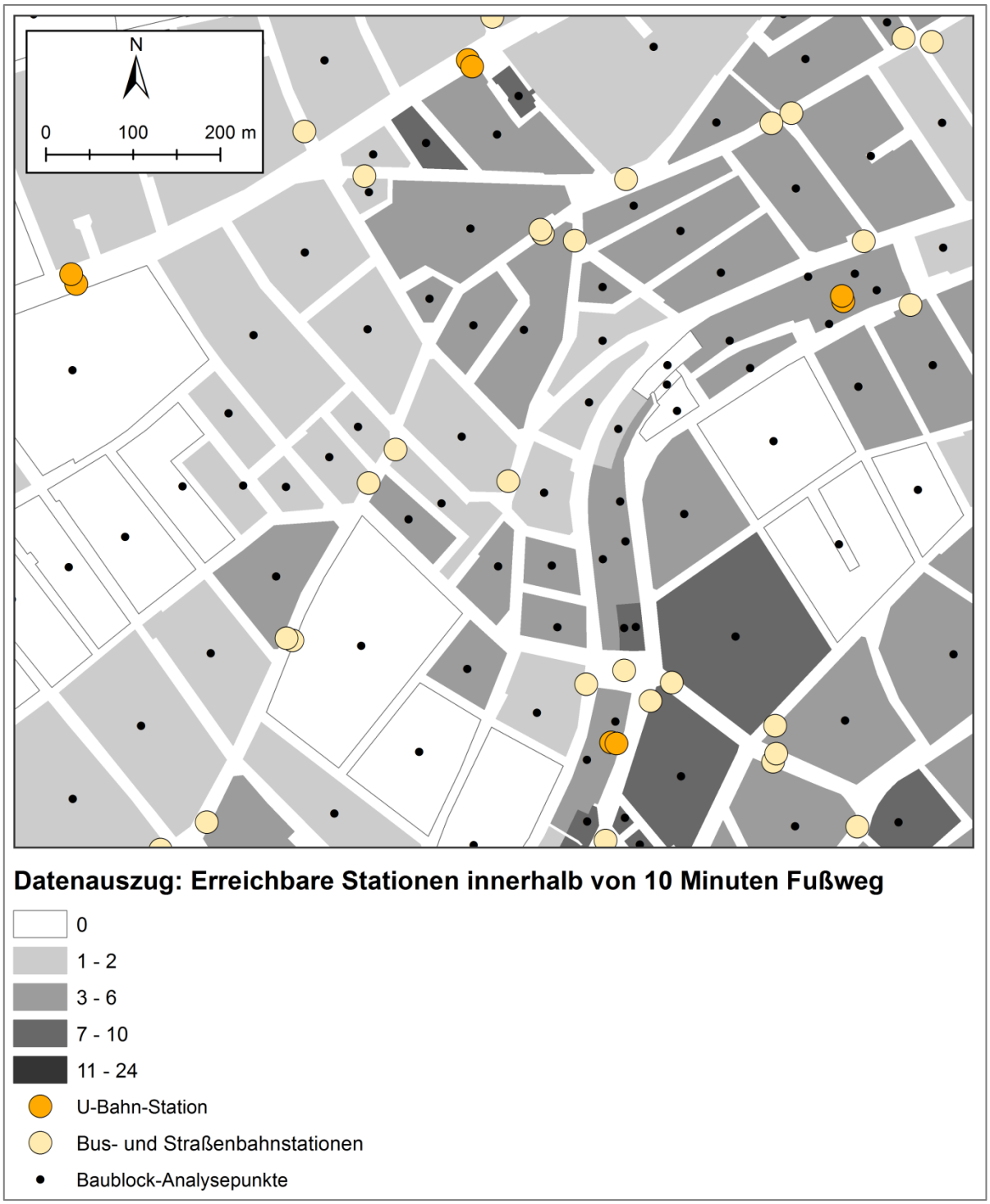


Abbildung 51: Fußläufig erreichbare ÖPNV-Stationen innerhalb von 10 Minuten.

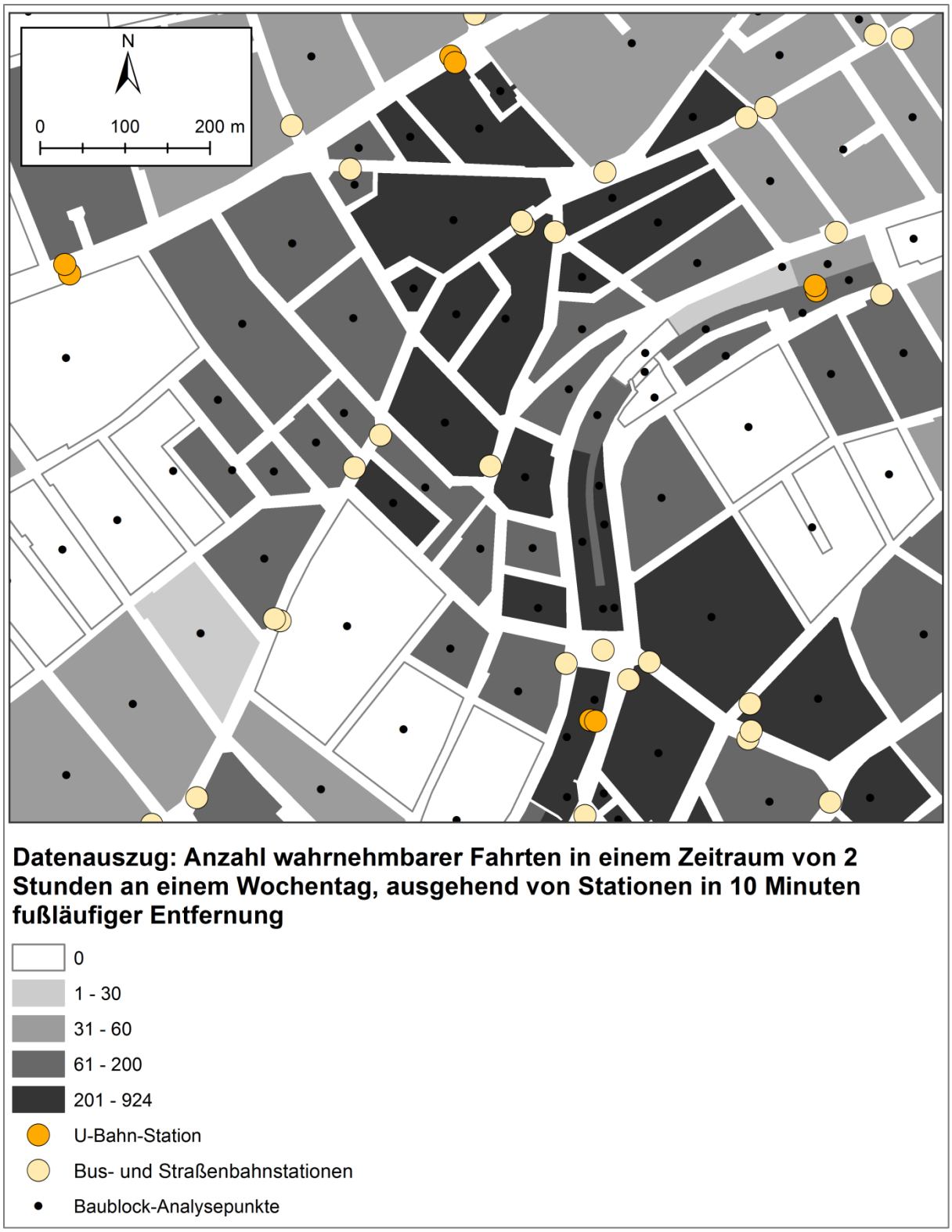


Abbildung 52: Wahrnehmbare Fahrten innerhalb von 2 Stunden an einem Wochentag.

9.4. Wesentliche Erkenntnisse

Es lässt sich zusammenfassen, dass die Anzahl der wahrnehmbaren Fahrten mehr über die Anbindungsqualität eines Baublocks aussagt, als die Anzahl erreichbarer Stationen. Hinsichtlich der Station selbst ist lediglich die Information über das die Station bedienende Verkehrsmittel von

Interesse. Hinsichtlich innerstädtischer Mobilität ist die U-Bahn ein besonders hochrangiges Verkehrsmittel. Eine gute Anbindung an eine oder mehrere U-Bahn-Linien erhöht die Chancen innerhalb kurzer Zeit große Teile der Stadt und damit Zentrumsbereiche sowie relevante Einrichtungen zu erreichen. Generell besteht ein starker Zusammenhang zwischen der Anzahl erreichbarer ÖPNV-Stationen und der Anzahl wahrnehmbarer Fahrten. Dies ist jedoch nicht überraschend. Anzufügen ist hierbei die Tatsache, dass - aus Sicht älterer Bevölkerungsgruppen - von den wenigsten Baublocks aus innerhalb von 5 Minuten eine ÖPNV-Station erreichbar ist. Von 78% aller Baublocks aus ist innerhalb von 5 Minuten keine ÖPNV-Station erreichbar. Erhöht man das Zeitfenster auf 10 Minuten, verringert sich der Wert auf 32% aller Baublocks, von denen aus fußläufig keine einzige ÖPNV-Station erreichbar ist.

Hinsichtlich der durchgeführten Untersuchungen sind kaum tageszeitabhängige Unterschiede in Bezug auf die Bedienungsfrequenz der ÖPNV-Stationen auszumachen, weshalb aus den Daten ein Durchschnittswert ermittelt wird. Ein signifikanter Unterschied ist jedoch in der Anzahl wahrnehmbarer ÖPNV-Fahrten zwischen Wochen- und Sonntagen zu erkennen. Diese ist Während eines Wochentages wesentlich höher als an Sonntagen.

10. Die Erreichbarkeit relevanter Einrichtungen im Stadtgebiet

Die Anbindungsqualität der Baublocks auf Basis der Erreichbarkeit von Stationen sowie deren Bedienungsfrequenz und Linienführung ist ein sehr allgemeiner Indikator innerstädtischer Erreichbarkeit auf ÖPNV-Basis. Er sagt nichts darüber aus, welche konkreten Reiseziele wie gut erreicht werden können, sondern spiegelt die allgemeine Qualität des Anschlusses an das ÖPNV-Netz und der dadurch erschlossenen Stadtgebiete wider. Auf spezielle Bedürfnisse hinsichtlich der Erreichbarkeit spezifischer Einrichtungen kann dabei nicht eingegangen werden. Für unterschiedliche Personengruppen liegen jedoch ganz bestimmte Einrichtungen im Fokus ihrer täglichen Mobilitätsbedürfnisse. So ist beispielsweise die Erreichbarkeit von Schulen und/oder Kindergärten für die Entscheidung einer Wohnstandortsverlagerung von Jungfamilien in den meisten Fällen wahrscheinlich von größerem Interesse als die Erreichbarkeit von Nachtclubs (persönliche Annahme). Eine Befragung des Instituts für empirische Sozialforschung von Personen über 60 Jahren hat ergeben, dass in Wien vor allem die Erreichbarkeit von Postämtern (22% der Befragten), Bankfilialen (17% der Befragten) und Arztpraxen (14% der Befragten) als "eher schlecht" bzw. "sehr schlecht" bewertet wird (IFES, 2010, S. 40).

Die Erreichbarkeit von für ältere Personengruppen relevanten Einrichtungen bildet - neben der Anschlussqualität an das ÖPNV-Netz durch nahe gelegene ÖPNV-Stationen - die zweite wichtige Grundlage zur Bewertung der Erreichbarkeitsqualität der Baublocks Wiens. Dabei wird die Erreichbarkeit von Postämtern, Bankfilialen und Apotheken an einem Wochentag zwischen 09:00 Uhr und 11:00 Uhr, sowie die Erreichbarkeit von Glaubenshäusern und Friedhöfen an Sonntagen zwischen 09:00 Uhr und 11:00 Uhr bzw. zwischen 14:00 Uhr und 16:00 Uhr untersucht.

Die Auswahl der Reiseziele erfolgte zum einen auf Basis der Erkenntnisse auf Grundlage des IFES-Berichts (Postämter, Bankfilialen und Apotheken) sowie der persönlichen Auswahl von Glaubenshäusern und Friedhöfen. Im fortgeschrittenen Alter wird, im Zuge der zunehmenden Auseinandersetzung mit der Endlichkeit des eigenen Lebens, aufgrund des vermehrten Ablebens von Verwandten, Freunden und Bekannten sowie aufgrund des eigenen Alterungsprozesses, die Auseinandersetzung mit dem Thema Religion und die Ausübung religiöser Rituale, wie etwa der Besuch eines Glaubenshauses oder Friedhofs, zunehmend relevant (vgl. Lamprecht, A., M., 2003).

Rund 41% der Wiener Stadtbevölkerung ist katholischen Glaubens (vgl. Rösner, C., 2014), dabei handelt es sich um die größte religiöse Gruppe in Wien (30,5% sind als ohne Religionsbekenntnis erfasst). Traditionell ist der Besuch der heiligen Messe Sonntagvormittag anberaumt. Aufgrund des arbeitsfreien Charakters des Sonntags bietet dieser allerdings auch für Bevölkerungsgruppen anderer Religionszugehörigkeit die Möglichkeit der Ausübung religiöser bzw. spiritueller Aktivitäten, wie den Besuch von Glaubenshäusern oder Friedhöfen. Aus diesem Grund wurde die Erreichbarkeit von Glaubenshäusern und Friedhöfen an Sonntagen ebenso als relevanter Faktor in der Ermittlung der Erreichbarkeitsqualität von Baublocks miteinbezogen.

10.1. Darstellung der Vorgehensweise in der Berechnung

Zwei Arten der Analyse stehen im Fokus der Untersuchung der Erreichbarkeit der angegebenen Einrichtungen. Zum einen ist dies die Ermittlung der Anzahl erreichbarer Einrichtungen des jeweiligen Typs innerhalb eines Zeitlimits zu einer definierten Tageszeit, zum anderen die durchschnittliche Reisezeit zur nächsten bzw. allen erreichbaren Einrichtungen des jeweiligen Typs innerhalb eines

Zeitlimits zu einer definierten Tageszeit. Die Standortdaten bezüglich der Einrichtungsstandorte wurden entweder aus dem Open-Government-Data Katalog der Stadt Wien bezogen (data.gv.at) oder aus Open Street Map extrahiert (vgl. openstreetmap.org, overpass-turbo.eu).

Datensatz	Quelle
Postfilialen	Open Street Map
Bankfilialen	Open Street Map
Apotheken	Open Street Map
Glaubenshäuser	Data.gv.at
Friedhöfe	Data.gv.at

Tabelle 24: Die Datensätze der Punktdaten je Einrichtungstyp und deren Quelle.

Die den Berechnungen zugrundeliegende Vorgehensweisen werden in folgenden Abschnitten schematisch dargestellt. Sie werden für sämtliche Einrichtungstypen in gleicher Weise angewendet und unterscheiden sich lediglich in der Angabe des Wochentages sowie des Untersuchungszeitraums. Bestandteil der „Add GTFS to a Network Dataset“ Toolbox sind, neben den bereits vorgestellten Tools zur Nutzbarmachung von GTFS-Daten in GIS (vgl. Kapitel 8.1), ebenso unterschiedliche Tools zur Durchführung zeitraumspezifischer Erreichbarkeitsanalysen. Zwei davon sind grundlegend für die Generierung der Ergebnisse für die vorgestellten Fragestellungen zum Thema der Erreichbarkeit konkreter Einrichtungen. Das Tool „Calculate Accessibility Matrix“ wird zur Ermittlung der Anzahl erreichbarer Einrichtungen verwendet, das „Calculate Travel Time Statistics“ Tool dient zur Berechnung der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Reisezeit zu einem ausgewählten bzw. zu allen erreichbaren Punkten. Im Grunde genommen basieren beide Tools auf der Aggregation einer Vielzahl von, für unterschiedliche Zeitpunkte durchgeführte, Routing-Analysen und der Wiedergabe statistischer Kennwerte aus der Zusammenschau der aggregierten Routenberechnungen. Hierbei anzumerken ist, dass sämtliche Einrichtungsstandorte sich innerhalb des Wiener Stadtgebiets, begrenzt durch die administrative Grenze der Stadt Wien, befinden. Potenzielle nähere Einrichtungen außerhalb des Stadtgebiets werden für die Untersuchung nicht berücksichtigt. Wie die einzelnen Tools im Detail funktionieren, wird im folgenden Teil erläutert.

10.1.1. Das "Calculate Accessibility Matrix" Tool zur Ermittlung der Anzahl erreichbarer Einrichtungen

Grundlage für die Ermittlung erreichbarer Einrichtungen innerhalb einer vorgegebenen maximalen Reisezeit ist die Erstellung einer OD-Cost-Matrix. Das Erstellen einer solchen ist eine Standardfunktion der Network Analyst Tool Erweiterung für ArcGIS. Dabei wird nach Angabe eines Sets von Ausgangspunkten und Zielen eine n:n Matrix erstellt, in der jeder Ausgangspunkt mit jedem Zielpunkt in Relation gesetzt wird. Für jedes dieser Untersuchungspaare wird ein Ergebnis hinsichtlich des Kostenaufwands ermittelt, dessen es bedarf, um von dem jeweiligen Ausgangspunkt zu dem jeweiligen Zielpunkt zu gelangen. Durch die Angabe einer Obergrenze bezüglich des Kostenaufwands kann die Zielfindung dahingehend minimiert werden, dass nur Ziele als Ergebnis dargestellt werden, zu deren Erreichung die vorgegebene Kostengrenze nicht überschritten wird. In Kombination damit - jedoch auch ohne die Angabe einer Kostenobergrenze - ist es möglich, die maximale Anzahl der zu findenden Ziele festzulegen. Dabei werden von jedem Ausgangspunkt aus die kostengünstigsten Zielpunkte ausgewählt bis die festgelegte Zielobergrenze erreicht ist.

Ein solcher OD-Cost-Matrix-Layer dient als Ausgangspunkt für die Untersuchung mithilfe des „Calculate Accessibility Matrix“ Tools. Als Parameter für die Erstellung des OD-Cost-Layers wurden die Ausgangsanalysepunkte jedes Baublocks als Startpunkte, die jeweiligen Punktdaten der Standorte der zu untersuchenden Einrichtungen als Zielpunkte sowie ein Kostenlimit von 30 Minuten definiert. Diese Zeitgrenze ergibt sich aus dem Vergleich von Abbildung 17 mit Abbildung 19. Bei einer durchschnittlichen täglichen Wegehäufigkeit von 2-3 Wegen pro Tag und einer durchschnittlichen täglichen Wegedauer von etwas mehr als 80 Minuten, erscheint eine Obergrenze hinsichtlich der Reisezeit von 30 Minuten in eine Richtung aus Sicht älterer Personen als passend. Ebenso wurden die Restriktionsparameter „Praeferenz_OEPNV“ und „Oneway_OEPNV“ aktiviert.

Im Tool wird der OD-Cost-Matrix-Layer als Eingangsparameter definiert. Des Weiteren wird die Angabe eines Analysedatums/-tages sowie Tageszeitpunkte für die Festlegung des Start- und Endzeitpunkts der Analyse benötigt. Ebenso erforderlich ist die Angabe eines Zeitintervalls, das angibt, in welchen zeitlichen Abständen die Analysen erfolgen sollen. Der Wert bezieht sich auf die Angabe von Minuten. Im Rahmen der Untersuchungen dieser Arbeit wird für dieses Intervall der Wert 1 gewählt. Dies bedeutet, dass das Tool zu jeder Minute des angegebenen Zeitraums eine OD-Cost-Matrix-Analyse durchführt, die im Anschluss aggregiert und verglichen werden. Bei einer Angabe eines Zeitraums von zwei Stunden hat dies 120 OD-Cost-Matrix-Analysen zur Folge.

Ergebnis der Analyse ist die Angabe der Anzahl von Zielpunkten, unterteilt nach dem Anteil der Fälle an denen diese erreicht wurden. Damit ist sozusagen die Wahrscheinlichkeit abgebildet, eine bestimmte Anzahl von Zielen innerhalb von 30 Minuten zu der angegebenen Tageszeit zu erreichen. An dieser Stelle wird ein fiktives Beispiel beschrieben, um die Vorgehensweise besser zu veranschaulichen:

Angenommen die Erreichbarkeit zu 5 Zielen soll ausgehend von einem Startpunkt mittels der Zuhilfenahme des vorgestellten Tools untersucht werden. Das Zeitintervall und der Zeitraum für die Untersuchung wurden so gewählt, dass genau 10 OD-Cost-Matrix-Layer analysiert werden. In einem der Fälle werden 0 Ziele erreicht, in 2 der Fälle werden maximal 5 Ziele erreicht, in 6 Fällen maximal 3 Ziele und in einem Fall maximal 1 Ziel erreicht. Die Ergebnistabelle des Tools würde zeigen, dass 5 Ziele in 20%, zumindest 3 Ziele in 80% und zumindest 1 Ziel in 90% der untersuchten Fälle erreicht wurden. Umgelegt bedeutet dies, dass die Wahrscheinlichkeit vom angegebenen Startpunkt innerhalb des angegeben Zeitraums 5 Ziele zu erreichen 20 Prozent beträgt, 3 Ziele zu erreichen 80% beträgt und die Wahrscheinlichkeit zumindest 1 Ziel zu erreichen 90% beträgt.

Bei den tatsächlichen Untersuchungen, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, handelt es sich nicht um 10, sondern um 120 einzelne OD-Cost-Matrizen, die jedoch nach demselben Prinzip analysiert werden. Ausgangspunkte sind in jedem der fünf Untersuchungsfälle (für jeden Einrichtungstyp wird die Analyse ein Mal durchgeführt) die einzelnen Baublocks. Die Anzahl und Lokalisierung der Einrichtungen je untersuchten Typs unterscheiden sich jedoch erheblich. Abbildung 94 (siehe Anhang) zeigt die Vorgehensweise zur Berechnung der erreichbaren Einrichtungen.

Innerhalb des Calculate Accessibility Matrix Tools wird der Start- und Endzeitpunkt der Analyse sowie das Zeitintervall angegeben, in dem die Untersuchungen durchgeführt werden. In den meisten Fällen wurde als Untersuchungszeitraum die Tageszeit zwischen 09:00 Uhr und 11:00 Uhr gewählt, da dies der Zeitraum ist, in dem ältere Personen tendenziell ihren Erledigungen nachkommen (siehe Kapitel 6.1). Lediglich in der Analyse der Anzahl erreichbarer Friedhöfe wurde die Tageszeit zwischen 14:00 Uhr und 16:00 Uhr festgelegt. Die Analysen zur Erreichbarkeit von Friedhöfen und Glaubenshäusern

wurden mit der Festlegung des Sonntags als Analysetag durchgeführt, in den restlichen Fällen wurden Wochentage betrachtet. Die Gründe für die unterschiedliche Festlegung der Wochentage und Tageszeiten liegen in den Unterschieden bezüglich des Nutzungscharakters der einzelnen Einrichtungstypen begründet.

Nach Durchführung des Tools erhält man die Anzahl der erreichbaren Einrichtungen unterteilt nach Prozent-Kategorien, die in 10er-Schritten erfolgen. Eigene Datenfelder geben an, wie viele Ziele in 10, 20, 30, 40, usw. Prozent der Fälle maximal erreicht werden können. Für die Ergebnisanalyse wird jedoch nur die Kategorie der 90% berücksichtigt, da diese die Anzahl der Ziele wiedergibt, die mit der größten Wahrscheinlichkeit erreicht werden kann. Eine Kategorie, die die maximale Anzahl der erreichbaren Ziele in 100% der Fälle wiedergibt, existiert nicht.

10.1.2. Das „Calculate Travel Time Statistics“ Tool zur Ermittlung der Reisezeiten

Dieses Tool funktioniert hinsichtlich der Datenerfordernisse und -Eingabe nach demselben Prinzip wie das Calculate Accessibility Matrix Tool. Der Unterschied ist jedoch, dass die statistische Verwertung der anfallenden 120 OD-Cost-Matrizen pro Einrichtungstyp nicht auf die Ermittlung der Anzahl der erreichbaren Ziele, sondern die Reisezeit aller innerhalb eines angegebenen Reisezeitraums erreichbaren Einrichtungen abzielt. Die Daten, welche das Tool generiert, beinhalten die Minimal-, Maximal und Durchschnittsreisezeit von jedem Baublock zu jedem innerhalb einer halben Stunde erreichten Reiseziel. Relevant für die weitere Analyse der Ergebnisse sind dabei die Minimal- sowie die Durchschnittsreisezeiten zu allen erreichbaren Zielen insgesamt. Je niedriger die durchschnittliche Reisezeit ist, desto besser erreichbar sind die erreichbaren Ziele insgesamt.

Die Vorgehensweise in der Erstellung der OD-Cost-Matrix und der Festlegung der Wochentage und Tageszeiträume ist ident zu der Vorgehensweise der Ermittlung der Anzahl erreichbarer Einrichtungen mittels des Calculate Accessibility Matrix Tools. Abbildung 95 (siehe Anhang) zeigt die Vorgehensweise bei der Durchführung der Analyse.

10.1.3. Analyseergebnisse je Einrichtungstyp

Das Kostenlimit ist für sämtliche Untersuchungen jedes Einrichtungstyps mit 30 Minuten festgelegt, genauso wie das Untersuchungsintervall, welches mit einer Minute festgelegt wurde. Die Untersuchungen unterscheiden sich je nach verwendetem Tagestyp (Wochentag oder Sonntag) und der untersuchten Tageszeit. Je nach Einrichtungstyp ist eine unterschiedliche Anzahl an Quell-Ziel Verbindungen gegeben, die Ergebnis der OD-Cost-Matrix-Analysen sind und als Eingangsvariable in die oben dargestellten Tools einfließen. Diese Grundbedingungen, zusammen mit den grundlegenden statistischen Kennzahlen, werden in folgenden Kapiteln am Beginn kurz zusammengefasst dargestellt.

In Diagrammen wird die Verteilung der Baublocks auf die einzelnen Kategorien bezüglich der erreichten Ziele sowie der durchschnittlich benötigten Reisezeit zu allen bzw. zum nächsten Ziel dargestellt. Je nach Angebotsstruktur muss die nächstgelegene Einrichtung eines bestimmten Typs nicht die relevanteste sein. Wenn sich das Angebot innerhalb der Einrichtungen eines Einrichtungstyps unterscheidet, ist die Erreichbarkeit einer höheren Anzahl an Einrichtungen wichtiger als eine gute Erreichbarkeit der nächstgelegenen (dies ist der Fall bei Bankfilialen, Friedhöfen und Glaubenshäusern). Hierbei steht die durchschnittliche Reisezeit aller erreichbarer

Einrichtungen als Indikator dafür, ob eine vergleichsweise hohe oder niedrige Anzahl der erreichbaren Einrichtungen in kurzer bzw. weiter Entfernung liegt.

Bei anderen Einrichtungstypen (Postämter und Apotheken), deren Angebot in jeder Einrichtung gleich ist, ist die durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Einrichtung relevanter. Hier gibt es keinen objektiven Grund, eine weiter entfernte Einrichtung der nächstgelegenen vorzuziehen. Wichtig hervorzuheben ist, dass sich die Analyse der Reisezeit zur nächstgelegenen Einrichtung nicht nur auf jene Einrichtungen beschränkt, die in 90% der Fälle erreicht werden können. Die durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächstgelegenen Einrichtung eines Einrichtungstyps ergibt sich aus dem Mittelwert der Zeiten, die innerhalb des Analysezeitraums gemessen wurden, welche die Obergrenze von 30 Minuten nicht überschritten haben. Wenn das Ziel nicht innerhalb einer halben Stunde erreicht wurde, ist die erforderliche Reisezeit nicht mit in die Ermittlung des Mittelwerts der minimalen Reisezeit geflossen. Aus diesem Grund ist die Anzahl der Baublocks die keine einzige Einrichtung erreichen, in jenen Diagrammen bezüglich der Erreichbarkeit der nächstgelegenen Einrichtung wesentlich geringer als die in jenen Diagrammen, die Auskunft über die Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Einrichtungen geben. Dies ist dadurch bedingt, dass die am schnellsten erreichbare Einrichtung innerhalb des angegebenen Zeitraums nicht zwingend mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreicht wird.
Mittels Kartendarstellungen wird die räumliche Verteilung der Ziele, die maximale Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Ziele innerhalb einer halben Stunde pro Baublock sowie die jeweils relevanten durchschnittlichen minimalen Reisezeiten zu dem nächsten Ziel des jeweiligen Einrichtungstyps präsentiert.

Die Verteilungen der Baublocks auf Klassen bezüglich der durchschnittlichen Reisezeit zu sämtlichen erreichbaren Einrichtungen sind nahezu ident, vergleicht man die Ergebnisse aller untersuchten Einrichtungstypen untereinander. Aus diesem Grund wurde auf Kartendarstellungen diesbezüglich verzichtet. Zwangsläufig befindet sich der Großteil der erreichbaren Einrichtungen eines Einrichtungstyps in einem größeren zeitlichen Umkreis eines Baublocks und fällt damit in die höchste Kategorie (25 bis 30 Minuten). Denn je großer die Zeitschranke ist, desto größer ist das Gebiet, welches in dieser Zeit erschlossen werden kann. Dadurch befindet sich die größte Anzahl der gesuchten Ziele mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in der höchsten Kategorie, wodurch sich auch die durchschnittliche Reisezeit mit hoher Wahrscheinlichkeit innerhalb einer hohen/de höchsten Zeitkategorie befindet. Die Verteilung der Baublocks hinsichtlich der durchschnittlichen Reisezeit zu allen Einrichtungen eines Einrichtungstyps ist deswegen nur anhand der Diagramme ersichtlich und wird nicht in zusätzlichen Kartendarstellungen abgebildet.

10.1.3.1. Erreichbarkeit von Apotheken

Parameter/Ergebnis	Festlegung/Wert
Tagestyp:	Wochentag
Tageszeit:	09:00 – 11:00 Uhr
Anzahl der Apotheken:	311
Anzahl der Quell-Ziel-Verbindungen:	129.622
Minimalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Apotheken:	0
Maximalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Apotheken:	86
Mittelwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Apotheken:	6,84
Medianwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Apotheken:	3
Standardabweichung der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Apotheken:	9,42

Minimalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Apotheken:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Apotheken:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Apotheken:	22,86 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Apotheken:	25,69 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Apotheken:	8,4 Minuten
Minimalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Apotheken:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Apotheken:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Apotheken:	14 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Apotheken:	13,46 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Apotheke:	8,33 Minuten

Tabelle 25: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Apotheken, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Apotheken sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Apotheke je Baublock.

In der Kartendarstellung der Abbildung 53 erkennt man eine flächenmäßige und relativ homogene Verteilung der Einrichtungen im Stadtgebiet. Zwar ist eine Konzentration von Apotheken an bestimmten Standorten - wie etwa dem Stadtzentrum oder kleineren urbanen Subzentren - erkennbar, jedoch ist diese schwächer ausgeprägt als bei anderen Einrichtungen, wie beispielsweise Bankfilialen (vgl. Kapitel 10.1.3.2). Ein Faktor für die räumliche Dispersion der Standorte ist das Österreichische Apothekengesetz, welches nach §10, Abs. 2 die Errichtung einer Apotheke verbietet, wenn sich innerhalb von 500m um den Standort eine weitere Apotheke befindet und wenn die Errichtung der Apotheke bei der nächstgelegenen Apotheke zu einen Rückgang an „weiterhin zu versorgenden Personen“ auf unter 5.500 Personen führt. Auch peripher gelegene Baublocks weisen – verglichen mit anderen Einrichtungstypen – eine relativ gute Erreichbarkeitsqualität bezüglich Apotheken auf.

Apothekenstandorte

- Apotheken
- Bezirksgrenzen
- Gewässer, Wald und Schutzgebiete

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019

Quellen:
1) Landesgrenze Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/86c29af5-c52c-423d-8764-82c1bb037936
2) Apothekenstandorte in Wien: OSM-Daten exportiert mittels Overpass Turbo, URL: https://overpass-turbo.eu/
3) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
4) Bezirksgrenzen Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/2ee6b8bf-6292-413c-bb8b-bd22dbb2ad4b

Abbildung 53: Apothekenstandorte in Wien.

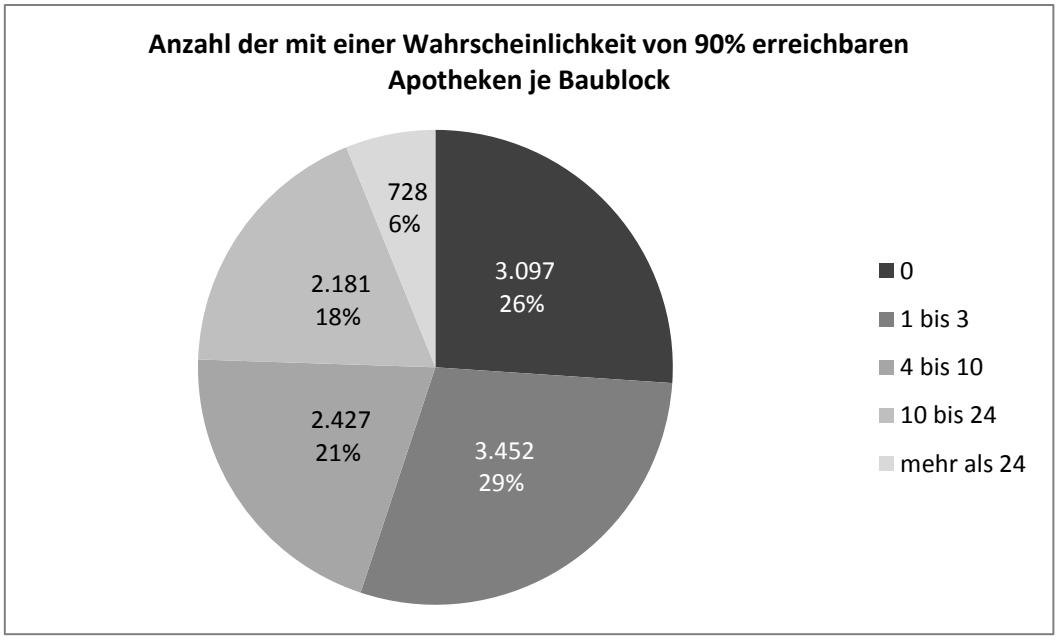


Abbildung 54: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Apotheken.

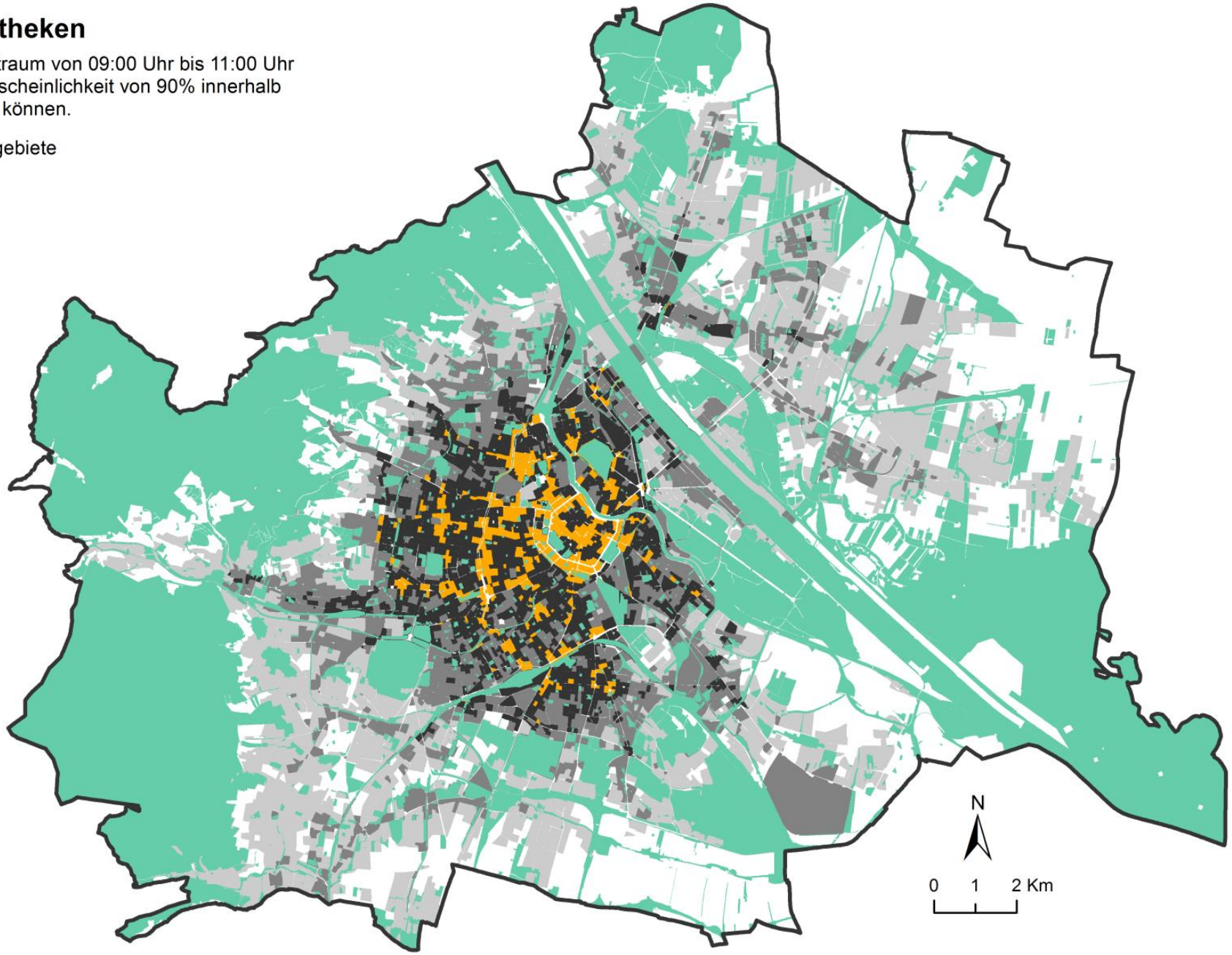
Anhand Abbildung 54 ist zu erkennen, dass rund ein Drittel aller Baublocks mit 90%iger Wahrscheinlichkeit zumindest eine Apotheke innerhalb einer halben Stunde erreichen können. 26% der Baublocks erreichen mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% keine einzige Apotheke. Eine geringe Anzahl an Baublocks, die lediglich 6% der Gesamtheit ausmachen, erreichen mehr als 24 Apotheken in derselben Zeitspanne. Diese Extremwerte verzerren den Mittelwert zu sehr, so dass es zielführender ist, den Median von 3 als durchschnittliche Anzahl an Apotheken die mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreicht werden können herzunehmen.

Anzahl erreichbarer Apotheken

Die Anzahl an Apotheken, die im Zeitraum von 09:00 Uhr bis 11:00 Uhr an einem Wochentag mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% innerhalb einer halben Stunde erreicht werden können.

- Gewässer, Wald und Schutzgebiete
- 0
- 1 - 3
- 4 - 10
- 11 - 24
- 25 - 86

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 55: Die Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbaren Apotheken.

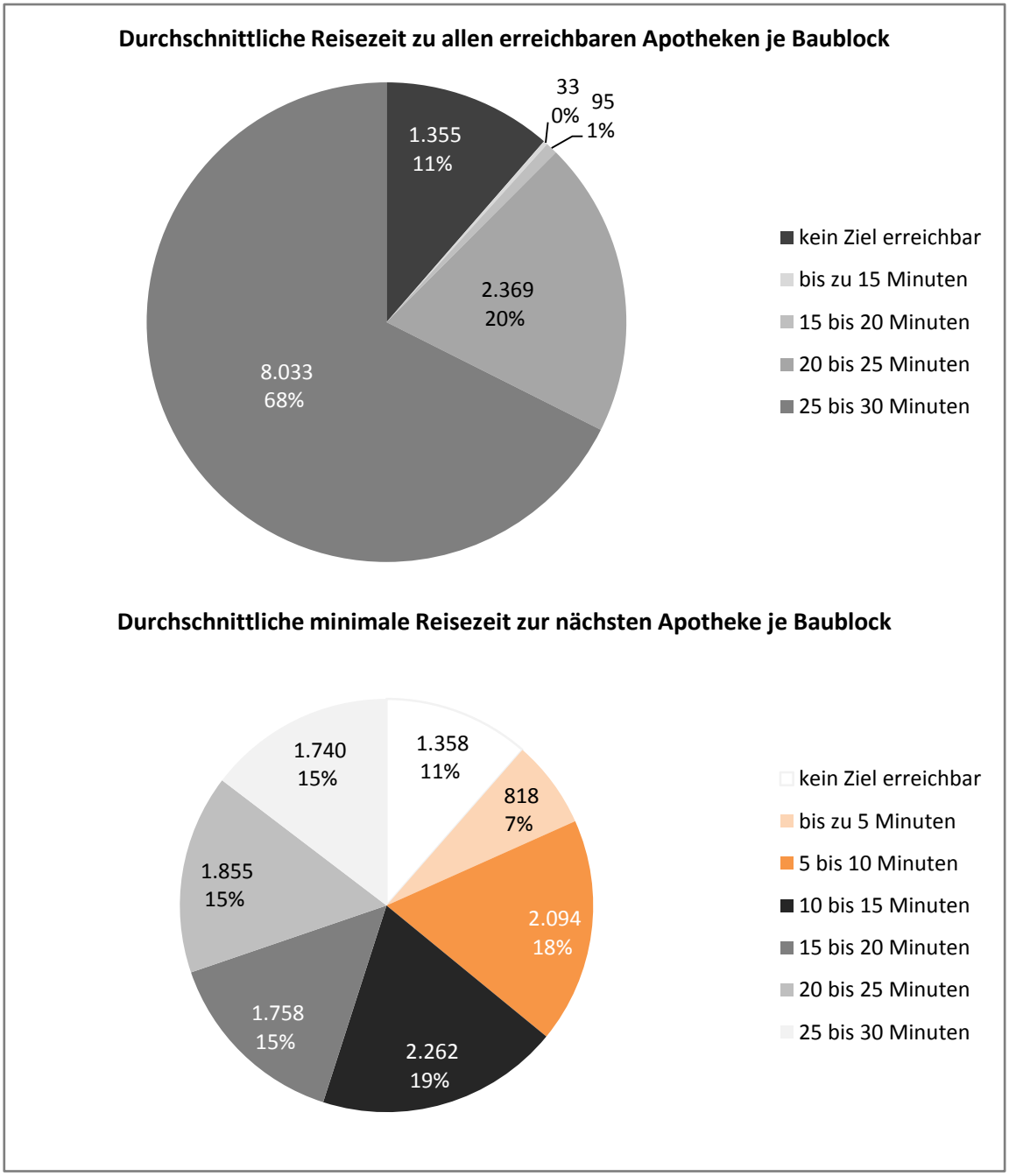
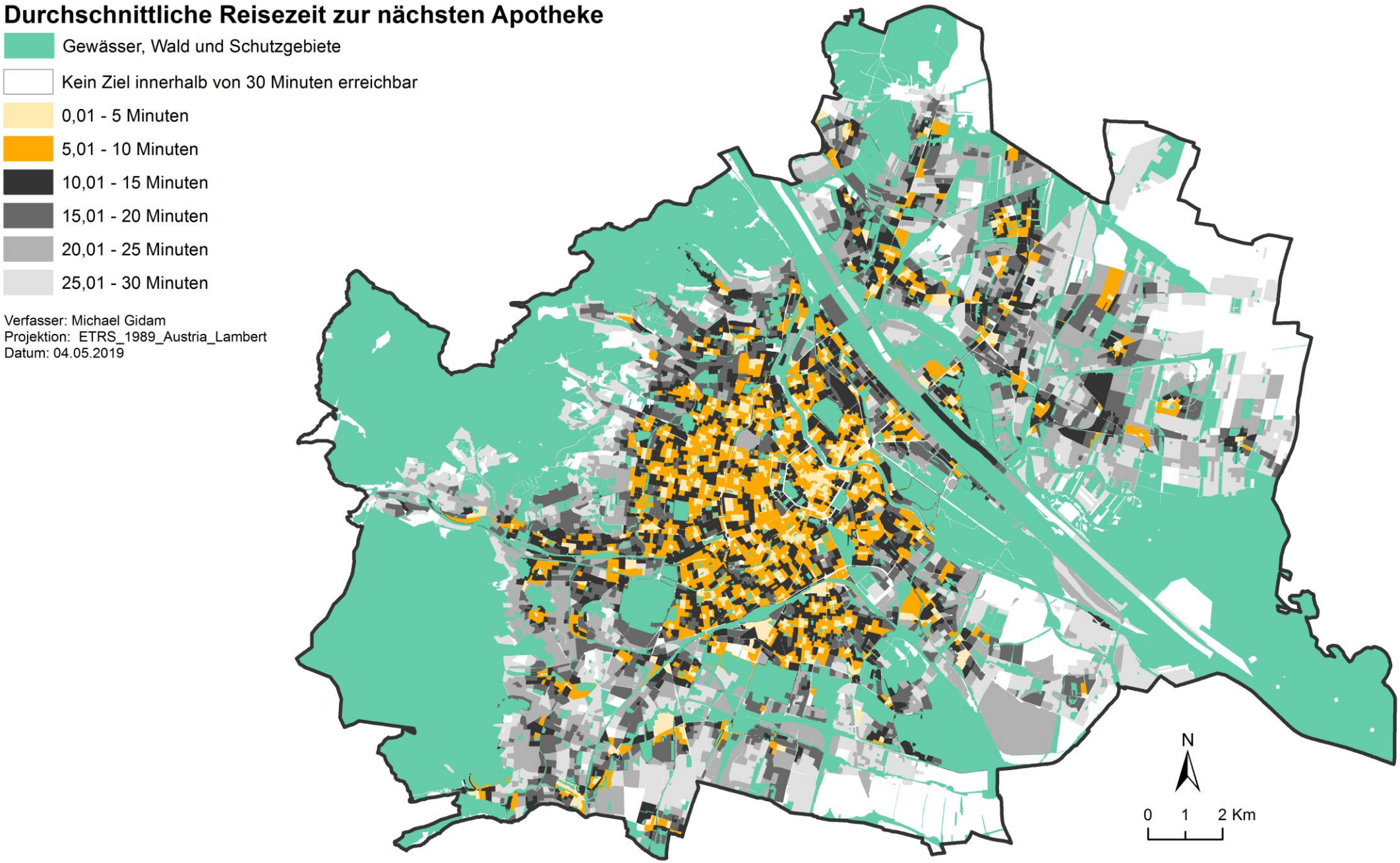


Abbildung 56: Baublocksumme kategorisiert nach der durchschnittliche Reisezeit zu allen bzw. zur nächsten Apotheke.

Die gleichmäßige Verteilung der Einrichtungen führt zu einer flächenmäßig guten Erreichbarkeit von Apotheken. Die Anteile der einzelnen Kategorien sind in vergleichbarem Ausmaß ausgeprägt. Auch in der Karte der Abbildung 57 ist dies gut zu erkennen. Auch in Baublocks fern des Zentrums ist es nicht sehr unwahrscheinlich innerhalb von 10 Minuten eine Apotheke erreichen zu können. Dies spiegelt sich auch im vergleichsweise niedrigen Mittel- und Medianwert (14 und 13,46 Minuten) hinsichtlich der durchschnittlichen Reisezeit zur nächsten Apotheke wider.



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 57: Die durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Apotheke.

10.1.3.2. Erreichbarkeit von Bankfilialen

Parameter/Ergebnis	Festlegung/Wert
Tagestyp:	Wochentag
Tageszeit:	09:00 – 11:00 Uhr
Anzahl der Bankfilialen:	310
Anzahl der Quell-Ziel-Verbindungen:	157.204
Minimalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Bankfilialen:	0
Maximalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Bankfilialen:	134
Mittelwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Bankfilialen:	8,56
Medianwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Bankfilialen:	3
Standardabweichung der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Bankfilialen:	13,95
Minimalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Bankfilialen:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Bankfilialen:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Bankfilialen:	22,28 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Bankfilialen:	25,93 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Bankfilialen:	9,42 Minuten
Minimalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Bankfiliale:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Bankfiliale:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Bankfilialen:	15,08 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Bankfiliale:	16, 15 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zur nächsten Bankfiliale:	9, 32 Minuten

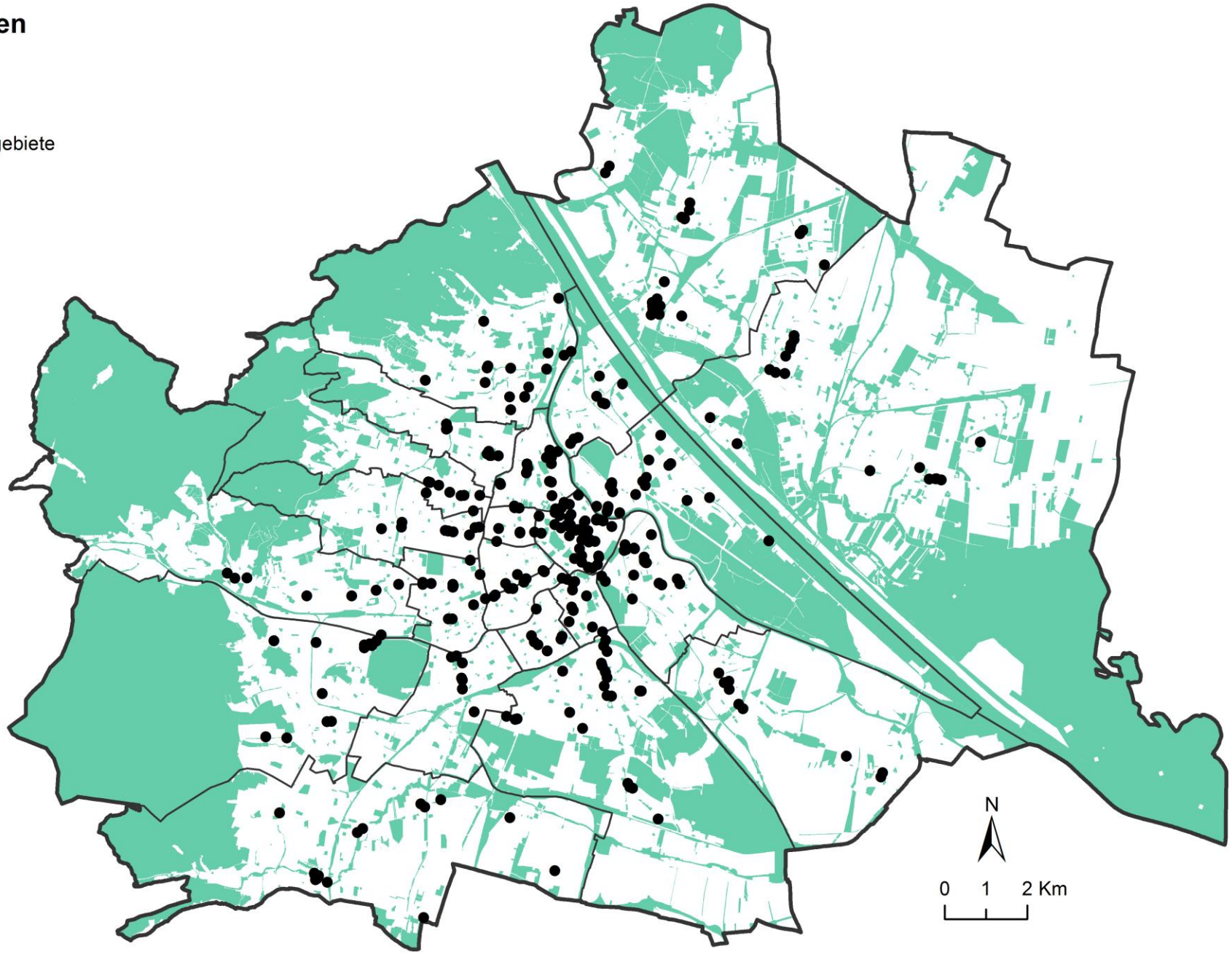
Tabelle 26: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Bankfilialen, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Bankfilialen sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Bankfiliale je Baublock.

In Abbildung 58 ist zu erkennen, dass die Einrichtungen räumlich sehr konzentriert sind. Die Standorte sind besonders im Stadtzentrum sowie urbanen Subzentren und entlang hochfrequentierter Verkehrsachsen gelegen. Bei dem Vergleich der Karte mit den Karten sämtlicher anderen untersuchten Einrichtungstypen zur selben Thematik fällt auf, dass die räumliche Konzentration der Einrichtungen im Fall der Bankfilialen am ausgeprägtesten ist. Der Zentrumsbereich der Stadt ist der Bereich an dem aufgrund der hohen Dichte an Bankfilialen die meisten Ausreißer-Werte zu vermuten sind.

Standorte von Bankfilialen

- Bankfilialen
- Bezirksgrenzen
- Gewässer, Wald und Schutzgebiete

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Landesgrenze Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/86c29af5-c52c-423d-8764-82c1bb037936
2) Bankfilialenstandorte in Wien: OSM-Daten exportiert mittels Overpass Turbo, URL: https://overpass-turbo.eu/
3) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
4) Bezirksgrenzen Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/2ee6b8bf-6292-413c-bb8b-bd22dbb2ad4b

Abbildung 58:Standorte von Bankfilialen in Wien.

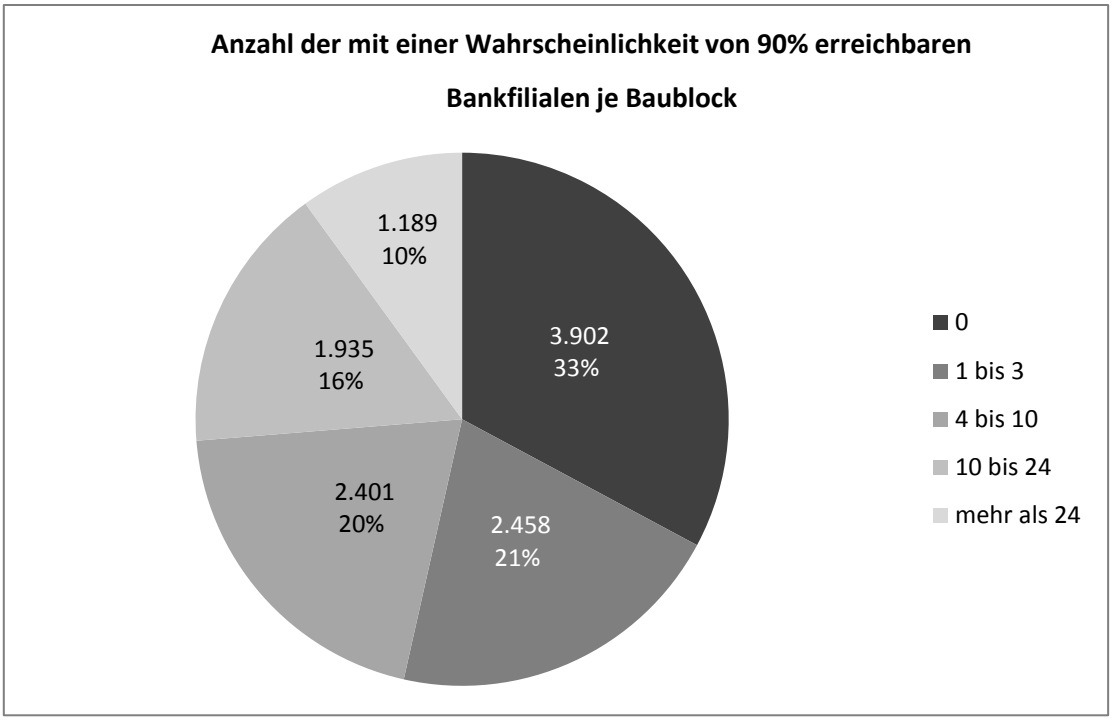


Abbildung 59: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Bankfilialen.

Aus Abbildung 60 wird ersichtlich, dass sich die Baublocks, von denen aus eine hohe Anzahl an Bankfilialen erreichbar ist in den Zentren und Sub-Zentren der Stadt befinden. Je peripherer die Baublocks gelegen sind, desto geringer ist die Anzahl der erreichbaren Bankfilialen.

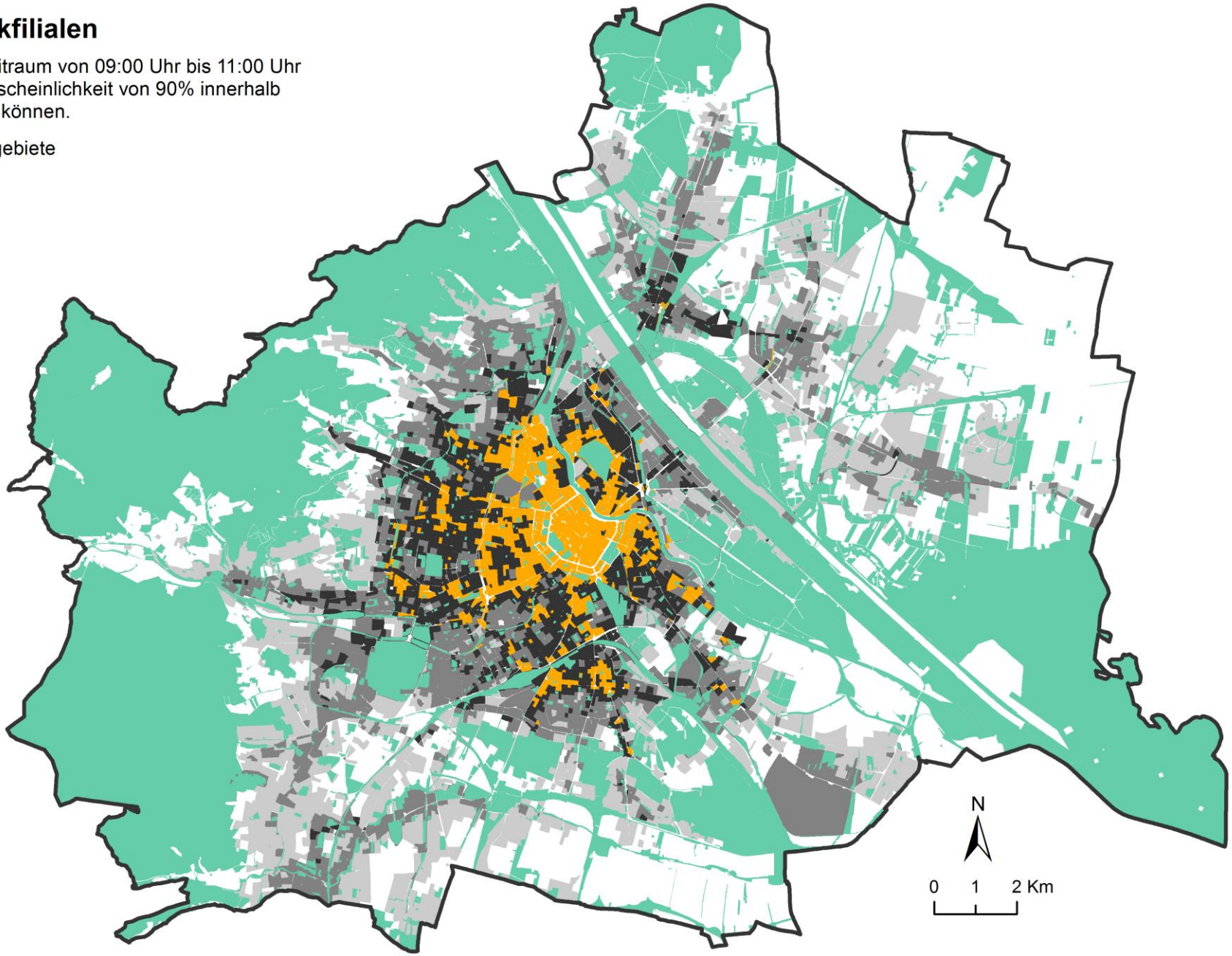
Im untersuchten Zeitraum können 3.902 Baublocks in 90% der Fälle keine einzige Bankfiliale innerhalb einer halben Stunde erreichen. Dies sind mit 32,8% ein Drittel der Baublocks in Wien (vgl. Abbildung 59). 57,2% der Werte befinden sich im Bereich zwischen 1 und 24 erreichbaren Bankfilialen, während sich 10% der Baublocks in der Kategorie von 25 bis 134 erreichbaren Bankfilialen befinden. Darin wird die große Streuung der Werte sowie die das Vorhandensein einiger weniger Extremwerte ersichtlich. Aus diesem Grund ist es sinnvoller den Median anstatt den Mittelwert als Durchschnittswert für die erreichten Bankfilialen je Baublock zu betrachten. Demnach sind von jedem Baublock aus im Durchschnitt 3 Bankfilialen innerhalb einer halben Stunde erreichbar.

Anzahl erreichbarer Bankfilialen

Die Anzahl an Bankfilialen, die im Zeitraum von 09:00 Uhr bis 11:00 Uhr an einem Wochentag mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% innerhalb einer halben Stunde erreicht werden können.

- Gewässer, Wald und Schutzgebiete
- 0
- 1 - 3
- 4 - 10
- 11 - 24
- 25 - 134

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 60: Die Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbaren Bankfilialen je Baublock.

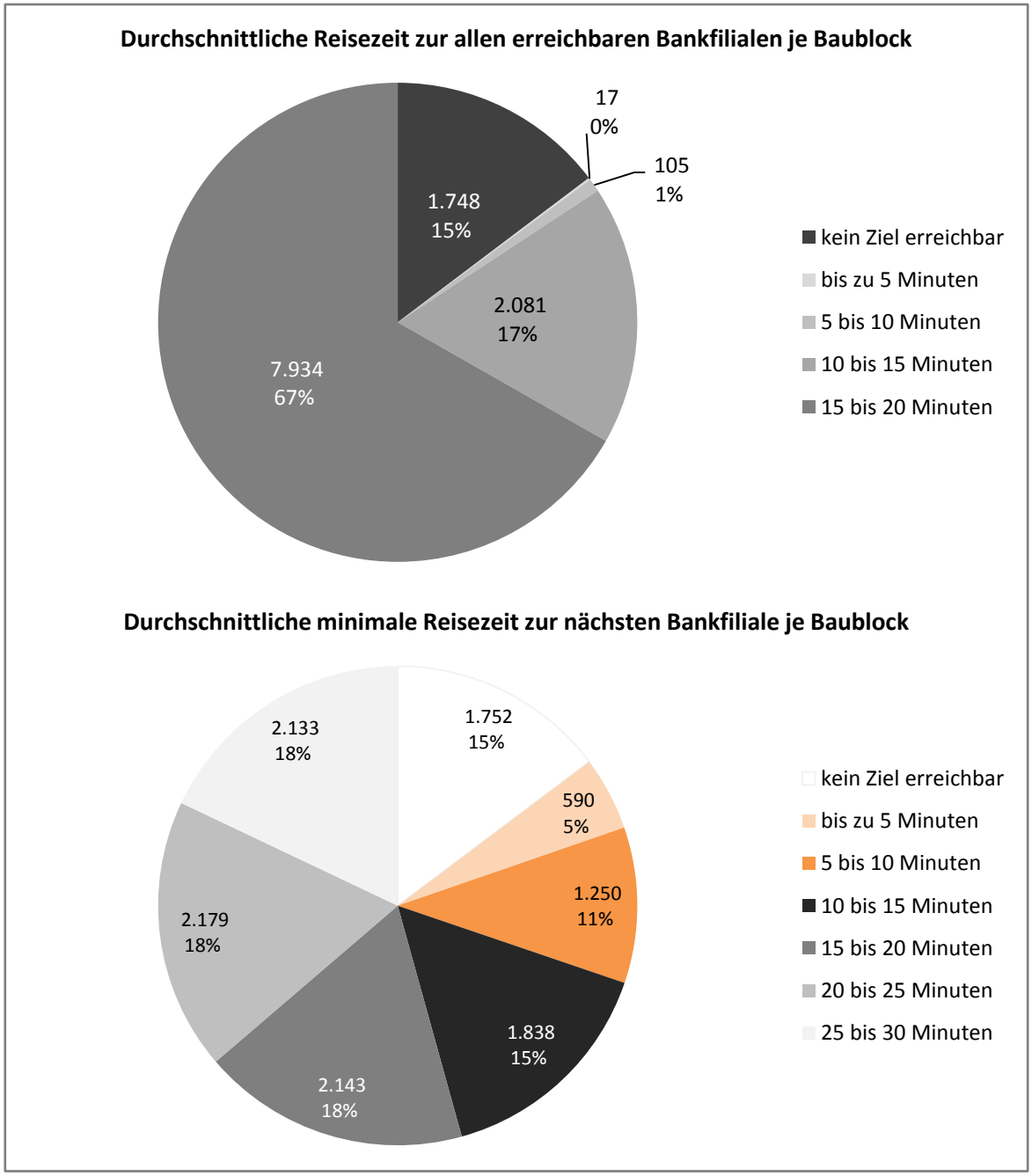
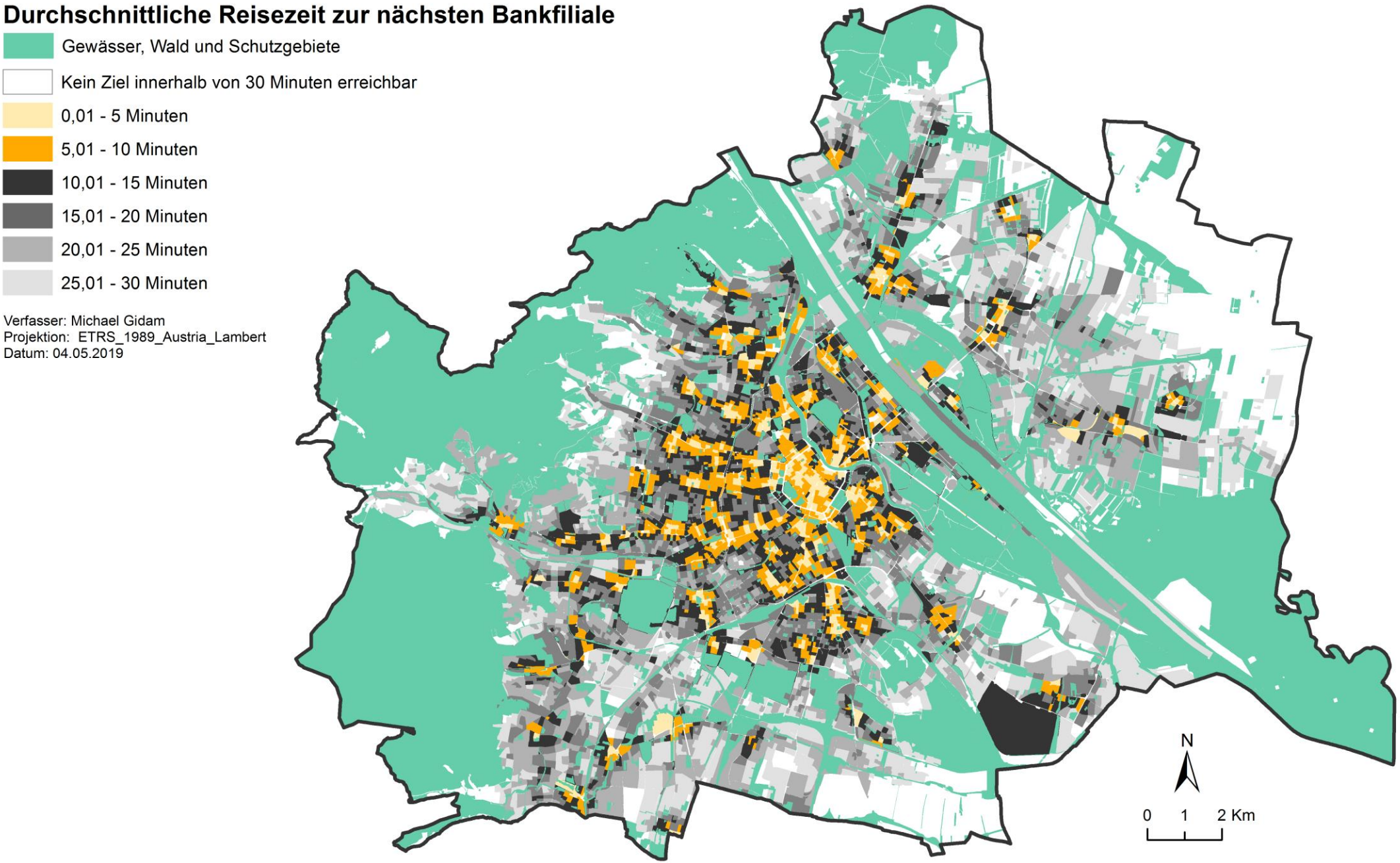


Abbildung 61: Baublocksumme kategorisiert nach der durchschnittlichen Reisezeit zu allen bzw. zur nächsten Bankfiliale.

Anhand der zeitlichen Kategorisierung der Baublocks hinsichtlich der durchschnittlichen Reisezeit zur nächstgelegenen Einrichtung lässt sich eine relativ gute, jedoch nicht gleichmäßige Verteilung der Bankfilialen in der Stadt annehmen. 49% der Baublocks haben die Möglichkeit innerhalb von 20 Minuten die nächstgelegene Bankfiliale zu erreichen. Dies ist nicht zwingend aufgrund der flächendeckenden Verteilung von Filialen, sondern eher aufgrund der gezielten Standortwahl an gut erschlossenen Knotenpunkten, die gut mit dem ÖPNV erreicht werden können der Fall. In der Kartendarstellung (vgl. Abbildung 62) kann dies betrachtet werden.



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 62: Durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Bankfiliale.

10.1.3.3. Erreichbarkeit von Postämtern

Parameter/Ergebnis	Festlegung/Wert
Tagestyp:	Wochentag
Tageszeit:	09:00 – 11:00 Uhr
Anzahl der Postämter:	111
Anzahl der Quell-Ziel-Verbindungen:	43.482
Minimalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Postämtern:	0
Maximalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Postämtern:	26
Mittelwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Postämtern:	2,28
Medianwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Postämtern:	1
Standardabweichung der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Postämtern:	3,12
Minimalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Postämtern:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Postämtern:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Postämtern:	20,99 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Postämtern:	25,54 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Postämtern:	10,25 Minuten
Minimalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Postamt:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Postamt:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Postamt:	15,89 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Postamt:	17,89 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Postamt:	9,8 Minuten

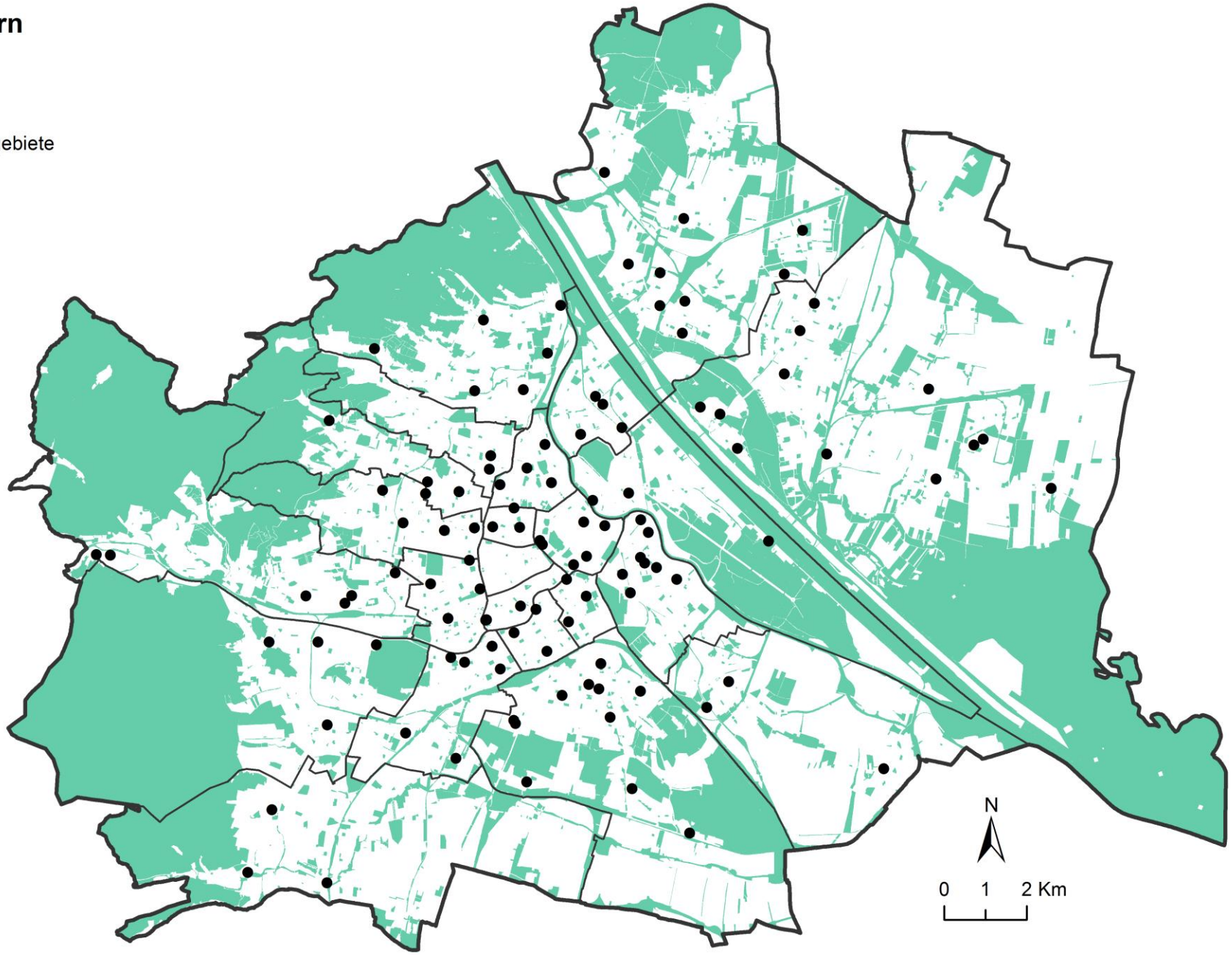
Tabelle 27: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Postämter, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Postämtern sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Postamt je Baublock.

Im Vergleich zu den restlichen Einrichtungstypen ist in Bezug auf Postämter eine spärliche Verteilung im Stadtraum zu erkennen, vor allem in den peripher gelegenen Randzonen der Stadt. Im Bereich um das Zentrum besteht die höchste Dichte an Einrichtungen, auch wenn diese, verglichen mit beispielsweise Bankfilialen, sehr gering ist. Dies kann an der homogenen Angebotsstruktur von Postämtern sowie der Tatsache, dass im engeren Sinn österreichweit nicht mehr als ein Postunternehmen existiert liegen. Im Falle von Bankfilialen sind meist mehrere Filialen unterschiedlicher Banken in relativer Nähe zueinander vorzufinden.

Standorte von Postämtern

- Postämter
- Bezirksgrenzen
- Gewässer, Wald und Schutzgebiete

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Landesgrenze Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/86c29af5-c52c-423d-8764-82c1bb037936
2) Postamtstandorte in Wien: OSM-Daten exportiert mittels Overpass Turbo, URL: https://overpass-turbo.eu/
3) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
4) Bezirksgrenzen Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/2ee6b8bf-6292-413c-bb8b-bd22dbb2ad4b

Abbildung 63: Standorte von Postämtern in Wien.

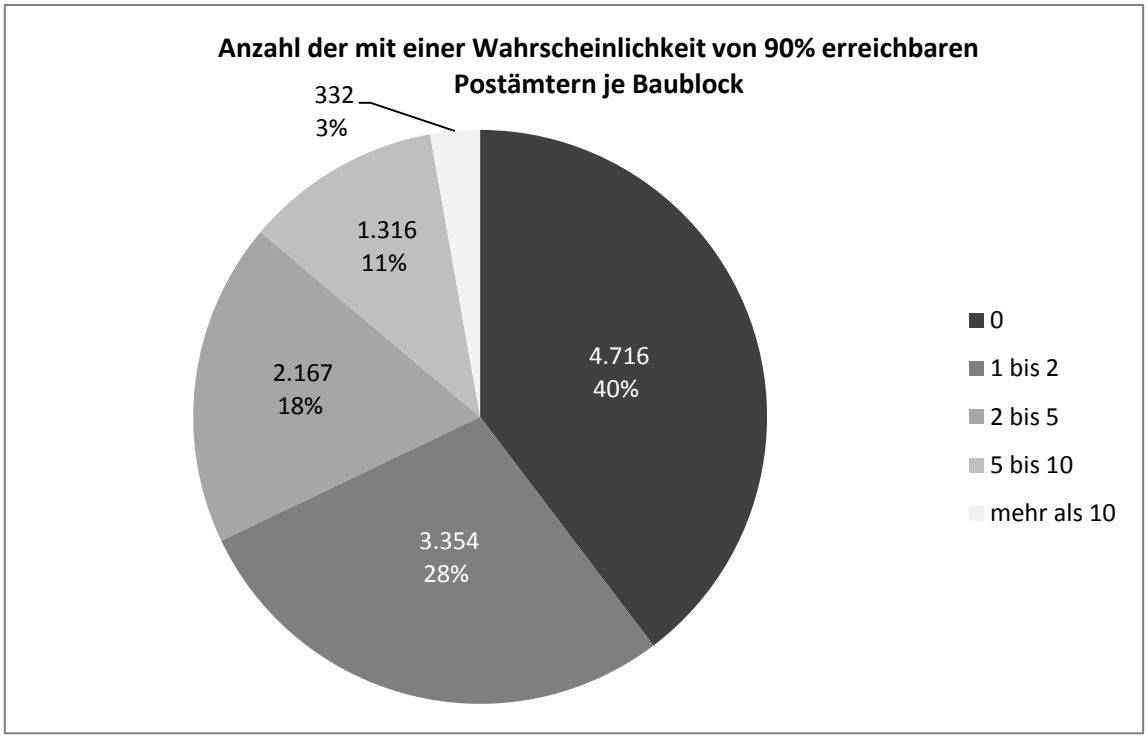


Abbildung 64: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Postämtern.

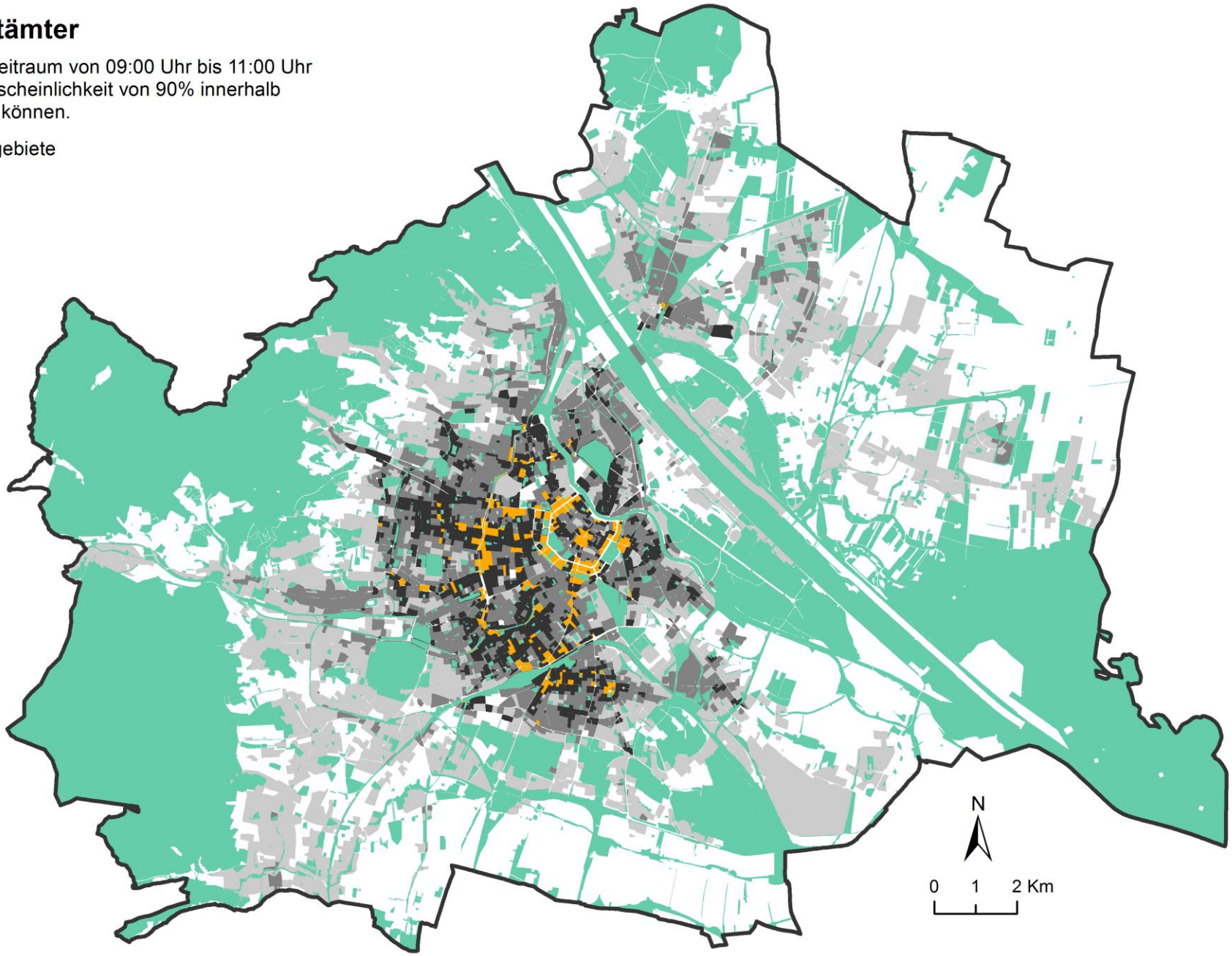
Aufgrund der vergleichsweisen geringen Anzahl an Zielen sowie Quell-Ziel Beziehungen und einer vergleichsweise geringen Zieldichte, vor allem im Zentrum, gibt es im Bereich der Postämter vergleichsweise weniger Ausreißer-Baublocks. Dies führt zu einem überaus geringen Unterschied zwischen dem Mittel- und dem Medianwert für die durchschnittliche Anzahl erreichbarer Einrichtungen je Baublock. Die geringe Einrichtungsanzahl führt auch zu einer geringeren Erreichbarkeit von Postämtern. 40% aller Baublocks erreichen innerhalb von 30 Minuten zu 90% kein einziges Postamt.

Anzahl erreichbarer Postämter

Die Anzahl an Postämternn, die im Zeitraum von 09:00 Uhr bis 11:00 Uhr an einem Wochentag mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% innerhalb einer halben Stunde erreicht werden können.

- Gewässer, Wald und Schutzgebiete
- 0
- 1 - 2
- 3 - 5
- 6 - 10
- 11 - 26

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 65: Die Anzahl von mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbaren Postämtern je Baublock.

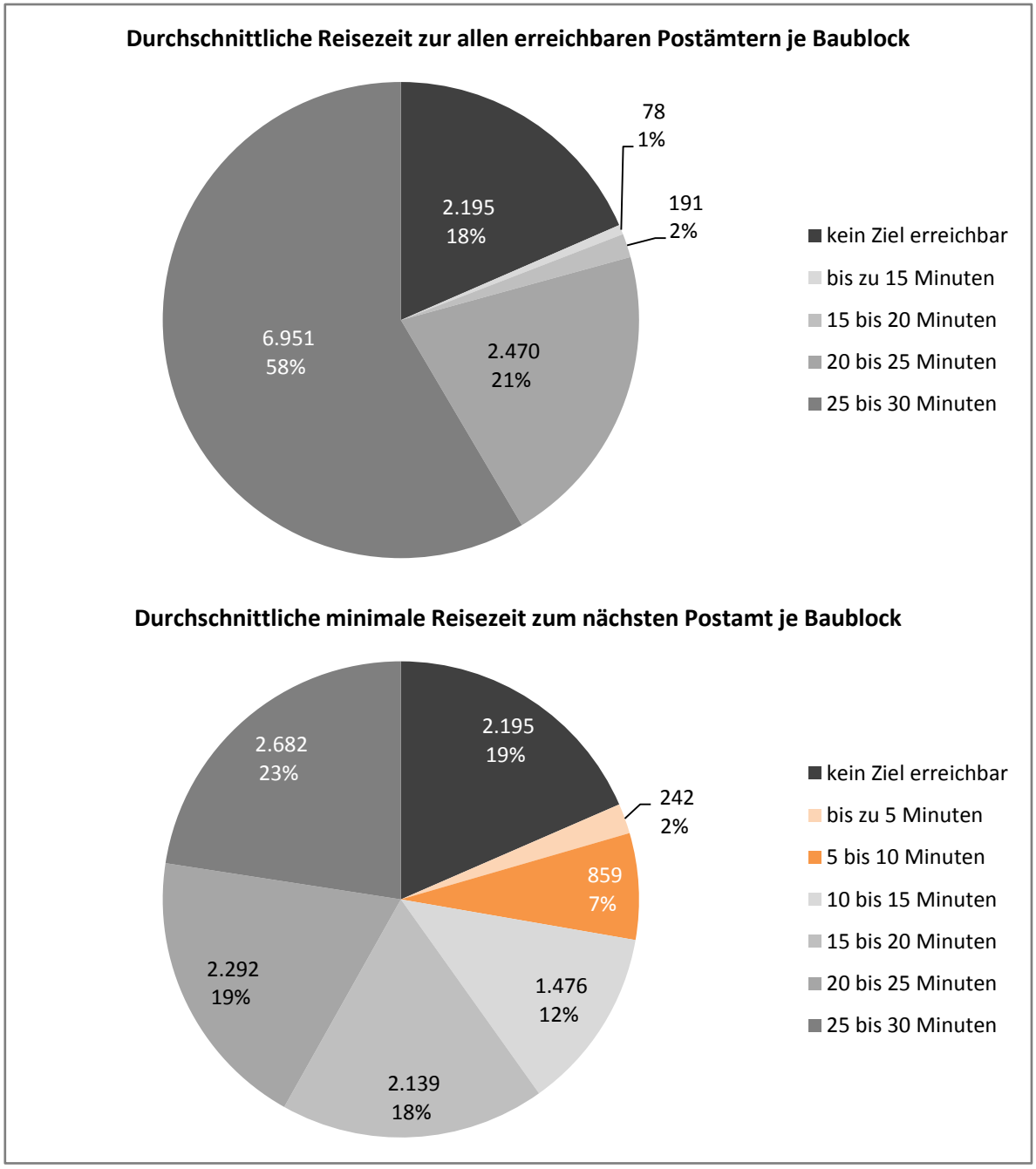
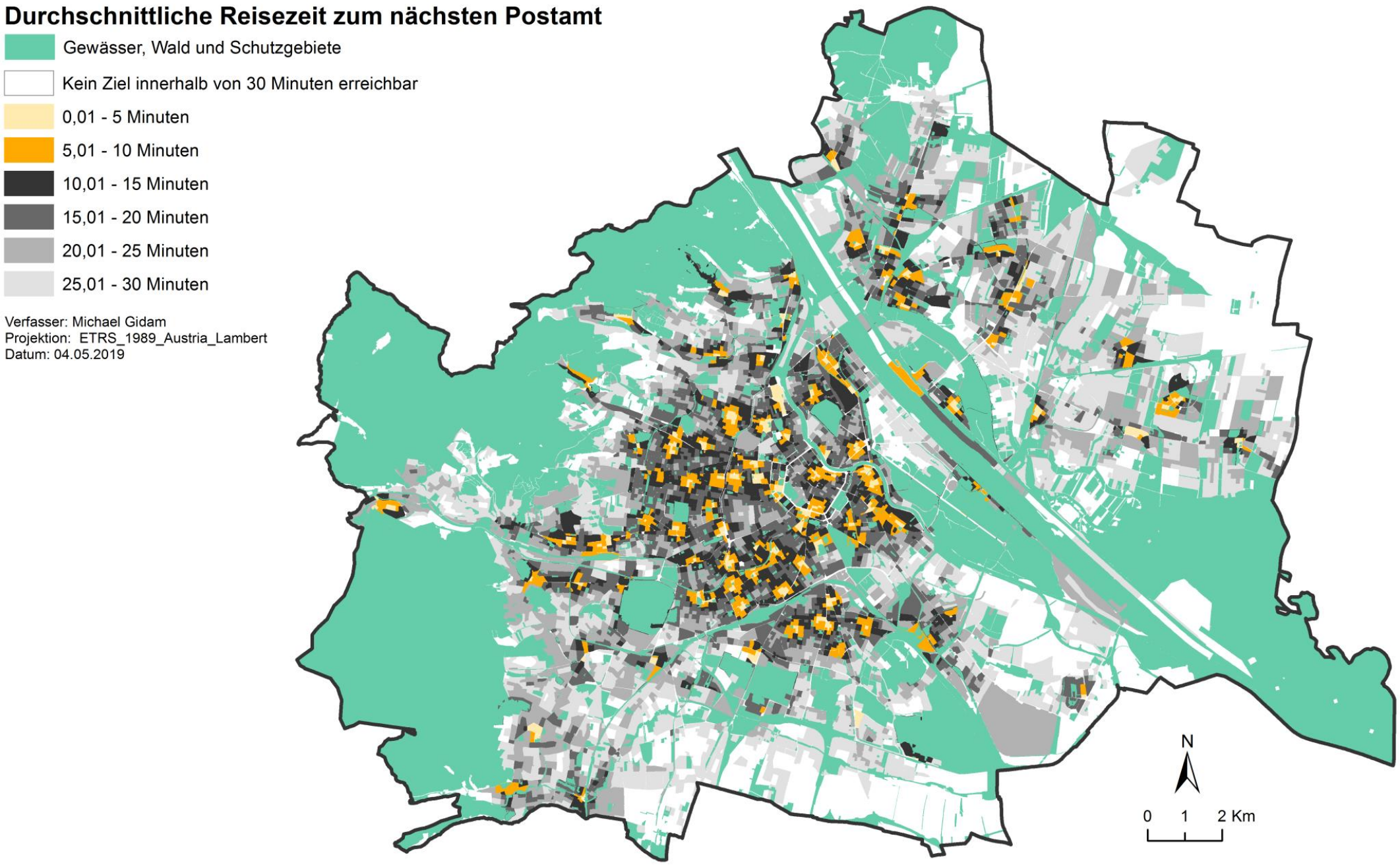


Abbildung 66: Baublocksumme kategorisiert nach der durchschnittlichen Reisezeit zu allen bzw. zum nächsten Postamt.

In der Tatsache dass lediglich 39% der Baublocks die Möglichkeit haben, innerhalb von 20 Minuten zumindest ein Postamt zu erreichen, ist eine gewisse räumliche Konzentration von Postämtern im Wiener Stadtgebiet erkennbar, auch wenn diese nicht hoch ist. Dennoch befindet sich der überwiegende Teil der Einrichtungen in Zentrumsnähe, während in weiter entfernt gelegenen Gebieten der Stadt die Verteilung von Postämtern stark abnimmt (vgl. Abbildung 67). Auch in der folgenden Kartendarstellung ist dies am der hellen Einfärbung der zentrumsnahen Baublocks gut erkennbar. Verglichen mit den Kartendarstellungen desselben Sachverhalts im Bereich der Apotheken und Bankfilialen, ist allerdings der Anteil an Baublocks, die innerhalb von 5 bzw. 10 Minuten eine Postfiliale erreichen können wesentlich kleiner.



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 67: Die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Postamt.

10.1.3.4. Erreichbarkeit von Glaubenshäusern

Parameter/Ergebnis	Festlegung/Wert
Tagestyp:	Sonntag
Tageszeit:	09:00 – 11:00 Uhr
Anzahl der Glaubenshäuser:	620
Anzahl der Quell-Ziel-Verbindungen:	128.023
Minimalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Glaubenshäuser:	0
Maximalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Glaubenshäuser:	99
Mittelwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Glaubenshäuser:	6,79
Medianwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Glaubenshäuser:	3
Standardabweichung der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Glaubenshäuser:	10,36
Minimalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Glaubenshäusern:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Glaubenshäusern:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Glaubenshäusern:	22,88 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Glaubenshäusern:	25,7 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Glaubenshäusern:	7,92 Minuten
Minimalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus:	14,1 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus:	14,23 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus:	8,54 Minuten

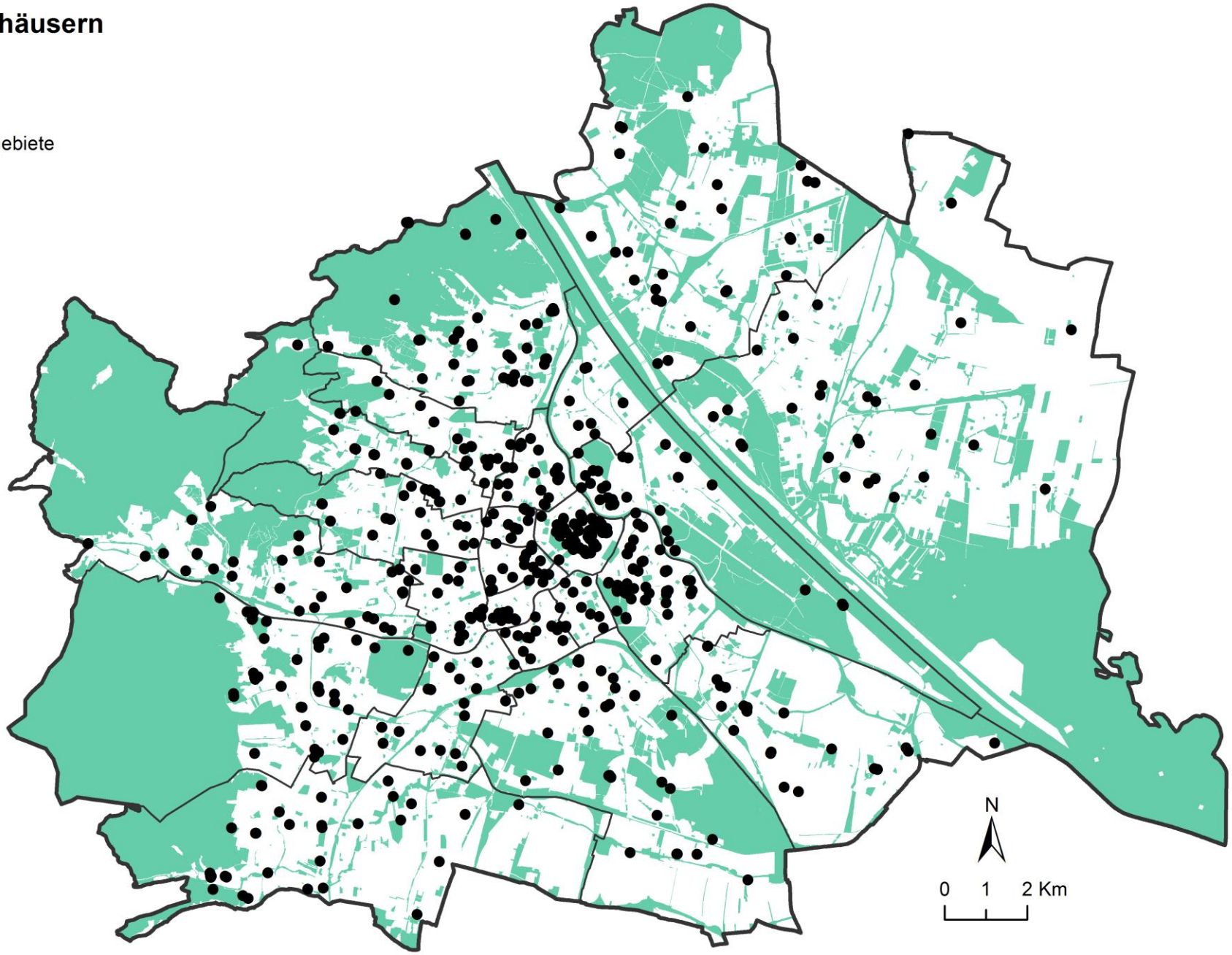
Tabelle 28: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Glaubenshäuser, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Glaubenshäusern sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus je Baublock.

In Abbildung 68 ist erkennbar, dass die Glaubenshäuser zwar im Stadtzentrum in hoher Dichte vorkommen, insgesamt jedoch sehr gleichmäßig in der Stadt verteilt sind, auch in den peripher gelegenen Gebieten. Im Nordosten, in jenen Bezirken die durch die Donau vom Zentrum getrennt sind, ist die Verteilung der Glaubenshäuser jedoch sichtbar disperser als im Rest der Stadt. Die höchste Kategorie der Anzahl erreichbarer Glaubenshäuser wird nur von Baublocks im Zentrum der Stadt, innerhalb des Gürtels, erreicht. Hier herrscht - historisch bedingt - die höchste Dichte religiöser Gebäude und Einrichtungen vor.

Standorte von Glaubenshäusern

- Glaubenshäuser
- Bezirksgrenzen
- Gewässer, Wald und Schutzgebiete

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Landesgrenze Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/86c29af5-c52c-423d-8764-82c1bb037936
2) Glaubenshäuser in Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/19987402-b592-41d5-89f7-fab3ab43fa54
3) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
4) Bezirksgrenzen Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/2ee6b8bf-6292-413c-bb8b-bd22dbb2ad4b

Abbildung 68: Standorte von Glaubenshäusern in Wien.

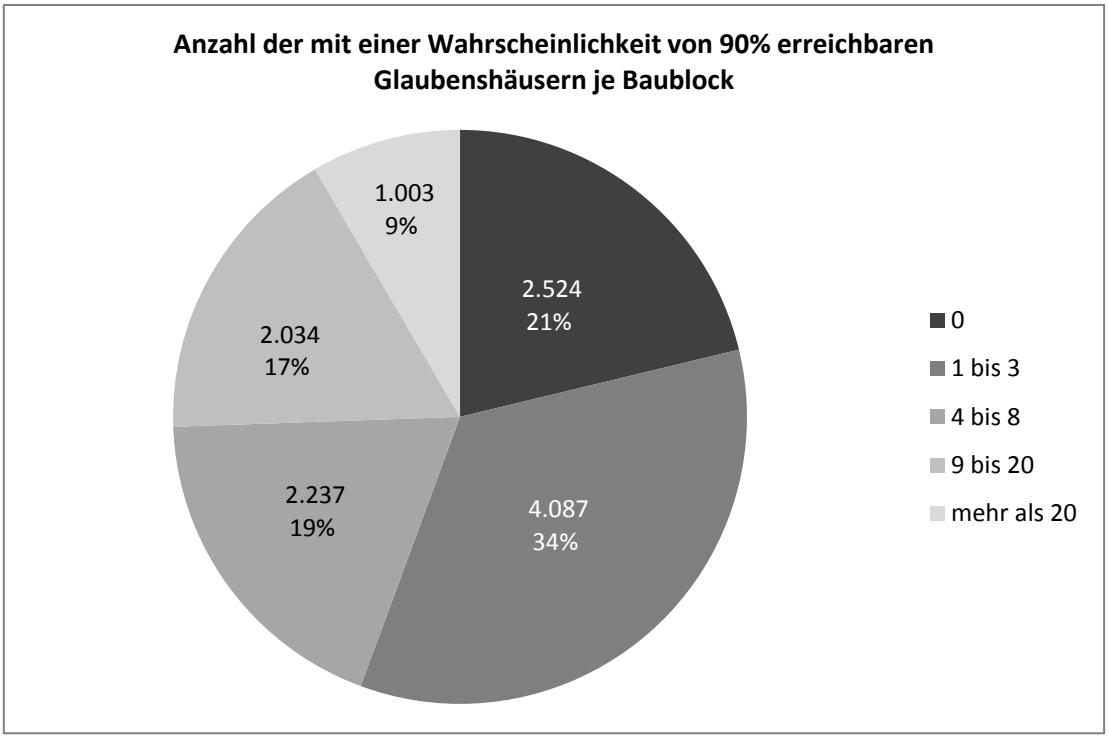


Abbildung 69: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Glaubenshäuser.

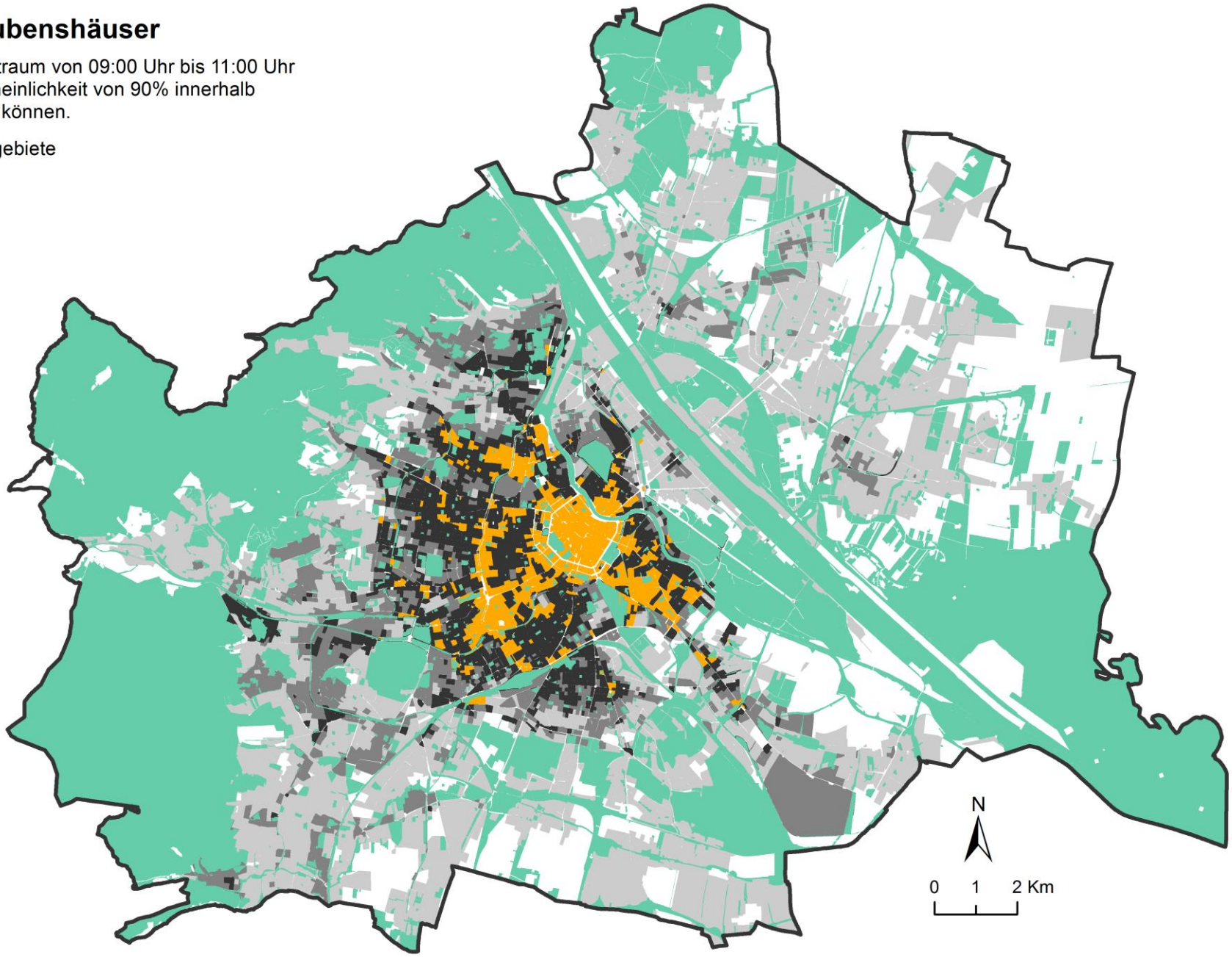
Die große Mehrheit der Baublocks erreicht innerhalb von 30 Minuten zu 90% zumindest ein Glaubenshaus. 34% aller Baublocks befinden sich in der Kategorie 1-3. Dies macht den Einrichtungstyp der Glaubenshäuser zu jenem, der von allen untersuchten Typen am ehesten erreichbar ist. Dies lässt sich außerdem in den geringen durchschnittlichen Fahrzeiten und den vergleichsweise geringen Standardabweichungen ausmachen. Aus den statistischen Werten lässt sich bereits eine relativ gleichmäßige Streuung der Glaubenshäuser im Stadtgebiet erahnen.

Anzahl erreichbarer Glaubenshäuser

Die Anzahl an Friedhöfen, die im Zeitraum von 09:00 Uhr bis 11:00 Uhr an einem Sonntag mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% innerhalb einer halben Stunde erreicht werden können.

- Gewässer, Wald und Schutzgebiete
- 0
- 1 - 4
- 5 - 8
- 9 - 20
- 21 - 99

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 70: Die Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbaren Glaubenshäuser je Baublock.

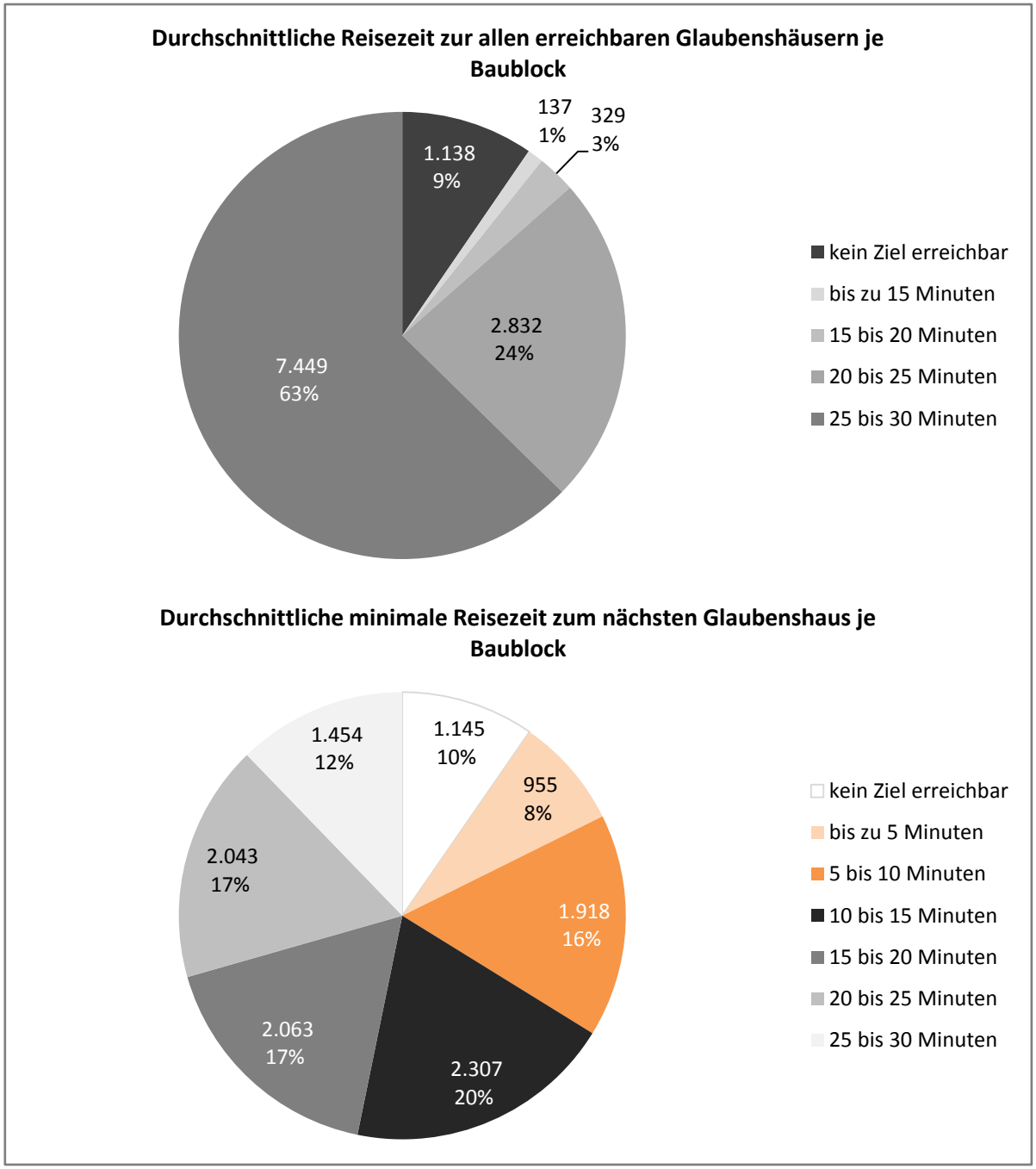
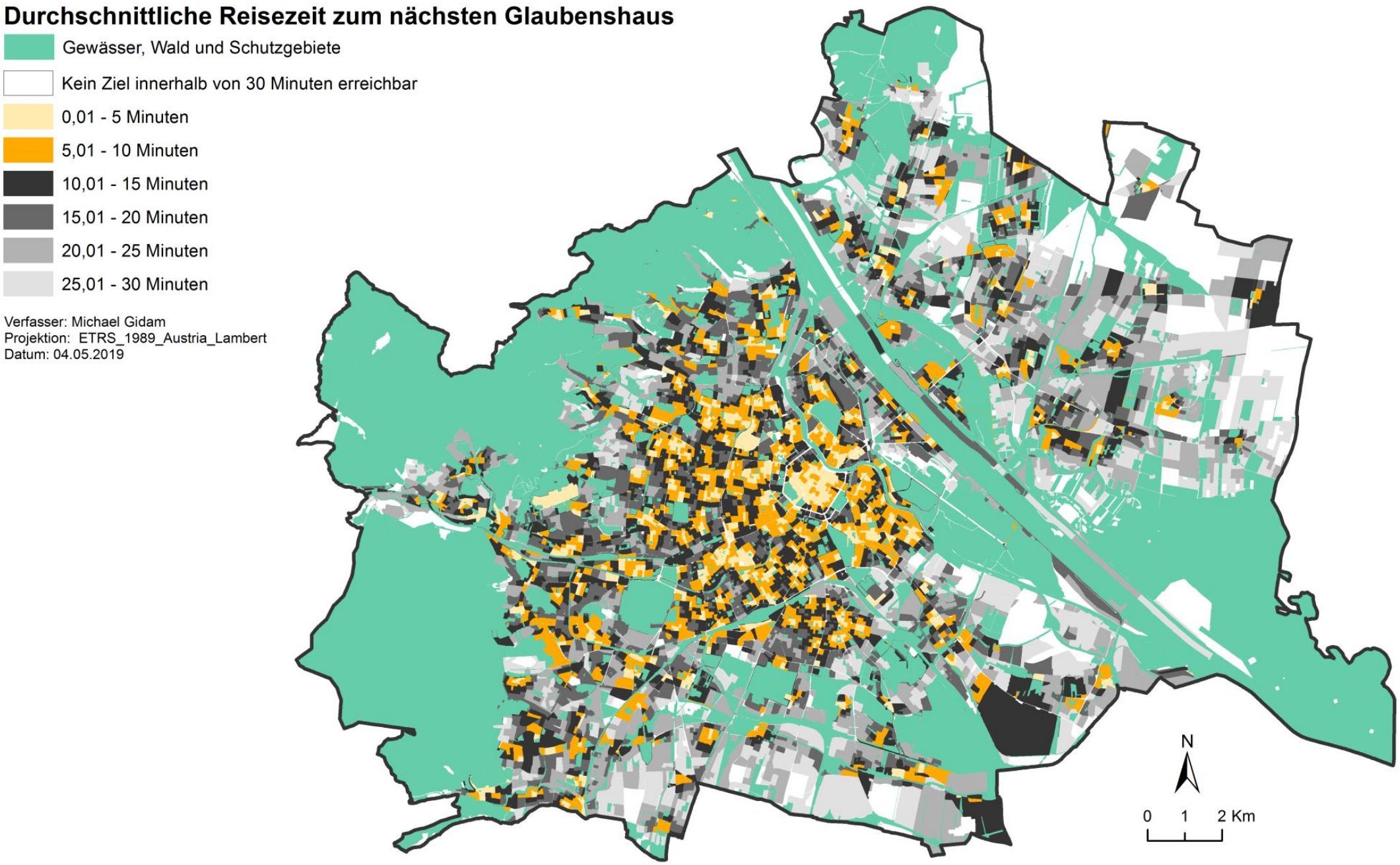


Abbildung 71: Baublocksumme kategorisiert nach der durchschnittlichen Reisezeit zu allen bzw. zum nächsten Glaubenshaus.

Ähnlich wie im Fall der Erreichbarkeit von Apotheken, ergibt sich aus der nahezu gleichmäßigen Verteilung der Einrichtungen eine relativ gleichmäßige Verteilung der Baublocks auf die einzelnen Zeitkategorien. Auch viele peripher gelegene Baublocks können hier innerhalb von 10 Minuten zumindest ein Glaubenshaus erreichen.



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

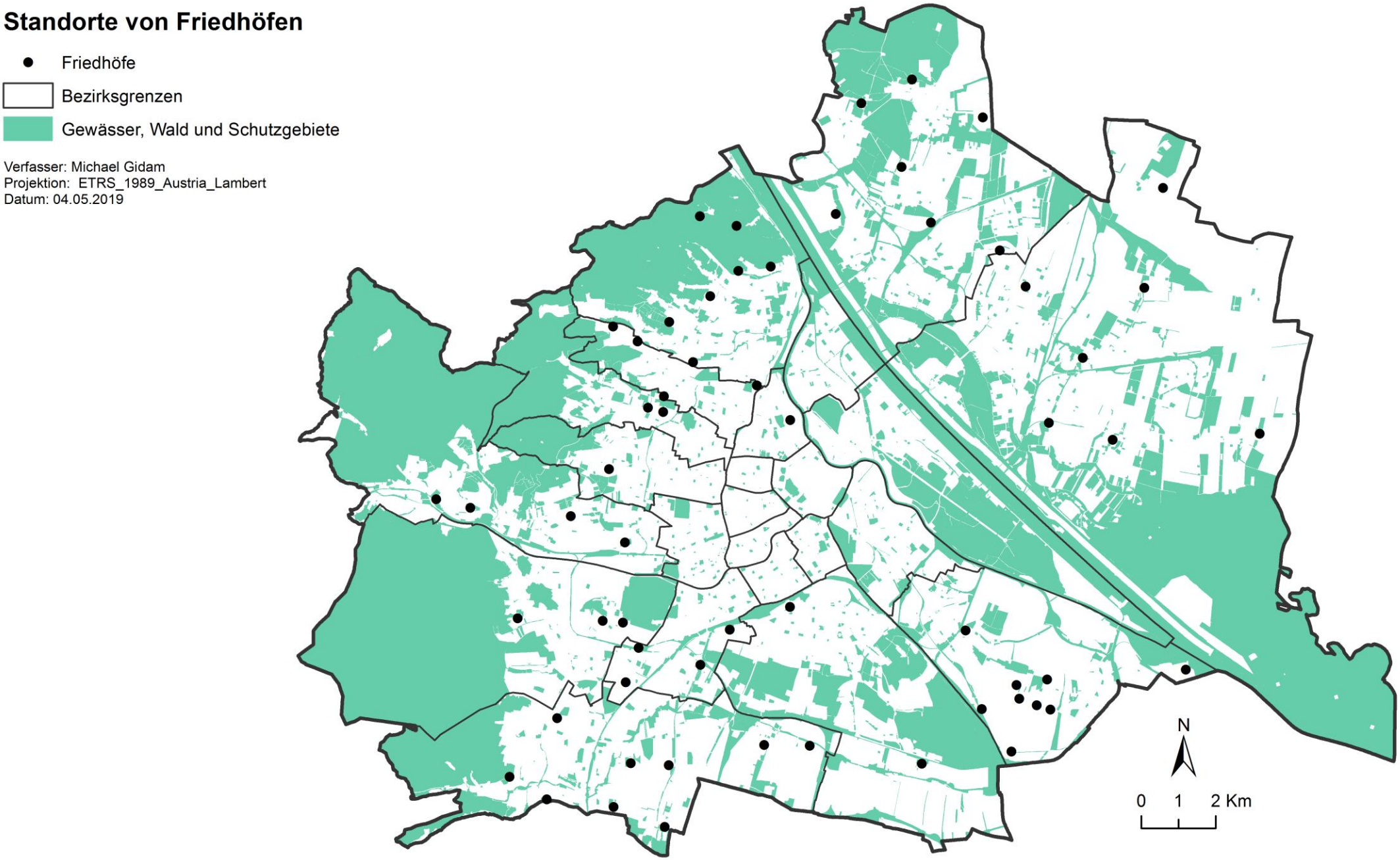
Abbildung 72: Die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus.

10.1.3.5. Erreichbarkeit von Friedhöfen

Parameter/Ergebnis	Festlegung/Wert
Tagestyp:	Sonntag
Tageszeit:	14:00 – 16:00 Uhr
Anzahl der Friedhöfe:	60
Anzahl der Quell-Ziel-Verbindungen:	5.452
Minimalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Friedhöfe:	0
Maximalwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Friedhöfe:	5
Mittelwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Friedhöfe:	0,28
Medianwert der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Friedhöfe:	0
Standardabweichung der Anzahl der mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% erreichbaren Friedhöfe:	0,56
Minimalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Friedhöfen:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Friedhöfen:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Friedhöfen:	15,26 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Friedhöfen:	22,59 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen Reisezeit zu allen erreichbaren Friedhöfen:	13 Minuten
Minimalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Friedhof:	0 Minuten
Maximalwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Friedhof:	30 Minuten
Mittelwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Friedhof:	14,39 Minuten
Medianwert der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Friedhof:	19,29 Minuten
Standardabweichung der durchschnittlichen minimalen Reisezeit zum nächsten Friedhof:	12,59 Minuten

Tabelle 29: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Friedhöfe, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Friedhöfen sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Friedhof je Baublock.

Generell sind Friedhöfe fern von Zentrumsbereichen und Knotenpunkten gelegen, was deren Erreichbarkeit zwangsläufig verschlechtert. Hochrangige öffentliche Verkehrsmittel wie U-Bahnen erschließen diese Gebiete bzw. Einrichtungen wie Friedhöfe nicht gezielt. Oft wurden Friedhöfe aus historischen Gründen an ganz bestimmten Orten angelegt. Eine Verlagerung ist nicht möglich, wie dies bei sämtlichen anderen untersuchten Einrichtungstypen der Fall ist. Diese können sich, im Vergleich zu Friedhöfen, gezielt an Knotenpunkten der Stadt ansiedeln oder theoretisch auch nach Belieben abwandern.



Quellen:
1) Landesgrenze Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/86c29af5-c52c-423d-8764-82c1bb037936
2) Friedhöfe in Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/d9321ccf-d303-4cfb-a24b-32aba49cef81
3) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
4) Bezirksgrenzen Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/2ee6b8bf-6292-413c-bb8b-bd22dbb2ad4b

Abbildung 73: Standorte von Friedhöfen in Wien.

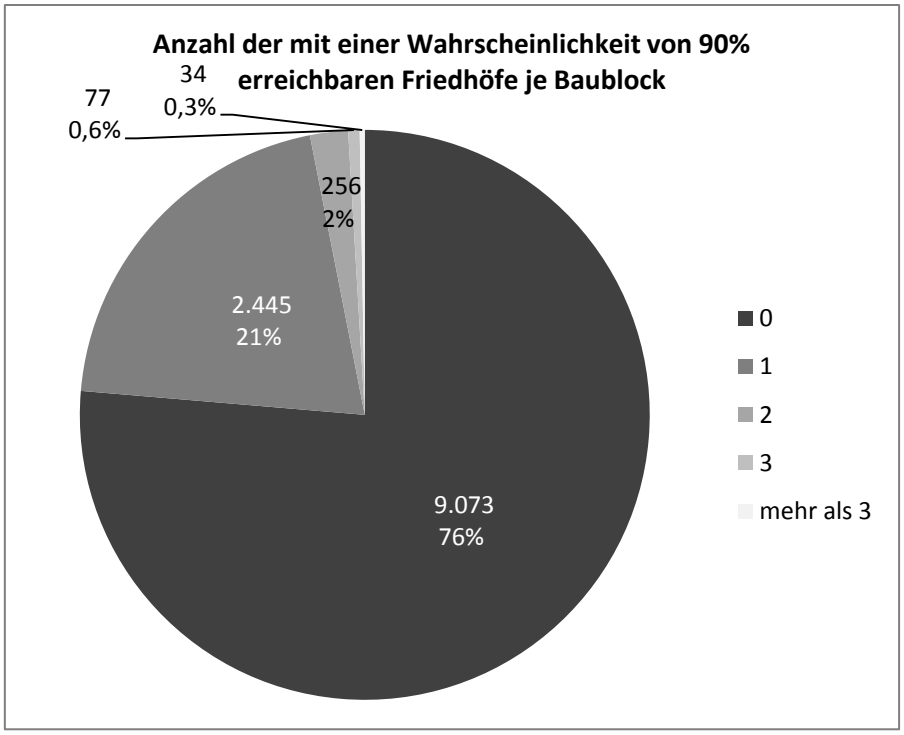


Abbildung 74: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Friedhöfe.

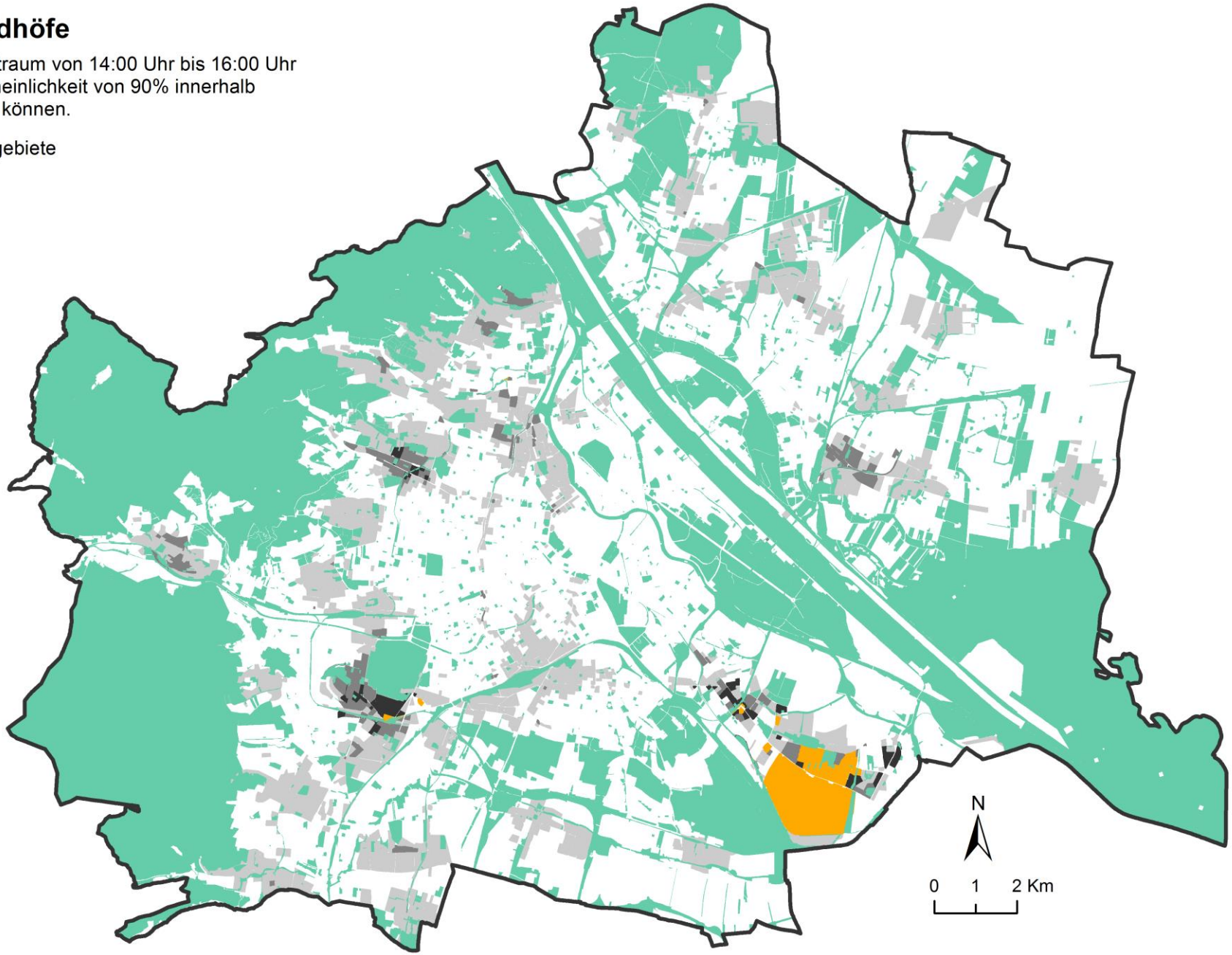
Mit nur 60 Einrichtungen und 5.452 Quell-Ziel-Verbindungen ist der Einrichtungstyp "Friedhöfe" derjenige, der in beiden Kategorien den geringsten Wert aufweist. Von allen untersuchten Typen ist jener der Friedhöfe der mit der geringsten Wahrscheinlichkeit auch nur eine Einrichtung innerhalb einer halben Stunde zu erreichen. 76% der Baublocks erreichen mit 90%iger Wahrscheinlichkeit keinen einzigen Friedhof innerhalb einer halben Stunde. Im Durchschnitt werden 0,28 Friedhöfe je Baublock erreicht, was von allen untersuchten Einrichtungstypen den geringsten Wert darstellt.

Anzahl erreichbarer Friedhöfe

Die Anzahl an Friedhöfen, die im Zeitraum von 14:00 Uhr bis 16:00 Uhr an einem Sonntag mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% innerhalb einer halben Stunde erreicht werden können.

- Gewässer, Wald und Schutzgebiete
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4 - 5

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019

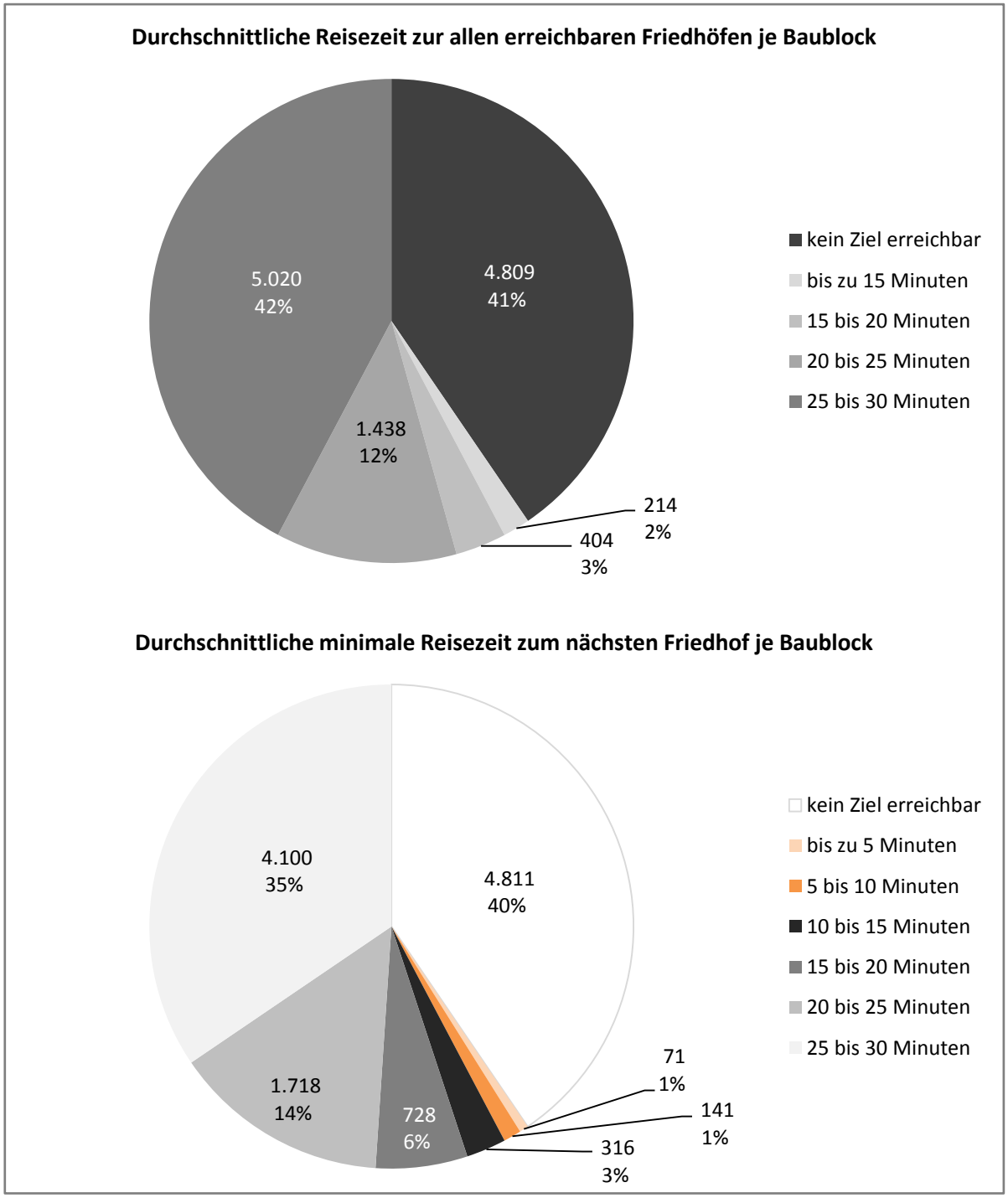


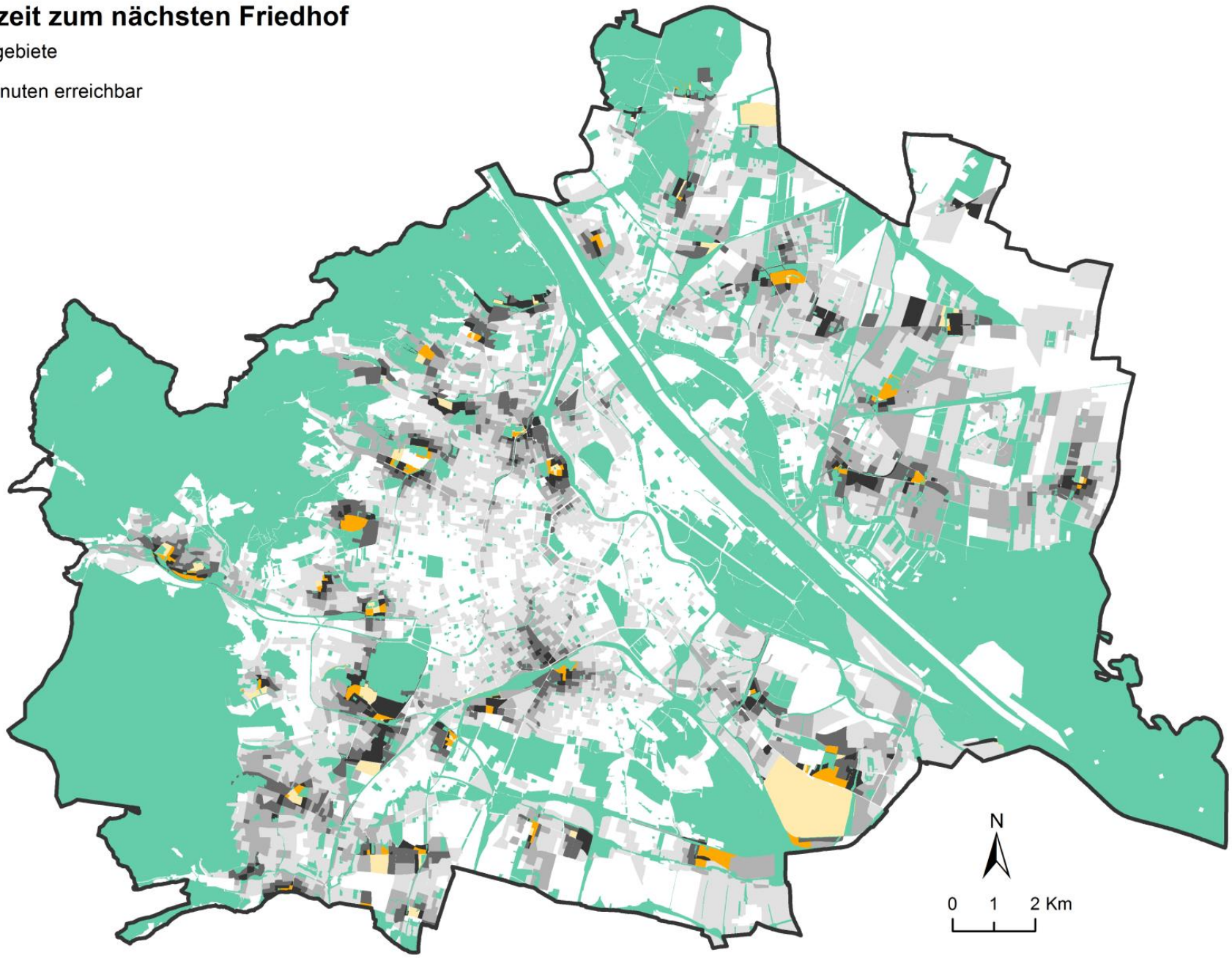
Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 75: Die Anzahl mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbarer Friedhöfe je Baublock.

Bei dem Ausreißer-Baublock im Südosten der Stadt handelt es sich um den Wiener Zentralfriedhof. Da Friedhofsareale wie dieses über große Dimensionen verfügen, wurde jeder Eingang in den Friedhof als eigener Punkt angegeben, um die Erreichbarkeit des Friedhofs aus Sicht der umliegenden Baublocks nicht zu verfälschen. Dies wäre der Fall gewesen, wenn lediglich die Erreichbarkeit eines einzelnen Punktes des Areals analysiert worden wäre, obwohl 5 Mögliche Zugänge zu dem Friedhof existieren.

Hervorzuheben ist, dass die Peripher gelegenen Baublocks der Stadt eine bessere Anbindung an Friedhöfe haben. Bei sämtlichen anderen untersuchten Einrichtungstypen sind es die zentrumsnahen Baublocks die einen Erreichbarkeitsvorteil haben.





Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 76: Durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Friedhof.

Wie bereits in den vorhergehenden Darstellungen ersichtlich ist, ist die Erreichbarkeit von Friedhöfen sehr eingeschränkt. Da nur 60 davon im Stadtgebiet existieren und diese in der Regel nicht sehr gut an den ÖPNV angebunden sind, verfügen lediglich jene Baublocks in deren näheren Umfeld über eine gute Erreichbarkeit dorthin. Der Großteil der Baublocks verfügt kaum über einen guten Anschluss an Friedhöfe. Gut zu erkennen ist, dass vor allem peripher gelegene Baublocks jenen im Zentrum hinsichtlich der Erreichbarkeit von Friedhöfen überlegen sind.

10.1.4. Korrelation der Erreichbarkeit der Einrichtungstypen untereinander

Um zu untersuchen wie stark die Erreichbarkeit der einzelnen Einrichtungstypen miteinander korreliert, wurde die Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbarer Einrichtung je Typ miteinander verglichen.

Abbildung 77 zeigt das Ergebnis dieses Prozesses, in dem zu erkennen ist, dass zwischen der Erreichbarkeit der Einrichtungstypen ein signifikanter statistischer Zusammenhang besteht. Der Korrelationskoeffizient zwischen den Einrichtungstypen Apotheken, Bankfilialen, Postämter und Glaubenshäusern liegt, je nach Typenpaar, zwischen 0,79 und 0,93. Zwischen diesen Typen besteht ein positiver linearer Zusammenhang. Das bedeutet, dass eine hohe Anzahl erreichbarer Einrichtungen eines Typs mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit eine hohe Anzahl Einrichtungen der anderen drei Einrichtungstypen zu erreichen, einhergeht. Lediglich die Erreichbarkeit von Friedhöfen hängt statistisch gesehen gar nicht mit der Erreichbarkeit der übrigen Einrichtungstypen zusammen. Im Bereich der durchschnittlichen Reisezeiten zu allen innerhalb einer halben Stunde erreichbarer Einrichtungen sowie zur nächsten Einrichtung, ließ sich kein statistischer Zusammenhang feststellen.

Korrelationen

		Apot90	Bank90	Post90	Kirch90	Fried90
Apot90	Pearson-Korrelation	1	,940**	,930**	,853**	,064**
	Sig. (2-seitig)		,000	,000	,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885
Bank90	Pearson-Korrelation	,940**	1	,858**	,876**	,049**
	Sig. (2-seitig)	,000		,000	,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885
Post90	Pearson-Korrelation	,930**	,858**	1	,793**	,105**
	Sig. (2-seitig)	,000	,000		,000	,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885
Kirch90	Pearson-Korrelation	,853**	,876**	,793**	1	,041**
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000		,000
	N	11885	11885	11885	11885	11885
Fried90	Pearson-Korrelation	,064**	,049**	,105**	,041**	1
	Sig. (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	
	N	11885	11885	11885	11885	11885

**. Korrelation ist bei Niveau 0,01 signifikant (zweiseitig).

Abbildung 77: Korrelationen zwischen der Anzahl mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbarer Einrichtungen je Einrichtungstyp.

11. Ermittlung der Erreichbarkeitsqualität von Baublocks auf Basis der städtischen Erreichbarkeit durch den ÖPNV

Mittels der Zusammenführung der Ergebnisse der Analysen zur Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen und der Anzahl der dort wahrnehmbaren Fahrten sowie der Analysen zur Erreichbarkeit relevanter Ziele im Stadtgebiet, wird im nächsten Schritt die Erreichbarkeitsqualität jedes einzelnen Baublocks insgesamt ermittelt. Dazu werden - ähnlich wie bei einer Nutzwertanalyse - die Ergebniswerte der einzelnen Analysen in einer Skala vom Wert 0 bis zum Wert 4 kategorisiert (wobei 4 besser und 0 schlechter bedeutet) und anschließend gewichtet. Die gewichtete Summe aller Faktoren pro Baublock bildet einen Erreichbarkeitsindex, der für jeden Baublock im Wiener Stadtgebiet für die Erreichbarkeitsqualität, gemessen an den Bedürfnissen älterer Personengruppen, steht.
Eine genaue Auflistung der Gewichtungsfaktoren sowie der Kategorisierungskriterien innerhalb der einzelnen Ergebniskategorien werden in folgenden Kapiteln detailliert dargelegt.

Im Anschluss daran wird die Verteilung der Wiener Wohnbevölkerung im fortgeschrittenen Alter auf die Erreichbarkeitsqualitätskategorien untersucht. Ausschlaggebend dafür ist die Höhe des Indexwerts der dem Baublock zugeschrieben ist, in welchem der Hauptwohnsitz angemeldet ist. Dies soll Aufschluss darüber geben, ob ältere Personengruppen in einem statistisch relevanten Ausmaß in Baublocks wohnen, die ihnen die bestmöglichen Voraussetzungen bieten, ihre täglichen Mobilitätsbedürfnisse zu Fuß oder mit Hilfe des ÖPNV befriedigen zu können.

11.1. Kategorisierung der Ergebnisse

Die ermittelten und präsentierten Ergebnisse werden gemäß der in den bereits präsentierten Diagrammen und Karten festgelegten Kategorien eingeteilt. Dabei werden die Werte, gemäß der Kategorie, in welche sie fallen, zu einem Wert zwischen 0 und 4 klassifiziert. Werte, die in der jeweils untersuchten Thematik eine gute Erreichbarkeit darstellen, erhalten einen hohen Wert und umgekehrt. In folgenden Tabellen wird die genaue Einteilung der Werte in die einzelnen Kategorien und der dafür zugrundeliegenden Intervalle dargestellt.

Anzahl innerhalb von 5 bzw. 10 Minuten erreichbarer ÖPNV- sowie U- Bahn-Stationen

Kategorie	Intervall (5 Minuten)	Intervall (10 Minuten)	Intervall (U-Bahn-Stationen (beide Zeitkategorien))
4	Mehr als 4	Mehr als 8	Mehr als 3
3	3-4	4-8	3
2	2-3	3-4	2
1	1	1-2	1
0	0	0	0

Anzahl wahrnehmbaren Fahrten (gültig für alle Zeitfenster und Wochentage)

Kategorie	Intervall
4	Mehr als 200
3	61-200
2	31-60
1	1-30

0	0

Durchschnittliche Reisezeit (in Minuten) zu allen Einrichtungen eines Typs (gültig für alle Einrichtungstypen)

Kategorie	Intervall
4	0,01-15
3	15,01-20
2	20,01-25
1	25,01-30
0	0 (kein Ziel erreichbar)

Durchschnittliche minimale Reisezeit (in Minuten) zur nächsten Einrichtung eines Typs (gültig für alle Einrichtungstypen)

Kategorie	Intervall
4	0,01-10
3	10,01-15
2	15,01-20
1	20,01-30
0	0 (kein Ziel erreichbar)

Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Apotheken

Kategorie	Intervall
4	Mehr als 24
3	11-24
2	4-10
1	1-3
0	0

Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Bankfilialen

Kategorie	Intervall
4	Mehr als 24
3	11-24
2	4-10
1	1-3
0	0

Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Postämter

Kategorie	Intervall
4	Mehr als 10
3	6-10
2	3-5
1	1-2

0	0

Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Glaubenshäuser

Kategorie	Intervall
4	Mehr als 20
3	9-20
2	5-8
1	1-4
0	0

Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Friedhöfe

Kategorie	Intervall
4	Mehr als 3
3	3
2	2
1	1
0	0

11.2. Gewichtung und Zusammenführung der einzelnen Faktoren

Unter einer Gewichtung versteht man die Bewertung einzelner Faktoren eines Modells hinsichtlich deren Relevanz für das Endergebnis. Dadurch ist es möglich, wichtigeren Faktoren einen größeren Einfluss auf die Ausprägung des Ergebnisses zukommen zu lassen (Gabler, S., Ganninger, M., 2010). Die Gewichtung im Fall der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen erfolgt nach der Relevanz des analysierten Gegenstands (z.B. Anzahl erreichter Ziele, Durchschnittsreisezeit zu diesen Zielen, wahrnehmbare Fahrten, etc.), hinsichtlich städtischer Erreichbarkeit für die ausgewählte Bevölkerungsgruppe. So wird beispielsweise die Anzahl der erreichbaren ÖPNV-Stationen insgesamt niedriger gewichtet als die Anzahl der erreichbaren U-Bahn-Stationen. Durch die Bildung des Summenprodukts zwischen den kategorisierten Ergebniswerten und den Gewichten entsteht ein Ergebnis, das die Bewertung und Verschneidung der einzelnen analysierten Erreichbarkeitskriterien beinhaltet.

Bei der Verteilung der Gewichtungsfaktoren ist anzumerken, dass fast alle Kriterien bezüglich der Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen und -Fahrten niedriger gewichtet werden als die Erreichbarkeitskriterien, die sich auf konkrete Einrichtungstypen beziehen. Grund dafür ist die Tatsache, dass die stationsbasierten Erreichbarkeitskriterien nicht bevölkerungsgruppenspezifisch relevant sind. Hinsichtlich städtischer Erreichbarkeit ist die Nähe zu hochfrequentierten ÖPNV-Stationen für sämtliche Bevölkerungsgruppen vorteilhaft, nicht nur für ältere Personen. Auch wenn die Erreichbarkeit der ausgewählten Ziele ebenso für die breite Bevölkerung relevant sein kann, sind sie für die untersuchte Gesellschaftsgruppe der älteren Personen von besonderer Bedeutung und daher höher zu gewichten. Dennoch haben die Kriterien der Stationserreichbarkeit ebenso für ältere

Personen Relevanz, da dadurch die Erreichbarkeit sämtlicher Einrichtungen und Gebiete in der Stadt modelliert werden kann.

Die Gewichtung der Erreichbarkeitskriterien, die sich auf die konkrete Erreichbarkeit der definierten Ziele bezieht, gliedert sich in drei Kategorien. Neben der Unterteilung in den ÖPNV insgesamt betreffende sowie einrichtungsspezifischen Faktoren, unterteile ich letztere Kategorie nochmals in Faktoren, die die zeitliche Nähe zu Einrichtungen und Faktoren, die die Anzahl erreichbarer Einrichtungen beschreiben.

Im Bereich der einrichtungsspezifischen Faktoren befindet sich die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Postämtern und Apotheken jedoch gewichtsmäßig auf der Ebene der ÖPNV-spezifischen Faktoren. Grund dafür ist die Tatsache, dass bei diesen Einrichtungstypen die Erreichbarkeit der nächsten Einrichtung eine größere Rolle spielt als das Erreichen einer Vielzahl an Einrichtungen. Letzteres ist aufgrund der Angebotshomogenität nahezu komplett irrelevant.
Daneben wurde innerhalb der einrichtungsspezifischen Faktoren, die die Reisezeit betreffen, für die Einrichtungstypen Friedhöfe, Glaubenshäuser und Bankfilialen die durchschnittliche Reisezeit zur nächsten Einrichtung am geringsten gewichtet. Die zugrunde liegende Annahme dabei ist, dass die nächste Einrichtung dieser Einrichtungstypen nicht zwangsläufig auch die ist, die angestrebt wird bzw. genutzt werden kann. So kann es im Falle von Friedhöfen sein, dass die verstorbenen Angehörigen nicht auf dem nächstgelegenen Friedhof begraben liegen, das nächstgelegene Glaubenshaus muss weder der eigenen Konfession angehören und im Fall von Bankfilialen muss die nächste Filiale nicht die sein, von deren Bank man auch Kunde ist.

Dennoch ist es möglich, dass Personen genau aus dem Grund der räumlichen Nähe zu einer Einrichtung sich für deren Nutzung entscheiden (z.B. Zuweisung zum nächstgelegenen Hausarzt, Abschluss eines Kontos bei der nächstgelegenen Bankfiliale) oder die Nutzung der nächstgelegenen Einrichtung das Ergebnis der individuellen Lebensgeschichte ist, wenn der Wohnsitz schon langfristig besteht (z.B. Mitglied der Kirchengemeinde der nächstgelegenen Kirche, weil man schon viele Jahre in der Nähe wohnt und deshalb dort zur Kirche geht). Aus diesem Grund ist die Erreichbarkeit der nächsten Einrichtung zwar innerhalb der einrichtungsspezifischen Analysen als weniger relevant, aber dennoch höherwertiger als die meisten Faktoren zur Stationserreichbarkeit angenommen worden.

Die Einrichtungstypen, bei denen es Sinn macht die Erreichbarkeit der nächstgelegenen Einrichtung als absolut relevant zu bewerten, sind die der Postfilialen und Apotheken. Da unterschiedliche Postfilialen und Apotheken in der Regel dasselbe Angebot bieten, wird nicht davon ausgegangen, dass eine weiter entfernte Einrichtung einer näher gelegenen vorgezogen wird. Aus diesem Grund kommt der Gewichtung des Faktors der Anzahl innerhalb einer halben Stunde erreichbarer Postfilialen ein vergleichsweise geringer Wert zu.

Als relevanter für die Einrichtungstypen Friedhöfe, Bankfilialen und Glaubenshäuser wird die Anzahl der innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Einrichtungen betrachtet. Je größer die Anzahl der zu erreichenden Einrichtungen ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine bzw. diejenige Einrichtung dabei ist, die gefragt bzw. genutzt wird. Noch relevanter als die Anzahl der Einrichtungen ist in diesem Zusammenhang die durchschnittliche Reisezeit für deren Erreichung. Je niedriger dieser Wert ist, desto näher liegen die erreichbaren Einrichtungen am jeweiligen Baublock.

Diese dargelegten Annahmen bilden die Basis für die Verteilung der Gewichtungsfaktoren, deren genaue Auflistung in der folgenden Tabelle detailliert dargelegt wird:

Erreichbarkeitskriterium	Gewichtungsfaktor
Durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Postfiliale	6
Durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Apotheke	6
Durchschnittliche Reisezeit zu allen innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Bankfilialen	6
Durchschnittliche Reisezeit zu allen innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Glaubenshäuser	6
Durchschnittliche Reisezeit zu allen innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Friedhöfe	6
Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Apotheken	5
Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Bankfilialen	5
Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Postfilialen	5
Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Glaubenshäusern	5
Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Friedhöfe	5
Durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Bankfiliale	4
Durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus	4
Durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Friedhof	4
Anzahl innerhalb von 5 Minuten wahrnehmbarer Fahrten an einem Wochentag	4
Anzahl der innerhalb von 5 Minuten wahrnehmbaren Fahrten an einem Sonntag	3
Anzahl innerhalb von 10 Minuten wahrnehmbarer Fahrten an einem Wochentag	3
Anzahl der innerhalb von 10 Minuten wahrnehmbaren Fahrten an einem Sonntag	2
Durchschnittliche Reisezeit zu allen innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Postfilialen	1
Durchschnittliche Reisezeit zu allen innerhalb einer halben Stunde erreichbaren Apotheken	1
Anzahl innerhalb von 5 Minuten fußläufig erreichbarer U-Bahn-Stationen	1
Anzahl innerhalb von 5 Minuten fußläufig erreichbarer ÖPNV-Stationen	1
Anzahl innerhalb von 10 Minuten erreichbarer U-Bahn-Stationen	1
Anzahl innerhalb von 10 Minuten erreichbarer ÖPNV-Stationen	1

Faktoren bezüglich der Stationserreichbarkeit
Faktoren bezüglich der Erreichbarkeit von Einrichtungen

Tabelle 30: Verteilung der Gewichte je Erreichbarkeitsfaktor.

11.3. Analyse der Verteilung der Baublocks gemäß ihrer Erreichbarkeitsqualität

Nach Ermittlung des gewichteten Durchschnitts der einzelnen Erreichbarkeitsfaktoren wird jedem Baublock ein Wert zwischen 0 und 4 vergeben. Je näher dieser bei 4 liegt, desto eher ist der Baublock

als Wohnstandort für ältere Personengruppen geeignet. Folgende Tabellen und Grafiken geben Aufschluss darüber, wie die statistischen Kennwerte bezüglich der Verteilung der Baublockmenge auf die einzelnen Erreichbarkeitsqualitätskategorien aussehen.

Ergebnis	**Wert**
Anzahl der Baublocks:	11.889
Minimalwert:	0
Maximalwert:	3,11
Mittelwert:	1,2
Medianwert:	1,16
Standardabweichung:	0,68

Tabelle 31: Statistische Verteilung des Erreichbarkeitsindex je Baublock.

Im Durchschnitt verfügen die Baublocks über eine Erreichbarkeitsqualität von nur 1,2. Selbst der höchstbewertete Baublock erreicht nur einen Wert von 3,11. Die Werte der einzelnen Baublocks wurden in Qualitätskategorien zusammengefasst, die sich wie folgt definieren:

Wert	Klassifizierung
0	Sehr niedrige Erreichbarkeitsqualität
0,01 bis 0,99	Niedrige Erreichbarkeitsqualität
1 bis 1,99	Mittlere Erreichbarkeitsqualität
2 bis 2,99	Hohe Erreichbarkeitsqualität
3 bis 4	Sehr hohe Erreichbarkeitsqualität

Tabelle 32: Kategorisierung der Baublocks nach Erreichbarkeitsindex.

Mit 42% aller Baublocks befindet sich die Mehrheit innerhalb der Kategorie der mittleren Erreichbarkeitsqualität. Mit 40% aller Baublocks verfügen mehr Baublocks über eine niedrige bzw. sehr niedrige Erreichbarkeitsqualität als über eine hohe bzw. sehr hohe, deren Anteil bei insgesamt 18% liegt. Die beiden schlechtesten Kategorien beinhalten fast ebenso viele Baublocks wie die mittlere Kategorie. Ebenso sticht heraus, dass nur 5 Baublocks über eine sehr hohe Erreichbarkeitsqualität verfügen, was 0,04% aller Baublocks ausmacht.

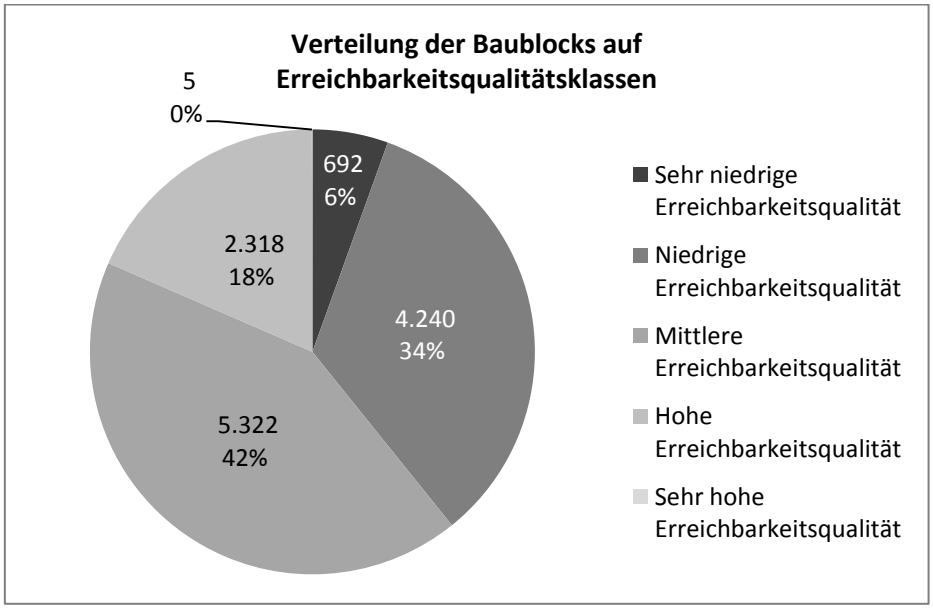
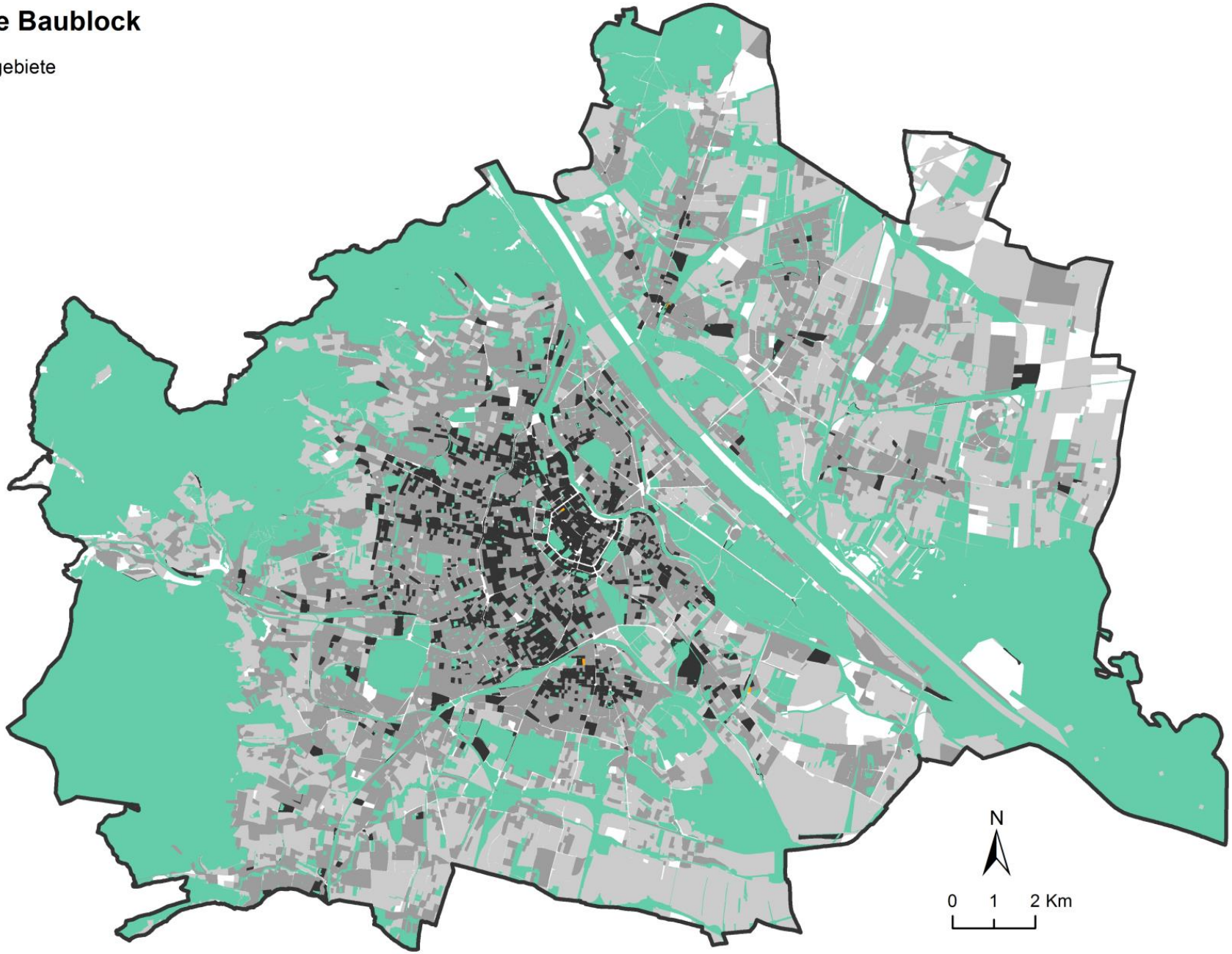


Abbildung 78: Die Verteilung der Baublocks gemäß ihrer Erreichbarkeitsqualität.



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790

Abbildung 79: Die Erreichbarkeitsqualität je Baublock.

In der Karte in Abbildung 79 ist deutlich zu erkennen, dass die Erreichbarkeitsqualität höher ist, je näher man dem Stadtzentrum kommt. Dies ist leicht nachvollziehbar, da sich die meisten der analysierten Einrichtungstypen im Zentrumsbereich der Stadt konzentrieren. Im Zentrumsbereich der Stadt trifft eine Vielzahl an ÖPNV-Linien zusammen und auch die Dichte an ÖPNV-Stationen ist hier am größten. Dennoch weisen vereinzelte Baublocks auch in den peripher gelegenen Gebieten der Stadt eine hohe Erreichbarkeitsqualität auf, auch wenn sich diese Bereiche des Stadtgebiets zum Großteil aus Baublocks mit niedriger bis sehr niedriger Erreichbarkeitsqualität zusammensetzen.

12. Die Analyse der Verteilung älterer Bevölkerungsgruppen

Dieses Kapitel dient der Analyse der Verteilung der älteren Wohnbevölkerung Wiens (älter als 64 Jahre) auf die Baublocks der jeweiligen Erreichbarkeitsqualitätskategorien. Dabei wurde die Bevölkerungsgruppe sowohl insgesamt als auch unterteilt nach Alterskohorten untersucht. Gegenstand der Untersuchung ist dabei die Analyse der Wohnstandortdichte älterer Bevölkerungsgruppen innerhalb der einzelnen Erreichbarkeitsqualitätskategorien.

12.1. Struktur der älteren Wohnbevölkerung in Wien

Zur Bearbeitung im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden mir auf Nachfrage bei der MA23, deren Zuständigkeit im Bereich Wirtschaft, Arbeit und Statistik liegt, EinwohnerInnendaten bezüglich des Wohnstandorts der Wiener Wohnbevölkerung ab 60 Jahren auf Baublockebene zu Verfügung gestellt. Diese bilden den Bevölkerungsstand älterer Bevölkerungsgruppen in Wien zum Stichjahr 2018 ab. Die Daten sind so strukturiert, dass sie die Wohnbevölkerung pro Baublock, getrennt nach Geschlecht abbilden.

Insgesamt leben in Wien 329.963 Personen die älter sind als 59. Ein Großteil davon befindet sich in der Altersklasse zwischen 60 und 79 Jahren, die Mehrheit davon sind mit 57% gegenüber 43% Frauen (vgl. Abbildung 80).

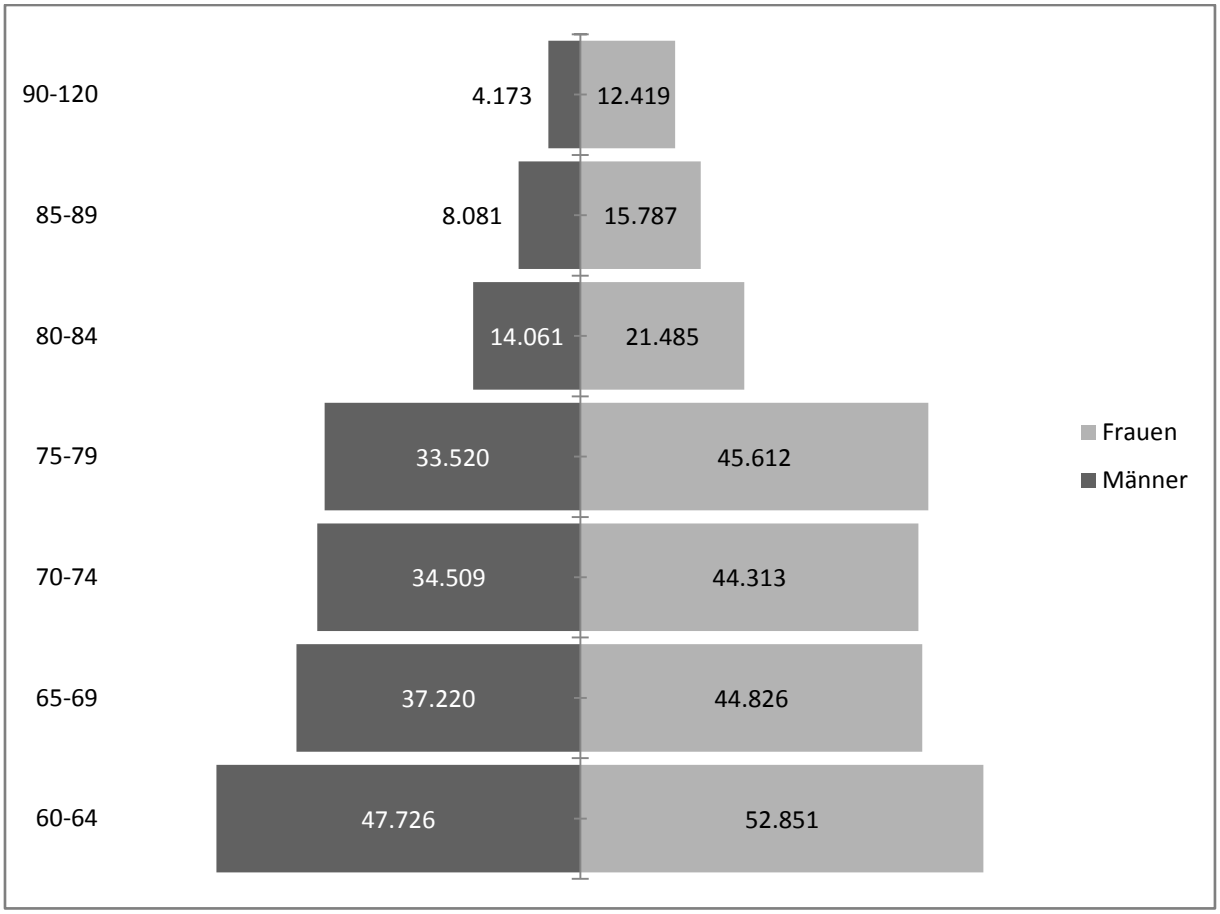


Abbildung 80: Bevölkerungspyramide der älteren Bevölkerung Wiens (Daten: MA23, eigene Darstellung).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Altersgrenze für die Zugehörigkeit zur Gruppe der „älteren Bevölkerung“ bei 65 festgelegt (vgl. Kapitel 4.1), sodass die Gruppe der 60-64 Jährigen nicht in die Analysen miteinfließt. Nimmt man die Gruppe der 60-64 Jährigen aus der Betrachtung heraus, mach der Anteil der 65-79 Jährigen 76% der Wohnbevölkerung fortgeschrittenen Alters in Wien aus, wie in Abbildung 81 zu erkennen ist.

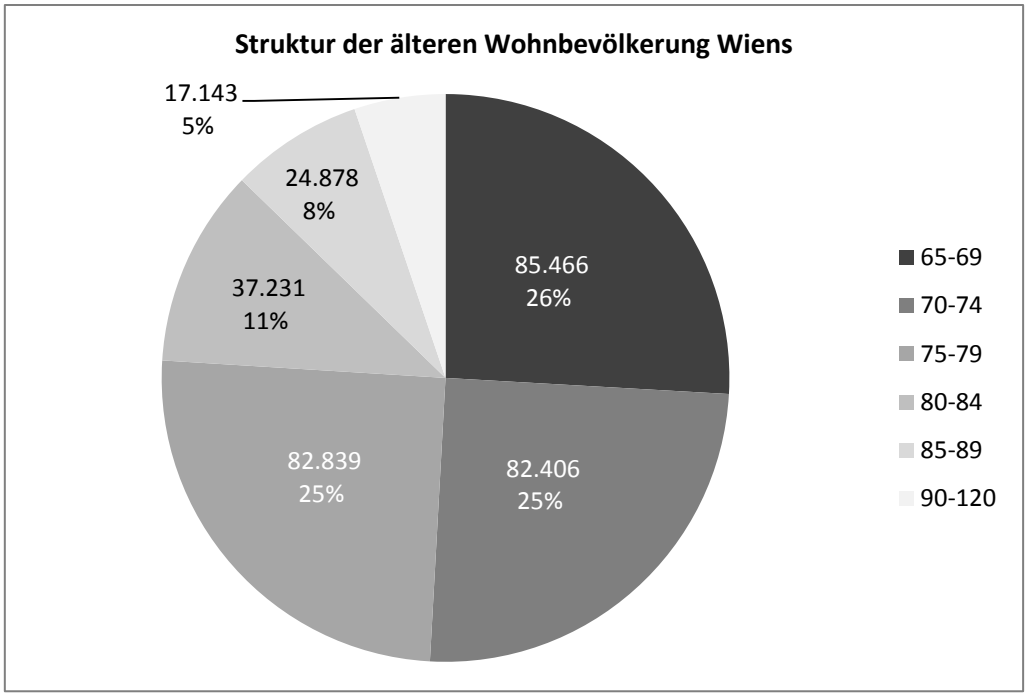


Abbildung 81: Verteilung der älteren Bevölkerung Wiens auf Alterskohorten.

12.2. Die Verteilung älterer Bevölkerungsgruppen auf Baublocks in Wien

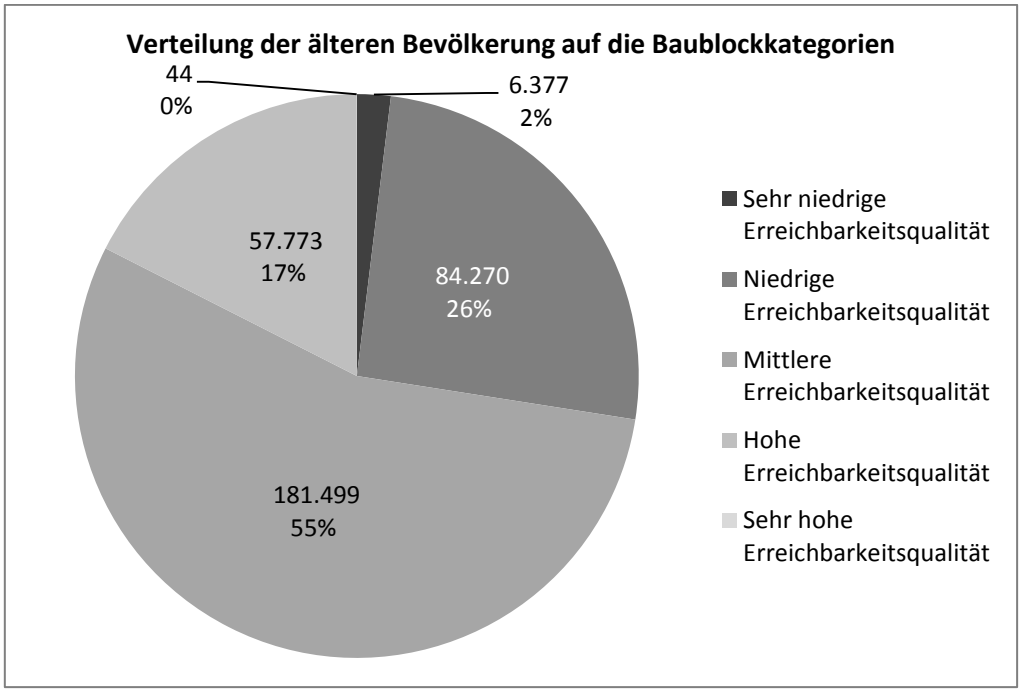


Abbildung 82: Die Verteilung der Wiener Wohnbevölkerung über 64 Jahren auf Baublocks unterschiedlicher Erreichbarkeitsqualität

Anhand der Abbildung 82 ist klar zu sehen, dass die Überwiegende Mehrheit von 55% der untersuchten Bevölkerungsgruppe in Baublocks wohnt, die eine mittlere Erreichbarkeitsqualität bieten. Mit 28% gegenüber 17% leben - absolut betrachtet - mehr ältere Personen in Wohnblocks die eine niedrige bis sehr niedrige Erreichbarkeitsqualität aufweisen als eine hohe bzw. sehr hohe (vgl.

Abbildung 82). Die Verteilung bleibt auch relativ konstant, betrachtet man Tabelle 33, welche die einzelnen Alterskohorten im Vergleich zeigt.

Qualität	65-69 Jahre	70-74 Jahre	75-79 Jahre	80-84 Jahre	85-90 Jahre	>90 Jahre
Sehr niedrig	1,76%	2,00%	2,05%	2,00%	1,91%	1,82%
niedrig	24,65%	26,25%	26,85%	25,12%	24,55%	22,60%
mittel	55,22%	54,40%	54,54%	55,70%	55,72%	56,54%
hoch	18,36%	17,34%	16,54%	17,17%	17,82%	19,03%
Sehr hoch	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%

Tabelle 33: Anteil älterer Bewohner nach Baublockerreichbarkeitsqualitätskategorie nach Altersklasse.

Der Vergleich mit Abbildung 78 zeigt jedoch, dass doppelt so viele Baublocks der Kategorie "niedrig" und "sehr niedrig" existieren als "hoch" und "sehr hoch". Um die Frage zu klären, ob ältere Personen vermehrt in Baublocks höherer Erreichbarkeitsqualität wohnen, ist es zielführender die durchschnittliche EinwohnerInnenzahl je Baublockklasse zu analysieren. Um die Tatsache zu berücksichtigen, dass größere Baublocks tendenziell mehr EinwohnerInnen haben als kleinere (und umgekehrt), ist es notwendig den Durchschnitt der EinwohnerInnenzahl pro ha je nach Baublockerreichbarkeitsqualitätskategorie als Vergleichswert heranzuziehen.

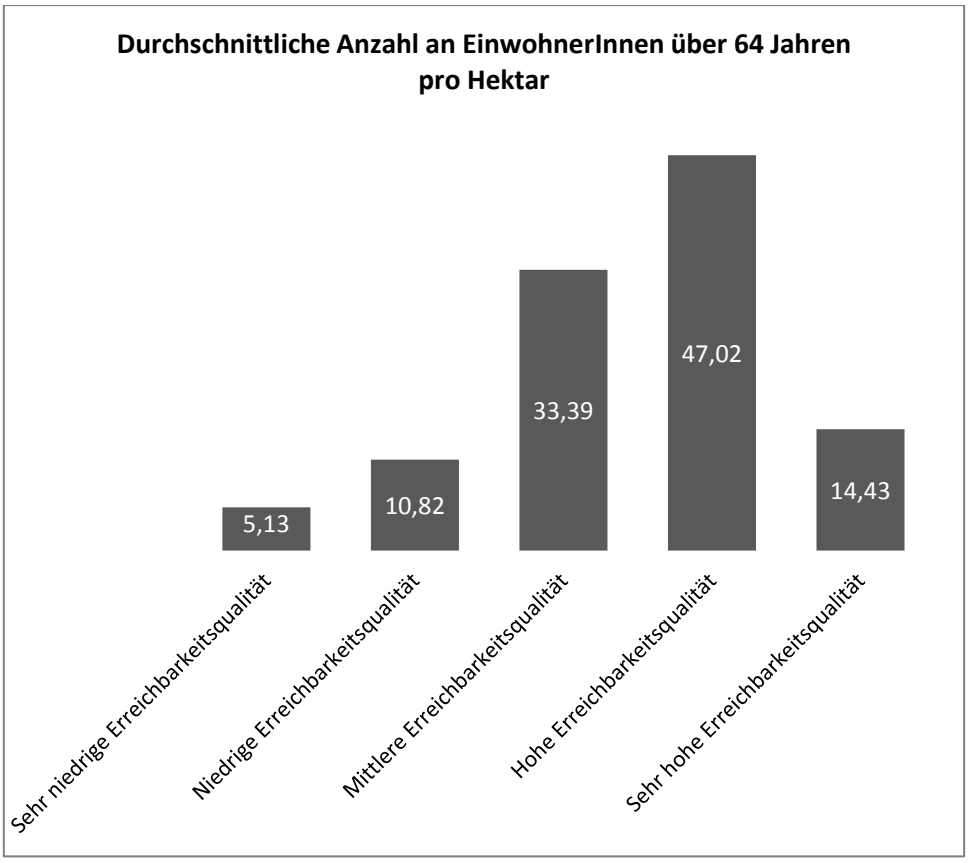


Abbildung 83: Die durchschnittliche Anzahl an EinwohnerInnen/ha je nach Erreichbarkeitsqualitätskategorie.

Im Durchschnitt leben je Baublock 25,5 Personen fortgeschrittenen Alters pro ha. Abbildung 83 zeigt deutlich, dass überdurchschnittlich viele Personen älterer Bevölkerungsgruppen in Baublocks mittlerer und hoher Erreichbarkeitsqualität leben.

Qualität	65-69 Jahre	70-74 Jahre	75-79 Jahre	80-84 Jahre	85-90 Jahre	>90 Jahre
Sehr niedrig	0,08	0,09	0,09	0,04	0,03	0,02
niedrig	0,19	0,19	0,20	0,08	0,05	0,03
mittel	0,33	0,32	0,32	0,15	0,10	0,07
hoch	0,36	0,33	0,32	0,15	0,10	0,08
Sehr hoch	0,04	0,10	0,10	0,04	0,02	0,01

Tabelle 34: Durchschnittliche EinwohnerInnenzahl/ha je Baublockerreichbarkeitsqualitätskategorie.

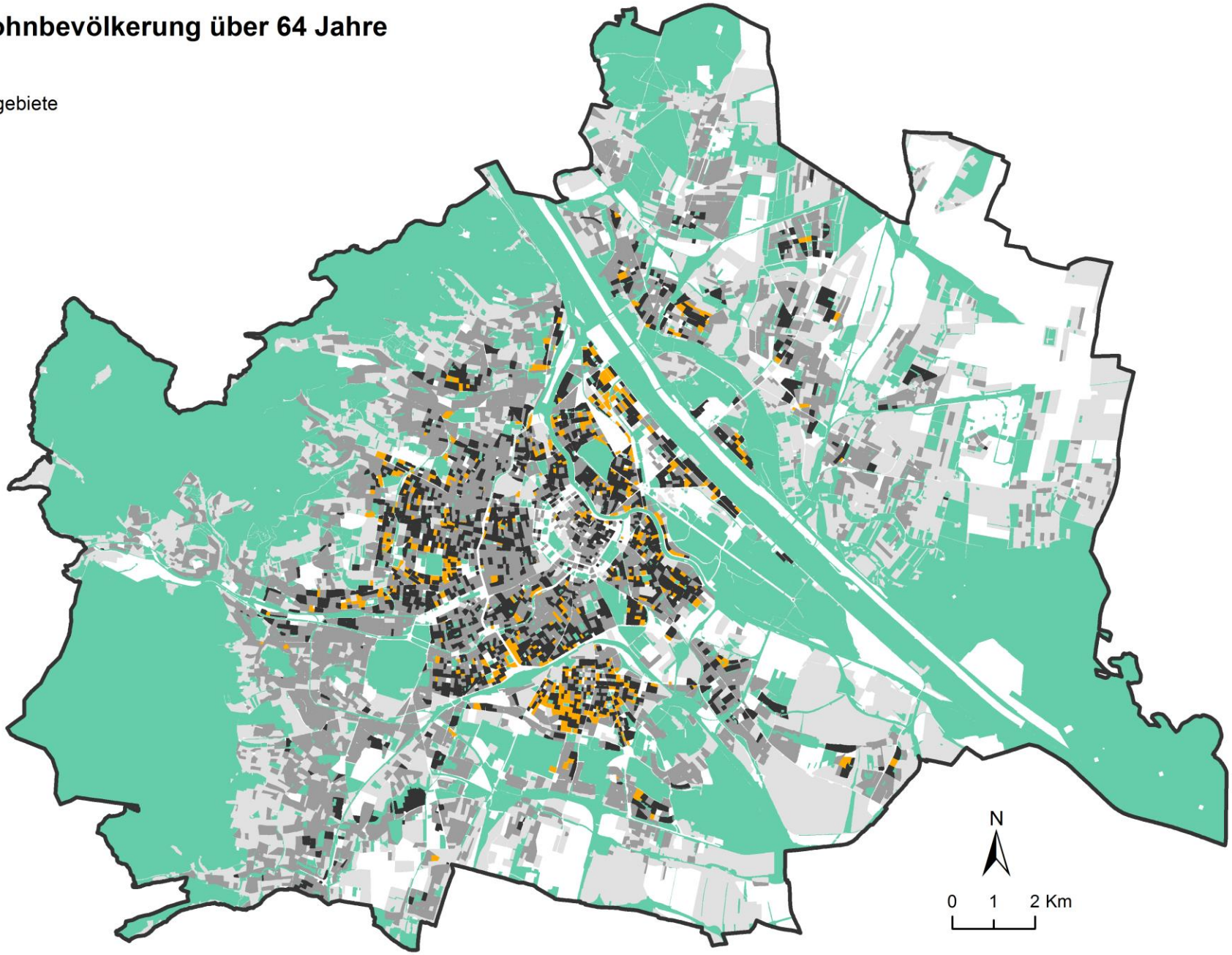
Auch in den einzelnen Alterskohorten lässt sich die Tendenz dahingehend feststellen, dass durchschnittlich mehr Personen höheren Alters in Baublocks höherer und mittlerer Erreichbarkeitsqualität leben als in Baublocks mit einer niedrigen bzw. sehr niedrigen.

In Abbildung 84 ist ersichtlich, dass die überwiegende Mehrheit der älteren Bevölkerung Wiens ihren Hauptwohnsitz im Zentrumsbereich der Stadt, im Bereich der Innenbezirke und auf beiden Seiten entlang des Gürtels sowie im Süden des Zentrums, im 10. Wiener Gemeindebezirk hat. Vereinzelte Standorte jenseits der Donau im 21. Und 22. Bezirk weisen ebenso hohe Konzentrationen älterer Wohnbevölkerung auf. Im nächsten Schritt wird diese Information mit den Erkenntnissen über die Erreichbarkeitsqualität der einzelnen Baublocks verknüpft.

Einwohnerdichte der Wohnbevölkerung über 64 Jahre (Einwohner/ha)

- Gewässer, Wald und Schutzgebiete
- 0
- 0,01 - 10
- 10,01 - 50
- 50,01 - 100
- 100,01 - 408,74

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790
4) Bevölkerung älter als 59 Jahre nach Baublocks: MA23 - Wirtschaft, Arbeit und Statistik

Abbildung 84: Die Anzahl der EinwohnerInnen über 65 Jahren pro Hektar je Baublock.

12.2.1. Berücksichtigung unbewohnter Baublocks

Aus unterschiedlichen Gründen (z.B. Widmungskategorie, Wasser- und Grünflächen, etc.) sind natürlich nicht alle der Baublocks, die in der bisherigen Analyse herangezogen wurden, auch bewohnt bzw. überhaupt bewohnbar. Um die tatsächliche Verteilung älterer Personen auf Baublocktypen feststellen zu können, ist es notwendig, unbewohnte Baublocks aus der Analyse herauszurechnen. Tabelle 35 zeigt die Anzahl an Baublocks, in denen keine Personen wohnen, sowie den Anteil innerhalb der einzelnen Erreichbarkeitsqualitätskategorien.

Erreichbarkeitsqualität	Anzahl Baublocks insgesamt	Anzahl unbewohnter Baublocks	Anteil unbewohnter Baublocks	Anzahl bewohnter Baublocks	Anteil bewohnter Baublocks
Sehr niedrig	692	407	58,82%	285	41,18%
Niedrig	4.240	1.311	30,92%	2.929	69,08%
Mittel	5.322	1.240	23,30%	4.082	76,70%
Hoch	1.626	332	20,42%	1.294	79,58%
Sehr hoch	5	3	60,00%	2	40,00%

Tabelle 35: Anteil unbewohnter Baublocks je Erreichbarkeitsqualität

Der höchste Anteil unbewohnter Baublocks ist mit ca. 59% in der Gruppe sehr niedriger Erreichbarkeitsqualität zu finden. Aufgrund der Tatsache, dass nur 5 Baublocks der höchsten Kategorie angehören, ist der Anteil von 60% in dieser Gruppe, aufgrund der niedrigen Signifikanz wegen der geringen Fallzahl, vernachlässigbar. Sieht man sich die Kartendarstellung in Abbildung 85 an, ist erkennbar, dass sich eine Vielzahl der nicht bewohnten Baublocks in den Randlagen der Stadt befindet und/oder es sich dabei um Grün-, Wald- und Wasserflächen handelt.

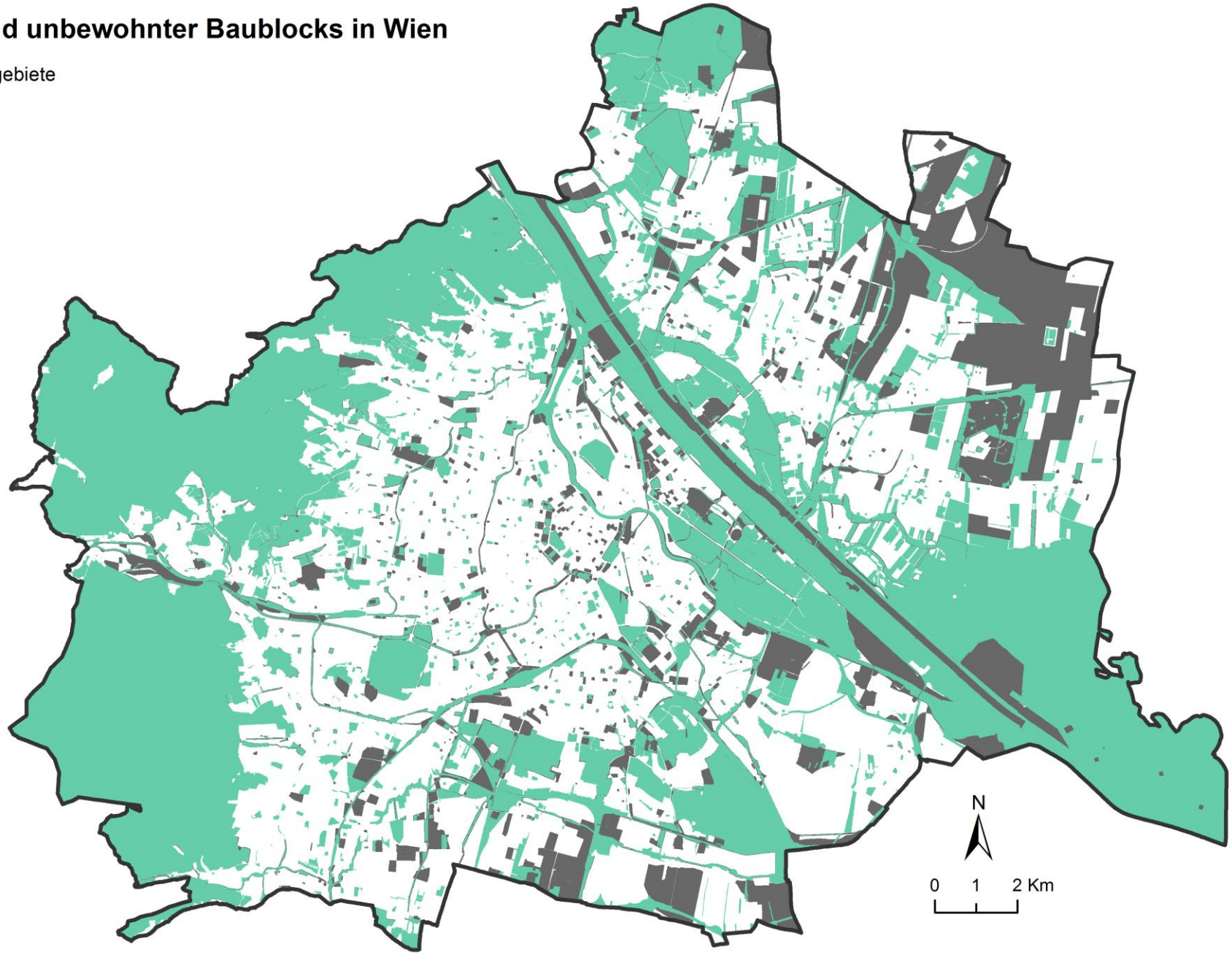
Verteilung bewohnter und unbewohnter Baublocks in Wien

Gewässer, Wald und Schutzgebiete

Unbewohnte Baublocks

Bewohnte Baublocks

Verfasser: Michael Gidam
Projektion: ETRS_1989_Austria_Lambert
Datum: 04.05.2019



Quellen:
1) Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614
2) GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien
3) Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790
4) 4) Bewohner nach Baublocks: MA23 - Wirtschaft, Arbeit und Statistik

Abbildung 85: Bewohnte und unbewohnte Baublocks in Wien

Im Vergleich zu Abbildung 78 zeigt Abbildung 86 - berücksichtigt man nur bewohnte Baublocks in der Analyse - dass sich der Anteil der Baublocks mit sehr niedriger Erreichbarkeitsqualität halbiert und die Kategorien "hoch" und "sehr hoch" ebenso Anteile verlieren. Diese kommen der mittleren Kategorie zugute, während die Kategorie niedriger Erreichbarkeitsqualität gleich bleibt.

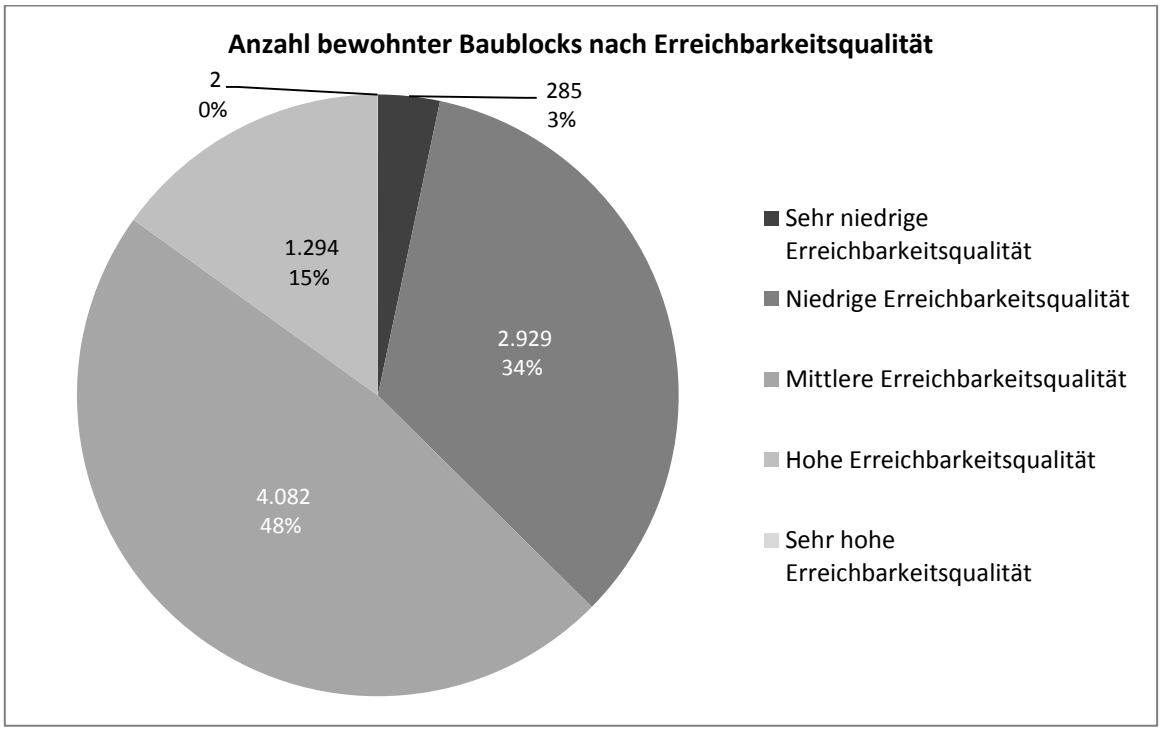


Abbildung 86: Die Anzahl bewohnter Baublocks nach Erreichbarkeitsqualität.

Dass der Durchschnitt der EinwohnerInnen höheren Alters pro Hektar in Baublocks niedriger und sehr niedriger Erreichbarkeitsqualität so niedrig ist, könnte daran liegen, dass die hohe Anzahl nicht bewohnbarer Baublocks diese Werte verzerrt. Um dies zu überprüfen wurde Abbildung 87 erstellt, welche die durchschnittliche EinwohnerInnenzahl pro Hektar gemäß den fünf Erreichbarkeitsqualitätskategorien darstellt.

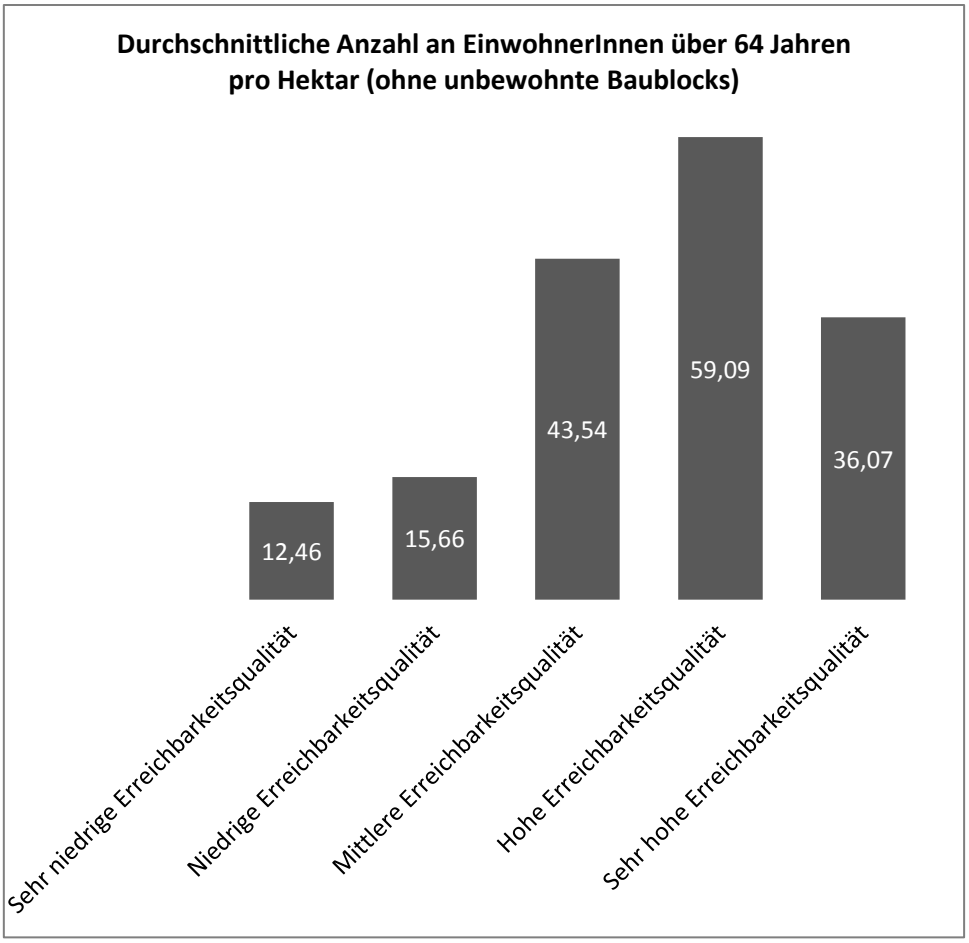


Abbildung 87: Die durchschnittliche Anzahl an EinwohnerInnen/ha je nach Erreichbarkeitsqualitätskategorie (ohne Miteinbezug unbewohnter bzw. unbewohnbarer Baublocks).

Auch in Anbetracht der Verteilung innerhalb der einzelnen Alterskohorten zeigt sich die Tendenz, dass die durchschnittliche EinwohnerInnenzahl pro Hektar in Baublocks mit hoher und mittlerer Erreichbarkeitsqualität innerhalb sämtlicher Altersklassen am höchsten ist, wie Tabelle 36 zeigt.

Qualität	65-69 Jahre	70-74 Jahre	75-79 Jahre	80-84 Jahre	85-90 Jahre	>90 Jahre
Sehr niedrig	0,20	0,22	0,22	0,10	0,06	0,04
niedrig	0,27	0,28	0,28	0,12	0,08	0,05
mittel	0,43	0,41	0,41	0,19	0,13	0,09
hoch	0,45	0,41	0,40	0,18	0,13	0,09
Sehr hoch	0,11	0,26	0,24	0,11	0,06	0,04

Tabelle 36: Durchschnittliche EinwohnerInnenzahl/ha in bewohnten Baublocks je Baublockerreichbarkeitsqualitätskategorie.

12.3. Der Vergleich zur Verteilung der Gesamtbevölkerung

Um zu überprüfen, ob sich die Konzentration der Wohnstandorte älterer Bevölkerungsgruppen in jenen Baublocks, die zur Befriedigung ihrer alltäglichen Mobilitätsbedürfnisse gut geeignet sind, von der EinwohnerInnendichte der restlichen Bevölkerung unterscheidet, wurde auch deren Verteilung auf Baublocks der einzelnen Erreichbarkeitsqualitätskategorien untersucht.

Qualität	Bevölkerung ab 65 Jahren	Bevölkerung unter 65 Jahren	Gesamtbevölkerung
Sehr niedrig	1,6%	1,2%	1,3%
Niedrig	25,2%	22,1%	22,6%
Mittel	55,2%	56,9%	56,6%
Hoch	18%	19,7%	19,5%
Sehr hoch	0,01%	0,02%	0,02%

Tabelle 37: Vergleich der anteilsmäßigen Aufteilung der Wiener Wohnbevölkerung auf Wohnblocks der definierten Erreichbarkeitsqualitätskategorien, unterteilt nach Altersklassen.

Tabelle 37 zeigt die Verteilung der Wohnbevölkerung Wiens – eingeteilt in über und unter 65 Jahren - auf die einzelnen Klassen der Erreichbarkeitsqualität, denen die jeweiligen Baublocks, in denen sich die Wohnstandorte befinden, angehören. Zwischen den beiden Alterskohorten sind faktisch keine Unterschiede festzustellen. Jüngere Bevölkerungsgruppen sowie die Bevölkerung mittleren Alters verteilen sich nach demselben Muster wie ältere Bevölkerungsgruppen. Wie im Fall älterer Personengruppen wohnen auch im Fall der Gesamtbevölkerung mehr als die Hälfte aller Bewohner in Baublocks mittlerer Erreichbarkeitsqualität. Auch die Verteilung innerhalb der restlichen Kategorien ist nahezu ident. Hinsichtlich der durchschnittlichen EinwohnerInnenzahl je Hektar (vgl. Abbildung 88) ist eine ähnliche Tendenz einer höheren EinwohnerInnendichte in Baublocks hoher Erreichbarkeitsqualität erkennbar.

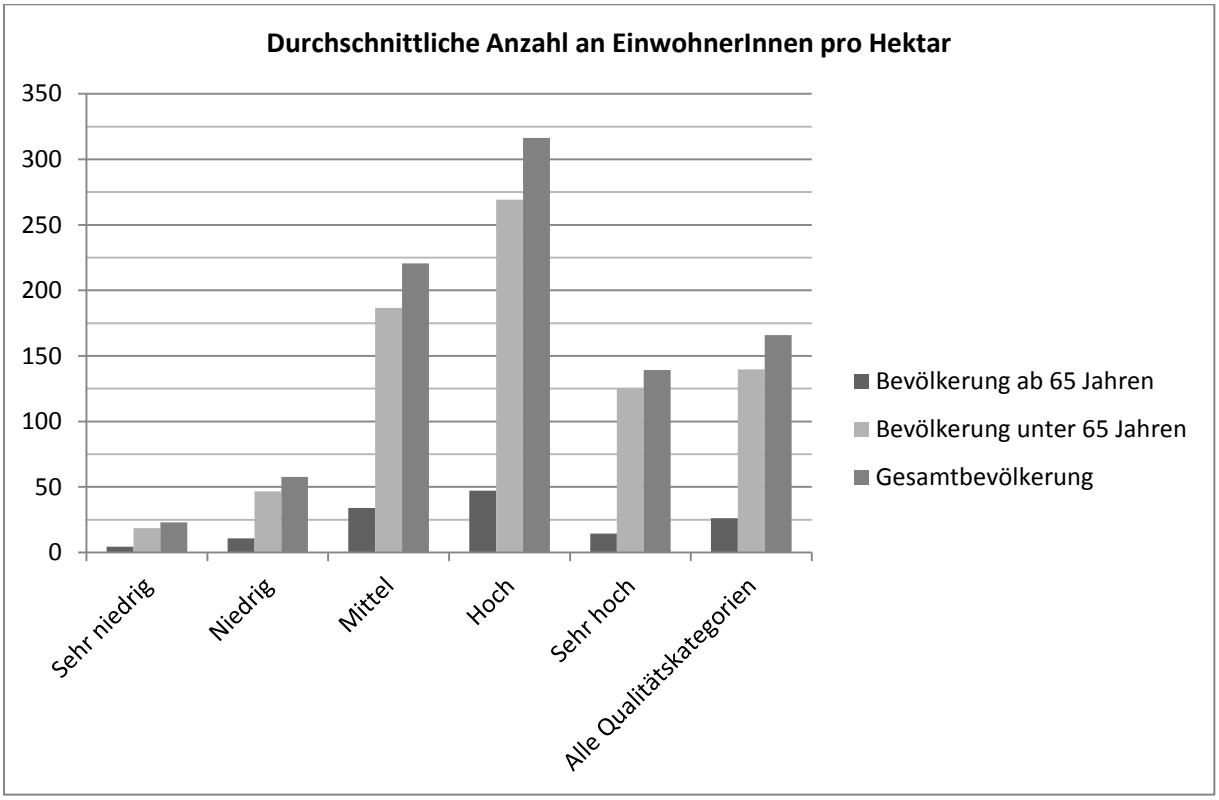


Abbildung 88: Die durchschnittliche Anzahl an EinwohnerInnen/ha je nach Erreichbarkeitsqualitätskategorie (ohne Miteinbezug unbewohnter bzw. unbewohnbarer Baublocks).

Abbildung 88 zeigt jedoch auch deutlich, dass ein Vergleich der EinwohnerInnendichte, aufgrund der großen Diskrepanz der Dimensionen der Absolutwerte hinsichtlich der EinwohnerInnenzahl je Baublock bzw. Erreichbarkeitsqualitätskategorie, zwischen den betrachteten Bevölkerungsgruppen nicht zielführend ist. Um die EinwohnerInnendichte der älteren Bevölkerung innerhalb der einzelnen Erreichbarkeitsqualitätskategorien mit jener der übrigen Bevölkerung vergleichen zu können, ist es

notwendig, die Werte bezüglich der EinwohnerInnendichte vergleichbar zu machen. Erst danach ist es möglich eine Aussage darüber zu treffen, ob ältere Bevölkerungsgruppen - im Vergleich zur restlichen Bevölkerung – in größerem Ausmaß in Baublocks wohnen, die gemäß der vorangegangenen Analyse für deren Bedürfnisse die besten Mobilitätsvoraussetzungen bieten.

Um dies Umzusetzen wurde die EinwohnerInnendichte innerhalb der einzelnen Erreichbarkeitsqualitätskategorien je Bevölkerungsgruppe mit der EinwohnerInnendichte über sämtliche bewohnte Baublocks je Bevölkerungsgruppe in Relation gesetzt. Durch die Anwendung der Formel „(x/y)-1“ (x = EinwohnerInnendichte nach Erreichbarkeitsklasse, y = EinwohnerInnendichte insgesamt), erhält man als Ergebnis die prozentuale Abweichung, um welche die EinwohnerInnendichte innerhalb der jeweiligen Erreichbarkeitsqualitätsklasse von der EinwohnerInnendichte der jeweiligen Bevölkerungsgruppe insgesamt höher bzw. niedriger ausfällt. Abbildung 89 zeigt das Ergebnis dieses Vorgangs.

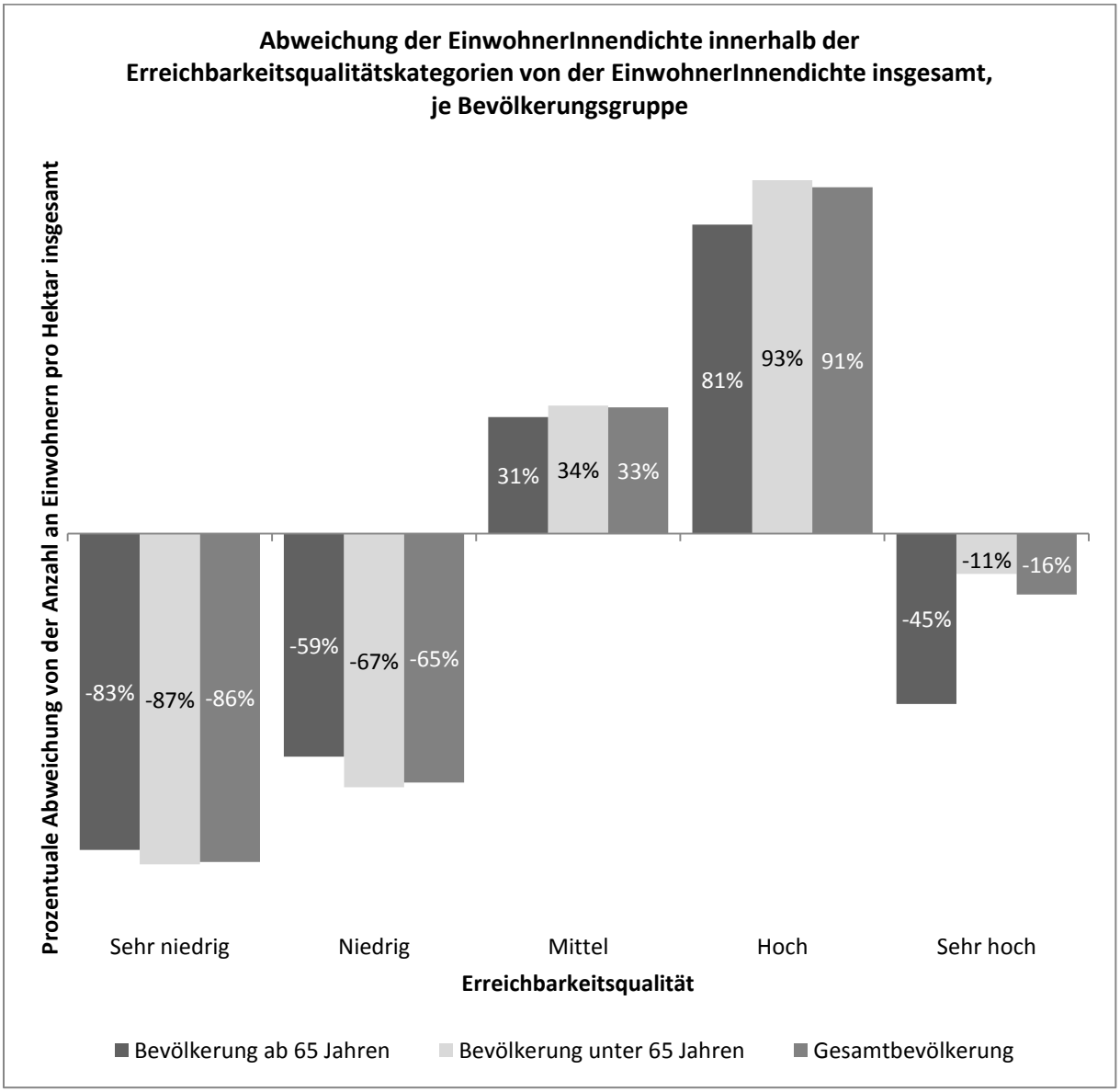


Abbildung 89: Abweichung der EinwohnerInnendichte innerhalb der Erreichbarkeitsqualitätskategorien von der EinwohnerInnendichte insgesamt, je Bevölkerungsgruppe.

In Abbildung 89 ist für ältere sowie jüngere Bevölkerungsgruppen eine klare Präferenz zu Wohnblocks hoher Erreichbarkeitsqualität erkennbar, obwohl deren Einteilung an Kriterien, die gezielt die Bedürfnisse älterer Bevölkerungsgruppen ansprechen, ausgelegt wurde. Interessanterweise ist allerdings zu erkennen, dass die positive Abweichung der EinwohnerInnendichte in Baublocks mittlerer und hoher Erreichbarkeitsqualität in der jüngeren- sowie der Gesamtbevölkerung, im Vergleich zur EinwohnerInnendichte der jeweiligen Bevölkerungsgruppe an sämtlichen bewohnten Baublocks des Wiener Stadtgebiets, sogar höher ausfällt als jene der älteren Bevölkerung. Dies trifft ebenso auf die negative Abweichung in den Kategorien sehr niedriger und niedriger Erreichbarkeit zu. Besonders in der Kategorie der sehr hohen Erreichbarkeitsqualität ist deutlich erkennbar, dass die negative Abweichung der EinwohnerInnendichte älterer Personen wesentlich höher ausfällt als jene der restlichen Bevölkerung.

In weiterer Folge bedeutet dies, dass ältere Bevölkerungsgruppen zwar verstärkt in Baublocks mittlerer und hoher sowie in einem geringeren Ausmaß in Baublocks sehr niedriger und niedriger Erreichbarkeitsqualität wohnen, dieses Muster in der übrigen Bevölkerung jedoch genauso vorhanden und sogar noch stärker ausgeprägt ist. Besonders in Wohnblocks die über eine sehr hohe Erreichbarkeitsqualität aufweisen ist die relative EinwohnerInnendichte jüngerer Bevölkerungsgruppen wesentlich höher als bei älteren Bevölkerungsgruppen. Dieses Ergebnis ist besonders interessant, da die Definition und Konzeption der Erreichbarkeitsqualitätsklassen auf die Bedürfnisse älterer Bevölkerungsgruppen ausgelegt ist.

Dass die Baublocks, die für ältere Personengruppen besonders attraktiv sind, auch für die restliche Bevölkerung anziehend sind, mag zum einen daran liegen, dass die Erreichbarkeit der ausgewählten Einrichtungstypen zwar für ältere Personengruppen besonders interessant ist, jedoch auf für den Rest der Bevölkerung - wenn womöglich auch in geringerem Ausmaß – ebenfalls relevant ist und sich die Verteilungen der jeweiligen Gruppen deswegen wenig voneinander unterscheiden. Zum anderen ist es jedoch auch so, dass sich, mit Ausnahme der Friedhöfe, sämtliche untersuchte Einrichtungstypen im Zentrumsbereich der Stadt konzentrieren. Ebenso wie die ausgewählten Einrichtungstypen konzentrieren sich in der Regel auch sehr viele andere Einrichtungstypen wie Schulen, Kindergärten, Bars, Restaurants, Arbeitsplätze und vieles mehr in den Zentrumsbereichen europäischer Städte. Aus diesem Grund würde der ermittelte Erreichbarkeitsqualitätsindex je Baublock womöglich ähnlich beschaffen sein, würde man diesen unter Heranziehung von Zielen, die besonders für jüngere Bevölkerungsgruppen relevant sind, erneut bilden.

Die vergleichsweise höhere Dichte jüngerer Bevölkerungsgruppen in Baublocks sehr hoher Erreichbarkeitsqualität muss mit Vorsicht interpretiert werden, da es sich dabei um lediglich 5 Baublocks handelt, von denen nur 2 bewohnt sind. Bei einer solch kleinen Fallzahl lassen sich keine statistisch relevanten Aussagen treffen.

13. Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Im Zuge der Ausarbeitung dieser Arbeit konnte eine Kategorisierung der Baublocks Wiens, anhand eines Index, der die Erreichbarkeitsqualität jedes Baublocks, gemessen an den Ansprüchen und Bedürfnissen der Bevölkerung über 64 Jahren, darstellt, vorgenommen werden. Mit insgesamt 40% befinden sich mehr als doppelt so viele Baublocks in den Kategorien niedriger und sehr niedriger Erreichbarkeitsqualität als in den Kategorien hoher und sehr hoher Erreichbarkeitsqualität, die insgesamt 18% aller Baublocks ausmachen. 42% der Wiener Baublocks befinden sich in der Kategorie mittlerer Erreichbarkeitsqualität. Baublocks im Bereich des Zentrums der Stadt weisen die höchste Erreichbarkeitsqualität auf, während peripher gelegene Baublocks die niedrigsten Werte aufweisen. Grund dafür ist vor allem die hohe Dichte an ÖPNV-Linien und Stationen, sowie die Konzentration der meisten relevanten Einrichtungen im Zentrum der Stadt.

Anhand der oben präsentierten Daten lassen sich Aussagen über die Verteilung älterer Personen im Stadtraum Wiens treffen. 55% der über 64-Jährigen leben in Baublocks, die eine mittlere Erreichbarkeitsqualität aufweisen. Absolut betrachtet leben 28% der über 64-Jährigen in Baublocks mit einer schlechten oder sehr schlechten Erreichbarkeitsqualität. Dies sind 11 Prozentpunkte mehr als der Anteil der Bevölkerungsgruppe, die in Baublocks der Kategorie hoher und sehr hoher Erreichbarkeitsqualität leben (lediglich 17% der Personen derselben Bevölkerungsgruppe). Die Betrachtung der durchschnittlichen Anzahl an EinwohnerInnen über 64-Jähriger pro Hektar zeigt jedoch ein differenziertes Bild der Verteilung älterer Bevölkerungsgruppen.
Entfernt man sämtliche Baublocks, die unbewohnt bzw. unbewohnbar sind (z.B. Grün- und Wasserflächen) aus der Analyse, ist die durchschnittliche EinwohnerInnenzahl pro Hektar innerhalb der Kategorie hoher Erreichbarkeitsqualität mit Abstand am höchsten. Auch in der Kategorie mittlerer sowie sehr hoher Erreichbarkeitsqualität übertrifft die Anzahl der EinwohnerInnen pro Hektar bei weitem die Werte für die unteren beiden Kategorien.

Die Ergebnisse der Datenanalyse zeigen also, dass in absoluten Werten gemessen zwar mehr Personen in Baublocks niedriger als hoher Erreichbarkeitsqualität wohnen, jedoch verglichen mit der Anzahl der Baublocks und deren Größe, die durchschnittliche EinwohnerInnenzahl in Baublocks guter Erreichbarkeitsqualität bei weitem am höchsten ist. Dies zeigt, dass die EinwohnerInnendichte älterer Bevölkerungsgruppen in jenen Baublocks, die eine gute Anbindung an das ÖPNV-System sowie eine gute Erreichbarkeit von für ältere Personen relevanten Einrichtungstypen gewährleisten, besonders hoch ist. Ebenso ist nachweisbar, dass diese Tendenz in sämtlichen Altersklassen zwischen 65 und mehr als 90 Jahren in vergleichbarem Ausmaß zutrifft.

Vergleicht man die Ergebnisse jedoch mit der Situation der Gesamtbevölkerung ist erkennbar, dass eine ähnliche Verteilung der Bevölkerung auf Wohnblocks innerhalb der jeweiligen Erreichbarkeitskategorien auch bei jüngeren Bevölkerungsgruppen vorherrscht. Ebenso wie ältere Personen präferieren auch die restlichen Bevölkerungsgruppen jene Baublocks, die hinsichtlich der Erreichbarkeit von für ältere Personen relevante Einrichtungstypen eine mittlere, hohe und sehr hohe Qualität aufweisen. Besonders interessant ist allerdings, dass durch den Vergleich der Abweichung der EinwohnerInnendichte in den einzelnen Erreichbarkeitsqualitätskategorien der jeweiligen Bevölkerungsgruppen mit der EinwohnerInnendichte der jeweiligen Bevölkerungsgruppen über die Summe aller Baublocks hervorgeht, dass jüngere Bevölkerungsgruppen - verglichen mit der älteren Bevölkerung - eine höhere EinwohnerInnendichte innerhalb der mittleren, hohen und sehr

hohen Erreichbarkeitsqualitätskategorien aufweisen und eine niedrigere in den Kategorien schlechter und sehr schlechter Erreichbarkeitsqualität.

Gründe dafür können sein, dass dieselben Einrichtungen, die zur Ermittlung der Erreichbarkeitsqualität aus Sicht der älteren Bevölkerung gewählt wurden, auch für den Rest der Bevölkerung relevant sind, oder dass die untersuchten Einrichtungen eine räumliche Nähe zu anderen Einrichtungstypen haben, an deren Nutzung die übrige Bevölkerung Interesse hat. Letzteres ist eine plausible Annahme, da nahezu alle untersuchten Einrichtungstypen im Zentrumsbereich der Stadt konzentriert vorzufinden sind. In den meisten Fällen ist dies auch bei sämtlichen anderen Einrichtungstypen innerhalb einer Stadt der Fall, weshalb dieselben Baublocks auch hinsichtlich der Erreichbarkeit gänzlich anderer Einrichtungen wahrscheinlich dieselbe Erreichbarkeitsqualität aufweisen.

Preisniveau und –Entwicklung (bezogen auf Miete und den Erwerb von Eigentum an Immobilien), ökonomische Verhältnisse, individueller Wohnraumbedarf und viele weitere Faktoren, die ausschlaggebend für die Verteilung der Wohnstandorte von Individuen und demografisch typisierbarer Bevölkerungsgruppen im Raum sind, haben ebenso Einfluss auf die Verteilung der EinwohnerInnen im Stadtgefüge, wie die Erreichbarkeitsqualität des Wohnstandortes auf Basis des ÖPNV. Die im Rahmen dieser Analyse aufgezeigten Verhältnisse und Verteilungen hinsichtlich der EinwohnerInnenverteilung und –Dichte, können sich durch weitere Forschungsbemühungen, die sich der Integrierung zusätzlich relevanter Faktoren in die Analyse der Wohnstandortverteilung älterer Bevölkerungsgruppen widmen, zusätzlich untersuchen und erklären lassen.

13.1. Potentielle Verwendung der Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung liefern gezielte Information über die räumliche Verteilung älterer Personen sowie die Erreichbarkeitsqualität der einzelnen Baublocks in Wien, hinsichtlich der alltäglichen Mobilitätsbedürfnisse von Personen im fortgeschrittenen Alter. Die geschaffene Datengrundlage kann für Standortanalysen und Standortentscheidungen hinsichtlich der Ansiedlung von Einrichtungen mit dem Ziel, die Versorgung älterer Bevölkerungsgruppen in Baublocks niedriger Erreichbarkeitsqualität zu verbessern, eingesetzt werden. Umgekehrt können die Daten ebenso für Standortentscheidungen hinsichtlich altersspezifischer Wohnbauprojekte an Orten guter Erreichbarkeitsqualität, die gezielt ältere Personen ansprechen sollen, dienen.
Daneben können auch Auswirkungen von Veränderungen im ÖPNV-System, wie etwa Routen- und Stationsverlagerungen, Linienerweiterungen oder Taktveränderungen, auf die Erreichbarkeitsqualität gezielt analysiert werden, um die Entscheidungsfindung im Rahmen von auf das ÖPNV-System bezogenen Maßnahmen zur Erreichbarkeitsverbesserung für ältere Personengruppen unterstützen.

13.2. Kritische Betrachtung der Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit ist nach bestem Gewissen und mit viel Umsicht durchgeführt worden. Dennoch ist es möglich die Vorgehensweise in der Bearbeitung der Forschungsfrage, hinsichtlich der umfassenden Einbeziehung relevanter Faktoren, die einen Einfluss auf das Ergebnis haben können, zu verbessern. Erwähnenswerte Kritikpunkte hinsichtlich der vorliegenden Arbeit werden an dieser Stelle zusammengefasst. Diese gilt es in der Auseinandersetzung mit den Ergebnissen dieser Arbeit

sowie der Anwendung ähnlicher Methoden zur Erreichbarkeitsanalyse auf Netzwerkbasis mittels GTFS zu berücksichtigen.

13.2.1. S-Bahn nicht miteinbezogen

Ein wesentlicher Kritikpunkt an der präsentierten Arbeit ist die Nicht-Einbeziehung von S-Bahn Stationen und -Linien im Netzwerkmodell. Dies war nicht möglich, da zum Zeitpunkt der Erstellung des Netzwerks und der Durchführung der Untersuchungen keine Fahrplan- und Infrastrukturdaten der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) im GTFS-Format existierten. Da das S-Bahn Netz innerhalb Wiens auch mit Tickets und Zeitkarten der Wiener Linien genutzt werden kann und wichtige Knotenpunkte bedient, konnte damit ein sehr relevanter Bestandteil des Wiener ÖPNV-Systems nicht in die Analyse integriert werden. Die Erreichbarkeitsqualität von Baublocks in der Umgebung oder mit guter Erreichbarkeit von S-Bahn Stationen fällt deswegen mit hoher Wahrscheinlichkeit tatsächlich besser aus, als sie es im Rahmen der Ergebnisse dieser Arbeit tut.

13.2.2. Fehlende Miteinbeziehung der Erreichbarkeit von Ärzten

Die Erreichbarkeit von Ärzten wurde im Rahmen der Ausarbeitung der Ergebnisse nicht berücksichtigt. Dieser Einrichtungstyp ist jedoch im Zuge der Literaturrecherche als nachgefragter Einrichtungstyp älterer Bevölkerungsgruppen ausgemacht worden. Grund für die Auslassung in der Analyse ist die Verteilung der Standorte im Stadtgebiet. Diese ähnelt der Verteilung von Bankfilialen in einem sehr hohen Ausmaß, was den Erreichbarkeitsindex noch stärker von der Erreichbarkeit von im großen Ausmaß im Zentrum konzentrierter Einrichtungstypen abhängig gemacht hätte. Aufgrund dessen habe ich mich nach einem thematisch ähnlichen Einrichtungstyp umgesehen, der jedoch eine andere Verteilungsstruktur im Raum aufweist.

Die im fortgeschrittenen Alter oftmals auftretende Notwendigkeit der regelmäßigen Einnahme bestimmter Medikamente, bedingt ein regelmäßiges Aufsuchen von Ärzten einerseits, zur Verschreibung der Rezepte, sowie der Apotheken andererseits, um die verschriebenen Medikamente auch zu erhalten. Als Ersatz für den Einrichtungstyp „Arztpraxen“ wurden deswegen Apothekenstandorte ausgewählt. Diese haben den gleichen thematischen Hintergrund (Gesundheit) und sind als in etwa gleich relevant für die Befriedigung medizinischer Bedürfnisse älterer Personen bewertet worden (persönliche Bewertung). Aufgrund von Bestimmungen im Österreichischen Apothekengesetz, die Auswirkung auf die räumliche Verteilung von Apotheken haben (vgl. Kapitel 10.1.3.1), sind diese weniger konzentriert und flächendeckender im Raum verteilt als es Arztpraxen sind.

13.2.3. Umsteigehäufigkeit

Bei der Art der Erreichbarkeitsqualitätsermittlung, wie sie im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde, war es nicht möglich, die Minimierung der Anzahl notwendiger Umsteigevorgänge als Bedingung miteinzubeziehen. In ArcGIS ist es nicht möglich, mehrere Kostenparameter gleichzeitig als Grundlage für Routenberechnungen zu definieren. Daher kann eine Obergrenze für die Reisezeit, unter der Bedingung eine festgelegte Anzahl an Umstiegen nicht zu überschreiten (und nach Möglichkeit zu minimieren), nur über Umwege festgelegt werden. Für einzelne Routenberechnungen ist dieser Gedanke über den Umweg der Einrichtung eines eigenen zusätzlichen Kantengewichts für die Verbindungskanten der Stationspunktepaare implementierbar. Dabei wird bei jeder Nutzung der

Verbindungskanten der Wert 1 gezählt und aufsummiert, bis nach Zielerreichung jeder Route ein Wert beiliegt, der Auskunft darüber gibt, wie oft Verbindungskanten zur Zurücklegung der Route überquert werden müssen. Dabei muss beachtet werden, dass aufgrund der Tatsache dass die Liniensegmente das Ein- und Aussteigen darstellen, der erste Ein- sowie der letzte Aussteigevorgang herauszurechnen sind. Ebenso muss der verbleibende Wert halbiert werden, da einmal ein- und einmal aussteigen in Summe einen Umsteigevorgang ergibt (d. h. Umsteigeanzahl = (Summe der Anzahl der genutzten Verbindungsliniensegmente – 2)*0,5).

Um dieses Konzept innerhalb der präsentierten Vorgehensweise anzuwenden, wäre es notwendig, eine eigene OD-Cost-Matrix für jede Minute der zwei analysierten Stunden bezüglich der Untersuchungen hinsichtlich erreichbarer Ziele und durchschnittlicher Fahrzeiten je Einrichtungstyp durchzuführen (= 600 OD-Cost-Matrizen). Anschließend müssten sämtliche Quell-Ziel-Verbindungen jeder OD-Cost-Matrix, gemäß der notwendigen Anzahl der Umsteigevorgänge kategorisiert bzw. jene Relationen, die eine festgelegte Obergrenze an zur Zielerreichung notwendigen Umsteigeprozessen übersteigen, aus der Analyse ausgeschlossen werden. Danach müsste der Aggregationsprozess, der mithilfe der Tools „Calculate Accessibility Matrix“ und „Calculate Travel Time Statistics“ automatisiert, unter Heranziehung einer einzelnen OD-Cost-Matrix pro untersuchtem Einrichtungstyp, passiert, händisch durchgeführt werden.

Eine solche Vorgehensweise wäre durch das Erstellen eines mehrstufigen Analysemodells und der Integration von zumindest drei Iteratorfunktionen möglich gewesen, hätte jedoch aufgrund des erhöhten Rechenaufwands die zur Verfassung der Arbeit zu Verfügung stehenden zeitlichen Ressourcen überschritten. Deswegen wurde der Entschluss gefasst, Umsteigerelationen als Kostenfaktor nicht in die Analyse zu integrieren.

13.2.4. Querung von Straßen

Ältere Menschen benötigen zur Querung von Straßen in der Regel länger als jüngere Personen (vgl. Kapitel 6.2). Diesem Umstand wird in dem den Analysen zugrundeliegenden Fußgängernetzwerk nur bedingt Rechnung getragen. Grund dafür ist, dass es nicht möglich ist zwischen der Überquerung einer Straße und dem Um-die-Ecke-Gehen zu unterscheiden. Bei beiden Vorgängen wird ein Knotenpunkt, der die einzelnen Liniensegmente miteinander verbindet, genutzt. Theoretisch müsste diesen Knotenpunkten ein Gewicht zugeteilt werden, das genau dann in die Berechnung miteinbezogen wird, wenn nach Benutzung des Knotens die Fahrbahn überquert wird. Dies kann in ArcGIS allerdings nicht implementiert werden. Das Knotengewicht würde auch dann mitberechnet werden, wenn die Fahrbahn nicht überquert und nur um die Ecke gegangen werden würde.

Um dieses Problem zu lösen wurde jedem Knoten im Fußwegenetz ein geringeres Knotengewicht zugewiesen. Dieses beträgt 0,12 Minuten und wird bei jeder Überquerung eines Knotens zur Wegkostensumme hinzuaddiert. Das sind umgerechnet 5 Sekunden pro Knoten. Das führt dazu, dass die Überquerung von Straßen zwar zu geringe Folgen bezüglich der Kosten hat, diese jedoch durch das Um-die-Ecke-Gehen kompensiert werden. Die Knotenkostensumme nach Abschluss einer Route soll die Kosten für das Überqueren von Straßen entlang der Route insgesamt näherungsweise abbilden. Eine fälschlicherweise längere Reisezeit entsteht jedoch in Fällen in denen kaum Straßen überquert werden, aber viel um die Ecke gegangen wird. Umgekehrt werden Routen die eine hohe Anzahl an Straßenüberquerungen bei gleichzeitig wenigen Abbiegevorgängen an Ecken aufweisen, eine zu kurze Reisezeit aufweisen. Dennoch ist das Ergebnis im letzteren Fall - der ungleich häufiger

vorkommt als der erstgenannte – akkurater, als wenn gar kein Knotengewicht definiert werden würde.

13.2.5. Subjektive Gewichtsverteilung

Die Gewichtung der einzelnen Erreichbarkeitsfaktoren, die in der Ermittlung des Index miteinander in Beziehung gesetzt werden, ist zwar inhaltlich begründet, jedoch beruht die Reihung der Faktoren sowie die Bestimmung der Gewichtswerte in letzter Konsequenz immer auf subjektiven Annahmen und Bewertungen.

Die Gewichtsverteilung könnte je nach Vorhaben und Forschungshintergrund gänzlich anders aussehen. Dies gilt es im Umgang mit gewichteten Durchschnitten in der Bewertung von Forschungsergebnissen sowie innerhalb der eigenen Arbeit zu berücksichtigen und zu hinterfragen.

13.2.6. Keine Berücksichtigung von Steigungen

Topographische Bedingungen wie etwa die Neigung bzw. Steigung von Fußwegen können besonders für ältere Personen wesentliche Schwierigkeiten für die alltägliche Mobilitätsbewältigung bedeuten. Steigungen und Neigungen von Fußwegen wurden in der Erstellung des Fußwegenetzes jedoch nicht berücksichtigt.

13.2.7. Keine Integration von Daten bezüglich der Verfügbarkeit von Aufzügen in Stationen

Da das Vorhandensein von Aufzügen den körperlichen Aufwand zur Bewältigung des Höhenunterschieds zwischen U-Bahn Stationseingängen und dem Bahnsteig erheblich reduziert, ist dieser Umstand besonders für ältere Personen wichtig, deren körperliche Leistungsfähigkeit vergleichsweise gering ist. Die Integration der Information des Vorhandenseins von Aufzügen in das Netzwerkmodell ist jedoch nicht erfolgt, da die Überprüfung der Fälle, in denen kein Aufzug in der Station vorhanden war, ergeben hat, dass diese aufgrund der ebenerdigen Erreichbarkeit des Bahnsteiges nicht notwendig sind.

Eine Unterscheidung der U-Bahn-Stationen nach Vorhandensein eines ebenerdig erreichbaren Bahnsteigs hätte einen Aufwand zur Folge (die händische Bearbeitung der Daten von 4.380 Stationspunkten), der nicht in Relation zur damit einhergehenden Qualitätsverbesserung des Netzwerks steht. Grund dafür ist die Tatsache, dass praktisch keine U-Bahn-Station in Wien existiert, die einen Aufzug benötigen würde, jedoch über keinen verfügt. Zwar verfügt nicht jeder Stationseingang über einen eigenen Aufzug, aber jede Station verfügt über zumindest einen Aufzug, der die Erreichung der Bahnsteige gewährleistet (z.B. U4-Station Pilgramgasse).

14. Beantwortung der Forschungsfrage und die Bedeutung von GTFS für die Raumplanung

Ziel der Arbeit war es, das Potenzial von GTFS in der Anwendung raumplanungsrelevanter Fragestellungen und Herausforderungen am Beispiel von Analysen zu Erreichbarkeit auf ÖPNV-Basis zu analysieren. Das Datenformat GTFS liefert tatsächlich eine brauchbare Grundlage um ÖPNV-Systeme und deren Fahrpläne detailliert digital abzubilden und in Erreichbarkeitsanalysen in Netzwerkmodellen zu integrieren. Als Netzwerkbestandteil auf Grundlage einer umfangreichen Datenbasis, kann der ÖPNV mithilfe von GTFS als gleichwertiger Verkehrsmodus, neben dem MIV und aktiven Mobilitätsformen wie dem Fahrrad oder dem Zufußgehen, in digitalen Verkehrsmodellen und Untersuchungen integriert werden. Eine Erweiterung herkömmlicher Verfahren im Umgang mit ÖPNV-Daten liefert die Miteinbeziehung des Faktors Zeit.

Die Zuhilfenahme ungenauer Durchschnittswerte zu Fahrzeiten und Taktfrequenz und deren zeitintensive Ermittlung entfallen durch die Möglichkeit der Heranziehung von GTFS-Daten, die minutengenaue Angaben bezüglich des Fahrplans in Stationspunkten und Liniensegmenten beinhalten. Dadurch ist es möglich, gezielt zeitpunkt- und zeitraumspezifische Analysen zu erstellen sowie die Gültigkeit von Erreichbarkeiten als Wahrscheinlichkeit anzugeben und zu kategorisieren.

Dies bietet die Grundlage für eine differenzierte Betrachtung von Erreichbarkeit, in der der Zeitpunkt und der Zeitraum der Untersuchung wesentliche Faktoren sind. Insgesamt wird die Qualität von Erreichbarkeitsuntersuchungen durch die Anwendung von GTFS also qualitativ verbessert.
Das gilt besonders für Fragestellungen in Bezug auf die ÖPNV-Nutzung, die einen klaren zeitlichen Bezugsrahmen aufweisen oder auf spezielle Bevölkerungsgruppen und deren zeitlichen Nutzungsmustern ausgerichtet sind.

Die Anwendung von GTFS ist, aufgrund der in der Regel öffentlichen Verfügbarkeit von GTFS-Datensätzen sowie der barrierefreien Verfügbarkeit von Bearbeitungs- und Integrationstools für GIS, theoretisch für jeden möglich. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine ausgewählte Menge an Tools zur Analyse von GTFS-Daten verwendet. Eine große Anzahl weiterer Analysetools kann problemlos online bezogen und in der Anwendung kombiniert werden, was eine große Vielfalt an Möglichkeiten der Analyse, Verschneidung und sogar Bearbeitung und Erweiterung der Daten ermöglicht.

14.1. Schwächen von GTFS und Hürden in der Anwendung

14.1.1. Komplexe Anwendung

Um GTFS innerhalb von Geoinformationssystemen (GIS) zu verwenden, ist fundiertes Vorwissen bezüglich der Systematik und Funktionsweise von GIS sowie im Umgang mit Netzwerkmodellen notwendig. Dies kann für Anwender, die nur über rudimentäre GIS-Kenntnisse verfügen, ein Hinderungsgrund in der Anwendung und Implementierung sein. Für die Arbeit in ArcGIS stellt Esri jedoch umfangreiche Informationen und Tutorials zu sämtlichen Themenbereichen innerhalb der Software zu Verfügung, die online kostenfrei bezogen werden können. Diese können den Nutzer ebenso hinsichtlich des Aufbaus eines Netzwerks sowie die Implementierung von GTFS unterstützen, indem sie eine Anleitung im Umgang bieten.

14.1.2. Lange Rechendauer

Die Durchführung von Tools, die auf dem Prinzip der Analyse von Quell-Ziel-Verbindungen innerhalb eines Zeitraumes basieren, kann bei größeren Datenmengen, die eine hohe Anzahl an Quell-Ziel-Verbindungen zur Folge haben können, sehr zeitintensiv werden. Die Durchführung der Tools, mit deren Hilfe die Wahrscheinlichkeit der Erreichbarkeit der Ziele sowie der dabei entstehenden Reisezeiten ermittelt wurde, dauerte im Schnitt vier Tage pro Einrichtungstyp. Bei den fünf ausgewählten Einrichtungstypen im Rahmen dieser Arbeit betrug die reine Rechenzeit für die Generierung der Daten in etwa 20 Tage. Dies ist ein wesentlicher Faktor, der die Etablierung von GTFS als Datengrundlage in der Erreichbarkeitsanalyse auf ÖPNV-Basis erschweren kann. Die Erstellung von einfachen Routing-Analysen dauert im Vergleich jedoch nur wenige Sekunden. Auch die Analysen bezüglich der Anzahl erreichbarer ÖPNV-Stationen und von dort aus wahrnehmbaren Fahrten pro Baublock, nahm mit etwa einer Stunde Rechenzeit nur einen Bruchteil der Ressourcen in Kauf, obwohl es sich dabei ebenso um eine zeitraumabhängige Untersuchung handelt.

14.1.3. Keine Implementierung von Umstiegen

Die Umsteigehäufigkeit ist ein wesentlicher Faktor für die Wahl der Reiseroute sowie des Verkehrsmittels (vgl. Kapitel 6.2), nicht nur für ältere Personengruppen. Eine Implementierung dieses Gedankens in Untersuchungen zu Erreichbarkeit scheint deswegen unumgänglich. Es ist über Umwege möglich, in ArcGIS ermittelte Routen hinsichtlich der Anzahl für die Zurücklegung benötigter Umstiege zu differenzieren (vgl. Kapitel 13.2.3). Dies ist jedoch nur für die Untersuchung einzelner Routenanalysen realistisch durchführbar. Es existiert noch kein Tool, welches das Problem der Akkumulierung von Umsteigeprozessen innerhalb einer oder mehrerer Routen unter Miteinbezug von GTFS automatisiert löst.

Ob dies innerhalb des im Rahmen der in dieser Arbeit verwendeten ArcGIS Erweiterung „Network Analyst“ überhaupt implementierbar ist, ist fraglich, da Routing-Analysen dabei nur unter Definierung eines einzigen Kostenparameters möglich sind (vgl. Kapitel 13.2.3).

14.2. Weitere potentielle Anwendungbereiche von GTFS in der Raumplanung

Neben der Anwendung in der Analyse von Erreichbarkeit kann GTFS auch in einer Vielzahl weiterer raumplanungsrelevanter Themenfeldern Anwendung finden. Einige Beispiele werden an dieser Stelle präsentiert:

14.2.1. Routing-Analysen

Bereits jetzt wird GTFS im Bereich der Routing-Analyse verwendet. Nutzerfreundliche Online-Anwendungen, wie beispielsweise Fahrplanabfragen der Wiener Linien oder die Ermittlung des schnellsten Weges von A nach B in Google Maps, basieren auf GTFS. Die verkehrsmodiübergreifende Betrachtung der Wegzeiten bietet die Möglichkeit, die Vorteile der Fortbewegung in der Stadt mittels öffentlicher Verkehrsmittel sichtbar zu machen und die Wahrscheinlichkeit deren Nutzung zu erhöhen. Dasselbe Konzept kann, neben der Fahrzeitangabe, auch mit der Darstellung weiterer Mobilitätskosten kombiniert werden. So können die verursachten Kosten der Routen- und Verkehrsmittelwahl beispielsweise auch in Geld oder Schadstoffmengen angegeben werden. Dadurch bieten sich Möglichkeiten, die Vorteile des ÖPNV hervorzuheben und diesen als

ernstzunehmende Alternative zum MIV, dessen negative externe Effekte wie Schadstoffausstoß, Platzverbrauch und Lärmemissionen, vor allem im urbanen Kontext zur Verminderung der Lebensqualität führt, zu positionieren.

14.2.2. Standortbewertung und Ermittlung von Einzugsbereichen auf ÖPNV-Basis

Auf Basis der Erreichbarkeit des ÖPNV können Standorte hinsichtlich ihrer Eignung für bestimmte Nutzungen analysiert werden. In den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen könnten dies beispielsweise Wohnbauten für ältere Personen sein. Ebenso ist es jedoch auch möglich, potenzielle Standorte für Einrichtungen, deren Erreichbarkeit durch den ÖPNV unterdurchschnittlich gut ausgeprägt ist, zu untersuchen. Dabei kann die Anzahl der Personen, deren Erreichbarkeit eines bestimmten Gutes oder eines bestimmten Einrichtungstyps zunimmt, als einer von mehreren Indikatoren für die Bewertung einer Standortentscheidung herangezogen werden. Wenn die Erhöhung der Erreichbarkeit auf ÖPNV-Basis einen hohen Rang in der Zielsetzung einnimmt, können Erreichbarkeitsanalysen mittels GTFS einen entscheidenden Beitrag dazu leisten, die besten Standorte auszumachen und den Effekt, den eine Standorterschließung oder auch – Verlagerung auf die Erreichbarkeit des Einrichtungstyps oder des Guts hat, zu untersuchen.

14.2.3. Analyse von Veränderungen im ÖPNV-System

Geplante Routenänderungen, Linienerweiterungen und Stationsstandortfestlegungen oder -Verlagerungen können mit der Nutzung von GTFS hinsichtlich ihrer Auswirkung bewertet und miteinander verglichen werden. Veränderungen der Erreichbarkeitsqualität und die Deckung des Mobilitätsbedarfs durch den ÖPNV – vor allem zu Spitzenzeiten – können dabei als Entscheidungskriterien fungieren.

14.3. Weiterer Forschungsbedarf

Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Integration von GTFS Realtime-Daten in GIS sowie deren Anwendungsmöglichkeiten. Sämtliche im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Analysen beruhen auf statischen Fahrplandaten, die die planmäßige Bedienung der ÖPNV-Stationen abbilden. In Realität kann es aufgrund von Verzögerungen unterschiedlicher Art (z.B. Stau, Unfall, längerer Stationsaufenthalt, etc.) zu Abweichungen vom Fahrplan kommen. Diese Umstände können in der Bearbeitung von GTFS Realtime-Daten in Echtzeit berücksichtigt werden. Diese werden bereits beispielsweise in Online Routenrechnern eingesetzt, um die schnellste Route von A nach B anzuzeigen.
Dabei ist ein größerer Einsatzbereich, wie etwa der Anwendung im Bereich des Verkehrsmanagement denkbar. Bei ungeplanten Veränderungen im ÖPNV-System, beispielsweise bei einem unvorhergesehenen Ausfall einer ÖPNV-Linie aufgrund eines Unfalls, sind Ausweichrouten oder die effizienteste Passagierverlagerung auf andere Linien in einem auf GTFS basierendem Netzwerkmodell einfach und zeiteffizient ermittelbar.

15. Quellen

15.1. Literaturquellen:

Amann, A. (2009): Lebensqualität und Lebenszufriedenheit. In: Hochaltrigkeit in Österreich. Eine Bestandsaufnahme. Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz. Wien

Bundesministerium für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz. Wien, 2009, S. 202ff.Banister D. (2008): The sustainable mobility paradigm. In: Transportation Policy 15 (2), 73–80

Bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2013a): Mobilität im Alter. Ein Handbuch für PlanerInnen, EntscheidungsträgerInnen und InteressensvertreterInnen. Wien

Bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2013b): Radverkehr in Zahlen. Daten, Fakten und Stimmungen. Wien

Bmvit – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2016): Österreich unterwegs. Wien

Brecht, M. (2012): Sturzrisiko im Alter. In: Folder „Sturzambulanz. Klinik für Rehabilitation und Geriatrie“. Diakonische Dienste Hannover. Hannover .

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Bonn und Berlin (2010): Mobilität in Deutschland 2008. infas Ergebnisbericht „Struktur – Aufkommen - Emissionen - Trends“. Bonn/Berlin

Byrne, M. (2015): The Simple, Elegant Algorithm That Makes Google Maps Possible. Vice, URL: https://motherboard.vice.com/en_us/article/4x3pp9/the-simple-elegant-algorithm-that-makes-google-maps-possible (zuletzt abgerufen am 24.04.2019)

Chen C., Gong H., Paaswell R. (2008): Role of the built environment on mode choice decisions: additional evidence on the impact of density. In: Transportation Journal 35 (3), 285–299

Çolak S., Lima A., González M. C. (2016): Understanding congested travel in urban areas. In: Nature Communications 7

Corman T., H., Leiserson C., E., Rivest R., L., Stein C. (2009): Introduction to Algorithms. The MIT Press, Massachusetts Institute of Technology

Curtis, C., Scheurer, J. (2010): Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making. In: Progress in Planning 74, (2), 53–106.

Derrible, S., Kennedy, C. (2010a): Characterizing metro networks: state, form, and structure. In: Transportation 37, (2), 275-297.

Derrible, S., Kennedy, C. (2010b): The complexity and robustness of metro networks. In: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 389, (17), 3678–3691.

Derrible, S., Kennedy, C. (2011): Applications of Graph Theory and Network Science to Transit Network Design. In: Transport Reviews 31, (4), 495–519.

Diana, M. (2010): Public Transport. A Dictionary of Transport Analysis. Edward Elgar Publishing. Cheltenham

Dijkstra, E., W. (1959): A note on two problems in connection with graphs. In: Numerical Mathematics, 1, 269-271.

Diestel, R. (1996): Graphentheorie. Springer. Berlin

El-Geneidy A., Levinson D. (2006): Access to Destinations - Development of Accessibility Measures. University of Minnesota, St-Paul, Departement of civil engineering. Minnesota

El-Geneidy A., Grimsrud M., Wasri R., Tétreault P., Suprenant-Legault J. (2014): New evidence on walking distances to transit stops: identifying redundancies and gaps using variable service areas

Europäische Kommission (2018): A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Brüssel

Esri (2018): Algorithms used by the ArcGIS Network Analyst extension. Desktop.arcgis.com, URL: https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/algorithms-used-by-network-analyst.htm (zuletzt abgerufen am 20.02.2019)

EPOMM (2011): TEMS – The EPOMM Modal Split Tool. URL: http://www.epomm.eu/tems/index.phtml (zuletzt abgerufen am 24.04.2019)

Ewert, U. (2012): Senioren als Fußgänger. bfu-Faktenblatt Nr. 08. bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. Bern

FIS – Forschungsinformationssystem (2012): Mobilitätseingeschränkte Personen: Anforderungen und Erwartungen an Informations- und Kommunikationsdienste; URL: https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/401075/ (zuletzt abgerufen am 25.03.2019)

Fortin P., Morency C., Trépanier M. (2016): Innovative GTFS Data Application for Transit Network Analysis Using a Graph-Oriented Method. In: Journal of Public Transportation 19 (4), 18-37

Gabler, S.; Ganninger, M. (2010): Gewichtung. In: Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse (pp. 143–164). VS Verlag für Sozialwissenschaften

Geo7.ch: i-range planner für den Kanton Solothurn; URL: https://geo7.ch/blog/irp-kanton-solothurn/ (zuletzt abgerufen am 29.12.2018)

Geurs K., van Wee B. (2004): Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. In: Journal of Transport Geography 12 (2), 127–140

Google (2015): “What is GTFS-realtime?” URL: https://developers.google.com/transit/gtfsrealtime/ (zuletzt abgerufen am 17.02.2019)

Google Groups (2017): Including data licensing/terms of use in GTFS spec. Online Forum. URL: https://groups.google.com/forum/#!topic/gtfs-changes/iDmt-vjs180 (zuletzt abgerufen am 01.05.2019)

Grund E. (1997): Die Stadt der kurzen Wege. In: Straßenverkehrstechnik 41 (2), 57-61

Halden D. (2011): The use and abuse of accessibility measures in UK passenger transport planning. In: Research in Transportation Business & Management 2, 12–19.

Handy S. (2002): Accessibility- vs. mobility-enhancing strategies for addressing automobile dependence in the U.S. University of California, Davis, Institute of Transportation Studies

Handy S., Niemeier D. (1997): Measuring accessibility. An exploration of issues and alternatives. In: Environmental Planning A 29, 1175–1194

Haustein, S. (2010): Mobilitätsverhalten von Seniorinnen und Senioren – zur Entwicklung zielgruppenspezifischer Mobilitätsangebote. In: ILS-Trends 1/10. Hrsg.: ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung GmbH. Dortmund

Heineberg, H. (2001): Stadtgeographie – 7 Tabellen. Schöningh Verlag. Paderborn, München

Herry M., Sammer G., Ruß M., Schuster M., Röschel G. (1998): Mobilitätserhebung österreichischer Haushalte, Arbeitspaket A3-H2, im Rahmen des Bundesverkehrswegeplanes Österreich; Graz

Horner M. W., Murray A. T. (2004): Spatial representation and scale impacts in transit service assessment.

IFES - Institut für empirische Sozialforschung (2010): Lebensqualität im Alter. Befragung von Personen ab 60 Jahren. Studienbericht. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit, Soziales und Konsumentenschutz. Wien

Jahn, K., Zwergal, A., Schniepp, R. (2010): Gangstörungen im Alter. In: Deutsches Ärzteblatt, Jahrgang 107, Heft 17

Kalache, A., Kickbusch, I. (1997): A Global Strategy for Healthy Ageing. In: World Health, 4, 4-5

Kaufmann, S. (2014): Opening Public Transit Data in Germany. Diplomarbeit. University of Ulm, Ulm

Kirchhoff, P. (2002): Städtische Verkehrsplanung – Konzepte, Verfahren, Massnahmen. Teubner. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden.

Lamprecht, A., M. (2003): Die Bedeutung und Funktion des Glaubens im Alter. Technische Universität Berlin - Fakultät für Architektur, Umwelt und Gesellschaft. Berlin

Lao Y., Liu L. (2009): Performance evaluation of bus lines with data envelopment analysis and geographic information systems.

Levinson D. (1998): Accessibility and the journey to work. In: Journal of Transport Geography 6 (1), 11–21

Levinson D., Krizek K. (2007): Planning for Place and Plexus: Metropolitan Land use and Transport. Routledge, New York, US.

Levine J., Grengs J., Shen Q. (2012): Does accessibility require density or speed? A comparison of fast versus close in getting where you want to go in US metropolitan regions. In: Journal of the American Planning Association 78 (2), 157–172.

Levinson D., Gillen D. (2005): The machine for access. In: Access to Destinations. Elsevier, Oxford

Lypp, D. (2015): GIS-basierte Bewertung von Nahverkehrsnetzen durch einen Umweltverband mit frei verfügbaren Daten – am Beispiel Münchens. Paris Lodron-Universität. Salzburg

MA18 (2008): Multikriterielle Modellierung der ÖV-Erreichbarkeit für die Stadt Wien. Wien

Meadows D., Randers J., Meadows L. D. (2011): Grenzen des Wachstums – Das 30-Jahre-Update: Signal zum Kurswechsel. S. Hirzel Verlag, Stuttgart

Meyerhenke, H. (2017): Algorithmische Methoden zur Netzwerkanalyse. Vorlesungsunterlagen.

Miller H. (2005): Place-based versus people-based accessibility. In: Access to Destinations. Elsevier, Oxford

Murray A. T., Davis R. (2001): Equity in regional service provision. In: Regional Science Journal 41 (4), 557-600

Nuhn, H., Hesse, M. (2006): Verkehrsgeographie. Schöningh, Paderborn

Owen A., D. Levinson, 2015. Modeling the commute mode share of transit using continuous accessibility to jobs. In: Transport Research Journal 74, 110–122

Pfaffenbichler, P., Toth, P. (2014): Mobilitätsbedürfnisse einer Alternden Gesellschaft – Optimierung des ÖPNV-Angebots in Wiener Randlagen mittels Alternativer Bedienformen (AGORA).

Prato, C., G. (2009): Route choice modeling: past, present and future research directions. In: Journal of Choice Modelling, 2(1), 65-100.

Preston J., Rajé F. (2007): Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. In: Journal of Transport Geography 15, 151-160

PV – Pensionsversicherungsanstalt (2019): Alterspension. Pensionsversicherungsanstalt. Wien

Ralph Gakenheimer (1999): Urban mobility in the developing world. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 33, Issues 7–8

Rösner, C. (2014): Glaube in Wien. Religion hochgerechent. In: Wiener Zeitung. URL: https://www.wienerzeitung.at/nachrichten/wien/stadtleben/708916_Muslime-Anteil-verdoppelt-sich-in-naechsten-30-Jahren.html (zuletzt abgerufen am 05.03.2019)

Rösch, N. (1998): Topologische Beziehungen in Geo-Informationssystem. Dissertation. Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Karlsruhe

Roush W. (2012): Welcome to Google transit: How (and why) the search giant is remapping public transportation. In: Community Transportation

Sammer, G., Röschel, G. (1998): Mobilität älterer Menschen in der Steiermark. Graz

Sanchez T. W. (1999): The connection between public transit and employment: the cases of Portland and Atlanta.

Schubert, H. (1975): Topologie. B. G. Teubner, Stuttgart

Shafranovich, Y. (2005): Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files. URL: https://tools.ietf.org/html/rfc4180 (zuletzt abgerufen am 27.04.2019)

Spode, H. (2017): Mobilität, Reisen, Tourismus. Transformationen der Terminologie zwischen Fremdenverkehrslehre und Mobility Turn. In: Die Gesellschaft auf Reisen - eine Reise in die Gesellschaft. Wiesbaden

Stadt Wien, Magistratsabteilung 18 – Stadtentwicklung und Stadtplanung (2015): STEP 2025. Fachkonzept Mobilität. Wien

Straatemeier T. (2008): How to plan for regional accessibility? In: Transportation Policy 15 (2), 127–137.

Susiené, D. (2012): Quality approach to the sustainability of public transport. In: Transport 27, (1), 102–110.

Tully C. J., Baier D. (2006): Mobiler Alltag : Mobilität zwischen Option und Zwang : Vom Zusammenspiel biographischer Motive und sozialer Vorgaben. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden

United Nations (2017): World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248. New York

United Nations (2018): 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. New York

Veenhoven, R. (2006): The four qualities of life. Ordering concepts and measures of the good life. In: United Nations University Press, 74-100. Tokio-New York-Paris

Volkmann, L. (1996): Fundamente der Graphentheorie. Springer Verlag, WIen

Wachs M., Kumagai T. (1973): Physical accessibility as a social indicator. In: Socio-Economic Planning Sciences – Journal 7 (5), 437–456

WHO – Weltgesundheitsorganisation (2002): Aktiv altern. Rahmenbedingungen und Vorschläge für politisches Handeln. Madrid

Wieser R. (2006): Wirkungen der U-Bahn auf den Bodenmarkt in Wien. Department für Raumentwicklung, Fachbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik, Technische Universität Wien. Wien

15.2. Datenquellen:

Add GTFS to a Network Dataset – Toolset, Esri, URL: https://esri.github.io/public-transit-tools/AddGTFStoaNetworkDataset.html (zuletzt abgerufen am 21.02.1019)

Apothekenstandorte in Wien: OSM-Daten exportiert mittels Overpass Turbo, URL: https://overpass-turbo.eu/ (zuletzt abgerufen am 08.04.2019)

Bankfilialenstandorte in Wien: OSM-Daten exportiert mittels Overpass Turbo, URL: https://overpass-turbo.eu/ (zuletzt abgerufen am 08.04.2019)

Baublocks Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a14e57c4-ea1c-4a7a-863a-b874ccf23790 (zuletzt abgerufen am 02.02.2019)

Bevölkerungsstand Wien: Statistik Austria, URL: https://www.wien.gv.at/statistik/bevoelkerung/bevoelkerungsstand/ (zuletzt abgerufen am 31.01.2019)

Bevölkerungsprognose Österreich: Statistik Austria (2018): Bevölkerungsprognose 2018. URL: http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/demographische_prognosen/bevoelkerungsprognosen/index.html#index1 (zuletzt abgerufen am 11.02.2018)

Bevölkerung älter als 59 Jahre nach Baublocks: MA23 - Wirtschaft, Arbeit und Statistik (auf Anfrage)

Bezirksgrenzen Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/2ee6b8bf-6292-413c-bb8b-bd22dbb2ad4b (zuletzt abgerufen am 02.02.2019)

Better Bus Buffers – Toolset: Esri, URL: https://esri.github.io/public-transit-tools/BetterBusBuffers.html (zuletzt abgerufen am 21.02.1019)

CSV-Struktur von GTFS-Daten: Google Transit Partners APIs. URL: https://developers.google.com/transit/gtfs/reference/ (zuletzt abgerufen am 27.04.2019)

fares_attributes.txt Beispiel: Google Transit Partners Help. URL: https://support.google.com/transitpartners/answer/6377425?hl=en&ref_topic=6377359 (zuletzt abgerufen am 28.04.2019)

Flächenwidmung Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/a73c5b74-a9c9-4caa-a796-e4c832645614 (zuletzt abgerufen am 08.04.2019)

Friedhofstandorte in Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/d9321ccf-d303-4cfb-a24b-32aba49cef81 (zuletzt abgerufen am 08.04.2019)

GTFS-Datensatz der Wiener Linien: Wiener Linien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/wiener-linien-fahrplandaten-gtfs-wien (zuletzt abgerufen am 02.02.2019)

GTFS Realtime Connector for GeoEvent: Esri, URL: https://esri.github.io/public-transit-tools/GTFSRTConnector.html (zuletzt abgerufen am 27.04.2019)

GTFS-Toolboxes: ESRI.Github, URL: https://esri.github.io/public-transit-tools/index.html (zuletzt abgerufen am 21.02.2019)

Glaubenshausstandorte in Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/19987402-b592-41d5-89f7-fab3ab43fa54 (zuletzt abgerufen am 08.04.2019)

Landesgrenze Wien: Stadt Wien, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/86c29af5-c52c-423d-8764-82c1bb037936 (zuletzt abgerufen am 04.05.2019)

Postfilialenstandorte in Wien: OSM-Daten exportiert mittels Overpass Turbo, URL: https://overpass-turbo.eu/ (zuletzt abgerufen am 08.04.2019)

Straßengraph Wien: data.gv.at, URL: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/1039ed7e-97fb-435f-b6cc-f6a105ba5e09 (zuletzt abgerufen am 31.01.2019)

Mobilitätsdaten der Österreichischen Bevölkerung:

Österreich unterwegs 2013/2014 (2016): Anonymisierte Datensätze. Bmvit-Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. URL: https://www.bmvit.gv.at/verkehr/gesamtverkehr/statistik/oesterreich_unterwegs/experten/methodendaten.html (zuletzt abgerufen am 25.04.2019)

Herry M., Sammer G., Ruß M., Schuster M., Röschel G. (1998): Mobilitätserhebung österreichischer Haushalte, Arbeitspaket A3-H2, im Rahmen des Bundesverkehrswegeplanes Österreich; Graz

16. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Diagramm eines kompletten GTFS-Datensatzes (Fortin, P., Morency, C., Trépanier, M., 2016, S. 21) 15

Abbildung 2: Darstellung der Felder, über die die einzelnen Dateien miteinander in Beziehung stehen (Kaufmann, S., 2014, S.33.) 28

Abbildung 3: Gegenüberstellung der tatsächlichen ÖPNV-Routenführung und der GTFS-Darstellung in GIS (eigene Darstellung). 30

Abbildung 4: Ergebnis der Erreichbarkeitsanalyse einer Erreichbarkeitsstudie in Wien (MA 18, 2008, S. 25). 32

Abbildung 5: Vergleich herkömmlicher (rechts) und an die Umgebungssituation angepasster (links) Entfernungsbuffer (geo7.ch, 2018). 35

Abbildung 6: Schematische Darstellung des erreichbaren Gebiets ausgehend von einem Analysepunkt in einem GTFS Netzwerkmodell. 36

Abbildung 7: Schematische Darstellung des Gebiets, von dem aus ein festgelegter Punkt innerhalb eines GTFS Netzwerkmodells erreicht werden kann. 37

Abbildung 8: Matrix zur Klassifikation der Stationsgüte (MA 18, 2008, S. 12). 38

Abbildung 9: Prognose der Entwicklung der Weltbevölkerung bis 2100 nach Regionen 42

Abbildung 10: Prognostizierte Wachstumsraten der Weltbevölkerung bis 2100 nach Regionen 43

Abbildung 11: Prognostizierte Lebenserwartung der Weltbevölkerung bis 2050 nach Regionen. 43

Abbildung 12: Altersstruktur der Weltbevölkerung 2017 nach Regionen. 44

Abbildung 13: Prognose der Geburten und Sterbefälle der österreichischen Bevölkerung bis 2080. . 45

Abbildung 14: Prognose der Wanderungsbilanz in Österreich bis 2080. 45

Abbildung 15: Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung in Österreich bis 2080. 46

Abbildung 16: Österreichische Bevölkerungspyramide 2017 und Prognosen für das Jahr 2030 sowie 2060. 46

Abbildung 17: Durchschnittliche tägliche Wegeanzahl nach Altersklassen (Quelle: Herry M., Sammer G., Ruß M., Schuster M., Röschel G., 1998; eigene Darstellung) 49

Abbildung 18: Anteil an Wegen je Wegezweck (Quelle: Bmvit, 2016; eigene Darstellung) 49

Abbildung 19: Durchschnittliche tägliche Wegdauer nach Altersklassen und Geschlecht in Minuten (Quelle: Herry M., Sammer G., Ruß M., Schuster M., Röschel G., 1998; eigene Darstellung). 50

Abbildung 20: Durchschnittliche tägliche zurückgelegte Entfernung nach Altersklassen und Geschlecht in Kilometern (Quelle: Herry M., Sammer G., Ruß M., Schuster M., Röschel G., 1998; eigene Darstellung). 50

Abbildung 21: Modal Split älterer Menschen in Österreich nach Altersklassen (Quelle: Bmvit, 2016; eigene Darstellung). 51

Abbildung 22: Der österreichische Modal Split differenziert nach Raumtypen (Quelle: Bmvit, 2016; eigene Darstellung). 52

Abbildung 23: Anteil der aufgrund ihres Gesundheitszustands mobilitätseingeschränkten Personen (Quelle: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Bonn und Berlin, 2010, S.86; eigene Darstellung). 53

Abbildung 24: Der Modal Split mobilitätseingeschränkter Gruppen (Quelle: Bmvit, 2013b, S. 36). 55

Abbildung 25: Verteilung der verletzten und getöteten Personen höheren Alters im Straßenverkehr nach Verkehrsmodus. 56

Abbildung 26: Beispiel eines ungerichteten Graphen (links), eines gerichteten Graphen (mitte) und eines gerichteten gewichteten Graphen (rechts) (Quelle: wikipedia.at). 61

Abbildung 27: Schematische Darstellung der ÖPNV-Linien sowie Stationspunkte als Ergebnis des „Generate Transit Lines and Stops" Tools. 66

Abbildung 28: Projektionen der Stationspunkte auf dem Straßengraph sowie verbindende Linien als Ergebnis des „Generate Stop-Street Connectors" Tools. 68

Abbildung 29: Darstellung der Zugehörigkeit der einzelnen Netzwerkelemente in die jeweiligen Kategorien/Ebenen. 70

Abbildung 30: Festlegung der Berechnungsrundlagen für das Kostenattribut 72

Abbildung 31: Schematische Darstellung der Lagebeziehung zwischen den Baublocks und den Kanten des Straßengraphen. 77

Abbildung 32: Schematische Darstellung des Vergleichs der Lage der Adresspunkte (weiß) mit den auf deren Lage basierenden Analysestartpunkten (schwarz). 78

Abbildung 33: Histogramm der Verteilung der Baublocks nach der Anzahl fußläufig Erreichbarer ÖPNV-Stationen innerhalb von 5 Minuten. 81

Abbildung 34: Histogramm der Verteilung der Baublocks nach der Anzahl fußläufig Erreichbarer ÖPNV-Stationen innerhalb von 10 Minuten. 82

Abbildung 35: Verteilung der Baublocks nach der Anzahl erreichbarer ÖPNV-Stationen. 82

Abbildung 36: Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen je Baublock. 83

Abbildung 37: Verteilung der Baublocks nach der Anzahl erreichbarer ÖPNV-Stationen innerhalb von 5 und 10 Minuten. 84

Abbildung 38: Erreichbarkeit von U-Bahn-Stationen innerhalb von fünf und zehn Minuten (Beispiel). 86

Abbildung 39: Vergleich der durchschnittlich wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von 5 Minuten, unterteilt nach Tag und Tageszeit 87

Abbildung 40: Vergleich der durchschnittlich wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von 5 Minuten, unterteilt nach Tag und Tageszeit (ohne Nullfälle) 88

Abbildung 41: Anzahl der Baublocks, von denen innerhalb von 5 Minuten keine ÖPNV-Fahrt wahrgenommen werden kann. 88

Abbildung 42: Vergleich der durchschnittlich wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von 10 Minuten, unterteilt nach Tag und Tageszeit 89

Abbildung 43: Vergleich der durchschnittlich wahrnehmbaren Fahrten innerhalb von 10 Minuten, unterteilt nach Tag und Tageszeit (ohne Nullfälle) 89

Abbildung 44: Anzahl der Baublocks, von denen innerhalb von 10 Minuten keine ÖPNV-Fahrt wahrgenommen werden kann. 90

Abbildung 45: Verteilung der Baublocks nach der Anzahl wahrnehmbarer Fahrten an einem Wochentag. 91

Abbildung 46: Verteilung der Baublocks nach der Anzahl wahrnehmbarer Fahrten an einem Sonntag. 92

Abbildung 47: Die Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 10 Minuten an einem Wochentag. 94

Abbildung 48: Die Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 10 Minuten an einem Sonntag. ... 95

Abbildung 49: Korrelationen zwischen der Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen und wahrnehmbaren Fahrten nach Wochentag und Gehzeit 96

Abbildung 50: Die Rangkorrelation nach Spearman zwischen der Erreichbarkeit von ÖPNV-Stationen und wahrnehmbaren Fahrten nach Wochentag und Gehzeit. 97

Abbildung 51: Fußläufig erreichbare ÖPNV-Stationen innerhalb von 10 Minuten. 98

Abbildung 52: Wahrnehmbare Fahrten innerhalb von 2 Stunden an einem Wochentag. 99

Abbildung 53: Apothekenstandorte in Wien..... 107

Abbildung 54: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Apotheken. 108

Abbildung 55: Die Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbaren Apotheken. 109

Abbildung 56: Baublocksumme kategorisiert nach der durchschnittliche Reisezeit zu allen bzw. zur nächsten Apotheke. 110

Abbildung 57: Die durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Apotheke..... 111

Abbildung 58:Standorte von Bankfilialen in Wien. 113

Abbildung 59: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Bankfilialen. 114

Abbildung 60: Die Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbaren Bankfilialen je Baublock. 115

Abbildung 61: Baublocksumme kategorisiert nach der durchschnittlichen Reisezeit zu allen bzw. zur nächsten Bankfiliale. 116

Abbildung 62: Durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Bankfiliale..... 117

Abbildung 63: Standorte von Postämtern in Wien. 119

Abbildung 64: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Postämtern. 120

Abbildung 65: Die Anzahl von mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbaren Postämtern je Baublock. 121

Abbildung 66: Baublocksumme kategorisiert nach der durchschnittlichen Reisezeit zu allen bzw. zum nächsten Postamt. 122

Abbildung 67: Die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Postamt. 123

Abbildung 68: Standorte von Glaubenshäusern in Wien. 125

Abbildung 69: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Glaubenshäuser. 126

Abbildung 70: Die Anzahl der mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbaren Glaubenshäuser je Baublock. 127

Abbildung 71: Baublocksumme kategorisiert nach der durchschnittlichen Reisezeit zu allen bzw. zum nächsten Glaubenshaus. 128

Abbildung 72: Die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus. 129

Abbildung 73: Standorte von Friedhöfen in Wien..... 131

Abbildung 74: Baublocksumme kategorisiert nach der Anzahl der mit 90% Wahrscheinlichkeit erreichbaren Friedhöfe. 132

Abbildung 75: Die Anzahl mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbarer Friedhöfe je Baublock. 133

Abbildung 77: Durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Friedhof. 135

Abbildung 78: Korrelationen zwischen der Anzahl mit 90%iger Wahrscheinlichkeit erreichbarer Einrichtungen je Einrichtungstyp. 136

Abbildung 79: Die Verteilung der Baublocks gemäß ihrer Erreichbarkeitsqualität. 142

Abbildung 80: Die Erreichbarkeitsqualität je Baublock. 143

Abbildung 81: Bevölkerungspyramide der älteren Bevölkerung Wiens (Daten: MA23, eigene Darstellung). 145

Abbildung 82: Verteilung der älteren Bevölkerung Wiens auf Alterskohorten. 146

Abbildung 83: Die Verteilung der Wiener Wohnbevölkerung über 64 Jahren auf Baublocks unterschiedlicher Erreichbarkeitsqualität 146

Abbildung 84: Die durchschnittliche Anzahl an EinwohnerInnen/ha je nach Erreichbarkeitsqualitätskategorie. 147

Abbildung 85: Die Anzahl der EinwohnerInnen über 65 Jahren pro Hektar je Baublock. 149

Abbildung 86: Bewohnte und unbewohnte Baublocks in Wien 151

Abbildung 87: Die Anzahl bewohnter Baublocks nach Erreichbarkeitsqualität. 152

Abbildung 88: Die durchschnittliche Anzahl an EinwohnerInnen/ha je nach Erreichbarkeitsqualitätskategorie (ohne Miteinbezug unbewohnter bzw. unbewohnbarer Baublocks). 153

Abbildung 89: Die durchschnittliche Anzahl an EinwohnerInnen/ha je nach Erreichbarkeitsqualitätskategorie (ohne Miteinbezug unbewohnter bzw. unbewohnbarer Baublocks). 154

Abbildung 90: Abweichung der EinwohnerInnendichte innerhalb der Erreichbarkeitsqualitätskategorien von der EinwohnerInnendichte insgesamt, je Bevölkerungsgruppe. 155

Abbildung 91: Schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der Zuweisung der Verkehrsmittelinformation zu den Stationspunkten und Verbindungskanten. 178

Abbildung 92: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Erstellung der Startpunkte für Analysen im Netzwerk. 179

Abbildung 93: Schematische Darstellung der Ermittlung der Anbindungsqualität an den ÖPNV. 180

Abbildung 94: Schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der Ermittlung der Erreichbarkeit von U-Bahn-Stationen 181

Abbildung 95: Schematische Darstellung der Vorgehensweise in der Berechnung der Anzahl erreichbarer Einrichtungen innerhalb eines ausgewählten Zeitfensters. 182

Abbildung 96: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Reisezeiten zu allen innerhalb eines angegebenen Zeitraums erreichbaren Einrichtungen..... 183

17. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dateien, die einen GTFS-Datensatz bilden. 15

Tabelle 2: Inhalt einer agency.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes..... 16

Tabelle 3: Inhalt einer stop.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes..... 17

Tabelle 4: Inhalt einer routes.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes. 18

Tabelle 5: Inhalt einer trips.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes..... 19

Tabelle 6: Inhalt einer stop_times.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes..... 21

Tabelle 7: Inhalt einer calendar.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes..... 21

Tabelle 8: Inhalt einer calendar_dates.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes..... 22

Tabelle 9: Inhalt einer fare_attributes.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes. 23

Tabelle 10: Inhalt einer fare_rules.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes. 24

Tabelle 11: Inhalt einer shapes.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes..... 25

Tabelle 12: Inhalt einer frequencies.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes..... 25

Tabelle 13: Inhalt einer transfers.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes. 26

Tabelle 14: Inhalt einer feed_info.txt CSV-Textdatei als Bestandteil eines GTFS-Datensatzes. 27

Tabelle 15: Arten der Mobilitätseinschränkung (Quelle: FIS, 2012) 40

Tabelle 16: Verwendete Datengrundlagen für die Erstellung des Fußwege- und ÖPNV-Netzes..... 65

Tabelle 17: Input, Funktionsweise und Output des Tools „Generate transit Lines and Stops“. 65

Tabelle 18: Input, Funktionsweise und Output des Tools „Generate Stop-Street Connectors“..... 67

Tabelle 19: Die Bestandteile des Netzwerkmodells. 69

Tabelle 20: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Stationen je Baublock..... 81

Tabelle 21: Die Anzahl von Baublocks je nachdem wie viele U-Bahn-Stationen fußläufig maximal erreicht werden können..... 85

Tabelle 22: Statistische Verteilung der der durchschnittlichen Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 2 Stunden je Baublock..... 90

Tabelle 23: Verteilung der Baublocks auf die einzelnen Kategorien der durchschnittlichen Anzahl wahrnehmbarer Fahrten innerhalb von 2 Stunden. 92

Tabelle 24: Die Datensätze der Punktdaten je Einrichtungstyp und deren Quelle..... 102

Tabelle 25: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Apotheken, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Apotheken sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Apotheke je Baublock. 106

Tabelle 26: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Bankfilialen, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Bankfilialen sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zur nächsten Bankfiliale je Baublock. 112

Tabelle 27: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Postämter, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Postämtern sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Postamt je Baublock. 118

Tabelle 28: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Glaubenshäuser, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Glaubenshäusern sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Glaubenshaus je Baublock. 124

Tabelle 29: Statistische Verteilung der Anzahl erreichbarer Friedhöfe, die durchschnittliche Reisezeit zu allen erreichbaren Friedhöfen sowie die durchschnittliche minimale Reisezeit zum nächsten Friedhof je Baublock. 130

Tabelle 30: Verteilung der Gewichte je Erreichbarkeitsfaktor. 141

Tabelle 31: Statistische Verteilung des Erreichbarkeitsindex je Baublock. 142

Tabelle 32: Kategorisierung der Baublocks nach Erreichbarkeitsindex. 142

Tabelle 33: Anteil älterer Bewohner nach Baublockerreichbarkeitsqualitätskategorie nach Altersklasse. 147

Tabelle 34: Durchschnittliche EinwohnerInnenzahl/ha je Baublockerreichbarkeitsqualitätskategorie. 148

Tabelle 35: Anteil unbewohnter Baublocks je Erreichbarkeitsqualität 150

Tabelle 36: Durchschnittliche EinwohnerInnenzahl/ha in bewohnten Baublocks je Baublockerreichbarkeitsqualitätskategorie. 153

Tabelle 37: Vergleich der anteilsmäßigen Aufteilung der Wiener Wohnbevölkerung auf Wohnblocks der definierten Erreichbarkeitsqualitätskategorien, unterteilt nach Altersklassen 154

18. Anhang

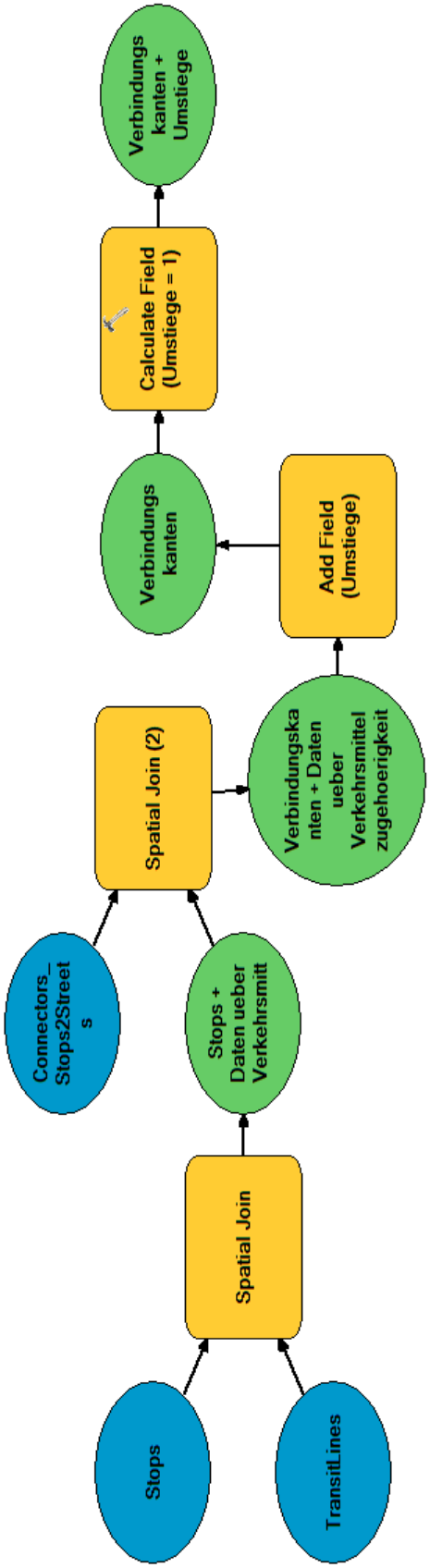


Abbildung 90: Schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der Zuweisung der Verkehrsmittelinformation zu den Stationspunkten und Verbindungskanten.

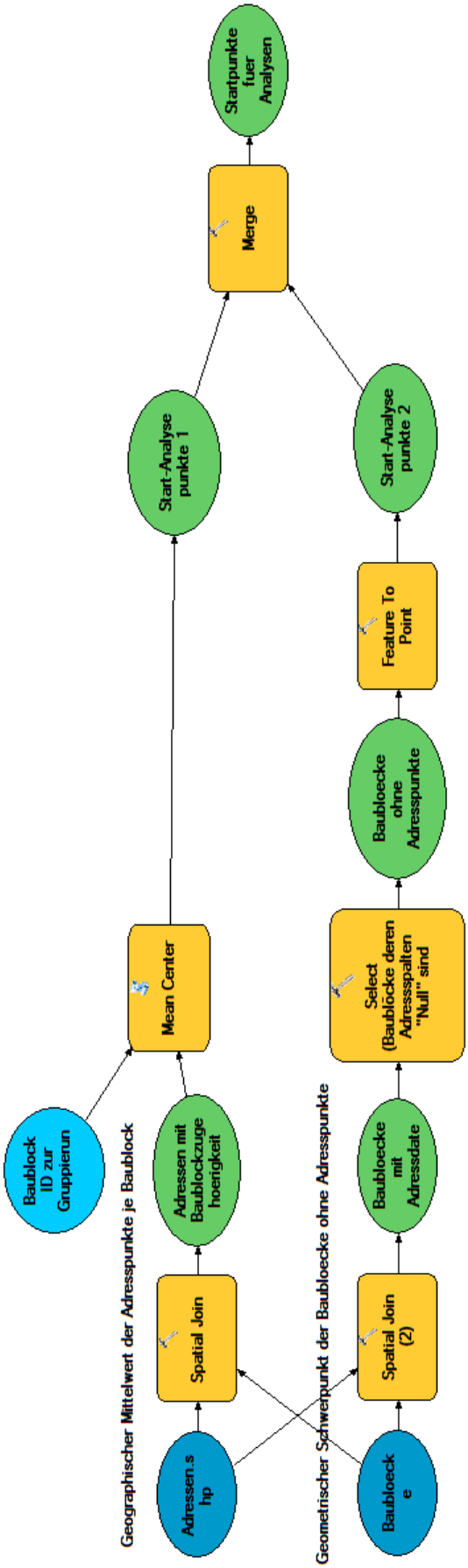


Abbildung 91: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Erstellung der Startpunkte für Analysen im Netzwerk.

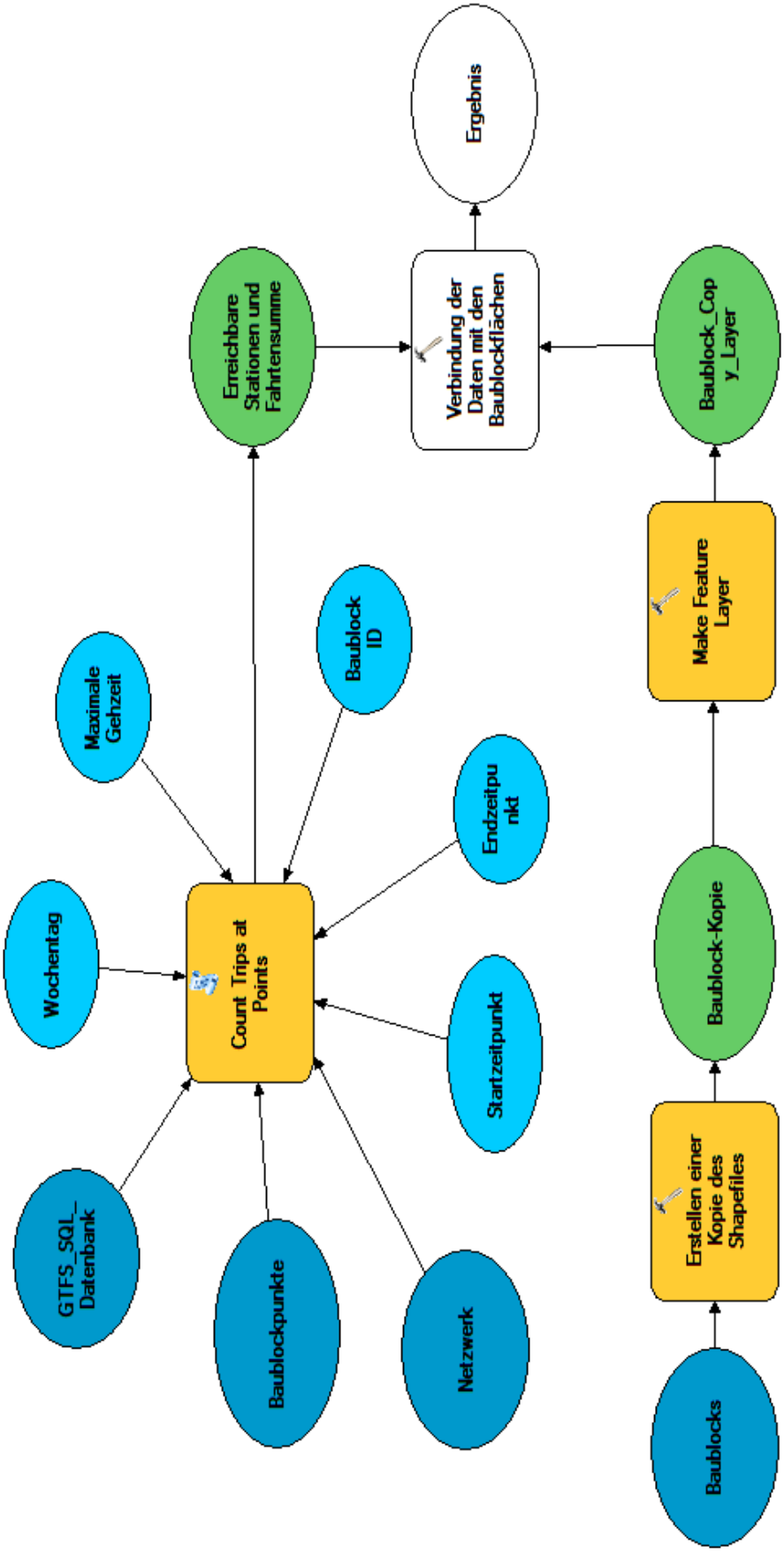


Abbildung 92: Schematische Darstellung der Ermittlung der Anbindungsqualität an den ÖPNV.

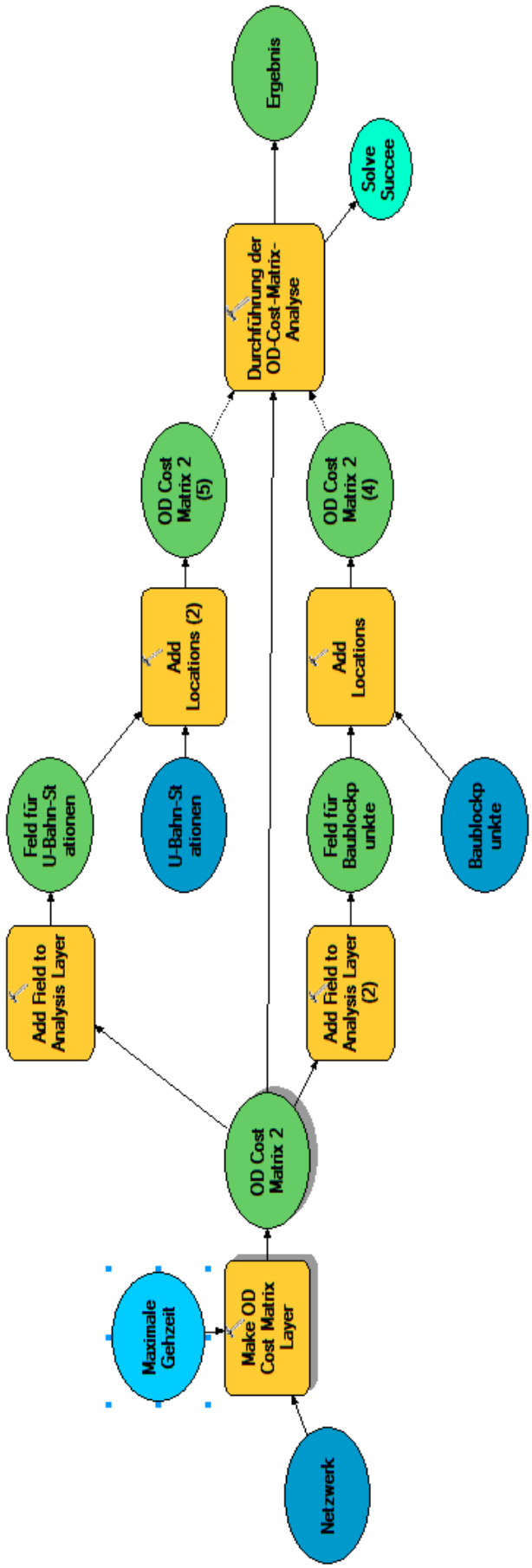


Abbildung 93: Schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der Ermittlung der Erreichbarkeit von U-Bahn-Stationen

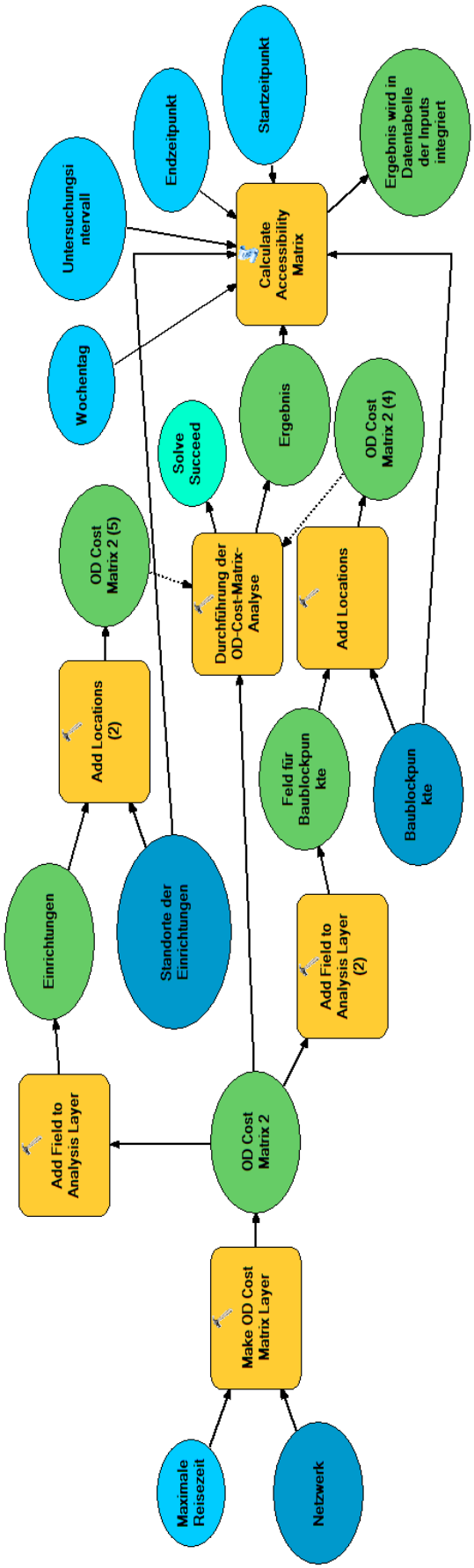


Abbildung 94: Schematische Darstellung der Vorgehensweise in der Berechnung der Anzahl erreichbarer Einrichtungen innerhalb eines ausgewählten Zeitfensters.

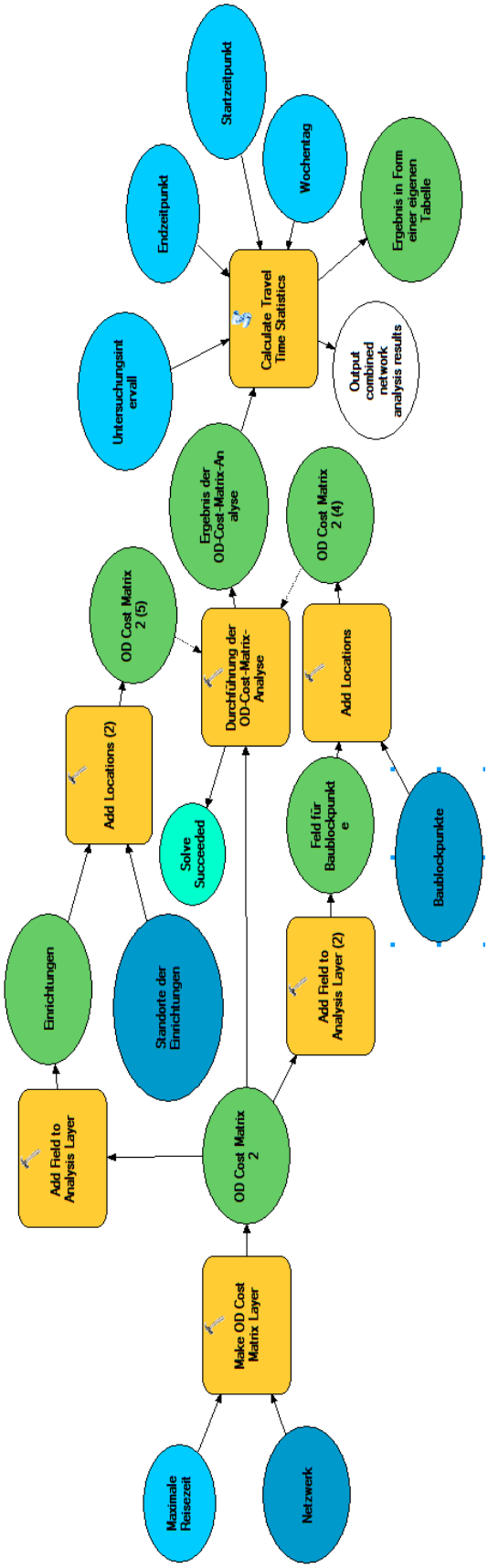


Abbildung 95: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung der minimalen, maximalen und durchschnittlichen Reisezeiten zu allen innerhalb eines angegebenen Zeitraums erreichbaren Einrichtungen.