

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor

Technische Hochschule Wildau

Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften

Studiengang Verkehrssystemtechnik (B.Eng.)

Thema (deutsch): Entwicklung eines Diversitätsindikators zur Planung nähräumlicher Versorgungsinfrastrukturen am Beispiel Berlin-Brandenburg

Thema (englisch): Development of a diversity index for planning local service infrastructures applied in Berlin-Brandenburg

Autor/in: Til Friedrich

Seminargruppe: VS/20

Betreuer/in: Prof. Dr.-Ing. Ralf Kohlen

Zweitgutachter/in: Diplom-Informatiker Daniel Krajzewicz, Daniel

Spätestmögliche Abgabe: 03.10.2024

Bachelorarbeit

Antrag vom: 20.06.2024

Name:	Til Friedrich	Matrikel-Nr.:	50102925
Studiengang:	Verkehrssystemtechnik	Seminargruppe:	VS/20
Betreuende/r Hochschuldozent/in:	Prof. Dr.-Ing. Ralf Kohlen	Beginn der Arbeit:	12.07.2024
Zweitgutachter/in:	Diplom-Informatiker Daniel Krajzewicz, Daniel	Abgabetermin:	03.10.2024
Themensteller (z.B. Betrieb, Institution, Behörde):	Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrsforschung	Fachliche Betreuungsperson des Themenstellers:	Daniel Krajzewicz
		Straße:	Rudower Chaussee 7
		PLZ, Ort:	12489 Berlin

Kurzthema

Entwicklung eines Diversitätsindikators zur Planung nahräumlicher Versorgungsinfrastrukturen am Beispiel Berlin-Brandenburg

Kurzthema in Englisch

Development of a diversity index for planning local service infrastructures applied in Berlin-Brandenburg

Zielstellung

Die Arbeit entwickelt ein Diversitätsmaß für MiD-Wegziele in Berlin-Brandenburg mittels OpenStreetMap-Kartendaten und analysiert räumliche Einschränkungen und potenzielle Anwendungen in der Planung.

Inhaltliche Anforderungen / Teilaufgaben

- Recherche einer Methode zur Beschreibung der räumlichen Diversität
- Abbildung der Wegzwecke aus der Studie Mobilität in Deutschland auf OSM-Schlüsselbegriffe
- Validierung in unterschiedlichen Arealen in Berlin Brandenburg zur Identifizierung von Datenanforderungen
- Erläuterung der Nutzbarkeit des Indikators zur Planung nahräumlicher Versorgungsinfrastruktur

Sprache der Arbeit

Deutsch

Konsultationen erfolgen nach Vereinbarung mit dem betreuenden Hochschullehrer.

Prof. Dr.-Ing. Ralf Kohlen (Hochschuldozent/in)	Diplom-Informatiker Daniel Krajzewicz, Daniel (Zweitgutachter/in)	Til Friedrich (Student/in)	<i>genehmigt</i> (Prüfungsausschuss)
--	---	-------------------------------	---

Sperrvermerk Ja Nein

Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ausschließlich unter Verwendung zulässiger Hilfsmittel konzipiert und verfasst habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Insbesondere habe ich alle von mir als Hilfsmittel eingesetzten Tools auf Basis von Künstlicher Intelligenz (KI-Tools) mit ihrem Produktnamen und einer Übersicht des im Rahmen dieser Prüfungs-/Studienarbeit genutzten Funktionsumfangs und Anwendungszwecks vollständig aufgeführt.

Ich habe alle aus Quellen entnommenen oder von KI-Tools erzeugten unverändert oder sinngemäß übernommenen Inhalte als solche kenntlich gemacht und die entsprechenden Quellen angegeben bzw. den vollständigen Befehlsaufruf (z.B. verwendeten Prompt oder Chatverlauf) beigefügt. Dies gilt auch für beigefügte Grafiken, Skizzen, bildliche Darstellungen und dergleichen sowie für Quellen aus dem Internet. Mir ist bekannt, dass es sich bei der Abgabe eines Plagiats um ein schweres akademisches Fehlverhalten handelt.

Ich willige ein, dass meine Arbeit mittels einer Software auf Plagiate sowie die Nutzung von KI-Tools überprüft wird. Täuschungen werden nach der für mich gültigen Prüfungsordnung geahndet. Gleichzeitig erkläre ich, dass weder diese Arbeit – in dieser oder einer inhaltlich äquivalenten Form – noch Teile daraus von mir oder einer anderen Person als Bestandteil einer Prüfungs- oder Studienleistung an anderer Stelle vorgelegt oder veröffentlicht wurden.

Mir ist bewusst, dass ich als Autor/in der vorliegenden Arbeit volle Verantwortung für den Text trage.

03.10.2024, Til Friedrich

Abstract

Lebendige urbane Nachbarschaften, wie sie oft im Kontext der 15-Minuten-Städte erwähnt werden, zeichnen sich durch eine hohe Dichte und große Vielfalt der möglichen Aktivitäten aus. Diese Arbeit zielt drauf ab, diese Vielfalt unter Verwendung der frei verfügbaren OpenStreetMap-Kartendaten in Form eines Diversitätsindex messbar zu machen. Dabei soll einerseits herausgefunden werden, welche Potentiale dieser Index für die Stadt und Verkehrsplanung bei der Planung von nähräumlichen Versorgungsinfrastrukturen bietet, andererseits ob die Qualität der OSM-Daten den Ansprüchen dieser Berechnung genügt. Im ersten Teil der Arbeit werden die OSM-Daten kategorisiert und eingeordnet. Im nächsten Schritt wird eine Begehung zweier Gebiete durchgeführt, woraufhin die OSM-Daten kategorienweise mit den erhobenen Daten verglichen werden können. Basierend auf der ermittelten Datenqualität werden Empfehlungen zur weiteren Verwendung der Daten ausgesprochen. In einer anschließenden Berechnung und Analyse des Gesamtgebietes wird ermittelt, welche Problemstellungen durch den Diversitätsindex adressiert werden können. Die Arbeit kommt zu dem Schluss, dass das Ermitteln von Orten mit unzureichender Versorgung für Alltagsaktivitäten sowie von zentral gelegenen Orten für Alltagsbesorgungen im ländlichen Raum Potenziale des Diversitätsindikators sind. Eine der aktuellen Herausforderungen sind die teilweise großen Mängel der OSM-Daten. Die Mängel konnten nach Kategorien abgegrenzt werden, sodass folgende Arbeiten aufbauend durch Anpassung oder Substitution betroffener Daten erheblich an Präzision gewinnen könnten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	15-Minuten-Städte	3
2.1	Probleme der autofreundlichen Verkehrsplanung	3
2.2	Konzept der 15-Minuten-Städte	4
2.3	Vorteile	5
2.4	Kritik	6
2.5	Berechnung von Erreichbarkeitsmaßen	7
3	Diversitätsindikator	7
3.1	Durchmischung zweier Flächennutzungsarten	7
3.2	Herfindahl-Hirschman Index	8
3.3	Entropy-Index	9
4	Methodik	9
5	Abbildung der Wegezwecke	10
5.1	Studie Mobilität in Deutschland	10
5.1.1	Wegezwecke	11
5.1.2	Nicht genutzte Wegezwecke	11
5.2	OpenStreetMap	13
5.2.1	Vorteile	14
5.2.2	Map-Features von Gebäuden	14
5.2.3	Relevante Map-Features	14
5.2.4	Nicht genutzte Map-Features	15
5.3	Technische Umsetzung	16
6	Begehung zweier Untersuchungsgebiete	17
6.1	Aufbau der Untersuchung	17
6.2	Auswertung	19
6.3	Empfehlungen	23
7	Analyse zum Diversitätsindikator	24
7.1	Auswertung des primären Diversitätsindex	24
7.2	Deatailbetrachtung der primären Diversität in drei ausgewählten Gebieten	30
7.3	Auswertung des sekundären Diversitätsindex	32
7.4	Mögliche Anwendungsmöglichkeiten in der Verkehrs und Regionalplanung	34
8	Diskussion	36
9	Fazit	37
10	Literaturverzeichnis	39

Abkürzungsverzeichnis

BKG Bundesamt für Kartografie und Geodäsie

BMWSB Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen

DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

ENT Entropy Index

HHI Herfindahl-Hirschman Index

MiD Mobilität in Deutschland

OSM OpenStreetMap

SenMVKU Berliner Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und
Umwelt

UBA Umweltbundesamt

UrMoAC Urban Mobility Accessibility Computer

Abbildungsverzeichnis

1	Strukturierung der Arbeit	2
2	Zuordnung der primären zu den sekundären Wegezwecken der MiD	12
3	Aufbau der Datenbank der Abbildung der Wegezwecke auf OSM	16
4	Untersuchungsgebiet Helmholtzkiez OSM	18
5	Untersuchungsgebiet Erkner OSM	18
6	Gegenüberstellung der Anzahl identifizierter Aktivitätsorte	19
7	Erkner: Anzahl der Aktivitätsorte unterteilt nach dem Mobilität in Deutschland (MiD)-Wegezweck	20
8	Löcknitzgrundschule Erkner: OSM Unterscheidung <i>amenity</i> und <i>building=school</i> , rot= eigene Erhebung, grün = OSM	21
9	Helmholtzkiez: Anzahl der Aktivitätsorte unterteilt nach dem MiD-Wegezweck	21
10	Helmholtzkiez: Anzahl der Aktivitätsorte im Wegezwecks Dienstleistungen	22
11	Helmholtzkiez: Gärten in Innenhöfen OSM	23
12	Gesamtzahl der Aktivitätsorte nach Kategorien	25
13	Diversität: Entropy Index in Brandenburg	26
14	Diversität: Entropy Index in Berlin	27
15	Gegenüberstellung der Dichte in verschiedenen Kategorien und der Diversität	28
16	Histogramm Diversität	29
17	Ausgewählte Orte zur Detailbetrachtung, Anzahl der Einrichtungen nach Kategorie	30
18	Ausgewählte Gebiete: Karte der Diversitätswerte (Hintergrund schwarz/weiß für mehr Kontrast) Ausgewählte Gebiete: OSM-Karte des Gebiets mit Aktivitätsorten (rot)	31
19	Anzahl der Einrichtungen für Ausgewählte sekundäre Wegezwecke Einkauf und private Erledigungen in Berlin-Brandenburg	33
20	Histogramm zur sekundären Diversität: Einkauf und private Erledigungen	33
21	Ausgewählte Gebiete: Anzahl der erreichten Aktivitätsorte nach Kategorie, Ausgewählte Gebiete: Karte der Diversitätswerte; oben Rangsdorf, unten Kurfürstendamm	34
22	Zentrale Gemeinde: Pessin	35

1 Einleitung

Die Urbanisierung schreitet weltweit voran und mit ihr entstehen wachsende Anforderungen an die Gestaltung städtischer und ländlicher Lebensräume. In einer Zeit, in der Nachhaltigkeit, Lebensqualität und soziale Gerechtigkeit in den Vordergrund rücken, spielt die Frage nach einer effizienten und gerechten Versorgungsinfrastruktur eine zentrale Rolle. Die Bereitstellung dieser in dicht besiedelten Ballungsräumen wie Berlin oder in ländlichen Gegenden Brandenburgs schafft unterschiedlichste komplexe Herausforderungen. In Großstädten benötigt eine steigende Anzahl von Menschen Zugang zu lebenswichtigen Einrichtungen wie Gesundheitsversorgung, Bildung, Einkaufsmöglichkeiten und Freizeiteinrichtungen und das möglichst in unmittelbarer Nähe zu ihrem Wohnort. Im ländlichen Raum werden die Wege zu diesen Einrichtungen durch zahlreiche Schließungen tendenziell länger.

Ein innovatives Konzept, das in diesem Zusammenhang an Bedeutung gewinnt, ist die sogenannte 15-Minuten-Stadt. Diese städteplanerische Vision zielt darauf ab, alle wesentlichen Bedürfnisse des täglichen Lebens innerhalb eines 15-minütigen Fußwegs oder einer Fahrradfahrt erreichbar zu machen (Moreno et al., 2021). Dies würde nicht nur die Verkehrsmenge reduzieren, sondern auch die Lebensqualität der Bewohner erheblich steigern. Das Konzept der 15-Minuten-Stadt steht inmitten einer globalen Debatte (Bertaud, 2022) über die Zukunft urbaner Räume und den Umgang mit den Herausforderungen, die durch den Wandel zur autogerechten Stadtplanung des vergangenen Jahrhunderts entstanden sind (Bernhardt, 2017).

In diesem Kontext setzt die vorliegende Arbeit an. Das Konzept setzt das Vorhandensein bestimmter Eigenschaften voraus, so zum Beispiel eine geringe Distanz zu Aktivitäten, eine hohe Dichte oder eine hohe Diversität. Um letztere quantitativ zu bewerten, entwickelt die Arbeit einen Diversitätsindikator, der dazu dient, die Vielfalt von Versorgungsinfrastrukturen in verschiedenen Regionen zu messen und herauszufinden inwiefern er planerische Entscheidungen datenbasiert unterstützen kann. Dabei soll dieser Indikator insbesondere die Frage beantworten, inwieweit verschiedene Kategorien von Einrichtungen (z. B. Ausbildung, Einkauf, Freizeitmöglichkeiten) in einem bestimmten geografischen Gebiet vorhanden sind und wie gleichmäßig sie verteilt sind. Mit Hilfe eines solchen Indikators ließe sich ergänzend zur Dichte der Einrichtungen auch die Vielfalt der verfügbaren Angebote messen, was für eine gerechte und umfassende städtische Versorgung entscheidend ist.

Zur Berechnung der Dichte und Diversität werden Erreichbarkeitsmaße als Grundlage herangezogen. Um diese Maße zu berechnen, wird in dieser Arbeit das Tool UrMoAC (Krajzewicz et al., 2017) genutzt. Es handelt sich um ein wissenschaftliches Tool des DLR, das alle erreichbaren Einrichtungen von einer Menge an Startpunkten aus ermitteln kann. Das Tool ist auf zuverlässige Kartendaten angewiesen.

Ein zentraler Schwerpunkt der Arbeit ist, die Diversität unter Nutzung von OpenStreetMap (OSM)-Daten als Grundlage für die Berechnung zu bemessen. OSM unterscheidet ein brei-

tes Spektrum von Aktivitätsorten und sollte folglich zur Diversitätsbestimmung geeignet sein. Die Qualität der OSM-Daten präsentiert sich im deutschen Kontext Schätzungen zufolge in einer detaillierten Ausgestaltung (Josi, 2020), welche Datenqualität in diesem Kontext benötigt wird ist unbekannt. Um die Daten für die Nutzung zu kategorisieren werden die in der MiD definierten Wegezwecke genutzt. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt eine Beschreibung der Wegezwecke, sowie eine Auswahl der für die Berechnung relevanten. Diese Abbildung von OSM-Daten auf die MiD-Wegezwecke ist ein Teilaspekt der Arbeit.

Im Weiteren soll durch eine Begehung von zwei ausgewählten Gebieten überprüft werden, inwiefern die OSM-Daten verlässlich und ausreichend detailliert sind, um die Vielfalt der Versorgungsinfrastrukturen abzubilden. Die Datenqualität wird in den verschiedenen festgelegten Kategorien der MiD ermittelt. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden nach Kategorie differenzierte Empfehlungen zur weiteren Verwendung von OSM-Daten im Kontext von Erreichbarkeits- und Diversitätsberechnungen formuliert.

Abschließend sollen Werte für den Diversitätsindex berechnet und analysiert werden. In dieser Arbeit werden drei verschiedene Berechnungsmethoden erläutert. Schließlich wurde der Entropy Index (ENT) (Iannillo and Fasolino, 2021), als Berechnungsmethode für diese Arbeit ausgewählt. In einer anschließenden Berechnung und Analyse des Gesamtgebietes wird ermittelt, welche Problemstellungen durch den Diversitätsindex adressiert werden können, z. B. ob eine Klassifizierung des Raumes durch den Index möglich ist, ob das Ermitteln von Orten mit unzureichender Versorgung für Alltagsaktivitäten erfolgen kann oder in welcher Weise der Index als Input für andere Planungsinstrumente wie z. B. das Landesverkehrsmodell genutzt werden kann. Zusammenfassend ist in der Abbildung 1 die Strukturierung der Arbeit dargestellt.

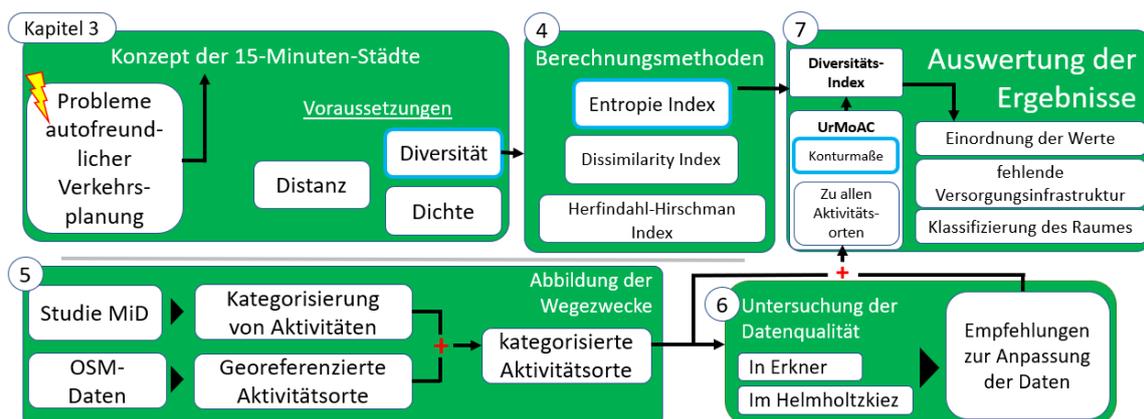


Abbildung 1: Strukturierung der Arbeit

Durch Bearbeitung dieser Fragestellungen leistet die Arbeit einen Beitrag zur Weiterentwicklung von Methoden der erreichbarkeitsorientierten Raumplanung und bietet praktische Anwendungshinweise zur Nutzung der OSM-Daten, die über den Diversitätsindex hinaus genutzt werden können.

2 15-Minuten-Städte

Im Rahmen der aktuellen Diskussion um eine nachhaltige und zukunftsweisende Mobilität wird die bestehende autozentrierte Verkehrsplanung vielfach als Problem identifiziert. Als mögliche Lösung wird in diesem Kontext das Konzept der 15-Minuten-Stadt skizziert, wobei sowohl die damit verbundenen Vorteile als auch Kritikpunkte aufgezeigt werden.

2.1 Probleme der autofreundlichen Verkehrsplanung

„More than any other artifact of modern technology, the automobile has shaped our physical environment, social relations economy and culture“ (Volti, 2004)

Keine Technologie hat unsere modernen Städte so geprägt, wie das Auto. Nach dem Zweiten Weltkrieg bestimmte es zunehmend die Art und Weise, wie Städte geplant, wiederauf- und umgebaut wurden. Die zunehmende globale Verfügbarkeit des Automobils hat eine Autokultur entwickelt und den Umbau hin zur autogerechten Stadt eingeleitet. (Heßler and Riederer, 2014)

In der Konsequenz führte dies zum Bau von breiten Straßen und Stadtautobahnen durch die Stadtzentren. Das neue Leitbild konnte problemlos in Neubauquartieren umgesetzt werden. Auch, wenn Innenstädte bzw. Altstädte nach dem zweiten Weltkrieg teils rekonstruiert wurden, erfolgte ein ebenso konsequenter wie radikaler Umbau zu autogerechten Städten. (Bernhardt, 2017)

Infolge der kontinuierlichen Zunahme des Einsatzes und der Verbreitung privater Automobile haben diese eine hegemoniale Stellung erlangt, sodass ihre Nutzung als nahezu selbstverständlich betrachtet wurde (Mannerscheid, 2013). Die Möglichkeit, mit dem Auto weite Strecken in die Stadt zu fahren, um dort zu arbeiten, Erledigungen zu machen oder Freizeitaktivitäten durchzuführen, trieb den Bau weitläufiger Randgebiete und Vorstädte mit geringer Dichte voran (Moreno et al., 2021). Diese Gebiete sind mit Einrichtungen des Alltags unterversorgt, sodass die Bewohner/-innen, sofern kein suffizienter ÖPNV verfügbar ist, auf ein Auto angewiesen sind.

Dies resultiert in einem signifikanten Anstieg des Verkehrsaufkommens, was zu einer Überlastung der Innenstädte durch den motorisierten Individualverkehr führt. In der autogerechten Verkehrs- und Stadtplanung sollten diese Staumengen durch den Einsatz größerer und effizienterer Verkehrsanlagen reduziert werden. Die Forschung ist sich mittlerweile einig, dass Effizienzgewinne durch Kapazitätserweiterungen eines Verkehrsnetzes durch das Phänomen der induzierten Nachfrage aufgezehrt werden. (Speck, 2018) Dies gilt ebenfalls für Fortschritte in der Antriebs- und Fahrzeugtechnik. Auch diese werden zu großen Teilen zum Nachteil der Nachhaltigkeit, zu Gunsten der Geschwindigkeit und Beschleunigung genutzt (Berkhout et al., 2000). Versuche die Autoverkehrsinfrastruktur leistungstärker zu machen und ihr mehr Platz einzuräumen verstärkten die Probleme zusätzlich.

Zu den negativen Auswirkungen des motorisierten Individualverkehrs zählt zunächst die Beeinträchtigung der Aufenthaltsqualität. Zudem sind eine Belastung der Gesundheit und der Umwelt durch Lärm und Schadstoffemissionen zu verzeichnen (Moreno et al., 2021). Mit dem Anstieg des MIV ging auch ein Anstieg der Straßenverkehrsunfälle einher. 2023 wurden etwas mehr als 300.000 Unfälle mit Personenschaden registriert (Impey, 2024a). Des Weiteren ist zu konstatieren, dass die Menge der Treibhausgas-Emissionen des Verkehrs in Deutschland seit 1990 nahezu unverändert geblieben ist und aktuell 19,8 % der Gesamtemissionen ausmacht (UBA, 2024). Zudem müssen Menschen immer länger im Stau stehen (ADAC, 2024). Das geht auch mit ökonomischen Folgen einher.

Zu diesen Folgen für die Allgemeinheit kommt hinzu, dass der Betrieb eines Autos, also Anschaffung, Treibstoff und Instandhaltung (Impey, 2024b) als auch der Führerschein immer teurer werden. Dadurch wird das Autofahren immer mehr zu einem Privileg für Gutverdienende und zu einer Kostenfalle für Menschen die über wenig Einkommen verfügen. Dieses Phänomen wird auch als Mobilitätsarmut beschrieben (AgoraVerkehrswende, 2023). Auf das Auto zu verzichten, gestaltet sich aufgrund der bisher autofokussierten Planung als schwierig.

2.2 Konzept der 15-Minuten-Städte

Die beschriebenen Probleme des Stadtverkehrs und -lebens verlangen eine neue Utopie und Philosophie. Mit einer radikalen Umstellung zu neuen Planungsmechanismen soll eine sozial und ökonomisch nachhaltige Stadt entstehen.

Das Konzept der 15 Minuten Stadt setzt bei der Verkehrsverlagerung und -verminderung an. Das Konzept wurde erstmals 2016 von Carlos Moreno vorgestellt und stellt eine neue Perspektive im *Chrono-Urbanismus* dar, einem Bereich, der sich mit der Zeit und dem Timing des Lebens in der Stadt und deren Beeinflussung durch Architektur und Stadtplanung befasst. Im Detail geht es bei den 15-Minuten-Städten darum, die wichtigsten Ziele des Alltags: Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, medizinische Versorgung, Ausbildung und Freizeitaktivitäten innerhalb von 15 Minuten ausgehend von der eigenen Haustür erreichen zu können. (Moreno et al., 2021) Dadurch sollen die Entfernungen zu Zielen des Alltags reduziert werden, was den Umstieg auf die Modi Fahrrad und Fuß fördert. In der Studie (Ewing et al., 2011) wird die Wirkung von Nachbarschaften mit gemischter Nutzung analysiert. Die Studie kommt zu dem Ergebniss, dass diese Nachbarschaften einen höheren Anteil an Binnenverkehren aufweisen, dass öfter aktive Mobilitätsformen gewählt werden und dass das Gesamtverkehrsaufkommen verringert wird.

Moreno beschreibt diese Anforderungen als notwendig und spricht vom „Reparieren des Urbanismus“, um wieder lebenswerte Städte zu schaffen. Das stellt hohe Anforderungen an die Stadtplanung der Zukunft. Hier ist eine Restrukturierung der Lebensräume nötig. Die maßgebenden Voraussetzungen sollen Nähe, Diversität (siehe Kap. 3), Dichte und Ubiquität (Nichtgebundensein an einen Standort) sein (Moreno et al., 2021).

Eine Abwandlung, die *20-Minuten-Stadt*, schlägt ein ähnliches Konzept vor. Statt in 15

sollen hier in 20 Minuten zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit dem ÖPNV Ziele des Alltags erschlossen werden. Der vergrößerte Radius und der hinzugenommene ÖPNV erweitern die erreichbaren Ziele stark (Da Capasso Silva et al., 2020). Zudem würde dadurch ein starker ÖPNV auf dem Land berücksichtigt.

Bereits in der Definition des Konzeptes ergibt sich ein Problem. Die Frage ist, welche Annahmen für Fußgehende und Radfahrende getroffen werden. Diese sind sehr individuell und Abhängig von der Körpergröße, dem Alter, dem Geschlecht, dem Wegezweck und vielem mehr. Jedoch beeinflussten in Untersuchungen diese Faktoren die Bedürfnisse und die Erreichbarkeit von Zielen sehr stark. (Weng et al., 2019)

2.3 Vorteile

Die Vision einer 15-Minuten-Stadt, die für die Menschen und ihre Bedürfnisse gemacht ist und nicht für die Autos, bringt viele Vorteile mit sich, von denen ein Großteil auf die aktive Mobilität zurückzuführen ist.

Effekte aktiver Mobilität auf das Bewusstsein: Aktive Formen von Bewegung wie Fahrradfahren oder Laufen fördern kognitive Leistungen. Im Unterschied zum Auto sind die Geschwindigkeiten geringer und es gibt keine physische Barriere nach außen. Auf dem Fahrrad oder zu Fuß sind alle menschlichen Sinne der direkten Umwelt ausgesetzt. Das sorgt für eine intensivere Wahrnehmung der Umgebung. Dazu kommt, dass das Laufen oder Radfahren einen inneren Rhythmus erzeugt. Dieser hilft dem menschlichen Bewusstsein Informationen leichter zu verarbeiten und dabei kreativer zu sein. Auf der anderen Seite erfordert die Bewegung durch den öffentlichen Raum das Einhalten bestimmter sozialer Regeln. Um sich zwischen anderen Menschen zu bewegen, ist eine gemeinsame Koordination nötig. Durch das Fehlen einer Barriere nach außen können verbale, aber auch nonverbale Kommunikation wie Augenkontakt und soziale Gesten ungehindert stattfinden. Zudem wird man den Lebenssituationen anderer Menschen ausgesetzt. Dies steigert soziale menschliche Kapazitäten. (Ferdman, 2021)

Effekte aktiver Mobilität auf die Gesundheit: Mit dem Laufen und Fahrradfahren sind zahlreiche positive gesundheitliche Effekte verbunden. Sie fördern eine hohe Lebenserwartung, die Fitness und ein gesundes Körpergewicht, das psychisches Wohlbefinden und die Knochengesundheit. Sie sind präventiv wirksam gegen Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Bluthochdruck, Diabetes Typ 2, Depression, Brust- und Dickdarmkrebs. (Götschi et al., 2015)

Weniger Emissionen und Lärm: Die Reduktion des Autoverkehrs kann einen großen Beitrag zur Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen liefern. Zudem wird der Ausstoß von Feinstaub und Luftschadstoffen verringert. Außerdem würde auch der nachweislich krankmachende Lärm reduziert werden. Die 15-Minuten-Stadt kann also einen großen Beitrag zur Gesundheitsvertäglichkeit von Städten leisten. (Nieuwenhuijsen and Khreis, 2016)

Weniger Unfälle: Studien zeigen, dass Städte mit stärker auf den Fuß- und Radverkehr ausgelegter Infrastruktur eine insgesamt sicherere Verkehrsumgebung schaffen, weil die Geschwindigkeit der Fahrzeuge reduziert wird und weniger Autos unterwegs sind. Auf lauf- und/oder fahrradexklusiven Wegen ist die Unfallgefahr deutlich geringer. Die langsameren Fahrradfahrer haben geringere Bremswege und können andere Verkehrsteilnehmer/innen besser wahrnehmen. Im Falle einer Kollision mit einem/einer Fußgänger/in wirken deutlich geringere Kräfte. Die Reduktion des MIV durch die Maßnahmen hin zur 15-Minuten-Stadt schaffen Platz für eben jene Infrastruktur. (Kubitzki et al., 2021)

Steigerung sozialer Teilhabe: Menschen mit geringem Einkommen können sich ein Auto oft nicht leisten, ohne einen signifikanten Teil ihres Einkommens in ebenjenes zu investieren. Auch mobilitätseingeschränkte Menschen, wie alte Menschen oder Menschen mit Behinderung können oder sollten oft kein Auto (mehr) fahren. Aber auch Kinder und Jugendliche sind auf Fuß, Fahrrad, ÖV oder die Hilfe von erwachsenen Autofahrern angewiesen. All diese Menschen profitieren von einer lauf- und fahrradfreundlichen Umwelt und können dadurch Teilhabe erlangen. (AgoraVerkehrswende, 2023)

Zeitersparnis: Auf keinen Fall vergessen werden sollte die Zeitersparnis, welche elementarer Bestandteil des Konzepts ist. Statt Zeit in Autos bzw. in Staus zu verbringen, haben Menschen mehr Lebenszeit für andere Beschäftigungen.

2.4 Kritik

Am Konzept der 15-Minuten-Städte wird kritisiert, dass es in der Stadtplanung nur begrenzt anwendbar ist. Die Lokalisierung von Versorgungseinrichtungen wie Geschäften, Restaurants oder Banken obliegt den privaten Unternehmen, die diese anschließend betreiben. Die öffentliche Verwaltung hat nur wenige Mittel, um die Ansiedlung solcher Einrichtungen zu steuern. In der Regel kann Sie neue Ansiedlungen jener Unternehmen verhindern, sie hingegen nicht forcieren. Auch jene Angebote, die staatlich gebaut und beeinflusst werden können, müssen in der Regel den marktwirtschaftlichen Prinzipien Angebot und Nachfrage folgen. In ländlichen Gebieten gestaltet sich eine gewinnbringende flächendeckende Versorgung ohne lange Wege besonders schwer. (Bertaud, 2022)

Ebenfalls berücksichtigen die Einwohner/-innen bei der Wahl der Aktivitätorte mehr Kriterien als die Reisezeit. Mit in die Auswahl spielen auch die Attraktivität der Einrichtung, eine mögliche Kombination von Wegen oder Produkte die nicht in allen Läden einer Kategorie erhältlich sind. (ebd.)

Es gibt verschiedenste Vorteile, die für das Konzept der 15-Minuten-Städte sprechen. Das Erreichen dieses Ziels ist aber nicht nur von der öffentlichen Hand, sondern von einer breiten Palette an Akteuren abhängig. Das Vereinen der Ziele aller Beteiligten in 15 Minuten wird von vielen als eine Utopie wahrgenommen.

2.5 Berechnung von Erreichbarkeitsmaßen

Eine hohe Angebotsdichte und Diversität sind Ziele der 15-Minuten-Stadt. Um beide Kriterien in Bezug auf einen Ausgangspunkt zu bestimmen, bedarf es einer Erreichbarkeitsberechnung. Dazu werden sog. Konturmaße errechnet. Grundlegend beschreiben diese Konturmaße, wie viele Aktivitätsorte von einem bestimmten Standort aus innerhalb einer festgelegten Zeit erreicht werden können.

UrMoAC ist ein wissenschaftliches Open Source Tool, das diese *contour measures* errechnen kann. UrMoAC ist ein vom DLR erstelltes Tool und steht für *Urban Mobility Accessibility Computer*. Grundlegend importiert das Tool eine Menge an Startorten, z. B. Wohnhäuser und eine Menge an Zielorten z. B. Supermärkte. Nun kann das Tool über ein ebenfalls eingelesenes Verkehrsnetz verschiedene Maße errechnen. Das Verkehrsnetz wird, wie die Aktivitätsorte, aus OSM importiert. Das Programm bietet Optionen wie (Krajzewicz et al., 2017):

- Anzahl, Zeit und Distanz Limits
- Wahl der Verkehrsmodi Fuß, Fahrrad, Öffentlicher Verkehr oder Auto
- Aggregation der Startorte und Ziele
- Gewichtung der Orte.

Basierend auf den hier berechneten Erreichbarkeitsmaßen, kann ein Diversitätsmaß errechnet werden.

3 Diversitätsindikator

Zur Beschreibung des Raumes in der 15-Minuten-Stadt ist die Angebotsdichte ein bestimmender Faktor. Die Dichte an Aktivitätsorten reicht nicht aus, um in einem Stadtviertel eine belebte urbane Umgebung zu schaffen. Schließlich sollten innerhalb des 15-Minuten-Radius nicht nur viele Aktivitätsorte zu finden sein, sondern zudem ein großes Spektrum an verschiedenen Aktivitäten abbilden (Kumakoshi et al., 2021). Die zur Abbildung dieses Spektrums genutzte Größe ist die räumliche Diversität. Sie bezeichnet eine Eigenschaft des Raums, die sich auf die Varianz der Flächennutzung und der vorhandenen Aktivitätsangebote bezieht.

Zunächst werden Möglichkeiten ein Diversitätsmaß zu bestimmen mittels Literaturrecherche ermittelt. Diese sollen in Bezug auf Stärken und Schwächen evaluiert werden. In der Literatur ist die beschriebene Größe auch unter den Begriffen *land use mix* oder *functional mixité* beschrieben.

3.1 Durchmischung zweier Flächennutzungsarten

Um die Durchmischung von Objekten anzugeben, deren betrachtete Eigenschaft nur einen von zwei möglichen Werten annehmen kann gibt es unter anderem den Dissimilarity Index.

Ursprünglich entwickelt, um Segregation in Amerika, also die Trennung schwarzer und weißer Menschen, zu messen (White and Kim, 2005), kann er auch in der Flächennutzung Anwendung finden. Er wird mit der Formel:

$$DI = 1/2 \sum_{i=1}^n \left| \frac{a_i}{A} - \frac{b_i}{B} \right|$$

berechnet, mit den Variablen:

- i - betrachtetes Teilgebiet
- a_i, b_i - Anteil der Ausprägung a bzw. b im Teilgebiet i
- A, B - Summe der Ausprägung a bzw. b über alle Teilgebiete

Ebenso möglich sind die Berechnung des N_{ash} oder des Balance Index (Iannillo and Fasolino, 2021), welche hier nicht näher beschrieben werden. Im Sinne der 15-Minuten-Städte könnten diese Indizes den Mix aus verschiedenen Flächennutzungen (nicht Wohnen) und dem Wohnanteil in einem Gebiet bewerten. So könnten Gebiete festgestellt werden, in denen die Bewohner/-innen gezwungen sind, motorisierte Mobilitätsformen zu nutzen, um ihre Alltagsaktivitäten zu bestreiten. Für die Berechnung der Diversität werden diese Indizes im Weiteren nicht betrachtet.

3.2 Herfindahl-Hirschman Index

Der Herfindahl-Hirschman Index (HHI) ist ursprünglich eine Methode, um die Verteilung von Marktanteilen in einer Branche zu ermitteln. Zur Anwendung auf die Flächennutzung wird er mit der Formel:

$$HHI = \sum_{j=1}^N (p^j)^2$$

berechnet, mit den Variablen:

- p^j - Anteil der Flächennutzung an der Gesamtkapazität
- N - Anzahl der Flächennutzungsarten

Der HHI bildet einen Wert in der Spanne $[\frac{1}{N}, 1]$. Haben alle Flächennutzungsarten den gleichen Anteil, so ist der Wert $\frac{1}{N}$. Gibt es nur eine Art der Flächennutzung, ist der HHI gleich 1. Im Sinne der Diversität ist demnach ein möglichst kleiner Wert anzustreben (Song et al., 2013). Analog zum HHI gibt es ebenso den Gini-Index und den Gini-Simpson-Index die einen ähnlichen Berechnungsansatz verfolgen (Iannillo and Fasolino, 2021). Sinnvoll ist es den HHI anzuwenden, wenn die Anzahl N der erreichten Flächennutzungsarten sich unter den Startorten verändert.

3.3 Entropy-Index

Der Entropy Index (ENT) ist wie folgt definiert:

$$ENT = -\frac{\sum_{j=1}^N p^j \ln(p^j)}{\ln(N)}$$

wobei die Variablen mit denen des HHI übereinstimmen.

Der ENT operiert in der Spanne [0,1]. Ein Wert von null wird erzielt, wenn von einem Startort aus kein Ziel erreicht werden kann. Ein Wert von 1 wird erzielt, wenn alle Arten den gleichen Anteil an der erreichbaren Fläche haben. Eine kategorisch besser definierte Diversität wird also durch einen höheren Wert ausgedrückt (Bordoloi et al., 2013). Ein ähnliches Berechnungsverfahren wird im Shannon-Wiener Index angewendet (Iannillo and Fasolino, 2021). Die Anwendung des ENT ist sinnvoll, sofern die Anzahl N unter dem Nenner unter allen Startorten gleich ist und somit eine Bewertung dieser Variable überflüssig ist.

4 Methodik

Im folgenden Teil der Arbeit wird der Aufbau der Wegezwecke der Studie *MiD* näher beschrieben. Anschließend erfolgt die Abbildung dieser Wegezwecke auf die Key-Value-Paare von OSM analytisch-synthetisch. Der analytische Teil klärt die spezifischen Merkmale und Anforderungen der Wegezwecke, was eine präzise Abbildung auf die Key-Value-Paare von OSM ermöglicht. Im synthetischen Teil werden die analysierten Komponenten der Wegezwecke wieder zusammengesetzt und auf OSM abgebildet. Dies berücksichtigt die Besonderheiten beider Systeme und liefert eine flexible, angepasste Lösung. Aus der Abbildung soll eine zur automatisierten Weiterverwendung angelegte Datenbank entstehen.

Nach der erfolgten Abbildung der Wegzwecke sind zwei Gebiete, ein Teil Erkners und der Helmholtzkiez, begangen worden. Diese empirische Herangehensweise hat den Nachteil, dass sie zeitaufwändig ist und deshalb nur in begrenzten Bereichen angewendet werden konnte. Jedoch kann nur durch eine Begehung ein aktuelle Übersicht über das tatsächliche Angebot und die räumlichen Gegebenheiten geschaffen werden. Die erhobenen Daten wurden vor Ort über ein eigens erstelltes Online-Tool eingetragen. Dabei wurden Straße und Hausnummer gespeichert, sowie die Orte kategorisch eingeordnet und eine Bemerkung gespeichert. Anstatt jedem Ort direkt manuell einen Wegezweck zuzuordnen, wurde anschließend jedem Ort manuell ein OSM-Key-Value-Paar zugewiesen, dem dann automatisch ein Wegezweck zugeteilt wurde. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die erhobenen Daten analog zu den OSM-Daten interpretiert werden können. Die Koordinaten wurden über den Straßennamen und die Hausnummer festgehalten. Bei der Erhebung waren Hausnummern teilweise schlecht ersichtlich. Daher kann es sein, dass einige Aktivitätsorte um eine Hausnummer verschoben sind. Außerdem werden Orte an derselben Adresse auf der Karte überlagert. Daher ist eine grafische Darstellung nur er-

schwert möglich. Bei der an die Auswertung anschließenden Berechnung sollten diese Faktoren keine Rolle spielen.

Nach der erfolgten Begehung und Auswertung konnte eine weitere Anpassung der Abbildung der Wegezwecke erfolgen. Aus diesen Anpassungen wurden Empfehlungen zur weiteren Verwendung der OSM-Daten herausgebildet. Diese konnten dann in der Berechnung des Gesamtgebietes teilweise angewendet werden.

Auf diese Empfehlungen folgend kann das Diversitätsmaß mithilfe des Tools Urban Mobility Accessibility Computer (UrMoAC) in Verbindung mit Python-Skripten implementiert werden. Python eignet sich hierfür aufgrund der vielseitigen und leistungsstarken Bibliotheken zur Datenanalyse und grafischen Darstellung. Es bietet zudem eine hohe Lesbarkeit und ermöglicht aufgrund der einfacheren Syntax auch ein sehr dynamisches und anpassungsfähiges Ausprobieren und Testen von Ideen (Trauth, 2024).

Im weiteren Verlauf wird der Diversitätsindikator für das Gebiet berechnet. Es erfolgt eine quantitative Datenanalyse der Werte in Form einer statistischen Auswertung und Evaluation. Die Größe Diversität wird hierbei auf Zusammenhänge zu anderen Größen wie z. B. der Angebotsdichte geprüft.

5 Abbildung der Wegezwecke

Im Rahmen des Kapitels erfolgt eine Einführung der Studie *Mobilität in Deutschland* als Quelle einer kategorisierten Liste von Wegezwecken. Im weiteren Verlauf erfolgt eine Beschreibung der Kategorisierung sowie derjenigen Wegezwecke, welche nicht in die Untersuchung mit einbezogen wurden. Zudem wird OpenStreetMap als Datenquelle für georeferenzierte Aktivitätsorte eingeführt und die dortige Kategorisierung der Daten erläutert. Im Anschluss erfolgt eine Abbildung der OSM-Daten auf die in der MiD erfassten Wegezwecke zur automatisierten Nutzung in der Erreichbarkeits- und Diversitätsberechnung. Die in dieser Arbeit entstandene Abbildung ist online verfügbar, siehe Friedrich (2024).

5.1 Studie Mobilität in Deutschland

Die Mobilitätsbefragung: Mobilität in Deutschland (MiD), wird regelmäßig durchgeführt, um Daten über das Mobilitätsverhalten zu sammeln. Durch Befragungen einer repräsentativen Menge an Haushalten im ganzen Bundesgebiet werden soziodemografische Informationen mit solchen zu Verkehrsmittelwahl und zur Alltagsmobilität verknüpft. Die Studie dient als Entscheidungsgrundlage und Referenzmodell bei verkehrsplanerischen und -politischen Entscheidungen. Die hier herangezogene MiD 2017 wurde durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur und verschiedene regionale Partner in Auftrag gegeben. Durchgeführt wurde die Studie von der infras, IVT Research und dem DLR (infras et al., 2017b).

Aufgrund der Etablierung der MiD als Studie erscheint die wiederholte Nutzung der innerhalb dieser genutzten Kategorisierung sinnvoll. Auf diese Weise können bereits erfolgreich implementierte Lösungsansätze erneut zum Einsatz kommen. Gleichzeitig wird eine Redundanz vermieden und eine Übertragbarkeit auf andere Forschungsprojekte gewährleistet. Die Erkenntnisse der MiD können in anderen Projekten auf Basis einheitlicher Definitionen validiert, weiterentwickelt und zur Planung genutzt werden.

5.1.1 Wegezwecke

Die MiD unterscheidet sieben primäre Wegzwecke und mehr als 40 untergeordnete sekundäre Wegzwecke. Die primären Zwecke sind Arbeit, dienstlich, Erreichen der Ausbildungsstätte/ Schule, Einkauf, Erledigung, Bringen oder Holen von Personen und Freizeitaktivität. Neben diesen sieben gibt es noch sechs weitere Wegezwecke nur für Kinder. Zu diesen gehören (Vor-)Schule, KITA/ Kindergarten, Begleitung Erwachsener, Sport/Verein, Freunde besuchen/treffen und Unterricht (nicht Schule) (infras et al., 2017a).

In der folgenden Abbildung 2 sind die Beziehungen zwischen den primären und sekundären Wegzwecken in der MiD dargestellt. Dabei handelt es sich um eine n:m Zuordnung, da untergeordnete Aktivitäten für verschiedene übergeordneten Zwecke durchgeführt werden können. Zum Beispiel dient ein allgemeiner Einkaufsbummel nicht nur dazu eine Erledigung durchzuführen, sondern kann auch als Freizeitaktivität gesehen werden. Da es nicht für alle diese Zwecke sinnvoll ist, in Diversitäts- und Erreichbarkeitsmaßen bewertet zu werden, wurden einige Kategorien im Vorhinein aussortiert. In Abschnitt 5.1.2 wird dies erläutert. Alle behaltene Wegezwecke sind in der Abbildung grün (aktiv) dargestellt.

Eine exakte Definition der einzelnen Wegezwecke enthält die MiD nicht. Die primären Ziele sind aufgrund ihrer allgemein gehaltenen Kategorisierung intuitiv und selbsterklärend. Hingegen sind die sekundären Wegezwecke, welche deutlich spezifischer werden, weniger selbsterklärend. Es ist beispielsweise ein großer Spielraum bei der Definition des Zwecks *allgemeiner Einkauf* gegeben.

5.1.2 Nicht genutzte Wegezwecke

Einige Kategorien müssen bereits bei alleiniger Betrachtung der MiD ausgeschlossen werden. In diesem Kapitel wird der Grund ihres Ausscheidens erläutert.

Der Wegezweck **Arbeiten** wird auf Grund mehrerer Kriterien nicht betrachtet. Einerseits ist unklar, welche Orte dem Wegezweck zugeordnet werden. Als Arbeitsort kommt eine große Menge an Orten infrage. Alle Geschäfte, Restaurants, Büros usw. bieten Arbeitsplätze. Viele dieser Orte sind bereits in den anderen Wegezwecken vertreten. Dadurch kommt es zu Doppelungen, durch die das Ergebnis verzerrt werden kann. Des Weiteren ist die Wahl des Arbeitsplatzes immer eine Abwägung zwischen der Reisezeit und anderen Faktoren wie u.a. Bezahlung, Arbeitsumfeld oder Unternehmensphilosophie (Bertaud, 2022). Zwar ziehen Menschen auch näher an ihren Arbeitsstandort heran, da das aber meist eine Haushaltsentscheidung, also ein Kompromiss zwischen mehreren Personen und deren

Arbeitsorten ist, werden längere Reisezeiten in Kauf genommen (Beige, 2012).

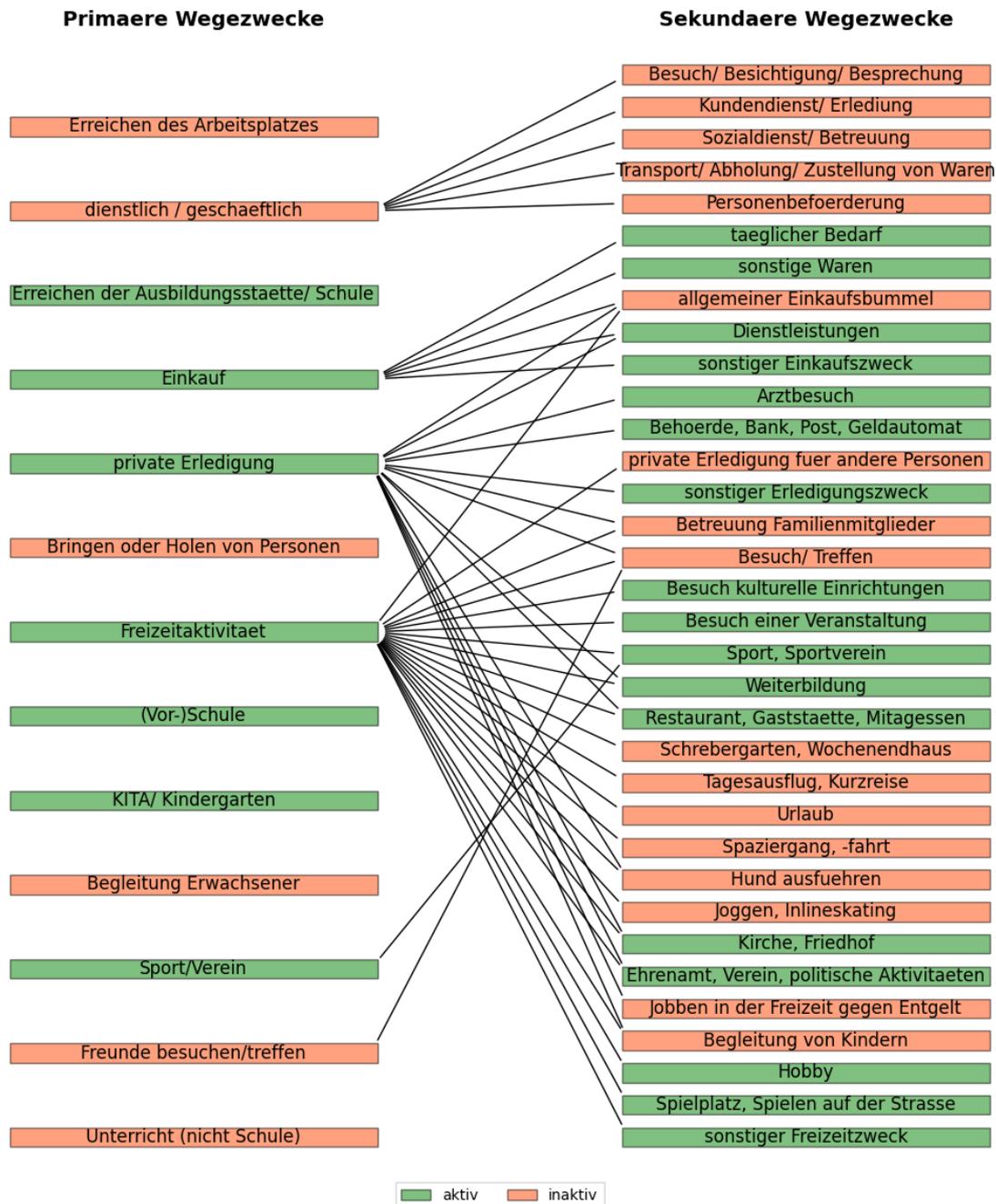


Abbildung 2: Zuordnung der primären zu den sekundären Wegezwecken der MiD

Das Problem beim Erfassen von **dienstlichen/ geschäftlichen** Zielen ist, dass anders als bei den anderen Wegezwecken der Ausgangspunkt für die Berechnung kein Wohnort, sondern ggf. ein Arbeitsort ist. Zudem müssten verschiedenen Arbeits- bzw. Firmen-

standorten unterschiedliche Ziele zugeordnet werden. Es ist unklar, welche Ziele welchen Arbeitgebern zugeordnet werden sollten. Darüber hinaus wählen Arbeitgeber Ziele aus, die marktwirtschaftlichen Prinzipien wie Angebot und Nachfrage folgen. Diese müssen keinesfalls von der Reisezeit abhängen.

Der Wegezweck **allgemeiner Einkaufsbummel** ist im Grunde genommen nur eine Auswahl der Ziele für tägliche und sonstige Waren. Da diese Ziele also bereits in den anderen Kategorien abgedeckt sind, wird dieser Zweck nicht gesondert betrachtet.

Die Kategorien, die auf die Aktivitäten **Besuchen, Betreuen und Begleiten** abzielen, können nicht berücksichtigt werden, da für diese Aktivitäten keine konkreten Zielorte bestimmt werden können. Ein Treffen oder ein Besuch kann, da in der MiD nicht näher spezifiziert, an einem beliebigen Ort stattfinden. Genau so kann jeder beliebige Weg durch eine andere Person begleitet werden.

Tagesausflüge und Urlaube sind keine Aktivitäten die im Rahmen der 15 Minuten Städte relevant sind. Es handelt sich hierbei nicht um Aktivitäten des Alltags. Zudem kann zu diesem Zweck ein beliebig großer Weg (städte- und länderübergreifend) zurückgelegt werden.

Joggen/ Inlineskating, Hund ausführen oder Spazierfahrten sind Aktivitäten, bei denen in der Regel der Startort auch der Zielort ist und die somit für die Erreichbarkeitsbewertung ungeeignet sind. Zwar könnte eine andere Aktivität (z. B. Einkaufen) auf dem Weg ausgeführt werden. Bei Angabe dieses Wegezweckes stünde die parallele Aktivität aber nicht im Vordergrund. Daher wäre anzunehmen, dass der Aktivitätort nicht nach üblicher Erreichbarkeit ausgewählt wurde und somit für die weitere Betrachtung irrelevant ist.

Aussortiert wurde auch die Kategorie **Wochenendhäuser und Schrebergärten**. Schrebergärten könnten durch eine Zielauswahl möglicherweise bestimmt werden. Sie könnten ein wichtiger Baustein für städtische Erholung sein, da sie nachhaltige Grünflächen schaffen und soziale Interaktion fördern können. Allerdings ist unklar, anhand welcher Kriterien ein Kleingarten ausgewählt wird. Das Ermitteln einer Entfernungsverteilung hierfür wäre nicht Ziel der Arbeit. Eine Unterscheidung zu treffen zwischen Wochenendhäusern und alltäglichen Wohnhäusern gestaltet sich als schwierig, zudem liegen Wochenendhäuser meist weiter entfernt am Stadtrand oder im Umland. Insgesamt ist die Kategorie unscharf. Dazu kommt, dass es sich bei der Wahl beider Anlagen um einmalige Entscheidungen handelt und der individuelle Kleingarten /das Haus in der Regel nicht gewechselt wird.

5.2 OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) ist eine Open Source Kartendatenplattform. Sie wurde im Juli 2004 gegründet. Die Daten befinden sich im Eigentum der *Contributors*, also aller Communitymitglieder durch die die Daten erfasst und gepflegt werden. Zu den Daten gehören

Straßen, Gebäude, Grenzen, Topologien und vieles mehr. Die Datenbank legt Wert auf lokales Wissen, daher kann jeder Nutzer zu OSM beitragen. Mithilfe von GPS-Daten, Luftbildern und Feldkarten und natürlich durch die zahlreichen Contributors wird die Datenbank ständig erweitert, validiert und korrigiert. Die dahinterstehende Organisation *OSM Foundation* schützt, bewirbt und treibt die Datenbank voran (OSM-Wiki, o.D.a).

5.2.1 Vorteile

Der größte Vorteil von OSM ist, dass es unter einer freien Lizenz für private und kommerzielle Zwecke kostenlos nutzbar ist. Kartendaten sind im Allgemeinen teuer. Die Daten müssen zudem regelmäßig kostenpflichtig aktualisiert werden (OSM-Wiki, o.D.b). Da durch OSM vor allem auch viele private bzw. Hobbynutzer kostenlosen Zugriff auf Kartendaten erhalten, hat sich um OSM eine große Internet-Community zusammengefunden. Um diese konzentrieren sich viele Open Source Bibliotheken, Wiki-Artikel und Forenbeiträge. Zudem ist der Aufbau der OSM-Daten sehr transparent und offen. Die Plattform lädt mit niedrigen Eintrittsbarrieren ein, mit Geodaten zu experimentieren und schafft so neue kreative Anwendungen.

5.2.2 Map-Features von Gebäuden

In OSM gibt es drei Typen von Objekten: Knoten (node), Linien (way) und Beziehungen (relation). Diesen Objekten werden sogenannte primary Map-Features zugeordnet. Diese bestehen aus einem *Key-Value-Paar* (Schlüsselwert). Dabei gibt der Key die Art des Objektes an und der Value die Ausprägung. Die OSM Community hat sich auf einen Key-Value Standardkatalog geeinigt, der regelmäßig aktualisiert wird. Dieser Standardkatalog zählt 29 primäre Keys mit jeweils einer großen Auswahl an häufig verwendeten Values. Damit ermöglicht die Datenbank eine sinnvolle Gruppierung und Filterung von Objekten. Über den Katalog hinaus gibt es auch user-defined (individuell spezifizierte Values). Die standardisierten Werte sind den frei gewählten vorzuziehen, um Redundanzen und Uneindeutigkeiten (Ambiguitäten) zu verhindern und effektives Filtern zu ermöglichen (OSM-contributors, o.D.).

Ähnlich wie im Kapitel zur MiD sind auch hier nicht alle Map-Features relevant. Im Folgenden werden die genutzten primary Keys erläutert. Im Anschluss wird der Ausschluss bestimmter Kategorien begründet. Alle sind aus dem OSM-Wiki: Map-Features entnommen.

5.2.3 Relevante Map-Features

In diesem Abschnitt werden die OSM Map-Features beschrieben, die in die Betrachtung aufgenommen wurden.

amenity - Beim key *amenity* „Annehmlichkeiten“ handelt es sich um eine Einrichtung wie beispielsweise Banken, Apotheken, Cafés, Parkplätze und Schulen.

building - Hierbei handelt es sich um ein individuelles Gebäude oder einen Teil eines Gebäudekomplexes. Das Attribut dient der physischen Beschreibung der Gesamtheit. *buildings* werden meist mit weiteren keys wie *amenity*, *shop* usw. spezifiziert. Leider kommt es auch zu Dopplungen. Die liegen vor, wenn ein Gebäude in mehrere Komplexe unterteilt ist. Jeder Komplex ist als einzelnes Building dargestellt. Daher muss unbedingt sichergestellt werden, dass eine Einrichtung nicht mit mehreren Objekten in die Erreichbarkeitsbewertung einfließt (Ein solcher Fall wird in Kapitel 6.2 dargestellt, siehe insbesondere Abbildung 8).

healthcare - Zur Beschreibung von medizinischen Einrichtungen wird das Attribut *healthcare* verwendet. Dieses spezifiziert die Art der medizinischen Versorgung. Zusammen mit *healthcare:specialty* beinhaltet es viele verschiedene Fachärzte/-innen.

leisure - Dieses Feature beinhaltet sämtliche Freizeitaktivitäten zur Entspannung, Erholung und Unterhaltung. Auch bestimmte Sporteinrichtungen sind in dieser Kategorie vertreten.

office - Bürostandorte an denen administrative und professionelle Arbeit ausgeübt werden kann, sowie Orte für Kundengespräche wie Anwaltskanzleien oder Versicherungen.

shop - In diesem Feature werden eine Vielzahl von Läden definiert, an denen Menschen einkaufen können oder bestimmte Dienstleistungen erhalten.

sport - Hier werden Sportarten spezifiziert, die an den jeweiligen Orten durchgeführt werden können. Dazu zählen auch viele Randsportarten, die im Allgemeinen unbekannt sind.

tourism - Zuletzt findet sich das Feature *tourism*, das verschiedene Arten von touristischen Zielen beschreibt. Hier sind vereinzelt Freizeitaktivitäten vertreten, die, da sie nicht ausschließlich touristisch sind, auch in die Erreichbarkeitsbewertung hineinfließen können. Der Großteil der Kategorie entfällt, da es sich nicht um Ziele des Alltags handelt (z. B. Hotel).

5.2.4 Nicht genutzte Map-Features

Im Folgenden wird der Ausschluss bestimmter weiterer Features begründet.

Bei den Kategorien: **Aerialway**, **Aeroway**, **Highway**, **Railway**, **Route**, **Waterway** handelt es sich um Verkehrsinfrastruktur.

Die Features: **Barrier**, **Geological**, **Natural**, **Water** beschreiben topografische Daten.

Des Weiteren wurde **Boundary** aussortiert, wobei es sich um Grenzen handelt und **Historic**, da diese Kategorie zu unscharf ist und an ihr nur die historische Nutzung der

Gebäude und nicht zwangsläufig die aktuelle abgelesen werden kann.

Und zuletzt die Features: **Military, Power, Telecom**, welche keine Einrichtungen beschreiben, die Menschen im Alltag besuchen.

5.3 Technische Umsetzung

Im Anschluss an die Vorauswertung der MiD und der OSM Map-Features können die konkreten Gebäudefunktionen aus OSM, also die Key-Value-Paare, den MiD-Kategorien zugeordnet werden. Dabei werden alle möglichen Values der verbleibenden Keys aus dem OSM-Wiki: *Map-Features* importiert und händisch zugeordnet. Um die Abbildung der MiD auf OSM digital umzusetzen, wurde eine Datenbank angelegt. Die Nutzung einer Datenbank zur Dokumentation der Abbildung ermöglicht es, die Einträge mittels SQL-Abfragen automatisiert zu prüfen und Fehler zu korrigieren. Zudem kann die Abbildung automatisiert weiterverwendet werden, was es erleichtert im Nachhinein Änderungen vorzunehmen und Redundanzen zu vermeiden.

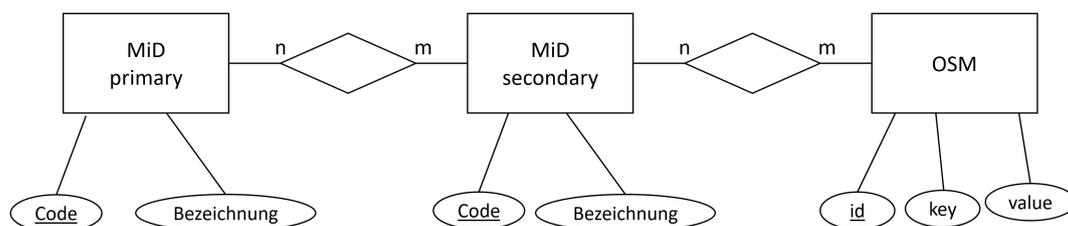


Abbildung 3: Aufbau der Datenbank der Abbildung der Wegezwecke auf OSM

Insgesamt wurden fünf Tabellen angelegt, die in Abbildung 3 dargestellt sind. Zwei Tabellen dienen der Beschreibung der primären und sekundären Wegezwecke der MiD und ihrer Zuordnung zueinander. Alle primären Wegezwecke, für die eine weitere Unterteilung in sekundäre Wegezwecke existiert, können als Summe ihrer sekundären Wegezwecke beschrieben werden. Für Wegezwecke, für die **keine** sekundäre Unterteilung existiert, wurde eine Hilfszeile in der Tabelle der sekundären Wegezwecke angelegt. So ist es möglich, die Abbildung der OSM-Key-Values auf die Tabelle der sekundären Wegezwecke zu beschränken, da so alle primären Wegezwecke mitbedient werden.

Die OSM-Key-Values werden in der Datenbank über eine Id referenziert, die für jedes mögliche key-value Paar einzigartig ist. Die Wegezwecke werden über ihren Code in der MiD referenziert. Dabei beginnen die sekundären Wegezwecke mit dem Code des zugehörigen primären Zweckes.

6 Begehung zweier Untersuchungsgebiete

In diesem Kapitel erfolgt eine Beschreibung der Auswahl und Begehung zweier Untersuchungsgebiete. Im Anschluss findet ein Vergleich der Ergebnisse mit den OSM-Daten statt, wobei potenzielle Fehlerquellen identifiziert werden. Die erhobenen Daten der Begehung sind online verfügbar (Friedrich, 2024).

6.1 Aufbau der Untersuchung

Die Qualität der OSM-Daten soll anhand zweier Areale geprüft werden. Dazu werden diese Gebiete begangen und alle vorhandenen Einrichtungen erfasst. Diese Erhebungsdaten können dann mit den OSM-Daten verglichen werden. Ziel ist es herauszufinden, welche tatsächliche Datenqualität OSM in den gewählten Gebieten liefert und ob diese Datenqualität ausreichend ist, um die Daten als Berechnungsgrundlage zu verwenden. Die Begehung soll in zwei möglichst unterschiedlichen Arealen stattfinden, um etwaige Unterschiede zwischen städtischem und ländlichem Raum aufzuzeigen.

Im ländlichen Raum leben weniger Menschen pro Fläche, also mutmaßlich auch weniger OSM contributors. Dafür sind vermutlich deutlich weniger Einrichtungen pro Fläche in absoluten Zahlen vorhanden. Die Diversität der Geschäfte wird ebenso niedriger eingeschätzt. Zudem könnte das Angebot eher konservativ und weniger ausgefallen sein.

Anders wird es von einem urbanen Gebiet erwartet. Hier wird aufgrund der zahlreichen Möglichkeiten auch eine hohe Vielfalt erwartet. Zudem sind Großstädte Vorreiter für alle verschiedenen Arten von neuartigen Geschäften und Freizeitmöglichkeiten.

Im Folgenden sind die zwei ausgewählten Gebiete dargestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit sind beide Gebiete etwa $0,5 \text{ km}^2$ groß.

Helmholtzkiez

Als urbanes Gebiet in Berlin eignen sich viele Kieze. Ausgewählt wurde der Helmholtzkiez. Dieser ist Teil des Bezirks Pankow und befindet sich im Ortsteil Prenzlauer Berg. Durch den parallelen Verlauf der belebten Lychener-, Schliemann- und Dunkerstraße wird das Viertel auch das LSD-Viertel genannt (Land Berlin, o.D.). Es ist dank mehrerer Tramlinien, der U-Bahn und der Ringbahn gut an den Verkehr angebunden. Hier finden sich viele verschiedene Geschäfte und Restaurants. Es handelt sich um ein sehr belebtes Stadtgebiet, das gleichzeitig ein hypergentrifiziertes Wohngebiet ist. Es hat keinen ausdrücklichen touristischen Fokus und eignet sich daher für eine Betrachtung der Alltagsaktivitäten. Im Untersuchungsgebiet leben ca. 16.000 Menschen (BKG, 2022). In Abbildung 4 ist das ausgewählte Areal dargestellt.

Erkner

In Abbildung 5 ist das Untersuchungsgebiet Erkner eingegrenzt. Der Ort kann nicht eindeutig als ländliches Gebiet eingeordnet werden. Da viele ländliche Gemeinden bedeutend

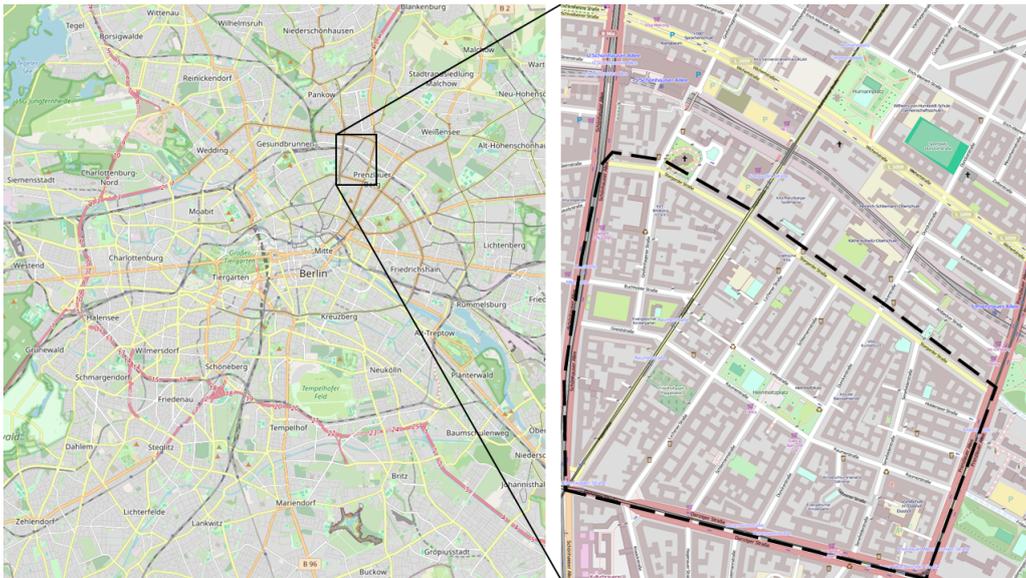


Abbildung 4: Untersuchungsbereich Helmholtzkiez OSM

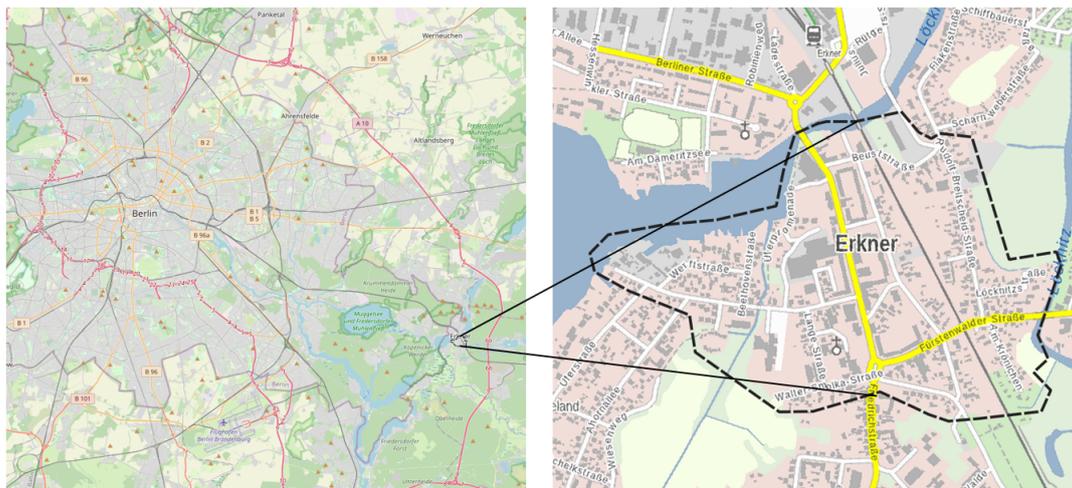


Abbildung 5: Untersuchungsbereich Erkner OSM

weniger Aktivitätsorte zählen, wurde befürchtet, dass die Größe der Stichprobe der Daten dort zu klein ist. Die Mischung aus einer aussagekräftigen Anzahl an Einrichtungen und einem trotzdem ländlichen Charakter wurde in Erkner gefunden. Es ist eher ein randstädtisches Gebiet und zählt eine nicht unerhebliche Auswahl an Aktivitätsorten. Hier wohnen ca. 11.500 Menschen, davon etwa 2.500 im Untersuchungsgebiet (BKG, 2022). Die Stadt ist durch die Regional- und S-Bahn an Berlin angebunden. Dadurch ist es möglich, von hier nach Berlin zur Arbeit zu pendeln oder dort Erledigungen zu tätigen. Weiterhin sollte es möglich sein, einen Unterschied zum deutlich dichteren Helmholtzkiez feststellen zu können.

6.2 Auswertung

Die Ergebnisse der Begehung werden im Folgenden dargestellt.

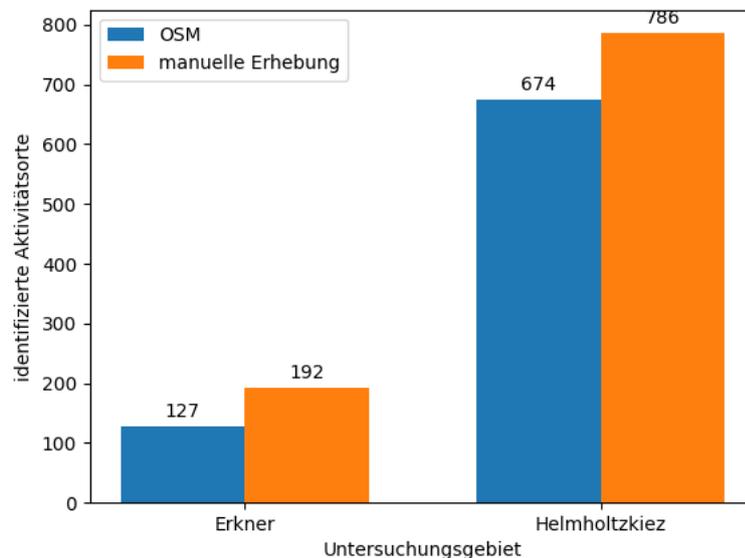


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Anzahl identifizierter Aktivitätsorte

Abbildung 6 ist auf den ersten Blick zu entnehmen, dass wie erwartet in Erkner ca. drei Viertel weniger Aktivitätsorte identifiziert wurden, als im Helmholtzkiez. Damit befindet sich in Erkner ca. eine Einrichtung pro 13 Einwohner. Im Helmholtzkiez gibt es eine Einrichtung auf etwa 20 Einwohner. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Einwohnerverteilung in Erkner mehr in die Fläche geht und dadurch weniger Menschen im betrachteten Zentrum leben. Betrachtet man die empirische Erfassung der Aktivitätsorte als vollständig, erreichen die OSM-Daten in Erkner 65% Vollständigkeit. Im Helmholtzkiez hingegen ist die Abdeckung der Orte mit 86% größer. Die Summe allein kann jedoch keine Aussage über die richtige Zuordnung der Orte wiedergeben.

Um die Unterschiede in der Abdeckung umfassender zu analysieren, ist es sinnvoll, die Daten nach den Wegezwecken der MiD weiter zu differenzieren. Diese detaillierte Betrachtung ermöglicht es, die Qualität der OSM-Daten in spezifischen Kontexten zu beurteilen und potenzielle Verzerrungen oder Ungenauigkeiten innerhalb einzelner Kategorien aufzudecken.

In Abbildung 7 wird die Summe der in Erkner identifizierten Aktivitätsorte mit jenen aus OSM gegenübergestellt. In dieser Darstellung fällt auf, dass es Wegezwecke gibt, für die OSM mehr Orte liefert als die Begehung. Gravierende Unterschiede fallen auf in den Bereichen **Ausbildung, Dienstleistungen, Arztbesuch, Weiterbildung, Ehrenamt/ Verein/ politische Aktivitäten und Hobby**.

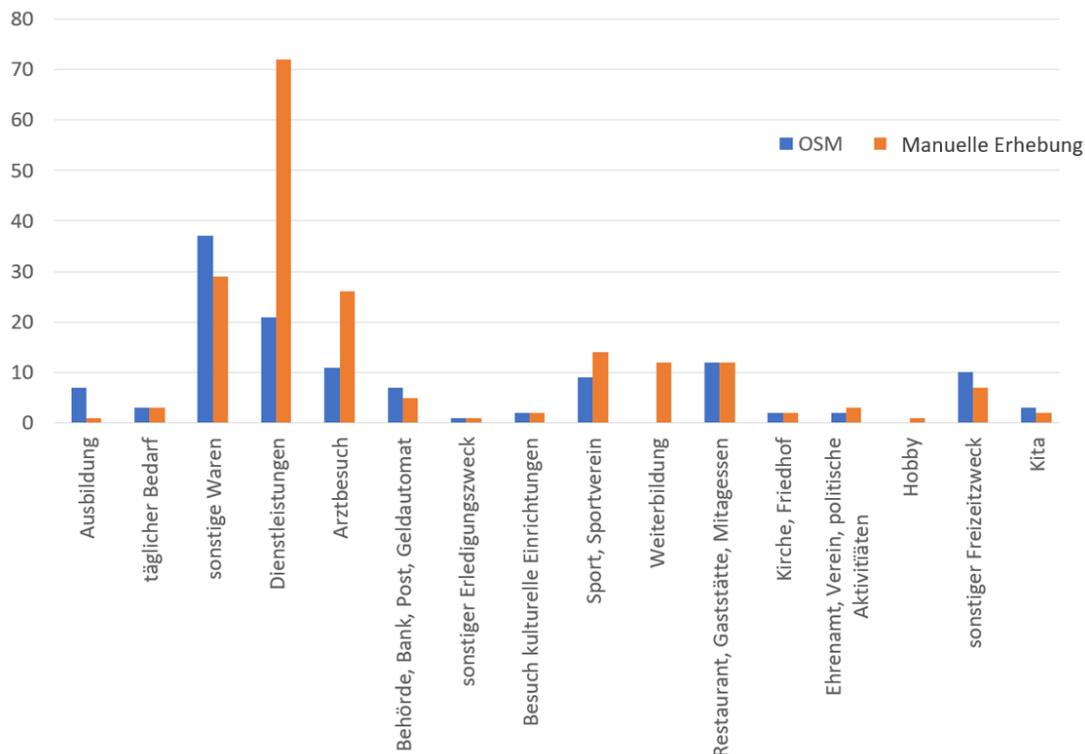


Abbildung 7: Erkner: Anzahl der Aktivitätsorte unterteilt nach dem MiD-Wegezweck

Die **Ausbildungsorte** sind in OSM schwer differenzierbar erfasst. Abbildung 8 zeigt die Löcknitz Grundschule in Erkner. Auf der östlichen Seite sind zusammengehörige Gebäudekomplexe (*building=school*) einzeln dargestellt, die grünen Punkte symbolisieren jeweils den Flächenschwerpunkt. Erkennbar ist, dass es nur einen Punkt *amenity=school* gibt. Der rote Punkt ist in diesem Fall der Referenzpunkt der eigenen Erhebung. Des Weiteren befindet sich auf der westlichen Seite ein **Kindergarten**, den OSM als *building=school* sowie als *amenity=kindergarten* identifiziert.

Unter **Dienstleistungen** fehlen in OSM Einrichtungen der Steuerberatung, Anwaltskanzleien und Versicherungsbüros. Für den Wegezweck **Arztbesuch** fehlen in OSM Einträge für Fachärzte oder deren Spezialisierung. Zudem fällt auf, dass eine Ansammlung von Ärzten als *amenity=clinic* hinterlegt ist, während bei der Begehung alle Spezialisierungen einzeln erfasst wurden.

Betrachtet man Orte für **Weiterbildung** ist ersichtlich, dass OSM in Erkner keinen Ort mit diesem Wegezweck beinhaltet. Für den Wegezweck **Ehrenamt/ Verein/ politische Aktivitäten** konnten während der Begehung kleinere Vereine an mehreren Stellen identifiziert werden. In OSM sind diese Vereine nicht verzeichnet. Allerdings wird ein Altersheim angezeigt, das als *Social Facility* eingetragen ist. Zuletzt wurde im Wegezweck **Hobby** ein Ort zum Angeln ausfindig gemacht, der in OSM ebenfalls nicht erfasst ist.

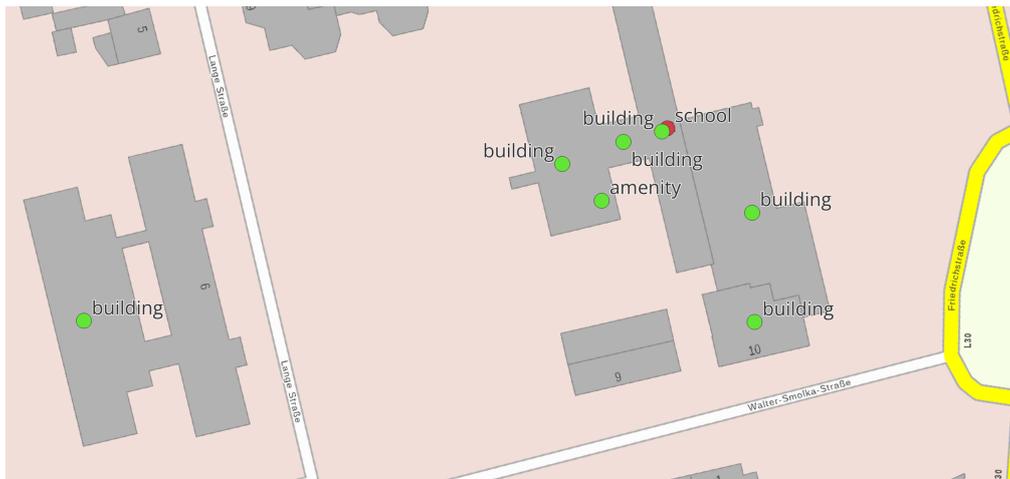


Abbildung 8: Löcknitzgrundschule Erkner: OSM Unterscheidung *amenity* und *building=school*, rot= eigene Erhebung, grün = OSM

In Abbildung 9 werden die Summen der im Helmholtzkiez identifizierten Aktivitätsorte betrachtet. Hier können Unterschiede für die Wegezwecke **Ausbildung, Dienstleistungen, Arztbesuch, Weiterbildung, Ehrenamt/ Verein/ politische Aktivitäten und sonstiger Freizeitweck** erkannt werden.

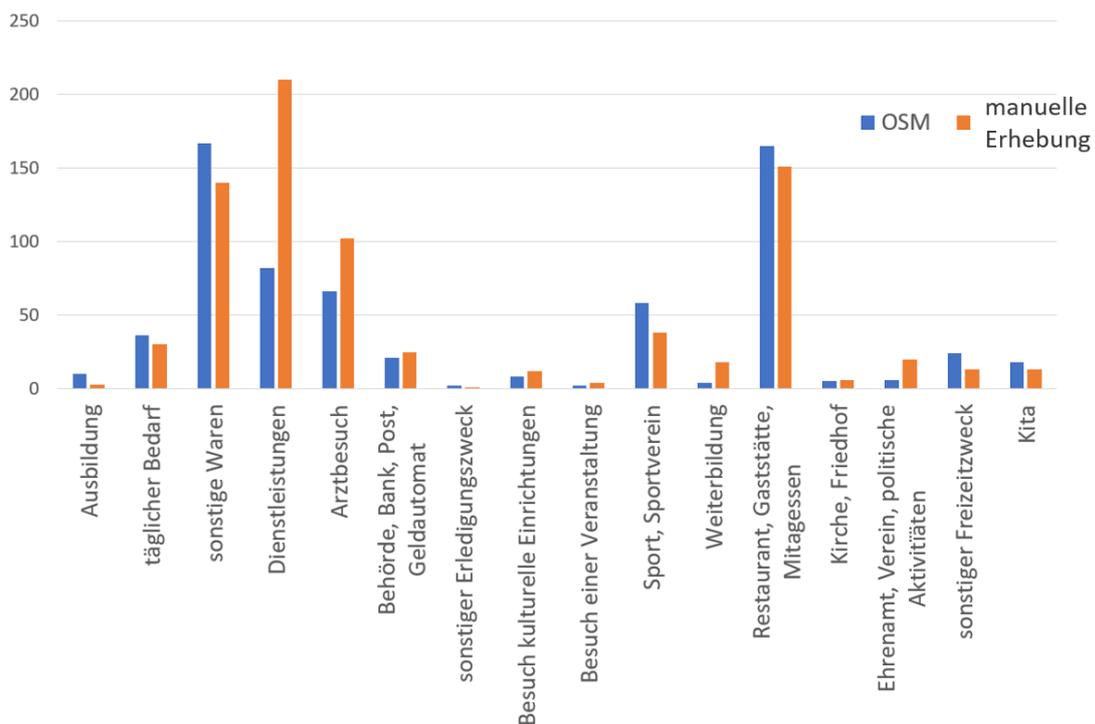


Abbildung 9: Helmholtzkiez: Anzahl der Aktivitätsorte unterteilt nach dem MiD-Wegezweck

Analog zu Erkner sind auch hier bei den **Ausbildungsorten** Schulen von OSM in ver-

schiedene Gebäude unterteilt worden. Das Feature *amenity=school* ist für jede Schule nur einmal vorhanden, vlg. Abbildung 8. Hinzu kommt im Helmholtzkiez die *School of Life*. Hierbei handelt es sich um verschiedene Kursangebote für Erwachsene, die im Sinne der MiD eher in den Zweck Weiterbildung fällt.

Im Wegezweck **Arztbesuch** zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie in Erkner. Auch hier sind oft Häuser mit mehreren Ärzten nur als *amenity=doctors* dargestellt. Im Helmholtzkiez sind zudem oft an einem Ort viele Ärzte mit derselben Spezialisierung. Diese wurden vor Ort einzeln erhoben, da sie zwar im selben Gebäude, aber in unterschiedlichen Praxen arbeiten. OSM fasst diese Ärzte oft zu einem Ort zusammen. Dadurch kann die Spezialisierung abgelesen werden, Informationen zur Kapazität dieses Ortes verschwinden jedoch.

Zum Zwecke der **Weiterbildung** fehlen verschiedene Einrichtungen. Darunter Sprachschulen und Orte für Erwachsenenbildung. Unter der Bezeichnung **Ehrenamt/ Verein/ politische Aktivitäten** ist, wie in Erkner, kaum ein Ort verzeichnet. Besonders auffällig ist der value *social facility*. Der Wert ist sehr allgemein gehalten und liefert in OSM verschiedenste Einrichtungen. Die für die Kategorie gewünschten sind nicht darunter.

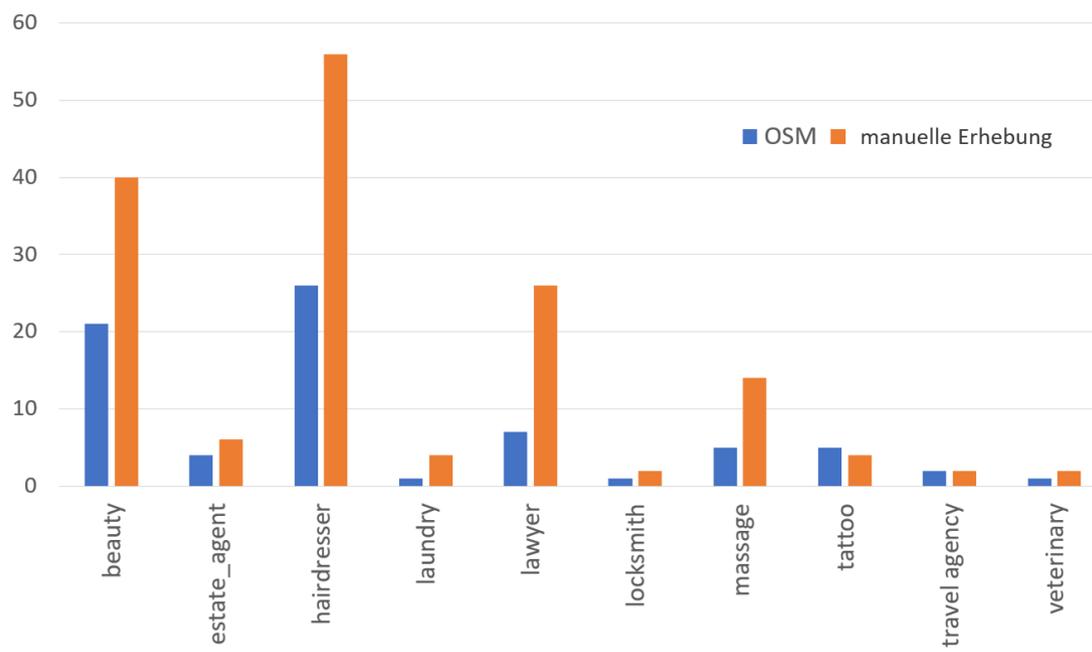


Abbildung 10: Helmholtzkiez: Anzahl der Aktivitätsorte im Wegezwecks Dienstleistungen

Aufgrund der Größe und Vielseitigkeit des Wegezweck **Dienstleistungen** werden die Ergebnisse in Abbildung 10 aufgeschlüsselt nach value dargestellt. Mit Ausnahme von tattoo und travel Agency, wurden bei der Erhebung ca. das 2 bis 4-fache an Einrichtungen in der Kategorie Dienstleistung identifiziert. Im Gegensatz zu Erkner sind mehr Kategorien fehlerhaft.

Zuletzt müssen **sonstige Freizeitwecke** betrachtet werden. Problematisch sind Eintra-

gungen für *leisure=garden*. Dabei handelt es sich oft um private Gärten mit Zugangsbeschränkungen, z. B. in Innenhöfen, siehe Abbildung 11.



Abbildung 11: Helmholtzkiez: Gärten in Innenhöfen OSM

6.3 Empfehlungen

Auf der Grundlage der Bewertung des Untersuchungsgebiets können bestimmte Empfehlungen formuliert werden. Die Auswertung kann allgemeine Tendenzen aufzeigen und Aussagen zur Datenqualität und -verwertbarkeit treffen. Entsprechend vorsichtig ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Gesamtregion Berlin-Brandenburg zu bewerten.

Für den Zweck **Ausbildung** sollte das Feature *building=school* nicht genutzt werden. In diesen Gebäuden sind in OSM nicht nur Schulen sondern teilweise auch Kindergärten eingebettet. Zudem spaltet sich eine Schule meist in mehrere Gebäudekomplexe. Doppelungen können vermieden werden, sofern die Einrichtungen nur als *amenity* betrachtet werden. Anhand anderer Orte ist aufgefallen, dass es auch Orte gibt, in denen nur ein *building* und keine *amenity* verzeichnet ist. Der Zweck Ausbildung sollte also durch eine andere Datenquelle substituiert werden.

Im Wegezweck **Arztbesuch** wurde festgestellt, dass OSM nicht unbedingt fehlerhaft ist, sondern lediglich eine andere Darstellungsweise verwendet. Daher ist es erschwert möglich, eine Diversität der Fachärzte/-innen zu beschreiben, der Wegezweck kann aber für eine Auswertung auf einer höheren Ebene erhalten bleiben.

Bei den **sonstigen Freizeitwecken** sollten die Gärten (*leisure=garden*) generell aussortiert werden oder wenn möglich die Gärten verworfen werden, deren Zugänglichkeit eingeschränkt ist.

Aus der Abbildung 10 geht stark hervor, dass der Wegezweck **Dienstleistungen** oft sehr unvollständig ist. Das gilt ebenso für die Zwecke **Ehrenamt**, **Verein** und **politische Aktivitäten** und **Weiterbildung**. Hier gibt es mehrere Möglichkeiten. Die Kategorien können ersatzlos verworfen werden, oder durch eine geeignete Datenquelle substituiert werden. Eine manuelle Überprüfung und Korrektur der Daten wären ebenso möglich, aber zeitaufwendig. Es gäbe auch die Option die OSM-Daten dieser Wegezwecke trotzdem zu

verwenden. In diesem Fall sollte aber der Einfluss der Kategorien auf die Berechnung vorher eingeschätzt werden und auf mögliche Verzerrungen hingewiesen werden.

7 Analyse zum Diversitätsindikator

Im Folgenden werden die Resultate der Berechnungen des Diversitätsindikators präsentiert. Dabei wurde die Formel des ENT angewendet, siehe Abschnitt 3.3. Dieser Index wurde ausgewählt, da sich die Anzahl aller Kategorien (N) sich bei der Berechnung der Diversität der primären Wegezwecke nicht verändert.

Empfehlungen zur Verwendung der OSM-Daten aus dem Kapitel 6 konnten nur teilweise berücksichtigt werden. Die Berechnung erfolgt weiterhin ausschließlich unter Nutzung der OSM-Daten. D. h. es wurden keine OSM-Daten durch andere Datenquellen substituiert. Mithilfe des Programmes UrMoAC wurden für alle Gebäude in Berlin und Brandenburg (BKG, 2022) alle in 15 Minuten zu Fuß erreichbaren Ziele berechnet und anschließend zu einem individuellen Diversitätsindex zusammengerechnet. Die Diversität wird nach Kategorien differenziert betrachtet und ein potentieller Zusammenhang zur Angebotsdichte identifiziert. Nach der Auswertung zur primären Diversität werden drei ausgewählte Gebiete detaillierter erläutert. Im Anschluss erfolgt eine Beschreibung der Eignung des Diversitätsindex zur Kategorisierung des Raumes sowie eine Untersuchung der Anwendbarkeit des Index in Verkehrsmodellen.

7.1 Auswertung des primären Diversitätsindex

Die Betrachtung erfolgt vorerst lediglich für den Modus *Fuß*, da dieser Modus den kleinsten Radius erschließt. In der Folge werden die Werte weniger ineinander verschmolzen, sodass lokale Unterschiede deutlicher zu Tage treten. Die Auswertung beginnt zunächst mit Fokus auf die primäre Diversität also die Kategorien **Ausbildung, Einkauf, Erledigung, Freizeit und KITA**. Die Anzahl aller Einrichtungen im gesamten Gebiet ist in Abbildung 12 sortiert nach dem primären Wegezweck dargestellt.

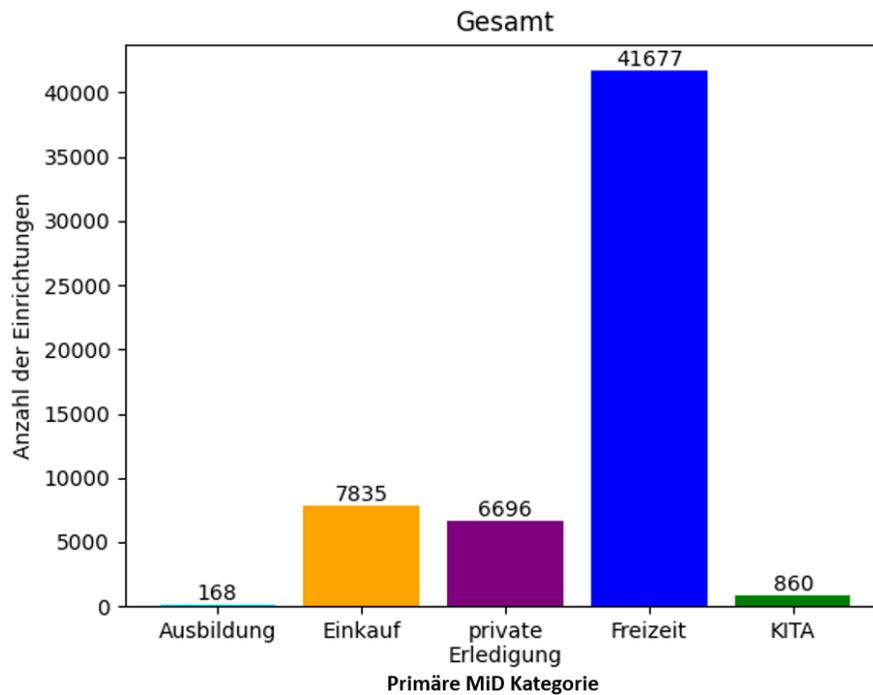


Abbildung 12: Gesamtzahl der Aktivitätsorte nach Kategorien

Die meisten Aktivitätsorte gehören der Kategorie Freizeitaktivität an. Die geringsten Werte sind in den Kategorien Kita und Ausbildung zu finden. Dazwischen bewegen sich die Zahlen der Einrichtungen für private Erledigungen und Einkäufe. Dies ist wahrscheinlich jeweils auf die hohe Kapazität bzw. die geringe Größe der Nutzergruppe zurückzuführen. Durch unterschiedliche Häufigkeiten der Aktivitätsorte kann es bei den Diversitätswerten zu starken Verzerrungen kommen. Der Diversitätswert für die gesamte Region Berlin-Brandenburg beträgt 0,52.

In Abbildung 13 sind die berechneten Werte für den Diversitätsindex in Berlin-Brandenburg dargestellt. Zur besseren Orientierung sind zudem die Bundesautobahnen aufgenommen worden. Zur grafischen Darstellung wurde die Position aller Gebäude geladen und nach ihrem Indikatorwert eingefärbt. Je heller die Farbe ist, desto höher ist der entsprechende Wert. Bereits auf den ersten Blick erkennt man, dass hohe Diversitätswerte nicht nur in Berlin vorkommen, sondern in Brandenburg ebenfalls zahlreiche Orte mit einem hohen Diversitätsindex zu finden sind. Hohe Diversität kann auch in ländlichen Gebieten festgestellt werden. Der höchste erzielte Diversitätswert liegt bei 1. Ca. 17,7% der Gebäude haben keine Diversität, also einen Index von 0 erzielt. Dies kann nur auf das Nichtvorhandensein jeglicher betrachteter Einrichtungen innerhalb von OSM in der Nähe dieser Gebäude zurückgeführt werden.

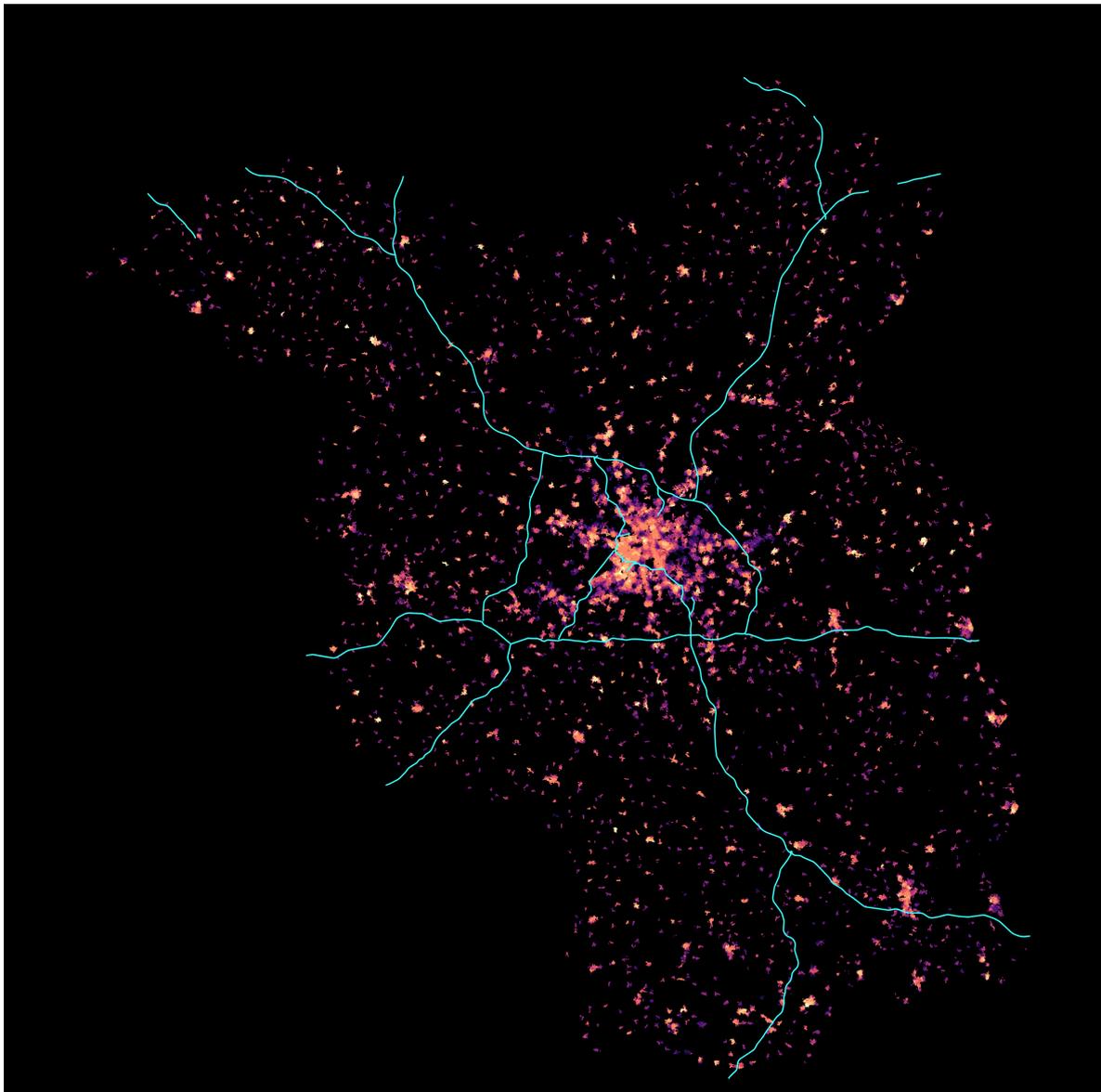


Abbildung 13: Diversität: Entropy Index in Brandenburg



Im Weiteren ist in Abbildung 14 Berlin dargestellt. Hier dienen das BAB- sowie das ÖPNV-Netz zur Orientierung. Es fällt auf, dass hohe Diversitätswerte nicht auf die verschiedenen Stadtzentren beschränkt sind. Vielmehr bildet sich ein Flickenteppich, bei dem sowohl zentrale Kieze mit niedrigerer Diversität abgebildet werden, als auch Randgebiete mit sehr hoher Diversität. Trotzdem ist ein Abfall von der Stadtmitte nach außen erkennbar. Genauso bilden sich Felder hoher Diversität entlang der großen Verkehrsachsen.

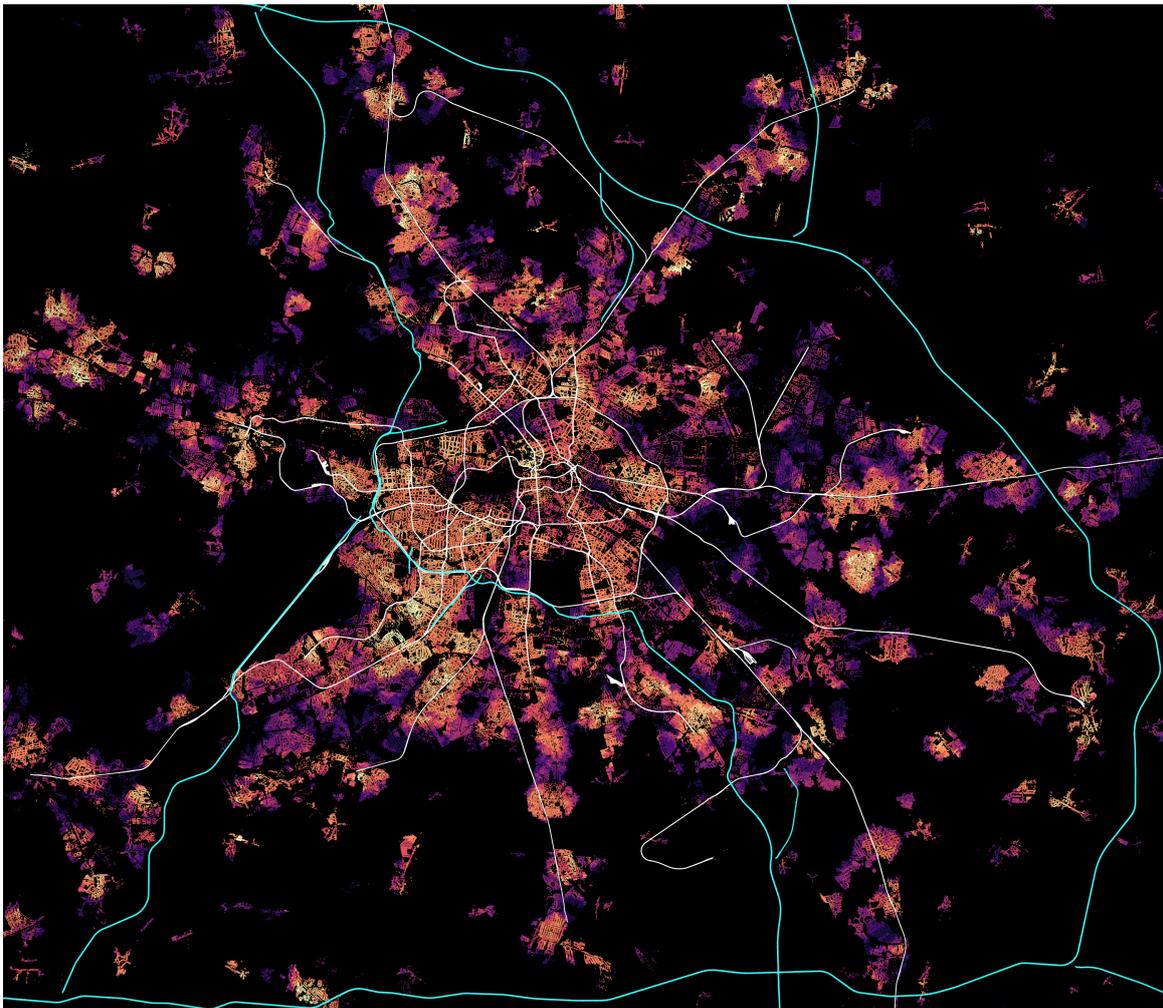


Abbildung 14: Diversität: Entropy Index in Berlin

Die folgende Abbildung 15 dient der Veranschaulichung potentieller Interaktionen zwischen Diversität und Angebotsdichte. Es lässt sich erkennen, dass in Bereichen niedriger Dichte (ca. 0-100 erreichbare Aktivitätsorte) sämtliche Diversitätswerte ermittelt werden können. Es ist bemerkenswert, dass ab einem Wert von ca. 100 erreichbaren Einrichtungen der Wert nur vereinzelt unter etwa 0,6 sinkt. Dies impliziert, dass ab einer bestimmten Angebotsdichte alle Arten von Einrichtungen verfügbar werden. Die Werte für die maximale Diversität sinken scheinbar linear mit ansteigender Dichte. Zudem sind bei niedriger Diversität und Dichte gewisse Kurvenverläufe erkennbar, welche dem $\frac{1}{\ln(x)}$ -Anteil in der Formel zum Entropyindex entsprechen.

Darüberhinaus ist im Diagramm farblich dargestellt, welche Kategorie an diesem Datenpunkt überwiegt. Insgesamt sind nur drei der möglichen fünf Kategorien erkennbar. Einkauf scheint in dichten Gebieten zu dominieren, während private Erledigungen in Gebieten geringerer Dichte oft am meisten vertreten sind, jedoch nicht stark genug, um von einem Überwiegen zu sprechen und dadurch den Diversitätsindex zu verringern. Anders ist es bei Freizeitaktivitäten. Wo Freizeitaktivitäten andere Aktivitäten dominieren,

scheinen Sie den Diversitätsindex stärker negativ zu beeinflussen. Möglicherweise geschieht dies auch die die entsprechende Flächeninanspruchnahme jener Aktivitätsorte, z. B. bei weitläufigen Parks oder Stadien.

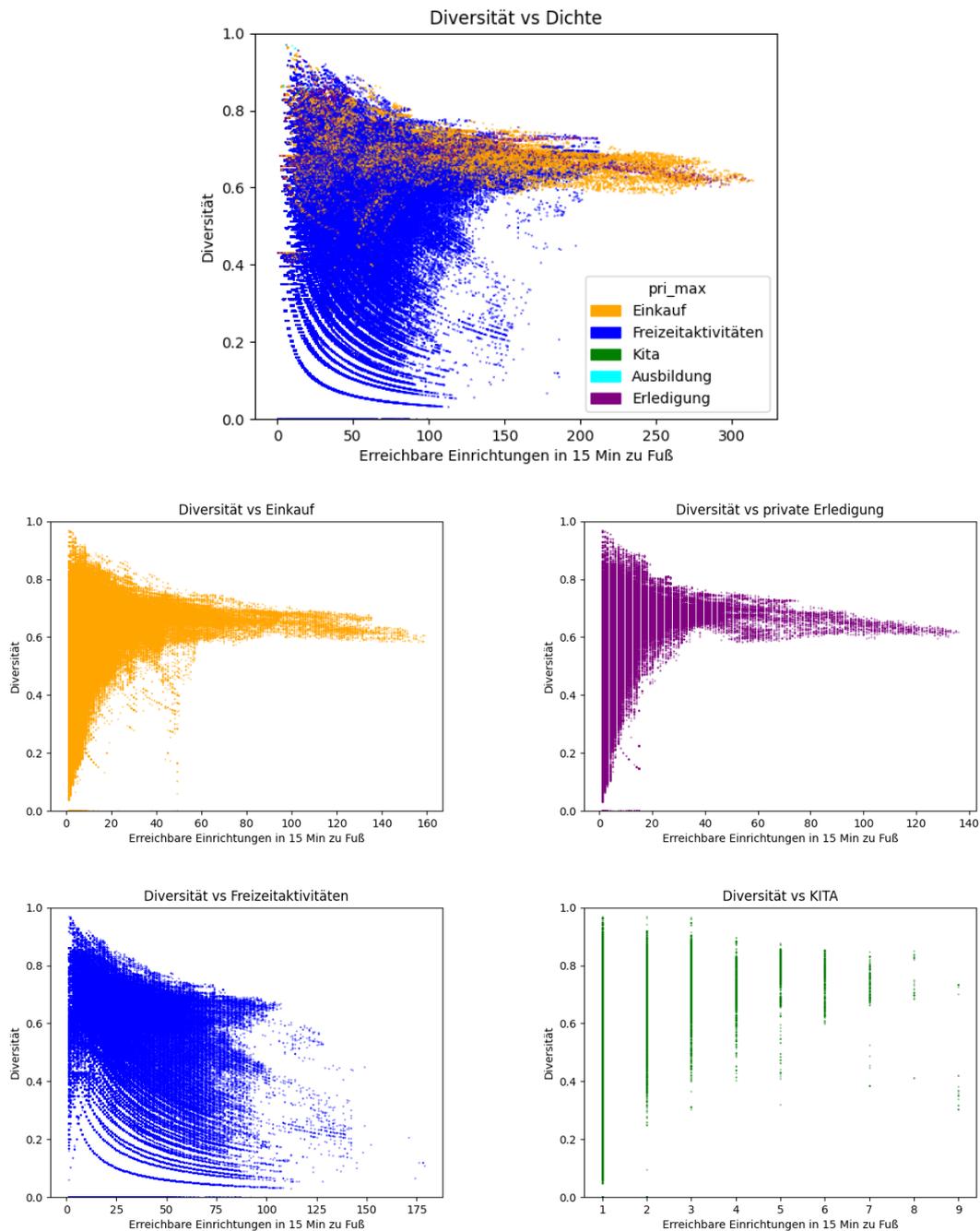


Abbildung 15: Gegenüberstellung der Dichte in verschiedenen Kategorien und der Diversität

Die weiteren vier Diagramme der Abbildung 15 zeigen einen ähnlichen Zusammenhang.

Hier wird jeweils nur die Dichte der Aktivitätsorte für einen spezifischen Wegezweck betrachtet. Sich ähnelnde Muster zeigen Orte für private Erledigungen und den Einkauf. Zwischen der Dichte der Freizeitaktivitäten und der Diversität besteht hier anscheinend keine Abhängigkeit. Als letztes wird die Dichte der Kitas herangezogen. Orte mit vielen Kitas haben hohe Diversitätswerte. Dieser primäre Wegezweck scheint der einzige zu sein, bei dem die Diversität nicht mit steigender Dichte abfällt.

Es ist zu konstatieren, dass durchaus ein gewisser Zusammenhang zwischen Dichte und Diversität besteht. Es ist trotzdem sinnvoll, beide Größen in der Auswertung gemeinsam zu betrachten.

Ein Blick auf das linke Histogramm in Abbildung 16 zeigt die absolute Verteilung der Häuser auf den berechneten Diversitätsindex. Dabei fällt auf, dass viele Gebäude einen Diversitätsindex kleiner 0,1 aufweisen. Die restlichen Werte verteilen sich über das Mittelfeld. Einen Wert von 0,8 und höher erreichen nur sehr wenige Häuser. Berechnet man den Mittelwert aus allen Werten größer null, beträgt er 0,49.

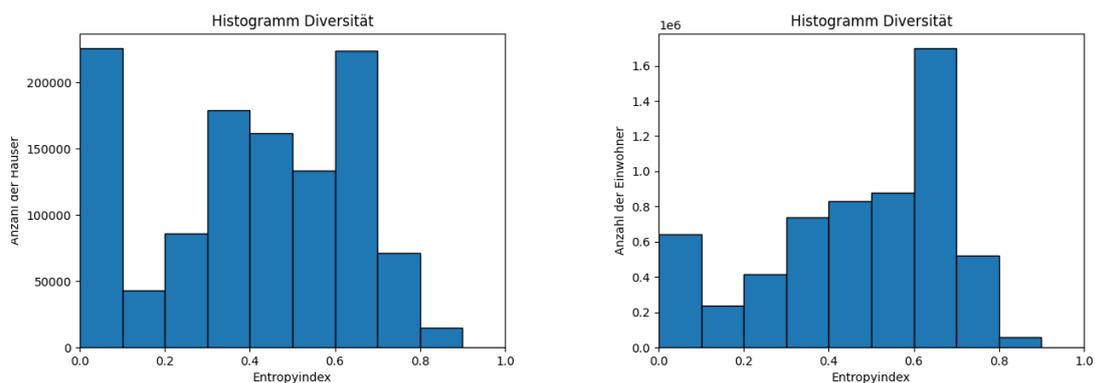


Abbildung 16: Histogramm Diversität

Im rechten Histogramm in Abbildung 16 wurden die Anzahl der Einwohner in jenen Häusern zur Darstellung herangezogen. Darauf ist eine deutlich geringere absolute Häufigkeit in der Gruppe $[0;0,1[$ zu erkennen. Wenn man die beiden Histogramme also miteinander vergleicht, entsteht der Eindruck, dass Diversität oft dort vorhanden ist, wo viele Menschen pro Haus leben. Gegenden mit wenigen Menschen pro Haus, wie zum Beispiel ländliche oder in Vorstädten gelegene Einfamilienhäuser sind scheinbar weniger divers in ihrem Angebot.

7.2 Deatailbetrachtung der primären Diversität in drei ausgewählten Gebieten

Es wurden drei Stellen ausgewählt, die im Detail betrachtet werden sollen. Die Positionierung dieser Orte im Dichte vs. Diversität-Diagramm ist in Abbildung 17 dargestellt.

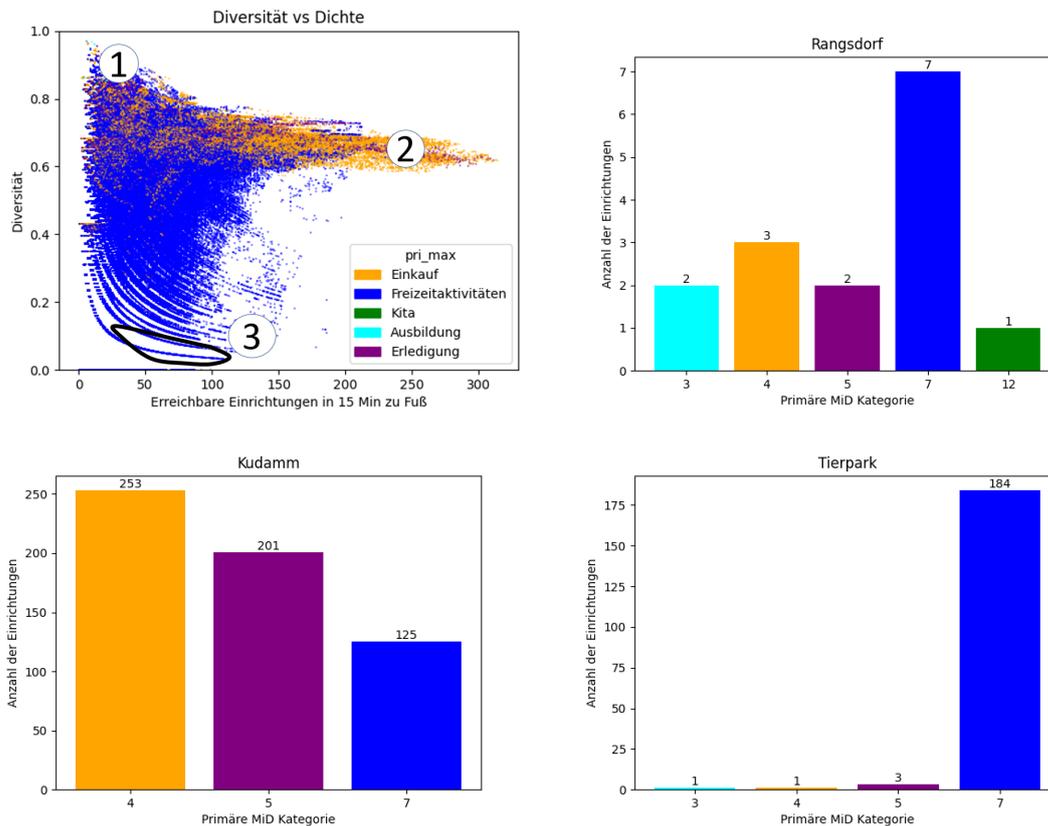


Abbildung 17: Ausgewählte Orte zur Detailbetrachtung, Anzahl der Einrichtungen nach Kategorie

In der folgenden Abbildung 18 sind die Orte auf der Karte und die Anzahl der erreichbaren Aktivitätsorte dargestellt. Dadurch soll herausgefunden werden, durch welche Konstellation der Aktivitätsorte der entsprechende Diversitätswert entstanden ist und welche Aussage der Diversitätswert trifft.

Rangsdorf

Eines der Gebiete mit der höchsten Diversität wurde in Rangsdorf gefunden. Auf der östlichen Seite des Bahnhofs befinden sich hier Häuser mit Werten $> 0,95$. Dies spiegelt sich auch in der Abbildung 17 zur Anzahl der Aktivitätsorte wieder, die hier relativ ausgeglichen ist.

Kurfürstendamm

Die Berechnung zum Diversitätsindex hat den Kurfürstendamm mit 0,6-0,7 bewertet. Hier gibt es eine große Angebotsdichte und aus der Abbildung 17 geht bereits hervor, dass die Kategorie Einkauf überwiegt. Dies erscheint logisch. Der Kudamm ist als Haupteinkaufsstraße im Westen Berlins bekannt. Kitas oder Schulen sind nicht verzeichnet. Im betrachteten Gebiet leben ca. 2300 Menschen (BKG, 2022). Es scheint eine starke Trennung zwischen Wohnraum und dem Zweck Einkauf und Erledigungen zu geben. Möglicherweise kann das darauf hindeuten, dass der Kudamm und die umliegende Gegend eine hohe Verkehrsnachfrage schaffen. Menschen müssen weitere Wege zurücklegen, um aus den umliegenden Gebieten zu den Aktivitätsorten zu gelangen.



Abbildung 18: Ausgewählte Gebiete: Karte der Diversitätswerte (Hintergrund schwarz/weiß für mehr Kontrast) Ausgewählte Gebiete: OSM-Karte des Gebiets mit Aktivitätsorten (rot)

Tierpark Berlin

In der letzten Reihe der Abbildung 18 sind der Berliner Tierpark und das Wohngebiet westlich davon dargestellt. Die Angebotsdichte scheint einerseits mit 112 Einrichtungen im unteren Mittelfeld gelegen. Die errechnete Diversität kommt andererseits nur zu einem Ergebnis von $< 0,1$. Diese resultiert aus geringen Werten in den übrigen vier Kategorien. Kindergärten sind insgesamt gar nicht verzeichnet, in den anderen Kategorien zählt man ein bis zwei Orte. Dadurch sinkt der Diversitätsindex sehr tief. Diese Freizeitangebote befinden sich sowohl im Tiergarten selbst, spiegeln aber auch Sportangebote im Wohngebiet wieder. Möglicherweise kann hier mithilfe des Diversitätsindex ein Mangel an Einkaufs-, Freizeit-, Ausbildungsorten und Kitas identifiziert werden, der die Anwohner zwingt, längere Wege zurückzulegen, um das Gebiet zu verlassen.

7.3 Auswertung des sekundären Diversitätsindex

Über die primäre Diversität hinaus besteht die Möglichkeit, einen Index auf sekundärer Ebene zu errechnen. Die primäre Diversität wurde über alle primären Kategorien hinweg berechnet. Bei der sekundären Diversität wird im Normalfall eine dieser primären Kategorien ausgewählt und ein Index über all ihre Unterkategorien bestimmt. Allerdings eignen sich nicht alle in der primären Auswertung betrachteten Wegezwecke für die sekundäre Auswertung, siehe Abbildung 2 (Kapitel 5). Um valide Aussagen treffen zu können, ist die Verwendung einer hinlänglichen Anzahl an Unterkategorien erforderlich. Die Zwecke *Kita* und *Ausbildung* werden nicht weiter unterteilt. Die Unterkategorien der anderen Zwecke bringen auf dem aktuellen Stand starke Unsicherheiten in der Qualität der OSM-Daten mit sich. Daher wird im Folgenden eine Auswahl sekundärer Kategorien betrachtet, die den primären Zwecken *Einkauf* sowie *private Erledigung* zugeordnet werden. Die genutzten Wegezwecke mit der Anzahl der Einrichtungen, die diesem Zweck zugeordnet sind, werden in der Abbildung 19 dargestellt.

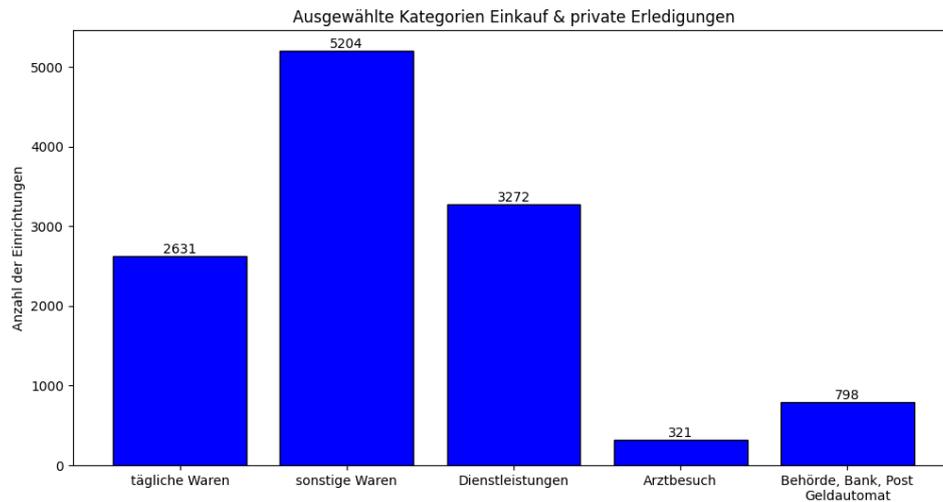


Abbildung 19: Anzahl der Einrichtungen für Ausgewählte sekundäre Wegezwecke Einkauf und private Erledigungen in Berlin-Brandenburg

Im Histogramm in Abbildung 20 wird die Verteilung der Einwohner auf die sekundären Diversitätswerte dargestellt. Erkennbar ist, dass sehr viele Werte unter 0,1 und im Bereich zwischen 0,6-0,7 liegen. Der erzielte Durchschnittswert (aller Werte > 0) beträgt 0,61.

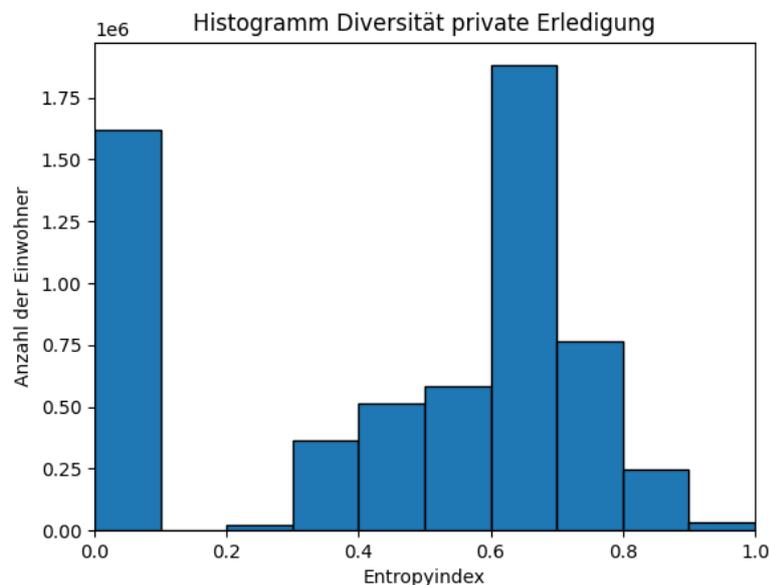


Abbildung 20: Histogramm zur sekundären Diversität: Einkauf und private Erledigungen

In der Primäranalyse wurde Rangsdorf als Gebiet mit besonders ausgewogenem Angebot identifiziert. Der Kudamm wurde als besonders einkaufsstarkes Gebiet erkannt. An dieser Stelle soll untersucht werden, wie sich die Diversitätswerte in den ausgewählten Gebieten auf der sekundären Ebene für Einkäufen und private Erledigungen verhalten. Die folgende

Abbildung 21 zeigt den sekundären Diversitätswert sowie die Anzahl der erreichten Ziele in den Kategorien.

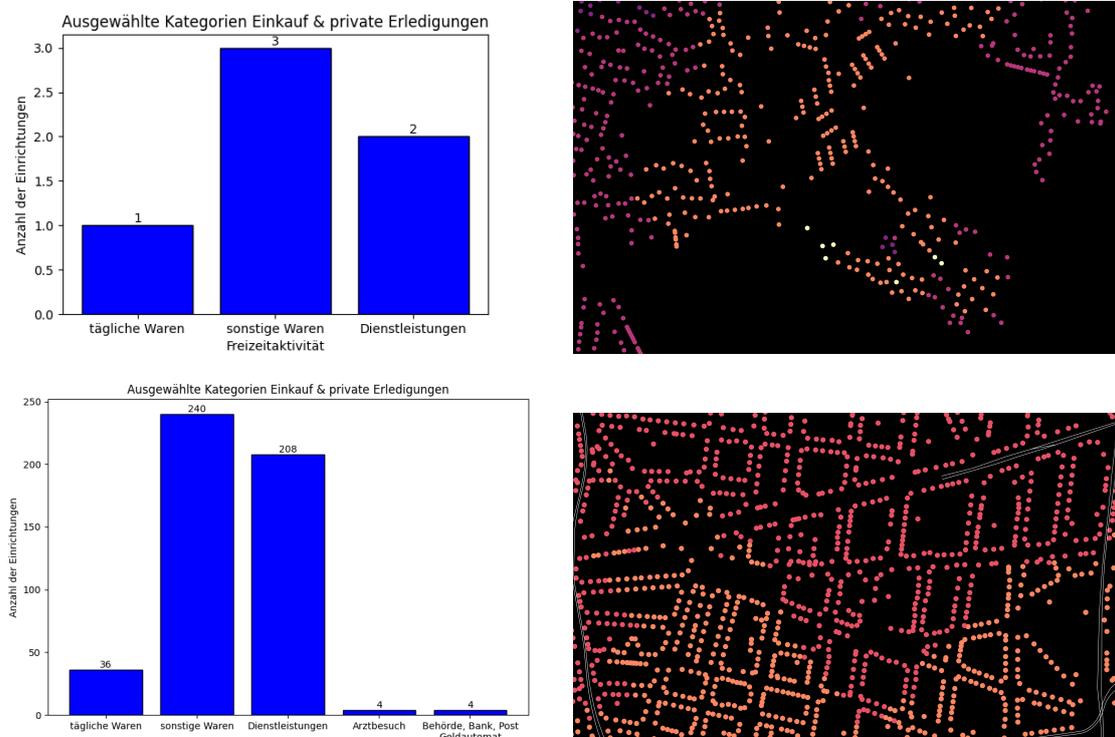


Abbildung 21: Ausgewählte Gebiete: Anzahl der erreichten Aktivitätsorte nach Kategorie, Ausgewählte Gebiete: Karte der Diversitätswerte; oben Rangsdorf, unten Kurfürstendamm

Im betrachteten Gebiet in Rangsdorf wird ein durchschnittlicher Diversitätswert von 0,5-0,6 erzielt. Betrachtet man die erreichten Kategorien, fällt auf, dass hier von fünf möglichen Kategorien ausschließlich drei erreicht werden konnten. Das heißt trotz der hohen Werte, die bei der primären Diversität erzielt wurden, konnten auf sekundärer Ebene Mängel festgestellt werden. Am Kurfürstendamm wurde ein Durchschnittswert von 0,4-0,5 erzielt. Das liegt an einem Überangebot von Dienstleistungen und sonstigen Waren. Sowohl Arztbesuche als auch das Aufsuchen von Behörden, Post und Geldautomat sind hier nicht möglich.

7.4 Mögliche Anwendungsmöglichkeiten in der Verkehrs und Regionalplanung

Klassifizierung des Raumes

Eine Frage, die durch die Auswertung beantwortet werden soll ist, ob der Diversitätsindex eine Klassifizierung des Raumes vornehmen kann. Anhand des Diversitätsindex kann

ein gewisses Zentralitätsmaß bestimmt werden. Bei Betrachtung der Karte stellt man fest, dass sich Gemeinden herausbilden, die eine höhere Diversität als ihr Umland aufweisen. Dabei handelt es sich oft um Gemeinden, mit oft nur einer sehr kleinen Anzahl an Aktivitätsorten. Diese zentralen Gemeinden verfügen im Gegensatz zu den umliegenden Gemeinden über Zugang zu Einrichtungen aller Wegezwecke. Beispielhaft ist in Abbildung 22 die Gemeinde Pessin dargestellt. Man erkennt, dass sie aus den umliegenden Gemeinden hervorsticht.



Abbildung 22: Zentrale Gemeinde: Pessin

In Deutschland gibt es das zentralörtliche System. Dieses ist ein Instrument der Raumordnung. Die Regelungsbereiche des Konzepts der zentralen Orte ähneln den in dieser Arbeit betrachteten Hauptwegezwecken. Dabei hängt die Festlegung der zentralen Orte nicht ab von der Größe einer Gemeinde. Denn „die zentralen Orte sind für ihr Umland Versorgungs- und Ankerpunkte“. (BMWSB, o.D.) Es scheint also vorstellbar, den Diversitätsindex zur Bestimmung von Zentralen Orten heranzuziehen. Die MiD-Wegezwecke haben zwar eine ähnliche Unterteilung, für diese spezielle Anwendung sollten die Wegezwecke speziell auf das Konzept der Zentralen Orte abgebildet werden.

Nutzung in Verkehrsmodellen

Das Land Berlin gibt regelmäßig Verkehrsprognosen in Auftrag. Darüber hinaus gibt es eine Gesamtverkehrsprognose für die Länder Berlin-Brandenburg in einem landesweiten Modell. Diese Verkehrsprognosen basieren auf Daten zur Demografie, zum Verkehrsverhalten, aktuellen Verkehrszählungen, der aktuellen und zukünftigen Raum- und Infrastruktur und weiteren Faktoren. Das Verkehrsmodell findet Anwendung in der Stadt- und Regionalplanung sowie in der Verkehrsplanung. (Berlin SenMVKU, o.D.)

Verkehrssimulationen ermitteln eine Verkehrsumlage auf Grundlage eines Verkehrsnetzes und einer Nachfrage. Zur Modellierung der Nachfrage, also der Menge aller Fahrten pro Zeitspanne zwischen zwei Verkehrszellen, werden Informationen über die Verteilung von Aktivitätsorten genutzt (Schnabel and Lohse, 2011). Der Diversitätsindex gibt, je nach betrachteter Ebene, Aufschluss über die Vielfältigkeit der Aktivitätsorte. Diese Vielfalt der Landnutzung wurde in der Forschung bereits als Einfluss auf die Wegewahl nachgewiesen. Demnach kann eine hohe Angebotsdiversität dadurch zu einer erhöhten Menge an Binnenverkehren beitragen (Ewing et al., 2011). Desweiteren gibt es Anhaltspunkte dafür, dass Menschen in räumlich diversen Nachbarschaften aktive Verkehrsmodi dem MIV vorziehen (Litman, 2014). In der Folge könnte es sich als nützlich erweisen, einen entsprechend konfigurierten Diversitätsindex zur Verbesserung der Verkehrsabbildung zu verwenden, sowohl bei der Nachfrage, als auch bei der Umlage.

8 Diskussion

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten die OSM-Daten auf die MiD-Wegezwecke abgebildet werden. Eine Nutzung dieser Daten in der Diversitätsbewertung war somit möglich. Anhand der durchgeführten Begehung zweier Areale wurden Unterschiede zwischen ländlichen und urbanen Regionen in der Angebotsdichte festgestellt werden. Die Auswertung hat auch ergeben, dass sich die Qualität der OSM-Daten zwischen dem urbanen Helmholtzkiez und der Vorstadt Erkner unterscheidet. Die aufgezeigten Diskrepanzen erlauben lediglich eine Schätzung der tatsächlichen Datenqualität von OSM im gesamten Raum Berlin-Brandenburg. Nichtsdestotrotz liefert die Auswertung dieser beiden Gebiete Hinweise darauf, dass die Datenqualität nach Wegezweckkategorie variiert und wo künftige Arbeiten ansetzen können, um die Datenqualität zu verbessern. Zum Beispiel bei der Reduktion von Doppelungen durch *amenity* und *building* oder der Substitution durch andere Datenquellen in den Kategorien Fachärzte, Dienstleistungen oder Weiterbildung. Die Nutzung der OSM-Daten ist demnach in Teilen möglich, allerdings scheint sie als alleinige Datenquelle noch nicht ausreichend zu sein.

Im Weiteren wurde eine Berechnungsmethode zur Diversität, insbesondere der Entropy-Index, angewendet. Die durchgeführte Untersuchung hat ergeben, dass der Entropy Index eine geeignete Methode zur Bestimmung der Diversität auf primärer und sekundärer Ebene darstellt. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Aussage, welche Problemstellungen durch den Diversitätsindex adressiert werden können. Für die Berechnung wurden die OSM-Daten lediglich teilweise angepasst, sodass nicht alle zuvor ausgesprochenen Empfehlungen berücksichtigt werden konnten. Dies führt vermutlich zu einer Verzerrung der erfassten Werte. Gleichwohl demonstriert die Arbeit das Potenzial für die Generierung von Informationen die mit einer soliden Datengrundlage erzielt werden können.

Die ermittelten Diversitätswerte ermöglichten eine sinnvolle Abgrenzung von Gebieten und das Identifizieren von räumlicher Zentralität, wie z. B. in Pessin. Die Ermittlung dieser Zentren gestaltet sich im ländlichen Raum leichter als im städtischen Raum. Hier

gibt es insgesamt eine niedrigere Anzahl an Aktivitätsorten. Dadurch haben sich größere Unterschiede in den Werten gezeigt. Ab einer Angebotsdichte von ca. 100-150 verkleinert sich die Streuung des Diversitätswertes stark. Je höher die Aktivitätsdichte wird, desto mehr nähert sich der Diversitätswert 0,6 an. Um das Verhalten des Diversitätsindikators richtig einzuschätzen ist eine parallele Betrachtung der Angebotsdichte sinnvoll.

Über die Messung der Zentralität hinaus erlaubt der ENT die Identifikation von Schwachstellen in der Versorgungsinfrastruktur. Allerdings wurde ebenfalls ersichtlich, dass eine Bewertung keine Aussagen hinsichtlich der Suffizienz des Angebotes zulässt. Diesbezüglich sei das Beispiel Rangsdorf angeführt, wo gute Diversitätswerte auf primärer Ebene und mittelmäßige Werte auf sekundärer Ebene festgestellt wurden. Eine detaillierte Betrachtung der vorhandenen Aktivitätsorte offenbart sogar eine Unterversorgung. In einigen Fällen könnte die Aussagekraft durch eine Anpassung der Auswahl der Wegezwecke zur Berechnung des Indikators auf eine tiefere Detailebene weiter optimiert werden.

In diesem Sinne ist auch zu erwähnen, dass die Kapazitäten der Aktivitätsorte in dieser Betrachtung keine Rolle spielen. Prinzipiell ist die Gewichtung nach Kapazität, unter der Voraussetzung, dass die Datenquelle dies hergibt, möglich. Auch ist eine Gewichtung der Orte nach anderen Kriterien möglich. Es kommt vermutlich häufiger vor, dass Menschen zum Beispiel einen Friseur aufsuchen als einen Anwalt. Entsprechend könnte dies zukünftig in der Diversitätsberechnung berücksichtigt werden. Unter Umständen könnten weniger gewichtete Aktivitätsorte auch solche sein, die in OSM seltener vollständig erfasst wären. Das könnte die Datennutzbarkeit positiv beeinflussen.

Eine Untersuchung auf tertiärer Ebene wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt. Die Frage, ob der Entropy Index auch auf tertiärer Ebene anwendbar ist, wurde bislang nicht beantwortet. Auf tertiärer Ebene wird jede mögliche Ausprägung der OSM-Key-Values eines Aktivitätsortes als eine eigene Flächennutzungsart betrachtet. In einer künftigen Arbeit könnte erörtert werden, ob die Anwendung des HHI auf der tertiären Ebene sinnvoll ist. Zudem könnte erörtert werden, welche Aussagen mithilfe einer tertiären Bewertung überhaupt getroffen werden können. Gerade in Erkner und dem Helmholtzkiez würde eine tertiäre Betrachtung unter Umständen noch einmal deutlich stärker Unterschiede aufzeigen.

9 Fazit

Die Untersuchung hat gezeigt, dass der Diversitätsindex auf der Grundlage der OSM-Daten und der MiD-Wegezwecke prinzipiell mit Einschränkungen anwendbar ist. Dabei ist für städtische und ländliche Gebiete eine unterschiedliche Herangehensweise an die Interpretation nötig. Insbesondere wurde deutlich, dass in urbanen Gebieten wie dem Helmholtzkiez eine höhere Qualität und Dichte der Daten vorliegt, während in ländlichen und randstädtischen Gebieten wie Erkner stärkere Diskrepanzen und Datenlücken zu beobachten sind. Diese Unterschiede in der Datenqualität erschweren die Vergleichbarkeit der Regionen und machen deutlich, dass zusätzliche Datenquellen oder Korrekturmaßnah-

men notwendig wären, um eine umfassendere und genauere Analyse zu ermöglichen.

Auch die Bedeutung des selben Diversitätswertes kann je nach Region unterschiedliche Bedeutungen haben. Zudem hat die Arbeit Grenzen des Diversitätsindex aufgezeigt. Während die Identifikation von räumlichen Schwerpunkten durchaus möglich ist, sollte die Identifikation von konkreten Defiziten in der Versorgungsinfrastruktur noch einmal auf eine andere Art und Weise angegangen werden.

Trotz dieser Einschränkungen konnte gezeigt werden, dass der Diversitätsindex ein nützliches Instrument zur räumlichen Analyse und Planung ist. Die Arbeit verdeutlicht, dass es Potenzial für weiterführende Forschung gibt, um die Genauigkeit und Aussagekraft des entwickelten Diversitätsindex zu verbessern. Zukünftige Forschungen sollten sich auf die Optimierung der zugrunde liegenden Daten und die Entwicklung ergänzender Indikatoren fokussieren, um die Anwendbarkeit des Index in der Verkehrs- und Regionalplanung zu verbessern.

10 Literaturverzeichnis

Literatur

- ADAC (Hrsg.). Anzahl der gemeldeten Staustunden auf Autobahnen in Deutschland von 2023 bis 2024, 2024. URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/508860/umfrage/staustunden-auf-deutschen-autobahnen/>. Abgerufen 16.09.2024.
- Agora Verkehrswende (Hrsg.). *Mobilitätsharantie für Deutschland, Teil I: Ausgangslage und Praxisbeispiele für eine bundesweit garantierte Grundversorgung mit Bus und Bahn*. 2023.
- Sigrun Beige. Analyses of commuting distances and times in the household context: The case of berlin. In *13th International Conference on Travel Behaviour Research*, 2012. URL <https://elib.dlr.de/76743/>. Abgerufen 16.09.2024.
- Peter H. G. Berkhout, Jos C. Muskens, and Jan W. Velthuisen. Defining the rebound effect. *Energy Policy*, 28(6):425--432, 2000. ISSN 0301-4215. doi: 10.1016/S0301-4215(00)00022-7.
- Christoph Bernhardt. Längst beerdigt und doch quicklebendig: Zur widersprüchlichen Geschichte der autogerechten Stadt. *Zeithistorische Forschungen*, pages 526--540, 2017. doi: 10.14765/zzf.dok.4.1076.
- Alain Bertaud. The last utopia: The 15-minute city, 2022. URL <https://urbanreforminstitute.org/wp-content/uploads/2022/02/15mincity-bertaud.pdf>. Abgerufen 16.09.2024.
- Rupjyoti Bordoloi, Amit Mote, Partha Pratim Sarkar, and C. Mallikarjuna. Quantification of land use diversity in the context of mixed land use. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104:563--572, 2013. ISSN 1877-0428. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.11.150.
- Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Hrsg.). *Georeferenzierte Adressen: Forschungsdatensatz*, 2022.
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (Hrsg.). *Weitere Informationen für Raumordnungsinteressierte: Das zentralörtliche System in Deutschland*, o.D. URL <https://www.bmwsb.bund.de/Webs/BMWSB/DE/themen/raumentwicklung/raumordnung/zentrale-orte/zentrale-orte-trenner-langfassung.html>. Abgerufen 16.09.2024.
- Denise Da Capasso Silva, David A. King, and Shea Lemar. Accessibility in practice: 20-minute city as a sustainability planning goal. *Sustainability*, 12(1), 2020. ISSN 2071-1050. doi: 10.3390/su12010129.
- Reid Ewing, Michael Greenwald, Ming Zhang, Jerry Walters, Mark Feldman, Robert Cervero, Lawrence Frank, and John Thomas. Traffic generated by mixed-use developments--six-region study using consistent built environmental measures. *Journal of Urban*

- Planning and Development*, 137(3):248--261, 2011. doi: 10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000068.
- Avigail Ferdman. Well-being and mobility: A new perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 146:44--55, 2021. ISSN 0965-8564. doi: 10.1016/j.tra.2021.02.003.
- Til Friedrich. Abbildung der Wegezwecke und Erhebungsdaten zur Arbeit: Entwicklung eines Diversitätsindikators zur Planung nähräumlicher Versorgungsinfrastrukturen am Beispiel Berlin-Brandenburg, 2024. URL <https://github.com/til432/Diversitaetsindikator>.
- Thomas Götschi, Sonja Kahlmeier, Eva Martin-Diener, Brian Martin, Raphael Bize, and Simonson. *Aktive Mobilität und Gesundheit : Hintergrundbericht für den Nationalen Gesundheitsbericht 2015*. Zürich, 2015. doi: 10.5167/uzh-152022. Abgerufen 16.09.2024.
- Martina Hefler and Hünter Riederer. *Autostädte im 20. Jahrhundert: Wachstums- und Schrumpfungprozesse in globaler Perspektive*. Steiner Verlag, 2014. ISBN 978-3-515-10692-4.
- Alessia Iannillo and Isidoro Fasolino. Land-use mix and urban sustainability: Benefits and indicators analysis. *Sustainability*, 13(23), 2021. ISSN 2071-1050. doi: 10.3390/su132313460.
- Ben Impey. Anzahl der Straßenverkehrsunfälle in Deutschland nach Schadensart von 1955 bis 2023, 2024a. URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/3396/umfrage/anzahl-der-strassenverkehrsunfaelle-mit-personenschaden/>. Abgerufen 16.09.2024.
- Ben Impey. Wartungsaufwand pro PKW in Deutschland von 1990 bis 2023, 2024b. URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/39415/umfrage/wartungsaufwand-pro-pkw-in-deutschland/>. Abgerufen 16.09.2024.
- infas and infra 360 and DLR and IVT (Hrsg.). Anhang 2: Codepläne: Nutzerhandbuch. In infas, infra 360, DLR, and IVT, editors, *Mobilität in Deutschland*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn, de, 2017a. URL <https://www.mobiltaet-in-deutschland.de/archive/publikationen2017.html>. Abgerufen 16.09.2024.
- infas and infra 360 and DLR and IVT (Hrsg.). *Mobilität in deutschland*, 2017b. URL <https://www.mobiltaet-in-deutschland.de/archive/publikationen2017.html>. Abgerufen 16.09.2024.
- Damian Josi. Qualität von OpenStreetMap-Daten, 2020. URL https://www.digitale-nachhaltigkeit.unibe.ch/unibe/portal/fak_naturwis/a_dept_math/c_iinfamath/abt_digital/content/e90958/e490158/e900462/e977579/e977582/e980453/OpenData2020_DamianJosi_Vertiefungsartikel_ger.pdf. Abgerufen 16.09.2024.

- Daniel Krajzewicz, Dirk Heinrichs, and Rita Cyganski. Intermodal contour accessibility measures computation using the ‚urmo accessibility computer‘. *International Journal On Advances in Systems and Measurements*, (10):111--123, 2017. URL <http://www.thinkmind.org/index.php?view=instance&instance=SysMea+v10+n34+2017>. Abgerufen 16.09.2024.
- Jörg Kubitzki, AZT Automotive GmbH, and Allianz Zentrum für Technik. Zweiradsicherheit im Überblick, 2021. URL https://www.allianz.at/content/dam/onemarketing/cee/azat/presse/presseaussendungen/20220328_Studie_Zweiradsicherheit-im-Ueberblick.pdf. Abgerufen 16.09.2024.
- Yusuke Kumakoshi, Hideki Koizumi, and Yuji Yoshimura. Diversity and density of urban functions in station areas. *Computers, Environment and Urban Systems*, 89:101679, 2021. ISSN 0198-9715. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2021.101679.
- Land Berlin (Hrsg.). Helmholtzkiez, o.D. URL <https://www.berlin.de/special/stadtteile/kieze/7701852-7429665-helmholtzkiez.html>. Abgerufen 16.09.2024.
- Todd Litman. *Land Use Impacts on Trasport: How Land Use Fators Affect Travel Behavior*. 2014.
- Katharina Mannerscheid. Automobile Subjekte. In Hans-Heinrich Blotevogel, Susanne Frank, Christian Holz-Rau, Joachim Schreiner, and Nina Schuster, editors, *Mobilitäten und Immobilitäten*, pages 105--120. Klartext Verlag, 2013. ISBN 978-3837508291.
- Carlos Moreno, Zaheer Allam, Didier Chabaud, Catherine Gall, and Florent Pratlong. Introducing the 15 minute city: Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities. In MDPI, editor, *Smart Cities*, pages 93--111. Basel, Schweiz, 2021. doi: 10.3390/smartcities4010006.
- Mark J. Nieuwenhuijsen and Haneen Khreis. Car free cities: Pathway to healthy urban living. *Environment International*, 94:251--262, 2016. ISSN 0160-4120. doi: 10.1016/j.envint.2016.05.032.
- OpenStreetMap-contributors (Hrsg). Map features - openstreetmap wiki, o.D. URL https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Map_features. Abgerufen 16.09.2024.
- OpenStreetMap-Wiki (Hrsg). About openstreetmap, o.D.a. URL https://wiki.openstreetmap.org/wiki/About_OpenStreetMap. Abgerufen 16.09.2024.
- OpenStreetMap-Wiki (Hrsg). Faq: Why openstreetmap, o.D.b. URL https://wiki.openstreetmap.org/wiki/FAQ#Why_OpenStreetMap? Abgerufen 16.09.2024.
- Werner Schnabel and Dieter Lohse. *Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung: Straßenverkehrstechnik*, volume 1 of *Studium*. Beuth and Kirschbaum, 3 edition, 2011. ISBN 978-3-410-17271-0. URL <http://www.beuth.de/cmd?level=tpl-langanzeige&websource=vlb&smoid=116949588>. Abgerufen 16.09.2024.

- Senatsverwaltung für Mobilität Verkehr Klimaschutz und Umwelt (Hrsg.). Verkehrsmodell, o.D. URL <https://www.berlin.de/sen/uvk/mobilitaet-und-verkehr/verkehrsdaten/verkehrsmodell/>. Abgerufen 16.09.2024.
- Yan Song, Louis Merlin, and Daniel Rodriguez. Comparing measures of urban land use mix. *Computers, Environment and Urban Systems*, 42:1--13, 2013. ISSN 0198-9715. doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2013.08.001.
- Jeff Speck. Understand induced demand. In Jeff Speck, editor, *Walkable City Rules: 101 Steps to Making Better Places*, pages 64--65. Island Press/Center for Resource Economics, Washington, DC, 2018. ISBN 978-1-61091-899-2. doi: 10.5822/978-1-61091-899-2_27.
- Martin H. Trauth. *Python-Rezepte für die Geowissenschaften*. Springer Spektrum, 2024. doi: 10.1007/978-3-662-68118-3.
- Umweltbundesamt (Hrsg.). Anteil des Verkehrs an den Treibhausgas-Emissionen in Deutschland, 2024. URL <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#verkehr-belastet-luft-und-klima-minderungsziele-der-bundesregierung>. Abgerufen 16.09.2024.
- Rudi Volti. *Cars & Culture: The Life of a Technology*. Baltimore, 2004. ISBN 9780801883996.
- Min Weng, Ning Ding, Jing Li, Xianfeng Jin, He Xiao, Zhiming He, and Shiliang Su. The 15-minute walkable neighborhoods: Measurement, social inequalities and implications for building healthy communities in urban china. *Journal of Transport & Health*, 13: 259--273, 2019. ISSN 2214-1405. doi: 10.1016/j.jth.2019.05.005.
- Michael J. White and Ann H. Kim. Residential segregation. In Kimberly Kempf-Leonard, editor, *Encyclopedia of Social Measurement*, pages 403--409. Elsevier, New York, 2005. ISBN 978-0-12-369398-3. doi: 10.1016/B0-12-369398-5/00107-9.