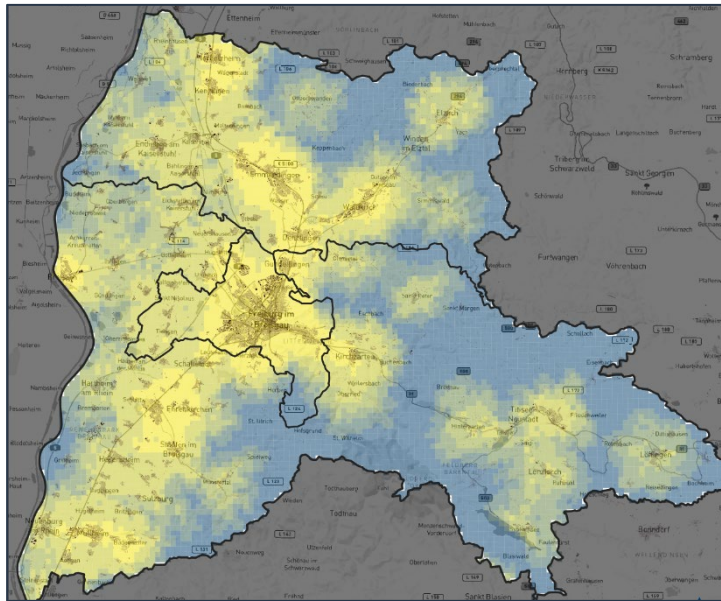


**Durchführung einer räumlichen Datenanalyse im  
Rahmen des acatech Projekts:  
„Integrierte Stadtentwicklung und Mobilitätsplanung“**



**Auftragnehmer:**

**Plan4better GmbH**  
Dr.-Ing. Elias Pajares  
B.Sc. Philipp Otter  
M.Sc. Majk Shkurti

**Technische Universität München**

M. Sc. Yihan Xu

**ASV Wulfhorst**

Prof. Dr.-Ing Gebhard Wulfhorst

**Auftraggeber:**

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V.

**Datum:**

31.03.2023

**Leistungszeitraum:**

07/2022 - 03/2023

Im Kontext des Projektes „Integrierte Stadtentwicklung und Mobilitätsplanung“  
(FKZ: 16DKVQ0001)

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>Herangehensweise.....</b>	<b>5</b>
Hintergrund .....	5
Untersuchungsgebiete.....	5
<b>Hypothesen .....</b>	<b>7</b>
<b>Methodik.....</b>	<b>8</b>
Methodischen Grundlagen.....	8
GOAT (Geo Open Accessibility Tool) .....	8
Reisezeitberechnungen.....	8
Räumliche Auflösung .....	9
Gelegenheiten .....	10
Klassifizierung der 5D-Parameter.....	10
Datengrundlage.....	10
5D-Indikatoren .....	12
Indikator 1: Netzwerkkonnektivität .....	12
Indikator 2: Potentialindikator (Heatmap) .....	13
Indikator 3: 15-Minuten-Score.....	15
Indikator 4: ÖV-Güteklassen .....	16
Indikator 5: Aufenthaltsqualität (Umwelt).....	17
Mobilitätsparameter.....	18
Korrelierung und statistischen Auswertung.....	20
<b>Wesentliche Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....</b>	<b>21</b>
Hypothese 1: Density.....	21
Hypothese 2: Diversity .....	25
Hypothese 3: Distance to Public Transport .....	29
Hypothese 4: Destination Accessibility.....	32
Hypothese 5: Design.....	36
Schlussfolgerung .....	39
<b>Anhang: Karten- und Tabellenband.....</b>	<b>40</b>
Darstellung 5Ds .....	40
Darstellung Mobilitätsparameter .....	40
Darstellung Statistiken.....	41
Weitere Darstellungen .....	41
Rohdatensätze .....	42
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>44</b>

## Inhaltsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der drei Untersuchungsgebiete .....	6
Abbildung 2: Nutzeroberfläche GOAT .....	8
Abbildung 3: Reisezeitberechnung und Übersetzung ins quadratische Raster .....	9
Abbildung 4: H3-Indexsystem (Uber 2018) .....	9
Abbildung 5: Reisezeitberechnung für die Konnektivitätsheatmap.....	13
Abbildung 6: Verwendete Widerstandsfunktion unter Nutzung der Sensitivitäten.....	15
Abbildung 7: Berücksichtigte Gelegenheiten im 15-Minuten-Score.....	16
Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der ÖV-Güteklassen für München.....	16
Abbildung 9: Verwendeten Datensätze Aufenthaltsqualität (Umwelt).....	18
Abbildung 10: Berechnung Indikator Aufenthaltsqualität (Umwelt) .....	18
Abbildung 11: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Einwohner je Gitterzelle .....	21
Abbildung 12: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Potenzialindikator Apotheke (Fußverkehr).....	22
Abbildung 13: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Potenzialindikator Carsharing (Fußverkehr) .....	22
Abbildung 14: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Potenzialindikator Carsharing (Radverkehr) .....	23
Abbildung 15: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Durchschnittliche Wegelänge (Nicht-Arbeitswege) .....	23
Abbildung 16: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Modal Split (Aktive Mobilität) .....	24
Abbildung 17: Spearman Korrelierung Density .....	25
Abbildung 18: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – 15-Minuten-Score.....	26
Abbildung 19: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – Durchschnittliche Wegelänge (Freizeitwege) ..	26
Abbildung 20: Spearman Korrelierung Diversity.....	27
Abbildung 21: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – ÖV-Güteklassen (Di: 6-20 Uhr).....	29
Abbildung 22: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Modal Split (ÖV).....	30
Abbildung 23: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Anteil Haushalte mit Pkw .....	30
Abbildung 24: Spearman Korrelierung Distance to Public Transport .....	31
Abbildung 25: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – 15-Minuten-Score.....	32
Abbildung 26: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Potenzialindikator Apotheke (Radverkehr) .....	32
Abbildung 27: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Modal Split (Umweltverbund).....	33
Abbildung 28: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Durchschnittliche Anzahl Wege pro Person.....	33
Abbildung 29: Spearman Korrelierung Destination Accessibility.....	34
Abbildung 30: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – Aufenthaltsqualität (Umwelt).....	36
Abbildung 31: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – Netzwerkkonnektivität (Radverkehr).....	37
Abbildung 32: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – Modal Split (Radverkehr).....	37
Abbildung 33: Spearman Korrelierung Design .....	38

## Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Einwohnerzahlen je Untersuchungsgebiet.....	6
Tabelle 2: Verwendete Datensätze.....	11
Tabelle 3: Zuordnung der Indikatoren zu den 5Ds .....	12
Tabelle 4: Zuordnung der Gelegenheiten in Sensitivitätsklassen .....	14
Tabelle 5: Bestimmung der Haltestellenkategorie für die Berechnung der ÖV-Güteklassen.....	17
Tabelle 6: Bestimmung der Einzugsradien ÖV-Güteklassen.....	17
Tabelle 7: Logistische Regression Modal Split Aktive Mobilität.....	28
Tabelle 8: Lineare Regression Pkw-Verkehrsleistung pro Person.....	35

## Abkürzungsverzeichnis

DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
GIS	Geographic Information System
GOAT	Geo Open Accessibility Tool
MiD	Mobilität für Deutschland
POI	Point of Interest
OSM	OpenStreetMap
5Ds	Density, Diversity, Design, Destination accessibility, Distance to transport

## Herangehensweise

### Hintergrund

Das Mobilitätsverhalten der Bevölkerung wird stark direkt oder indirekt von städtebaulichen Parametern beeinflusst. In der Literatur ist belegt, dass sich Faktoren wie die städtebauliche Dichte und Vielfalt stark auf die Mobilität und in Konsequenz auf das Verkehrsgeschehen auswirken. In diesem Kontext ist oft von den sogenannten 5Ds (density, diversity, design, destination accessibility, distance to transport) die Rede. Auch wenn Einigkeit über die grundsätzlichen Interaktionen zwischen Mobilität und Siedlungsstruktur herrscht, fehlt es gerade im deutschen Kontext an quantitativen und kleinräumigen Analysen, die diesen Zusammenhang datengestützt aufzeigen, prüfen und konkretisieren können.

Im Kontext des Projektes „*Integrierte Stadtentwicklung und Mobilitätsplanung – Rahmenbedingungen, Konzepte, Umsetzungsstrategien, Kooperationen*“ (ISM), wurden für den Auftraggeber kleinräumige Analysen erstellt werden, in denen geeignete Indikatoren, stellvertretend für die 5Ds, vorhandenen Mobilitätsparametern gegenübergestellt werden. Im Projektkontext wurden geeignete Erreichbarkeitsindikatoren herangezogen, um Raumqualitäten und die Attraktivität des Verkehrssystems (insbesondere des Umweltverbundes) aufzuzeigen. Diese werden Mobilitätsparametern, insbesondere aus der Studie Mobilität in Deutschland (MiD), gegenübergestellt.

Das Bearbeiterteam führte eigenständig Analysen durch und stimmte sich in mehreren Treffen mit der Projektleitung und -koordination des ISM-Projekts ab. Dabei wurde die Methodik schrittweise weiterentwickelt und an die verfügbaren Daten angepasst.

### Untersuchungsgebiete

Eine deutschlandweite Analyse wurde hinsichtlich beschränkter Ressourcen als nicht zielführend betrachtet wurde. Daher wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber drei Regionen als besonders geeignet Untersuchungsräume ausgewählt:

- Münchner Verkehrsverbund (MVV)
- Regio-Verkehrsverbund Freiburg GmbH (RVF)
- Aachener Verkehrsverbund (AVV)

Die Untersuchungsräume werden hierbei durch die Grenzen der lokalen Verkehrsverbände abgrenzt. In Abbildung 1 sind die Untersuchungsräume als Karte dargestellt.



## Untersuchungsgebiete ISM Quantitative Analyse

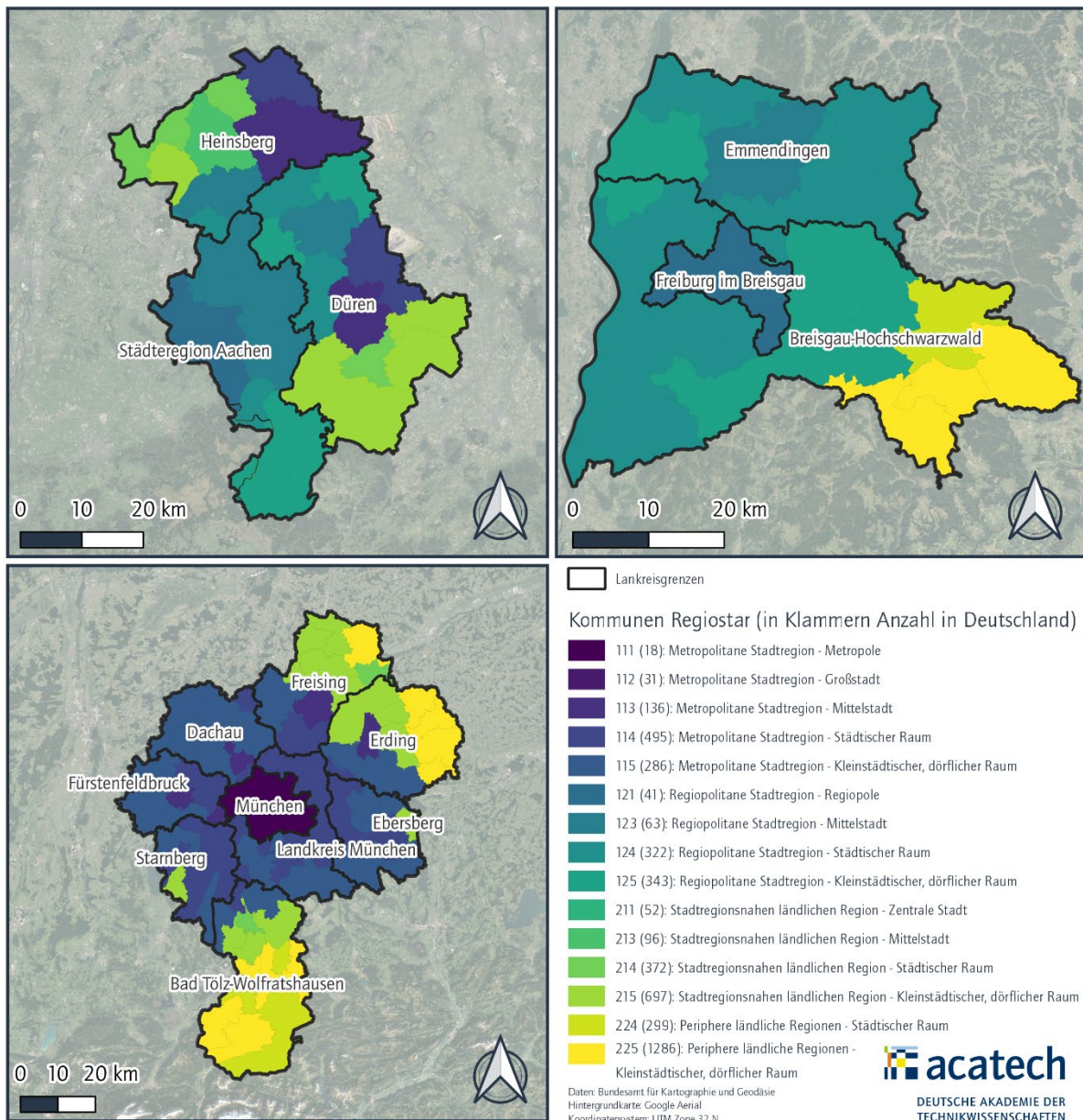


Abbildung 1: Übersicht der drei Untersuchungsgebiete

Es sind beinahe alle Regiostar Raumtypologien vertreten mit der Ausnahme der Kategorien:

- 112 – Metropolitane Stadtregion – Großstadt
- 221 – Stadtregionsnahe ländliche Region – Mittelstadt, Periphere ländliche Region – Mittelstadt

Gleichwohl ist der ländliche Raum im Untersuchungsgebiet im Vergleich zur Verteilung in Deutschland unterrepräsentiert. Dennoch erscheint die Auswahl der Untersuchungsgebiete als Ausgangspunkt für die untersuchenden Fragestellungen als besonders geeignet für eine fundierte und repräsentative Analyse. Auch liegen dem Auftragnehmer für die Untersuchungsräume bereits umfangreich Daten und lokales Wissen vor. Insgesamt leben in dem Untersuchungsgebiet ca. 4,65 Mio. Einwohner (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Einwohnerzahlen je Untersuchungsgebiet

Region	Anzahl Einwohner
Aachener Verkehrsverbund (AVV)	ca. 1,07 Mio.

<b>Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF)</b>	ca. 0,66 Mio.
<b>Münchner Verkehrs- und Tarifverbund (MVV)</b>	ca. 2,92 Mio.

## Hypothesen

Um eine zielgerichtete Bearbeitung zu gewährleisten, war die Formulierung von Hypothesen erforderlich. Es wurden insgesamt fünf Hypothesen entwickelt, wobei darauf geachtet wurde, für jedes der 5Ds eine Hypothese zu formulieren. Bei der Ausarbeitung der Hypothesen wurde einerseits Wert auf die Relevanz bestimmter Fragestellungen gelegt. Andererseits war die Verfügbarkeit von Daten entscheidend, um sicherzustellen, dass nur Fragen formuliert wurden, für deren Beantwortung auch ausreichend Daten verfügbar sind. Die Hypothesen werden im Folgenden näher beschrieben.

### Hypothese 1: Density

Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Dichte (Gelegenheiten und Bevölkerung) und ...

- a) ... einer geringeren Wegelängen von Arbeitswegen bzw. Nicht-Arbeitswegen.
- b) ... eines höheren Modal Splits für die aktive Mobilitätsformen.

Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Dichte an Gelegenheiten für Einkaufen und Gesundheit und ...

- a) ... einer geringeren Wegelänge von Versorgungswegen.

### Hypothese 2: Diversity

Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Vielfalt an Gelegenheiten (Diversity) und ...

- a) ... einer geringeren Wegelängen von Versorgungs- bzw. Freizeitwegen.
- b) ... einer geringeren Pkw-Verkehrsleistung.
- c) ... eines höheren Modal Splits für die aktive Mobilität.

### Hypothese 3: Distance to Public Transport

Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren ÖPNV-Erschließungsqualität (Distance to PT) und ...

- a) ... eines höheren Modal Splits für den ÖPNV.
- b) ... einem höheren Anteil von Fahrkartenbesitzern.
- c) ... einem geringeren Anteil von Fahrzeugbesitzern.

### Hypothese 4: Destination Accessibility

Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Erreichbarkeit zu Gelegenheiten (Destination Accessibility) und ...

- a) ... einer geringeren Pkw-Verkehrsleistung.
- b) ... eines höheren Modal Splits für den Umweltverbund.
- c) ... einer höheren Anzahl an Wegen.

### Hypothese 5: Design

Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Aufenthaltsqualität/ Walkability/ Konnektivität (Design) und ...

- a) ... einer geringeren Wegelänge von Versorgungs- bzw. Freizeitwegen.
- b) ... eines höheren Modal Splits für den Fußverkehr.
- c) ... eines höheren Modal Splits für den Radverkehr.



## Methodik

Die Datenanalyse wurde unter Verwendung verschiedener Software durchgeführt, insbesondere unter Nutzung des Planungswerkzeugs GOAT. Die Korrelationen und Automatisierungen wurden in der Programmiersprache Python mithilfe verschiedener Softwarebibliotheken berechnet, während QGIS zur Visualisierung in Karten eingesetzt wurde. In verschiedenen Austauschterminen wurden die Analysen mit dem Auftraggeber diskutiert und das Feedback des Auftraggebers in die Bearbeitung einbezogen. Im Weiteren werden zunächst die methodischen Grundlagen detailliert erläutert und anschließend die Datengrundlage vorgestellt. Im Anschluss daran werden die spezifischen Indikatoren präsentiert, die für die 5Ds verwendet wurden.

### Methodischen Grundlagen

Im Folgenden soll das verwendete Erreichbarkeitsinstrument GOAT, das methodische Vorgehen zur Reisezeitberechnung, sowie die räumliche Auflösung der Analysen näher erläutert werden.

#### GOAT (Geo Open Accessibility Tool)

Die Planungssoftware GOAT ist ein digitales Planungswerkzeug, das seinen Schwerpunkt auf Erreichbarkeitsanalysen legt (Pajares u. a. 2021; GOAT-Community 2022). Es wurde an der TUM initiiert und wird durch die Plan4Better GmbH weiterentwickelt und in die Praxis gebracht (Pajares u. a. 2022). Über das Tool kann sowohl der Ist-Zustand als auch neue Konzepte oder Vorhaben, wie der Bau neuer Infrastruktur (z.B. Fußverkehrsbrücken) oder Einrichtungen (z.B. Kindergärten, Supermärkte) abgebildet werden. Es sind verschiedene Indikatoren, wie Reisezeitisochronen und Heatmaps, integriert. Gestützt wird das Tool durch eine Fülle von räumlichen Daten, u.a. Verkehrsnetze, Points of Interest, Gebäude, Bevölkerungsdaten, Flächennutzung und Umweltdaten. Die meisten Daten stammen aus offenen Quellen und werden vor der Verwendung aufbereitet. In Abbildung 2 ist die Nutzeroberfläche der Anwendung abgebildet, deren Analysen ebenfalls über verschiedene Schnittstellen abgerufen werden können. Das Tool wird im Projektkontext zur Berechnung der 5D-Indikatoren verwendet. Hierbei erfolgt die Berechnung über Bulk-Abfragen der Schnittstellen im Tool.



Abbildung 2: Nutzeroberfläche GOAT

#### Reisezeitberechnungen

Die Reisezeitberechnungen in GOAT erfolgen auf Basis der vorhandenen Wegenetze und Fahrpläne. Ausgehend von einem Punkt werden Reisezeitisochronen berechnet und somit Reisezeiten in alle Richtungen bis zu einem gewissen Schwellenwert dargestellt. Für die Berechnung der Reisezeiten für den Fuß- und Radverkehr wird eine eigens modifizierte Version des Dijkstra Algorithmus verwendet. Für den ÖPNV wird die intermodale Routingbibliothek R5 genutzt (Conveyal 2022).

Die Berechnungsergebnisse werden auf einem hochaufgelösten quadratischen Raster gebündelt (siehe Abbildung 3). Dieses erlaubt die Generierung von Reisezeitmatrizen, sowie die Generierung von

Reisezeitisochronen. Im Folgenden können die Reisezeitmatrizen für Berechnung von Potentialindikatoren und Konnektivitätsindikatoren verwendet werden. Nähere Details zur Reisezeitberechnungen können der GOAT-Dokumentation entnommen werden (siehe Plan4Better GmbH (2023a)).

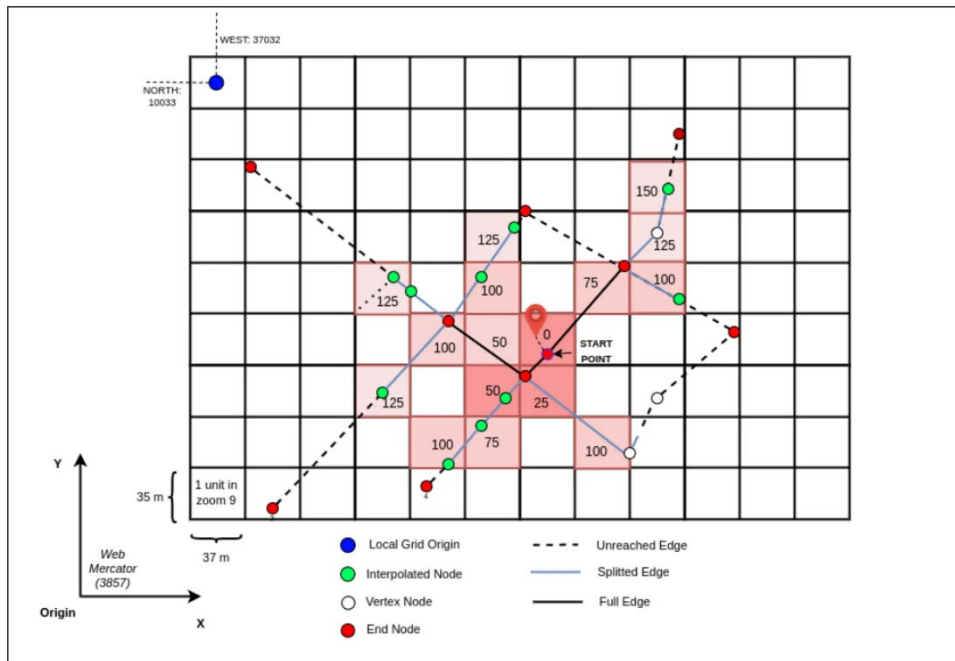


Abbildung 3: Reisezeitberechnung und Übersetzung ins quadratische Raster

Im Falle der berechneten Reisezeiten für den Radverkehr wurden Steigungsprofile, sowie die Oberflächenbeschaffenheit der Wege in den Berechnungen mitberücksichtigt.

### Räumliche Auflösung

Im Projektkontext wurden die 5D-Indikatoren zunächst auf dem H3 Raster berechnet. Das H3-Gitter ist ein räumliches Indexierungssystem, das von Uber Technologies entwickelt wurde (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Es ist darauf ausgelegt, die Erdoberfläche in ein hierarchisches Gitter aus sechseckigen Zellen zu unterteilen, um eine effizientere und genauere Darstellung und Analyse von räumlichen Daten zu ermöglichen. Das Rastersystem umfasst Auflösungen von 0-15. Das sechseckige Raster dient in GOAT als Ausgangspunkt der Berechnung für die Heatmaps. In GOAT wird die Auflösung 10 (ca. 75 m Kantenlänge) zur Berechnung des Fuß- und Radverkehrs verwendet, sowie die Auflösung 9 (ca. 200 m Kantenlänge) für den ÖPNV. Das Rastersystem erlaubt eine dynamische Aggregation auf niedriger aufgelöste Rastergrößen. Der Hauptvorteil eines Sechsecks gegenüber anderem Formen wie Dreiecken besteht darin, dass Sechsecke einen gleichmäßigeren Abstand zu ihren Nachbarn haben, wodurch Verzerrungen minimiert werden, und eine konsistentere räumliche Darstellung entsteht.

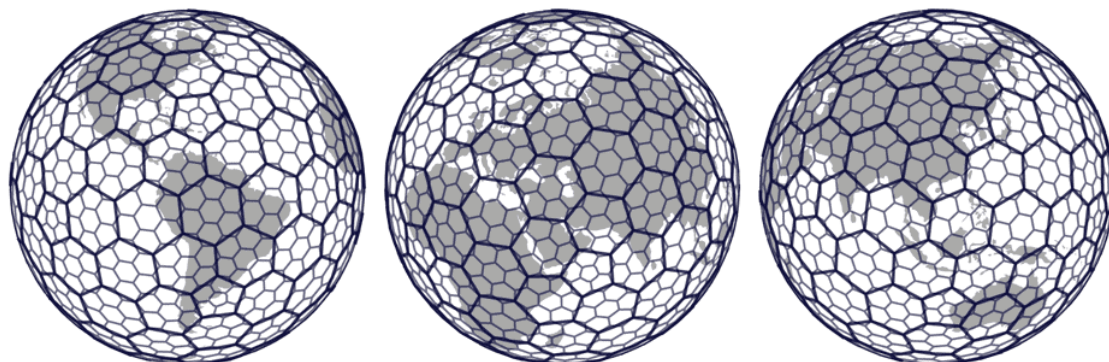


Abbildung 4: H3-Indexsystem (Uber 2018)

Das Geogitter Deutschland ist ein standardisiertes, hierarchisches Rastersystem zur Unterteilung des deutschen Staatsgebiets. Es wird vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie bereitgestellt und dient als einheitliches Bezugsraster für die Geodaten in Deutschland. Vielfach liegen statistische Daten auf der Ebene des Geogitters vor, sodass eine Nutzung des Standards empfohlen wurde. Im Kontext des Projektes werden die 5D-Indikatoren über eine Interpolierung, von der ursprünglich höher aufgelösten hexagonalen Bezugsebene auf eine Rastergröße von 500 Metern aggregiert. Die Aggregation der Mobilitätsparameter erfolgt je nach Datendichte auf 500 oder 1000 Meter. Eine angepasste Visualisierungsform in der Erstellung der Karten ermöglicht eine höhere Auflösung in Gebieten mit höherer Datendichte und eine gröbere Auflösung im Falle einer niedrigen Datendichte. Falls mindestens fünf Haushalte in der MiD-Studie Wege berichtet haben, wurde die 500 Meter Zelle verwendet. Andernfalls wurden die 1000 Meter Zelle gewählt.

Die Aggregation der 5D-Indikatoren auf dem Geogitter (500 Meter) erfolgt mittels der weit verbreiteten Inverse-Distance-Weighted-Methode. Die Inverse-Distance-Weighted-Methode ist eine Interpolationsmethode, bei der die Werte von Punkten in der Nähe stärker gewichtet werden als die von weiter entfernten Punkten. Die Gewichtung nimmt mit zunehmender Entfernung ab, wodurch räumliche Muster und Zusammenhänge in den Daten besser abgebildet werden können. Dabei werden die Mittelpunkte der Hexagone und die Mittelpunkte des Geogitter (500 Meter) verwendet. Dies ermöglicht eine detaillierte Berechnung mit GOAT und eine angepasste räumliche Aggregation im Kontext des Projektes.

### Gelegenheiten

Im Rahmen dieser Studie wird für Reiseziele der Begriff "Gelegenheit" verwendet, welcher sich an den englischen Terminus "opportunity" anlehnt. Dieser findet in der englischsprachigen Literatur häufig Anwendung. Der Begriff "Ziel" wurde bewusst nicht eingesetzt, um Verwechslungen zu vermeiden. Auf Datenebene kommt zudem der Begriff "Point of Interest" zum Einsatz. Darüber hinaus kann der Begriff "Gelegenheit" auch für Einrichtungen verwendet werden. Dennoch werden auch Bevölkerungsdaten als Gelegenheiten betrachtet. In diesem Zusammenhang wurde der Begriff "Gelegenheit" als ideal für die Studie erachtet, da Erreichbarkeiten zu verschiedenen Gelegenheiten untersucht werden sollen. Die Verwendung dieses Terminus erlaubt es, ein breites Spektrum an potenziellen Reisezielen und Einrichtungen in die Analyse einzubeziehen und soll zur wissenschaftlichen Präzision beitragen.

### Klassifizierung der 5D-Parameter

Erreichbarkeiten sind in vielen Fällen relativ und es existieren lediglich eingeschränkte normative Standards zur Definition von guter oder schlechter Erreichbarkeit. Eine Kategorisierung in niedrige und hohe Erreichbarkeiten ist daher oft mittels statistischer Klassenbildung, wie beispielsweise Quintile, möglich.

Quintile ermöglichen einen relativen Vergleich von Erreichbarkeiten zueinander und sind in hohem Maße vom jeweiligen Datensatz abhängig. Dies hat zur Konsequenz, dass etwa eine Klassifizierung hoher oder niedriger Erreichbarkeit in München sich substantiell von der Klassifizierung in einem anderen Untersuchungsraum unterscheiden kann. In der vorliegenden Studie wurde eine einheitliche Klassifizierung für sämtliche Untersuchungsräume implementiert, um Vergleiche zwischen den Räumen zu ermöglichen. Diese Entscheidung resultiert jedoch in einer Reduktion der Varianz innerhalb eines einzelnen Gebiets. Für die Analyse wurden Quintile auf Basis des gesamten Datensatzes errechnet und die Klassifizierung primär für die Erstellung von Karten verwendet. Im Falle des 15-Minuten-Scores ist die Klassifizierung integraler Bestandteil des Indexes und muss daher separat betrachtet werden (siehe *Indikator 3: 15-Minuten-Score*). Bei den statistischen Auswertungen kamen sowohl nicht klassifizierte als auch klassifizierte 5D-Indikatoren zum Einsatz. Dies erlaubt eine flexible Nutzung von verschiedenen Methoden der Korrelierung.

### Datengrundlage

Es wurden frei verfügbare sowie weitere, der Plan4Better GmbH vorliegende (räumliche), Daten verwendet. Diese dienen der Berechnung von Erreichbarkeiten und Bevölkerungsdichten, sowie dem Aufzeigen von Infrastrukturqualitäten. Die in Tabelle 2 aufgelisteten Datensätze sind hierbei von besonderer Relevanz. Durch Ansätze der Datenfusion (u.a. semantic and spatial matching) wurden die verschiedenen Datenquellen zusammengeführt und für die weitere Bearbeitung veredelt.

Tabelle 2: Verwendete Datensätze

Datensatz	Quelle
<b>Points of Interest</b>	Amtliche Daten der Landkreise/Länder/Bund
<b>Points of Interest</b>	Plan4Better GmbH
<b>Points of Interest</b>	Kassenärztliche Vereinigungen
<b>Points of Interest</b>	OpenStreetMap
<b>Straßennetz</b>	OpenStreetMap
<b>ÖPNV-Netz</b>	GTFS aus NeTEX
<b>Flächennutzung</b>	ATKIS, ALKIS, Urban Atlas
<b>Flächennutzung</b>	Urban Green Raster (DLR)
<b>Lärmdaten</b>	Landesämter für Umwelt
<b>Digitales Geländemodell</b>	EU-DEM (25m x 25m)
<b>Gebäudeumringe</b>	Amtliche Daten der Länder
<b>3D-Stadtmodell (LOD 1, LOD 2)</b>	Amtliche Daten der Länder
<b>Stadt- und Ortsteilgrenzen</b>	Kommunen, OpenStreetMap, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
<b>Kommunale Bevölkerungsstatistik</b>	Amtliche Daten Länder/Kommunen
<b>Mobilität in Deutschland (B3: Lokal Datensatzpaket)</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Besonders wurden Points of Interest (POI) Datensätze aus verschiedenen Quellen zusammengeführt. Mitunter wurden die POI mittels verschiedener Methoden auf der ursprünglichen Kategorisierung nachklassifiziert, um die relevanten Kategorien zu erhalten. Die Kombination der Datensätze resultierte in einer hohen Vollständigkeit der einzelnen POI-Kategorien. Die beste Datenqualität wurde für soziale Einrichtungen, ÖPNV-Haltestellen und Gesundheitseinrichtungen erzielt.

Die Berechnungen erfordern Bevölkerungsdaten auf einer hohen räumlichen Auflösung. Diese liegen in der Regel nicht flächendeckend vor. Daher wurden Bevölkerungsdaten auf Basis von Stadtteilbevölkerungszahlen, 3D-Gebäudemodellen und verschiedenen Flächennutzungsdaten disaggregiert. Zunächst wurden Gebäude mittels Dasyetric Mapping in Wohn- und Nicht-Wohngebäude klassifiziert. Anschließend wurde die Bevölkerung basierend auf der Bruttogeschossfläche auf die jeweiligen Gebäude verteilt.

Straßen- und ÖPNV-Netze wurden in mehreren Schritten in routingfähige Graphen umgewandelt. Dabei wurden mithilfe digitaler Geländemodelle Steigungen berechnet, insbesondere für den Radverkehr. Alle Datensätze wurden für die Analysen in die räumliche Datenbank des Tools GOAT integriert. Zwischenergebnisse wurden in eine separate Projektdatenbank eingespeist, um die weitere Verarbeitung und Korrelation zu ermöglichen.

Die Mobilitätsdaten stammen vom DLR als B3-Datensatz der MiD, einer alle sieben Jahre durchgeführten Studie zum Mobilitätsverhalten in Deutschland, die vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur durchgeführt wird. Die Daten wurden in die Projektdatenbank eingespeist und für weitere Analysen aufbereitet. Die MiD ist eine der wichtigsten und umfangreichsten Untersuchungen ihrer Art in Deutschland und liefert wertvolle Informationen für Verkehrspolitik und -planung. Die Stichprobe umfasst 156.420 Haushalte, wobei 33.389 Haushalte der bundesweiten Basisstichprobe und 123.031 regionalen Vertiefungen angehören. Insgesamt wurden 316.361 Personen befragt, die 960.619 Wege an ihren jeweiligen Stichtagen dokumentierten. Die Befragungsergebnisse basieren auf Selbstauskünften der Teilnehmenden, die durch Wegetagebücher, persönliche Interviews und Online-Befragungen gesammelt wurden.

Die räumliche Auflösung reicht bis zu 500 Meter, jedoch werden Ergebnisse oftmals, insbesondere in Gebieten mit wenigen Ergebnissen, auf eine niedrigere Auflösung von 5 Kilometer Gitterzellen aggregiert, um Anonymität aufgrund von Datenschutzbestimmungen zu gewährleisten. Es ist wichtig zu beachten, dass nicht alle Teilnehmenden sämtliche Fragen beantwortet haben. Um die Relevanz der Studie "Mobilität in Deutschland" für Verkehrs- und Stadtplanung sowie allgemeine Mobilitätsforschung angemessen zu würdigen, sollten die Limitationen der Datenerhebung und Analyse berücksichtigt werden. Trotz der großen

und repräsentativen Stichprobe von 156.420 Haushalten könnten bestimmte Bevölkerungsgruppen möglicherweise unzureichend abgebildet sein. Zudem können Selbstauskünfte der Befragten zu Verzerrungen führen.

### 5D-Indikatoren

In dieser Studie werden verschiedene Indikatoren verwendet, um die 5Ds der Stadtplanung abzubilden. Aufgrund der inhärenten Komplexität mussten Vereinfachungen und Annahmen vorgenommen werden. Insbesondere die Berechnung von Indikatoren für die Design-Komponente stellte eine Herausforderung dar. In Tabelle 3 sind die Verbindungen zwischen den 5Ds und den entsprechenden Indikatoren dargestellt. Dies erlaubt eine transparente Darstellung, welche Indikatoren für Beantwortung der formulierten Hypothesen verwendet wurden.

Tabelle 3: Zuordnung der Indikatoren zu den 5Ds

	Netzwerk-konnektivität	Potential-indikator	15-Minuten-Score	ÖV-Güteklassen	Aufenthalts-qualität (Umwelt)
Density		x	x		
Diversity		x	x		
Distance to PT		x		x	
Destination Accessibility		x	x		
Design	x				x

Eine besondere Herausforderung ist die Abbildung der Komponente Design, da diese vielfach auch subjektive Faktoren umfasst. Gleichzeitig sind viele der objektiven Kriterien mit aktuell verfügbaren Daten nur sehr schwer zu modellieren. Daher wurde ein Kompromiss gesucht und versucht die Komponente Design mit der Netzwerkkonnektivität und einem neuem Indikator Aufenthaltsqualität (Umwelt) abzudecken.

#### Indikator 1: Netzwerkkonnektivität

Um die Konnektivität von Straßennetzwerken zu messen, wurde die Konnektivitätsheatmap aus GOAT herangezogen. Sie kann für verschiedene Verkehrsmittel berechnet werden und visualisiert die Flächengröße verschiedener Isochronen-Intervalle auf der Ebene eines sechseckigen Gitters (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dadurch können stark oder schwach vernetzte Gebiete im Untersuchungsgebiet identifizieren werden. Schwachstellen in der Straßenkonnektivität können leicht erkannt und der Grad der Netzwerkkonnektivität für das gesamte Untersuchungsgebiet beurteilt werden. Die Konnektivitätsheatmap basiert auf der beschriebenen Reisezeitberechnung (siehe *Reisezeitberechnungen*).

Die Konnektivitätsheatmap wird unter Verwendung des H3-Rasters der Auflösung zehn (ca. 75 Meter Kantenlänge) berechnet. Für jeden Mittelpunkt wird der erreichbare Bereich unter Verwendung eines quadratischen Reisezeitrasters mit der maximalen Reisezeit von 20 Minuten für den Fuß- und Radverkehr, sowie 30 Minuten für den ÖPNV berechnet. Diese Berechnung gibt die Reisezeit vom Mittelpunkt des Sechsecks zu jedem Pixel des quadratischen Rasters zurück. In Abbildung 5 ist schematisch die Berechnung der Reisezeiten dargestellt.



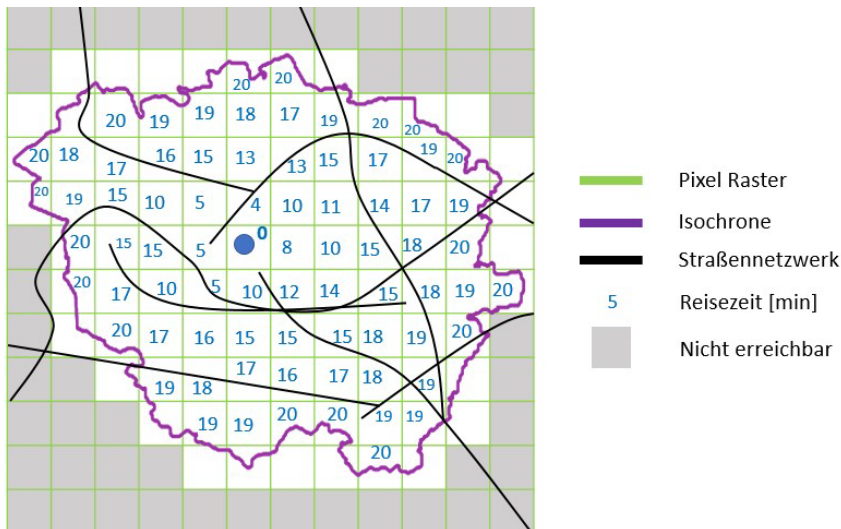


Abbildung 5: Reisezeitberechnung für die Konnektivitätsheatmap

Im Folgenden wird die durchschnittlich erreichbare Fläche wie folgt berechnet:

$$K_i = \frac{\sum_{t=1}^{t_{max}} F_t}{t_{max}}$$

$t_{max}$ : Maximale Reisezeit

$t$ : Reisezeit

$F_t$ : Erreichbare Fläche je Reisezeit

Somit ist die durchschnittlich erreichbare Fläche die Summe der erreichbaren Flächen geteilt durch die maximale Reisezeit. Die resultierenden Konnektivitätswerte werden in fünf Stufen klassifiziert unter Nutzung von Quintilen, von höchster bis niedrigster Stufe. Gleichzeitig wird eine Klasse ausgewiesen für Orte ohne Konnektivität. Diese Klassifikation hilft dabei, Gebiete mit relativ kleinen oder großen Einzugsbereichen zu identifizieren und somit die Konnektivität zu beurteilen.

#### Indikator 2: Potentialindikator (Heatmap)

GOAT erlaubt die Erstellung von Potentialindikatoren für verschiedene Ziele. Hierbei werden Reisezeiten und ausgewählte Gelegenheiten genutzt, um eine dynamische Heatmap zu generieren. Die Ergebnisse werden auf Ebene des beschriebenen H3-Rasters berechnet. Die Erreichbarkeit wird über die folgende Formel berechnet:

$$A_i = \sum_j O_j f(t_{ij})$$

$A_i$ : Erreichbarkeit am Ort  $i$

$O_j$ : Gewicht Gelegenheit am Ort  $j$

$t_{ij}$ : Reisezeit von  $i$  nach  $j$



wobei die Erreichbarkeit  $A$  des Startpunktes  $i$  die Summe aller am Zielort  $j$  verfügbaren Gelegenheiten (POIs, Bevölkerung, ...)  $O$  gewichtet mit einer Funktion der Reisezeit  $t_{ij}$  zwischen  $i$  und  $j$  ist. GOAT verwendet die modifizierte Gaußfunktion als Widerstandsfunktion für die Berechnung. Dies führt im Modell dazu, dass die Erreichbarkeit für einen Ausgangspunkt bestimmt wird, aus einer Kombination der Anzahl der Einrichtungen und der jeweiligen Reisezeit zu den Einrichtungen. Die Widerstandsfunktion drückt hierbei die Bereitschaft (in %) von Personen aus gewisse Gelegenheiten aufzusuchen.

Wissenschaftliche Studien (Vale und Pereira 2017) haben gezeigt, dass sich die modifizierte Gaußfunktion in Kombination mit einem statischen Reisezeitanteil bei für niedrige Reisezeiten besonders gut für die Modellierung lokaler Erreichbarkeit eignet. Daher wird diese Funktion im Folgenden als Kombinierte-Modifizierte-Gaußfunktion betrachtet. So wird zum Beispiel im Modell kein Unterschied gemacht bei sehr geringen Reisezeiten (z.B. 1 oder 2 Minuten zu einem Supermarkt), da dies in der Realität für Personen nur marginale Unterschiede in der Erreichbarkeit bedeutet. Auch kann eine nicht Berücksichtigung des statischen Reisezeitanteil zu Scheingenauigkeiten führen, da die Lagegenauigkeit der Daten mitunter höher ist als die zurückgelegte Strecke in 1 oder 2 Minuten. So werden Gelegenheiten, die bis zu dem statischen Reisezeitanteil erreicht werden können, als 100% erreichbar klassifiziert. Falls die Reisezeiten höher sind als der statische Teil, wird die Erreichbarkeit mittels der modifizierten Gaußfunktion ermittelt. Ausschlaggebend für die Bestimmung des Einflusses der Reisezeit auf die Erreichbarkeit ist der gewählte Sensitivitätsparameter  $\beta$ . Der Widerstandwert berechnet sich demnach wie folgt:

$$f(t_{ij}) = e^{(-t_{ij}^2/\beta)}$$

$t_{ij}$ : Reisezeit von  $i$  nach  $j$

$\beta$ : Sensitivitätsparameter

Um die Sensitivitätsparameter auf die untersuchten Gelegenheiten zu kalibrieren, wurden empirische Erfahrungswerte herangezogen. Die Wahl der Sensitivitätsparameter basiert auf einer Umfrage im Kontext des Projektes GOAT 3.0 (BMDV 2023). In dieser wurde die Akzeptanz von Reisezeiten zu Fuß für verschiedene Zielkategorien in Deutschland feinteilig abgefragt. Auf Basis der Umfrage und ergänzender Literatur wurden geeignete Sensitivitäten für vier übergeordnete Kategorien ermittelt: Unmittelbare Umgebung, Direkte Nachbarschaft, Quartiersebene und Stadtweit. Die Zuordnung der Kategorien kann der Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Zuordnung der Gelegenheiten in Sensitivitätsklassen

Kategorie	Gelegenheiten	Sensitivität	Statische Reisezeit
Unmittelbare Umgebung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bäckerei, Metzgerei</li> <li>- Bus- und Tramhaltestelle</li> <li>- Bike- und Carsharing-Stationen</li> <li>- Krippe, Kindergarten, Grundschule</li> <li>- Recyclingstation</li> <li>- Spielplatz</li> <li>- Supermarkt, Discounter</li> </ul>	300000	1 min
Direkte Nachbarschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apotheke</li> <li>- Großmarkt</li> <li>- Postfiliale, Briefkasten</li> <li>- U-Bahnhaltestelle, Bahnhof</li> </ul>	500000	2 min
Quartiersebene	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bar, Pub</li> <li>- Restaurant, Café, Imbiss</li> <li>- Hausarzt, Zahnarzt</li> </ul>	550000	5 min

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Markt</li> <li>- Park</li> <li>- Weiterführende Schule</li> </ul>		
Stadtweit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erreichbare Einwohner</li> <li>- Fitnesscenter</li> <li>- Kino</li> <li>- Nachtclub</li> <li>- Wald</li> </ul>	670000	7 min

Die zugehörigen Funktionen sind in Abbildung 6 dargestellt.

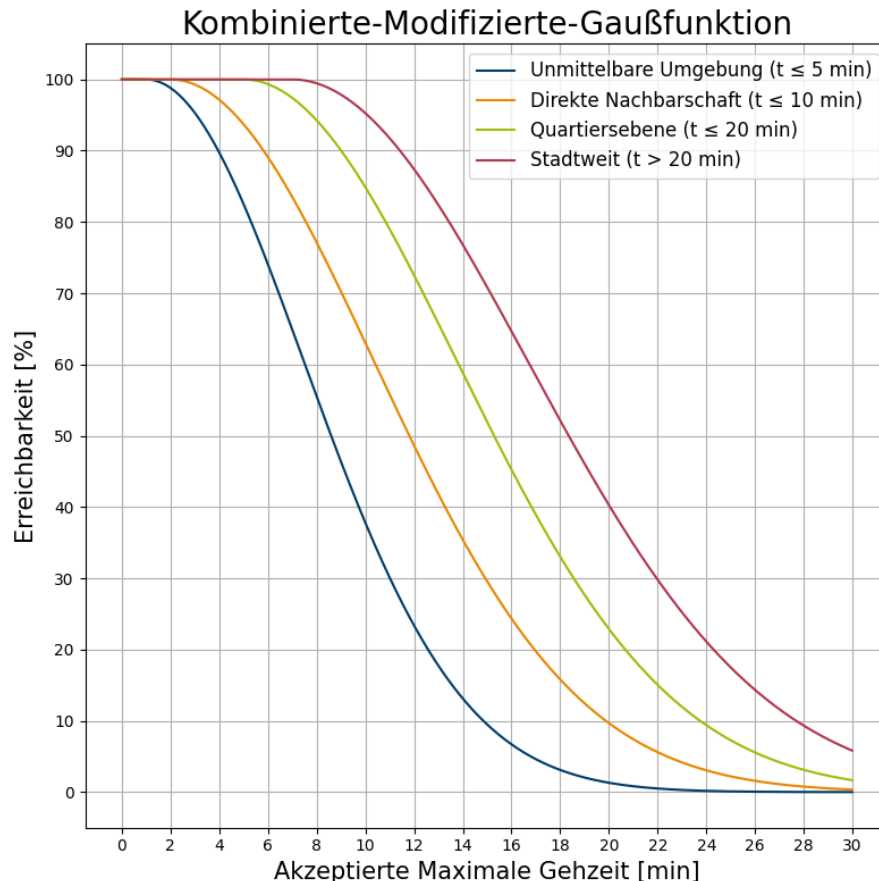


Abbildung 6: Verwendete Widerstandsfunktion unter Nutzung der Sensitivitäten

Der Potentialindikator wurde für die verschiedenen Verkehrsmittel (zu Fuß, Fahrrad und ÖPNV) und die aufgelisteten Gelegenheiten berechnet. Für den Fuß- und Radverkehr wurde eine maximale Reisezeit von 20 Minuten angesetzt und für den ÖPNV maximale Reisezeiten von 30 Minuten. Um eine Vergleichbarkeit der Analysen zu gewährleisten, wurde für alle drei Verkehrsmodi dieselbe Kalibrierung verwendet. Nach der Bestimmung der Erreichbarkeitswerte wurden diese mittels Quintilen in hohe beziehungsweise niedrige Erreichbarkeiten klassifiziert.

### Indikator 3: 15-Minuten-Score

Um die Erreichbarkeit im Untersuchungsgebiet umfassend zu bewerten, wurde ein eigens entwickelter 15-Minuten-Score berechnet. Dieser Index gibt einen aggregierten Überblick über die Erreichbarkeit in sechs übergeordneten Klassen: Wohnen, Freizeit, Einkaufen, ÖPNV, Bildung und Gesundheit. Die Berechnung des Index basiert auf dem Potentialindikator für den Fußverkehr. Daher wurde für die Berechnung der Erreichbarkeiten zu den einzelnen Zielen, die in Kapitel *Indikator 2: Potentialindikator (Heatmap)* beschriebene Kalibrierung verwendet. In Abbildung 7 ist die Zuordnung der jeweiligen Gelegenheiten innerhalb der sechs Klassen dargestellt.



Abbildung 7: Berücksichtigte Gelegenheiten im 15-Minuten-Score

Der 15-Minuten-Score errechnet sich somit aus den einzelnen Potentialindikatoren. Hierfür wird zunächst wie folgt der Subscore gebildet:

$$Subscore = Q \left( \sum_j PotentialindikatorFuss_j \right)$$

Die einzelnen Subscores werden im Folgenden aggregiert:

$$Total\ score = Q(\sum_i Subscore_i)$$

Abschließend werden die Scores in eine Skala von 1-100 Punkten für die Visualisierung umgewandelt.

#### Indikator 4: ÖV-Güteklassen

Als Indikator für die ÖV-Erschließung wird auf die ÖV-Güteklassen zurückgegriffen (Plan4Better GmbH 2023b). Die ÖV-Güteklassen kombinieren die Analyse der Erschließungs- und Bedienungsqualität. Je nach Angebotsqualität (Takt, Art ÖV-Verkehrsmittel) werden Einzugsbereiche differenziert berechnet. Dadurch ist der Ansatz einfachen Einzugsradien überlegen. In der Schweiz hat sich der Indikator seit 2006 als Standard zur Bewertung der Erschließungsqualität in der ÖV- und Raumplanung etabliert (Bundesamt für Raumentwicklung ARE 2022). Ein Beispiel der ÖV-Güteklassen ist der Abbildung 8 zu entnehmen.

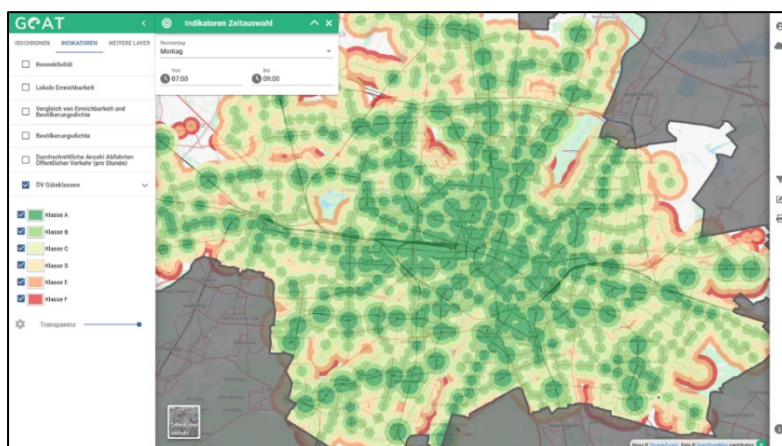


Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der ÖV-Güteklassen für München

Die Berechnung der ÖV-Güteklassen erfolgt für einen Dienstag im Zeitraum zwischen 6 und 20 Uhr. In dieser Analyse werden alle fahrplanbasierten ÖV-Systeme berücksichtigt. Die Kategorisierung der

Stationstypen basiert auf derin Tabelle 5 dargestellten Einteilung. Der Einzugsradius wird gemäß den Vorgaben aus Tabelle 6 festgelegt.

Tabelle 5: Bestimmung der Haltestellenkategorie für die Berechnung der ÖV-Güteklassen

Ermittlung Haltestellenkategorie			
Takt	U-Bahnhaltestelle S-Bahnhaltestelle Bahnhaltestelle	Straßenbahnhaltestelle	Bushaltestelle
< 5 Minuten	I	I	II
5 ≤ x < 10 Minuten	I	II	III
10 ≤ x < 20 Minuten	II	III	IV
20 ≤ x < 40 Minuten	III	IV	V
40 ≤ x < 60 Minuten	IV	V	VI
60 ≤ x < 120 Minuten	V	VI	VII

Da die ÖV-Güteklassen als Flächen berechnet werden, findet im nächsten Schritt die Ermittlung der Güteklasse auf dem Geogitter mit der Auflösung 100 Meter statt. Hierfür wird der Mittelpunkt der Zelle mit der flächigen ÖV-Güteklasse verschnitten, um die Güteklasse auf dem Gitter zu ermitteln. Im nächsten Schritt wird die durchschnittliche ÖV-Güteklasse für die Gitterweite 500 Meter als Mittelwert aggregiert. Ein Vorteil der ÖV-Güteklasse ist die Existenz von absoluten Grenzwerten, sodass im Gegensatz zu den anderen Indikatoren keine Klassen auf Basis der errechneten Erreichbarkeit mittels Quintilen berechnet werden mussten.

Tabelle 6: Bestimmung der Einzugsradien ÖV-Güteklassen

Kategorie	< 300m	300-500m	501-750m	751-1000m
I	A	A	B	C
II	A	B	C	D
III	B	C	D	E
IV	C	D	E	F
V	D	E	F	-
VI	E	F	-	-
VII	F	-	-	-

### Indikator 5: Aufenthaltsqualität (Umwelt)

Der Indikator für Aufenthaltsqualität (Umwelt) repräsentiert neben der Konnektivität auch die Design-Komponente der 5Ds. Er berücksichtigt verschiedene Einflussfaktoren, die sich sowohl positiv als auch negativ auf die Aufenthaltsqualität auswirken können. Aufgrund guter Datenverfügbarkeit wurden vor allem Umweltfaktoren in die Betrachtung einbezogen. Hierzu zählen Wasser- und Grünflächen, die Erholung und Entspannung fördern und zugleich die Luftqualität steigern. Im Gegensatz dazu können Industriegebiete, oberirdische Eisenbahntrassen, Bebauung, übergeordnete Straßen, sowie Lärm die Aufenthaltsqualität beeinträchtigen. Eine Berücksichtigung weiterer Aspekte wie die Ästhetik der Bebauung konnten aufgrund nicht vorhandener Daten nicht berücksichtigt werden. Die folgenden Faktoren werden für den Indikator berücksichtigt (in Klammern angegeben sind jeweils die Datenquellen).

Positive Einflussfaktoren:

- Wasser- und Grünflächen (Urban Green Raster (DLR))

Negative Einflussfaktoren:

- Industrieflächen, überirdische Eisenbahnkorridore (Flächennutzung OSM)

- Flächenversiegelung (Urban Green Raster (DLR))
- Straßenlängen, Straßenkategorien (OSM)
- Lärm (Landesvermessungsämter)

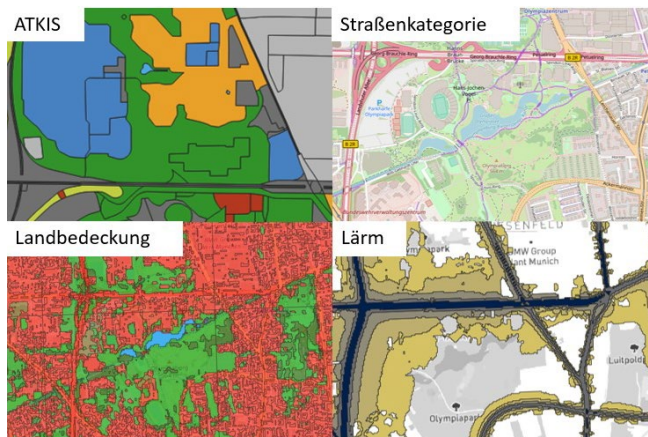


Abbildung 9: Verwendeten Datensätze Aufenthaltsqualität (Umwelt)

Der Indikator für die Aufenthaltsqualität (Umwelt) verwendet verschiedene Datenquellen, um die positiven und negativen Einflussfaktoren zu erfassen. Diese sind beispielweise in Abbildung 9 dargestellt. Es werden die folgenden Berechnungsschritte durchgeführt:

1. Berechnung von Buffern in den Intervallen (200, 400, 600, 800 und 1000 Metern) ausgehend vom Mittelpunkt des 500m Rasters.
2. Verschneidung mit den verschiedenen Flächendaten und Gewichtung der Flächen je nach Intervall.
3. Quantil-Klassifizierung der Einflussfaktoren.
4. Aggregation von positiven und negativen Einflussfaktoren.
5. Quantil-Klassifizierung des Gesamtscore.

Die Berechnung ist schematisch in Abbildung 10 dargestellt.

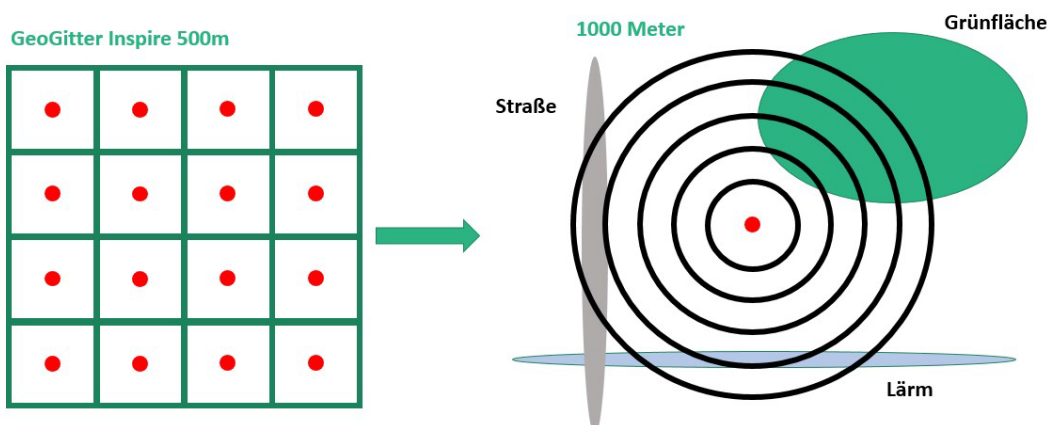


Abbildung 10: Berechnung Indikator Aufenthaltsqualität (Umwelt)

Die verschiedenen Schritte ermöglichen die Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussfaktoren sowie eine Gewichtung in Bezug auf die Größe der Fläche und die Nähe zum Mittelpunkt des Rasters.

### Mobilitätsparameter

Auf Basis der Daten aus der Studie MiD wurden verschiedene gängige Mobilitätsparameter berechnet. Die Berechnung erfolgte hierbei insbesondere auf dem Wegedatensatz, der in Kombination mit dem Datensatz zu den Haushalten und Personen, die Berechnung von Parametern für Personen beziehungsweise Haushalte zulässt.

Die Analysen fokussieren sich hauptsächlich auf die Wohnzelle der Personen, wobei gelegentlich auch Zielzellen der Wege untersucht wurden. Von den insgesamt in der MiD befragten Personen und berichten Wege, lagen insgesamt 71.226 Wege von 10.349 Personen in dem Untersuchungsgebiet auf der Ebene von 500 Meter Gitterzellen vor. Diese wurden für die Korrelierung verwendet. Für die visuelle Aufbereitung in Karten wurden lediglich Gitterzellen mit mehr als zehn eindeutigen Haushalten dargestellt. Zudem wurden für die visuelle Darstellung Gitterzellen, wie in Kapitel *Räumliche Auflösung* beschrieben, zusammengefasst. Aufgrund der Größe der Region München und der verhältnismäßig hohen Bevölkerungsdichte stammt ein Großteil der betrachteten MiD-Daten aus der Region München. Dies führt mitunter dazu, dass in der Region Freiburg und Aachen die Datendichte in den erstellten Karten geringer ist.

Die Analyse basiert auf bestimmten Annahmen in Bezug auf die MiD. Es wird angenommen, dass der Versorgungsweg den Wegzwecken "Einkaufen" oder "private Erledigungen" in der Studie entspricht und dass der Besitz von ÖV-Zeitkarten den MiD-Fahrkartenarten "Monatskarte im Abonnement, Jahreskarte (Umweltabo etc.)" oder "Jobticket, Semesterticket" entspricht. Da keine Daten auf der Ebene von Personen in der Studie vorhanden sind, wird der Fahrzeugbesitz auf Haushaltsebene als Indikator verwendet. Schließlich werden alle MiD-Wegzwecke außer "Erreichen des Arbeitsplatzes" als Nicht-Arbeitswege betrachtet. In der Analyse und Interpretierung wurde darauf geachtet, Mobilitätsparameter zu berechnen, die auch in anderen Studien häufig verwendet wurden. Infolge der häufig niedrigen Datendichte wurden die folgenden Parameter als relevant und statistisch ausreichend signifikant erachtet:

- Anzahl aller Wege und nach Reisezweck (Summe, Durchschnitt, pro Person)
- Reisedistanz aller Wege und nach Reisezweck (Summe, Durchschnitt, pro Person)
- Reisezeiten aller Wege und nach Reisezweck (Summe und Durchschnitt)
- Anzahl Einzelhaushalte
- Anzahl Einzelpersonen
- Pkw-Verkehrsleistung (Summe, pro Person)
- ÖV-Zeitkarten (Summe, pro Haushalt)
- Einzelhaushalte mit Pkw (Summe, Anteil)
- Modal Split: Fußverkehr, Radverkehr, MIV-Fahrer, MIV-Mitfahrer, ÖV, Umweltverbund, MIV (Fahrer + Mitfahrer), aktive Mobilität

Ergänzend wurden weitere Parameter ermittelt beziehungsweise berechnet und auf der Ebene der Gitterzellen zusammengefasst:

- Summe Carsharing-Mitgliedschaften
- Anzahl der Gebäude je Zelle
- RegioStaR



## Korrelierung und statistischen Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte durch gängige Methoden nach der Berechnung der 5D-Indikatoren und Mobilitätsparameter. Die Korrelationskoeffizienten wurden verwendet, um zweiseitige und ungerichtete Zusammenhänge zwischen zwei Variablen zu identifizieren. Bei einer räumlichen Auflösung von 500 Metern wurde jede Rasterzelle als ein Datenpunkt betrachtet. Rasterzellen mit geringer Haushaltsbeteiligung wurden ebenfalls berücksichtigt, um weniger dicht besiedelte Gebiete abzudecken. Die Ergebnisse sollten unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anzahl der befragten Personen pro Zelle interpretiert werden. Zur Unterstützung der Interpretation der Korrelationsresultate wurden zusätzlich Streudiagramme erstellt.

Folgende Korrelationskoeffizienten wurden berechnet:

1. Der **Pearson-Korrelationskoeffizient** misst den linearen Zusammenhang zwischen zwei metrischen Variablen hinsichtlich Stärke und Richtung. Er ermittelt die Veränderung einer Variablen in Bezug auf die Veränderung der anderen Variablen. Eine Kovarianzmatrix wird erstellt, um die Kovarianz zwischen jeder Variablenpaarung darzustellen, und anschließend in eine Korrelationsmatrix umgewandelt, indem die Kovarianzen durch die Standardabweichungen der Variablen dividiert werden. Die untersuchten Variablen sollten möglichst normalverteilt sein.
2. Die **Spearman- und Kendall-Korrelationskoeffizienten** sind parameterfreie Korrelationsmaße, welche die Stärke der monotonen Beziehung zwischen zwei mindestens ordinalskalierten Variablen messen. Beide sind Rangkorrelationskoeffizienten, welche die Ränge der Variablen anstelle ihrer tatsächlichen Werte verwenden. Sie eignen sich besonders für nicht normalverteilte Daten oder bei Vorliegen von Ausreißern.

Die Korrelationskoeffizienten haben eine Skala von -1 bis 1, wobei -1 einen perfekt negativen und 1 einen perfekt positiven Zusammenhang darstellt. Ein Wert von 0 bedeutet, dass kein Zusammenhang zwischen den beiden Variablen besteht. Die Effektstärke kann anhand von den durch Cohen beschriebenen Grenzen interpretiert werden (Cohen 1988), wobei ein schwacher Zusammenhang ab 0,1, ein mittlerer ab 0,3 und ein starker ab 0,5 besteht. Diese Grenzen sind kontextabhängig und von allgemeiner Natur und somit nicht explizit für Mobilitätsstudien definiert. Gleichzeitig entsprechen diese auch den Erfahrungswerten des Bearbeiterteams, sodass im Folgenden diese Einordnung für die weiteren Interpretationen verwendet werden.

## Wesentliche Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In der nachfolgenden Darstellung der zentralen Ergebnisse der Studie werden die zuvor formulierten Hypothesen aufgegriffen und anhand ausgewählter Karten und Diagramme aus dem Kartenband erörtert. Die Karten vermitteln dabei einen räumlichen Überblick über die Verteilung und Zusammenhänge, während die Korrelationskoeffizienten den direkten quantitativen Zusammenhang zwischen den untersuchten Variablen aufzeigen. Von den verschiedenen Korrelierungsmethoden wird im Folgenden vor allem die Spearman-Korrelierung verwendet, da diese die höchsten R-Werte zeigte. Aufgrund der Fülle an Karten, werden nur vereinzelte Karten für ausgewählte Untersuchungsräume gezeigt, wobei die statistischen Auswertungen immer für alle Untersuchungsräume erstellt wurden.

Da die Datendichte für die Mobilitätsparameter gerade außerhalb der Städte Aachen, Freiburg und München gering war, wurde die Kartenausschnitte im Falle der Mobilitätsparameter teilweise auf kleinere Gebiete angepasst.

### Hypothese 1: Density

Um die Dichte in der Region zu bewerten, wurden verschiedene Faktoren herangezogen, darunter die Bevölkerungsdichte, die Erreichbarkeit von Einwohnern sowie die Erreichbarkeit von Zielen.

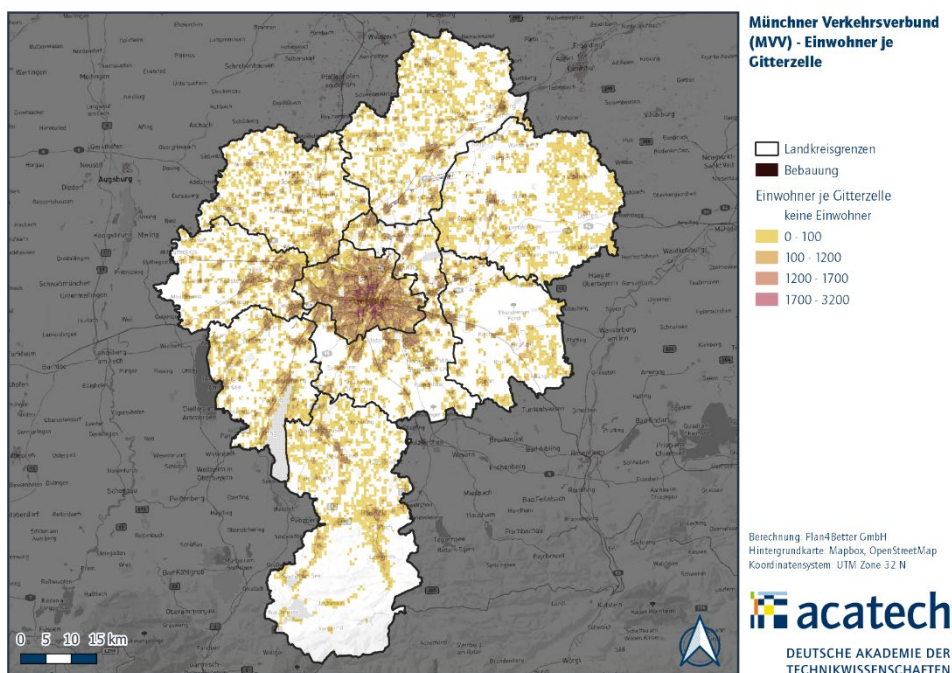


Abbildung 11: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Einwohner je Gitterzelle

Um einen Vergleich zu ermöglichen, zeigt Abbildung 11 beispielhaft die Verteilung der Bevölkerung in der Region München. Die Karte zeigt einen deutlichen Bevölkerungsschwerpunkt in der Stadt München als Zentrum der Metropolregion sowie weitere kleinere Schwerpunkte in Kreisstädten wie Starnberg, Freising, Fürstenfeldbruck und Dachau.

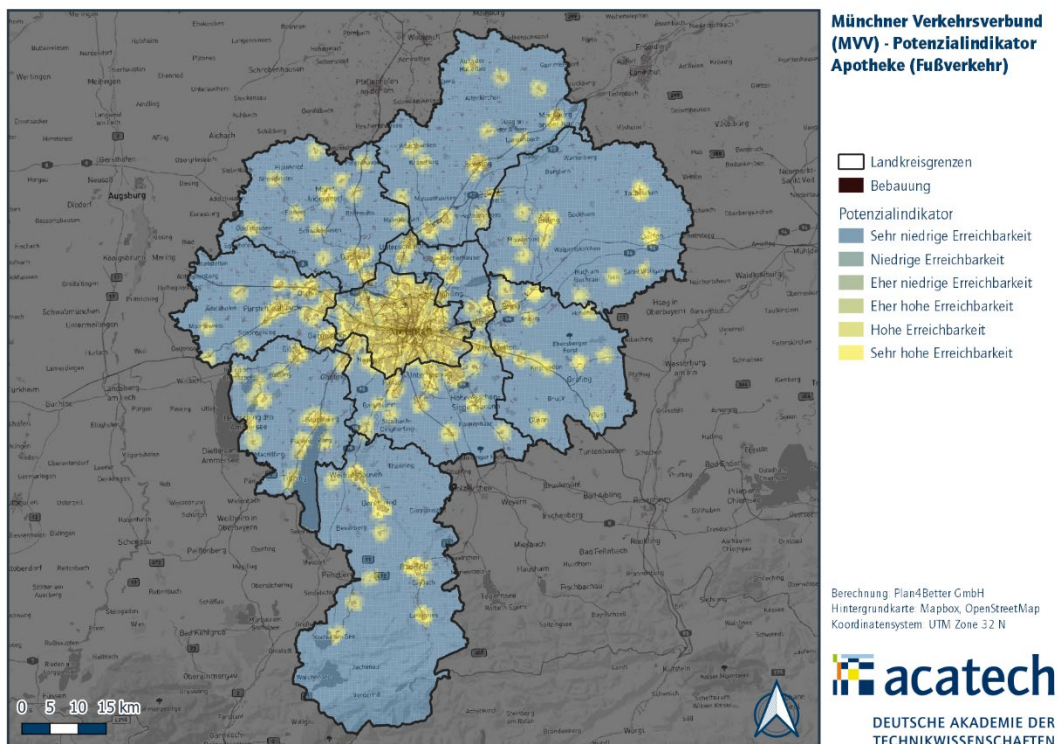
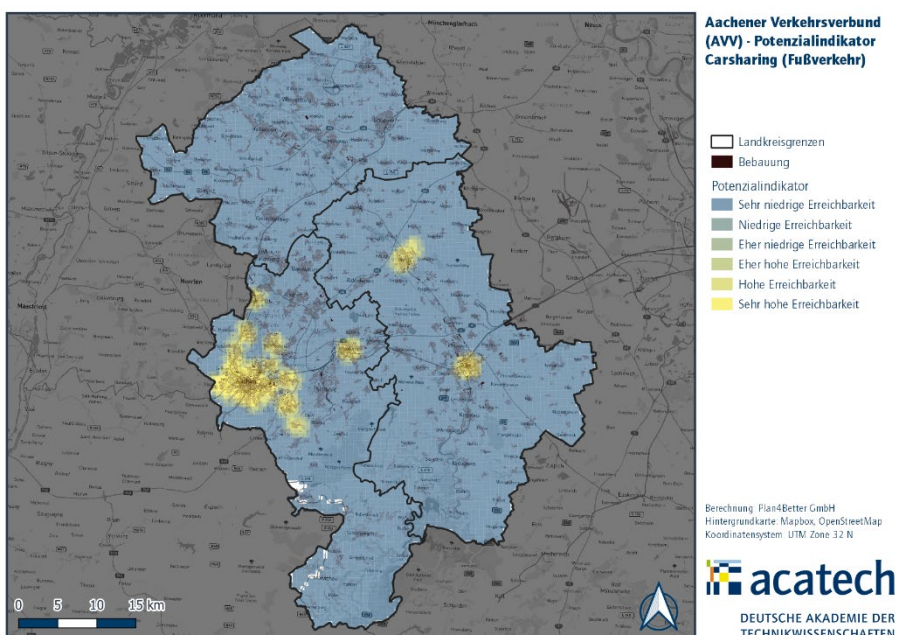


Abbildung 12: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Potenzialindikator Apotheke (Fußverkehr)

Abbildung 12 veranschaulicht die Dichte an Gelegenheiten in der Region München, basierend auf dem Potenzialindikator für Fußgänger in Bezug auf Apotheken. Es zeigt sich eine deutliche Korrelation zwischen der Verteilung der Bevölkerung und der Dichte an Gelegenheiten. Apotheken können hier exemplarisch für andere Gelegenheiten wie Ärzte oder Supermärkte stehen. In den anderen untersuchten Regionen ergibt sich ein ähnliches Muster. Typischerweise weisen dünn besiedelte Gebiete eine geringere Dichte an Gelegenheiten auf. Zudem existieren einige Gelegenheitstypen, wie beispielsweise Carsharing-Stationen, die in ländlich geprägten Gemeinden nicht vorhanden sind (siehe Abbildung 13).



Verkehrsverbund (AVV) – Potenzialindikator Carsharing (Fußverkehr)

Abbildung 13: Aachener

Die Berechnung von Erreichbarkeiten mit dem Fahrrad zeigen, eine deutlich größere Abdeckung mit den entsprechenden Gelegenheiten. Gleichwohl ist zu betonen, dass durch das Fahrrad die Reisedistanzen



deutlich steigen und somit nicht zwangsläufig die lokale Erreichbarkeit analysiert wird. Daher werden die fußläufigen Erreichbarkeiten für die Bewertung der Dichte als besser geeignet angesehen.

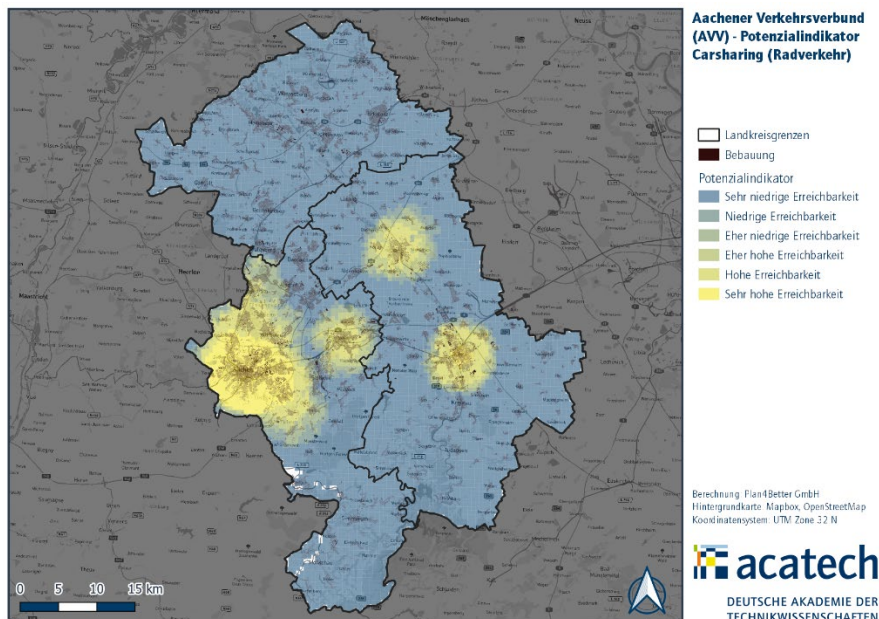


Abbildung 14: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Potenzialindikator Carsharing (Radverkehr)

In Bezug auf die Weglängen zeigt Abbildung 14 ein unklar definiertes Muster, bei dem keine Korrelation mit der Dichte in den Karten erkennbar ist. Ein möglicher Grund hierfür könnte eine unzureichend große Stichprobe sein. Lange Wege einzelner Personen im Datensatz können die durchschnittliche Weglänge in einer Gitterzelle bei geringer Datendichte erheblich beeinflussen. Darüber hinaus könnte die generell hohe Mobilität der Bevölkerung ebenfalls eine Rolle spielen. Lange Freizeitwege, wie beispielsweise Fahrten in die Alpen, die für die städtische Bevölkerung in der Region üblich sind, können die durchschnittliche Weglänge beträchtlich erhöhen.

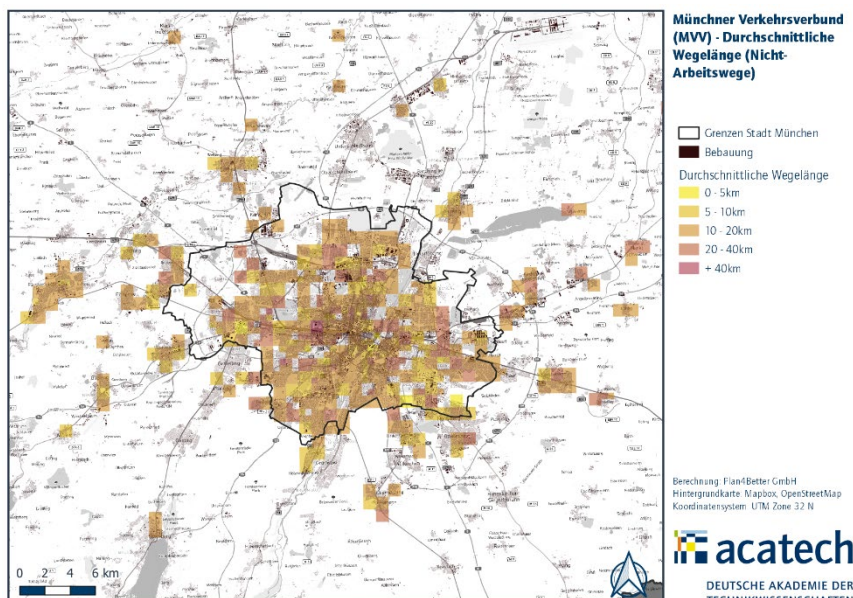


Abbildung 15: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Durchschnittliche Weglänge (Nicht-Arbeitswege)

Abbildung 16 präsentiert den Modal Split für die aktive Mobilität, bestehend aus Fuß- und Radverkehr. Es lässt sich relativ deutlich erkennen, dass der Anteil der aktiven Mobilität in innerstädtischen Lagen und somit dichteren Nachbarschaften höher ist. Dennoch gibt es einige Ausreißer, deren Ursache schwer zu erklären ist und möglicherweise auf eine geringe Stichprobe zurückzuführen ist.

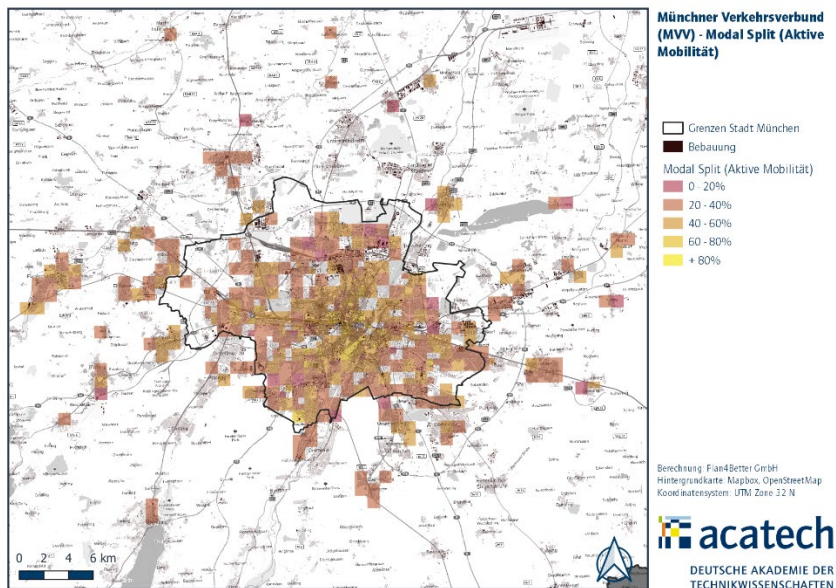


Abbildung 16: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Modal Split (Aktive Mobilität)

Die Korrelationsmatrix in Abbildung 17 bestätigt die Zusammenhänge, die auch auf den Karten erkennbar sind. Insbesondere zeigt sich eine moderate Korrelation zwischen dem Modal Split der aktiven Mobilität und den verschiedenen Potenzialindikatoren. Es ist zu erkennen, dass eine stärkere Korrelation zwischen den Dichte-Indikatoren und dem Modal Split für den Umweltverbund besteht. Dies lässt sich möglicherweise damit erklären, dass gerade in Lagen mit guter ÖPNV-Qualität sowie günstigen Bedingungen für den Fuß- und Radverkehr die Systeme miteinander konkurrieren. Überraschenderweise ergibt sich eine etwas schwächere Korrelation des Modal Splits mit der Erreichbarkeit von Bevölkerung. Es ist keine oder nur eine sehr schwache Korrelation zwischen den Dichte-Indikatoren und den Wegelängen sowohl für Arbeits- als auch Nicht-Arbeitswege zu erkennen.

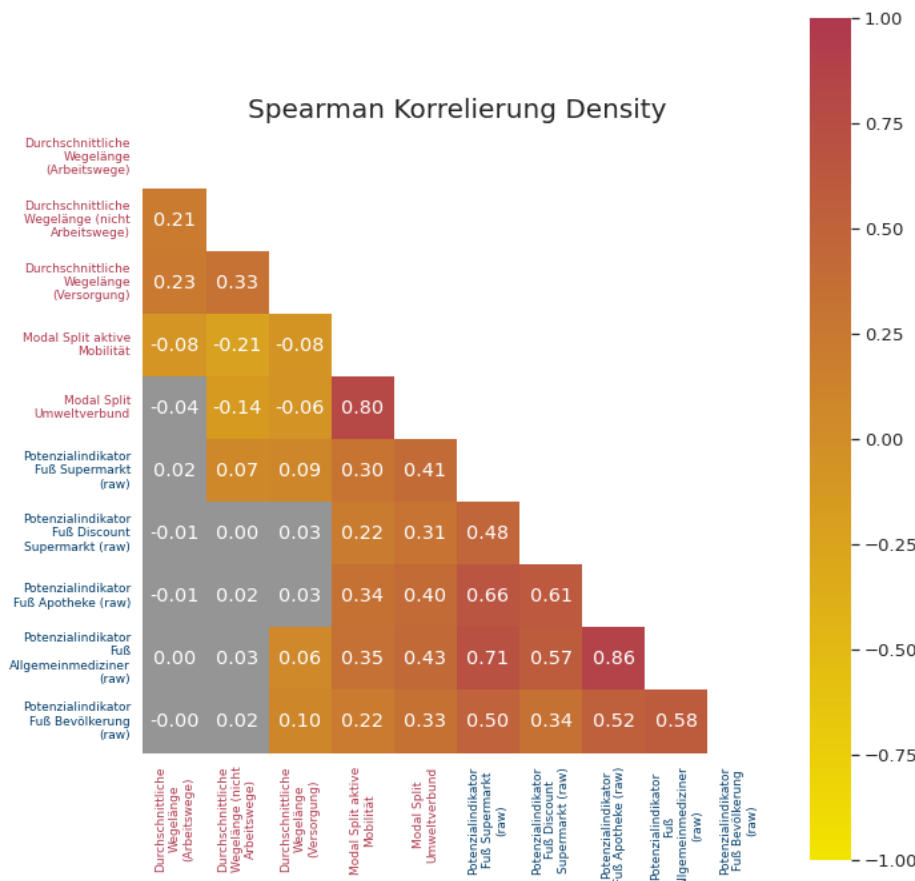


Abbildung 17: Spearman Korrelierung Density

Auf Basis der beschriebenen Analysen und der weiteren Materialien im Karten- und Tabellenband, können die Hypothese, wie folgt beantwortet werden.

**Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Dichte (Gelegenheiten und Bevölkerung) und ...**

**... einer geringeren Wegelängen von Arbeitswegen bzw. Nicht-Arbeitswegen.**

Die Analyse der vorhandenen Daten zeigt keinen beziehungsweise einen nur sehr schwachen Zusammenhang zwischen der Dichte und der Länge von Arbeits- bzw. Nicht-Arbeitswegen auf.

**... eines höheren Modal Splits für die aktive Mobilitätsformen.**

Es ergeben sich beispielsweise für die Spearman-Korrelation R-Werte von 0,35 für die Korrelation zwischen dem Modal Split der aktiven Mobilität und dem Potenzialindikator Fußverkehr zu Allgemeinärzten. Das bedeutet, dass die Dichte moderat mit dem Modal Split der aktiven Mobilität korreliert. Eine stärkere Korrelation zeigt sich zwischen der Dichte und dem Umweltverbund. Hier ergeben sich beispielsweise R-Werte von 0,43 für die Korrelation zwischen dem Modal Split der aktiven Mobilität und dem Potenzialindikator Fußverkehr zu Allgemeinärzten.

**Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Dichte an Gelegenheiten für Einkaufen und Gesundheit und einer geringeren Wegelänge von Versorgungswegen.**

Dies ist wie oben beschrieben aus den Daten nicht erkennbar.

## Hypothese 2: Diversity

In Abbildung 18 wird beispielhaft der 15-Minuten-Score für die Region Freiburg präsentiert. Der 15-Minuten-Score dient als Indikator für die Vielfalt an Gelegenheiten, die innerhalb von 15 Minuten erreichbar sind, und berücksichtigt dabei auch weitere Potenzialindikatoren.



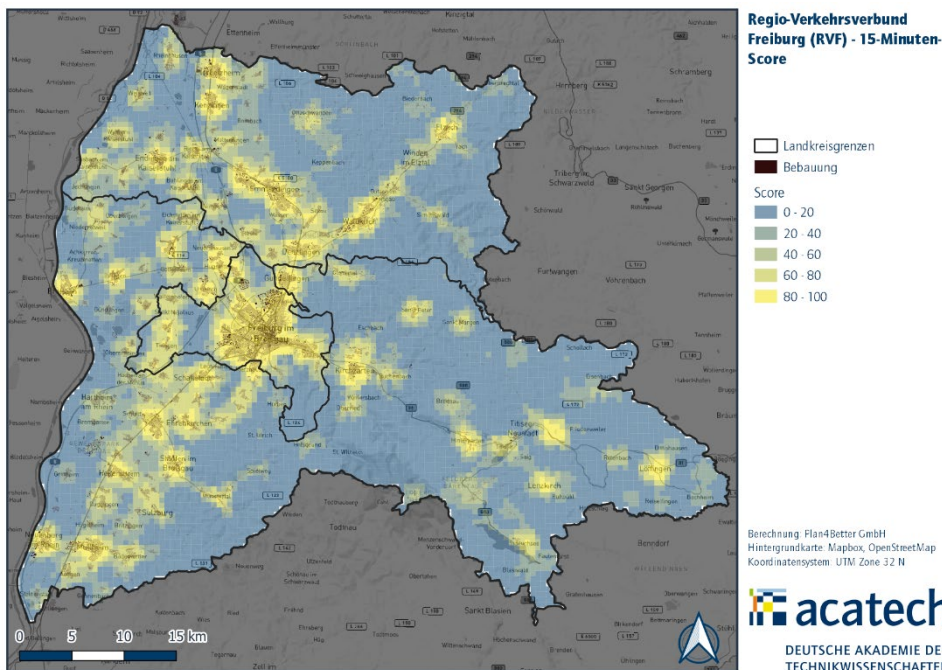


Abbildung 18: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – 15-Minuten-Score

Die Darstellung verdeutlicht, dass zentrale Lagen einen signifikant höheren Index aufweisen. Neben der Stadt Freiburg sind dies auch weitere Zentren wie Staufen im Breisgau, Kirchzarten oder Emmendingen. Diese Gebiete zeichnen sich durch eine hohe Dichte an Gelegenheiten aus, die innerhalb kurzer Zeit erreichbar sind, und bieten somit das Potenzial für kurze Wege zu einer Fülle an Gelegenheiten.

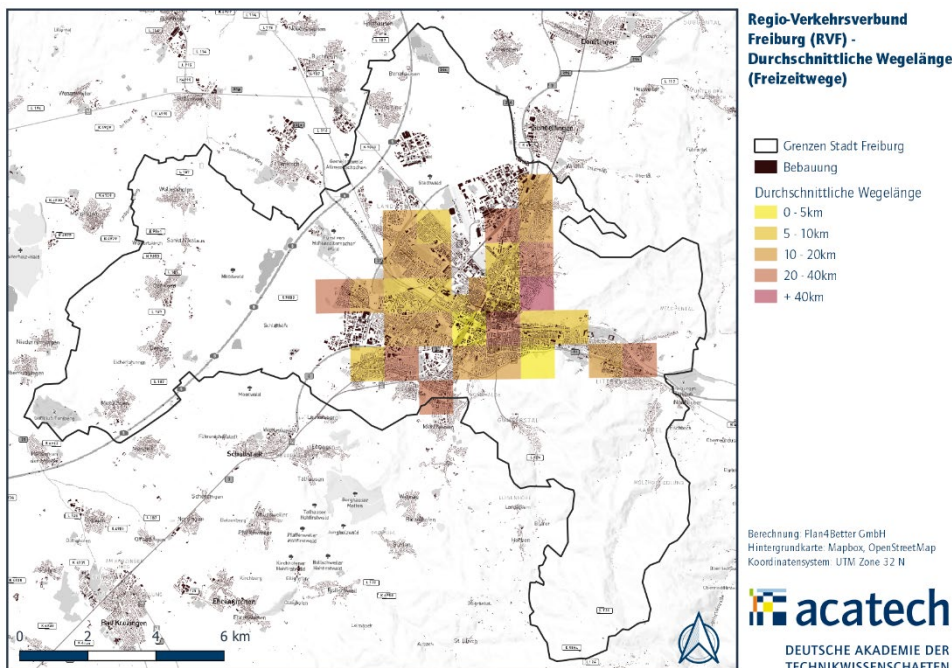


Abbildung 19: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – Durchschnittliche Weglänge (Freizeitwege)

Abbildung 19 präsentiert die durchschnittliche Weglänge im Stadtgebiet Freiburg (andere Gemeinden in der Region wiesen eine zu geringe Datendichte auf). Es ist kein klares Muster erkennbar. Ebenso zeigen die Freizeitwege und Erledigungswege in den anderen beiden untersuchten Regionen keine eindeutigen Muster.

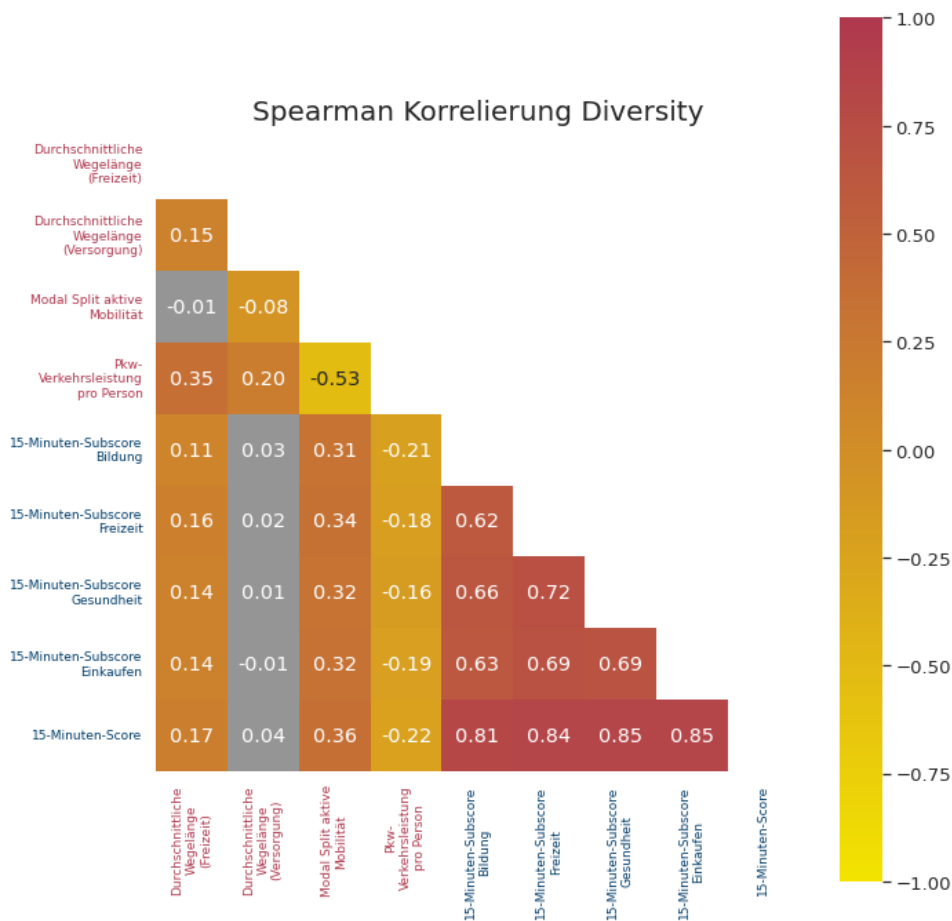


Abbildung 20: Spearman Korrelierung Diversity

Die Korrelationsmatrix in Abbildung 20 verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Komponenten des 15-Minuten-Scores und der durchschnittlichen Weglänge. Somit besteht ein schwacher positiver Zusammenhang zwischen den Diversitäts-Indikatoren und der Weglänge von Freizeitwegen. Hingegen ist keine Korrelation zwischen der durchschnittlichen Weglänge von Versorgungswegen und dem 15-Minuten-Score erkennbar. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass Regionen mit höherer Diversität einen höheren Anteil der aktiven Mobilitätsformen aufweisen.

Anhand eines Beispiels soll der Einfluss der 5Ds auf den Modal Split für die aktive Mobilität mithilfe einer Regression noch eingehender untersucht werden. Dabei wird explorativ mittels eines schrittweisen Regressionsverfahrens nach dem Akaike-Informationskriterium die unabhängigen Variablen des Modells ausgesucht. Es wird eine logistische Regression durchgeführt, da die abhängige Variable einen Anteil abbildet mit Werten zwischen 0 und 1. Das Ergebnis zeigt eine ganze Reihe an Variablen, die einen signifikanten Einfluss auf den Modal Split haben. Dies wären diverse Potenzialindikatoren für Fuß und Rad, die Konnektivität zu Fuß und der 15-Minuten Score. Der ÖPNV hat als konkurrierendes Angebot einen negativen Einfluss auf die Nutzung von aktiver Mobilität genauso wie die Aufenthaltsqualität, die mit dem ländlichen Raum in Verbindung gebracht werden kann.

Tabelle 7: Logistische Regression Modal Split Aktive Mobilität

Deviance Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-6.6093	-1.6099	-0.2299	1.3217	7.6810
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-0.571945	0.457173	-1.251	0.210918
Potentialindikator.Fuß.Straßenbahnhaltestelle	0.058610	0.006392	9.169	< 2e-16 ***
Potentialindikator.Fuß.Marktplatz	0.062995	0.005240	12.022	< 2e-16 ***
Potentialindikator.Fuß.Bar	0.016738	0.007288	2.297	0.021644 *
Konnektivität.Fuß	0.160039	0.027646	5.789	7.08e-09 ***
GebietMünchen	-0.221078	0.047996	-4.606	4.10e-06 ***
GebietStädtereion Aachen	-0.181290	0.048721	-3.721	0.000198 ***
Potentialindikator.Fuß.weiterführende.Schule	0.163671	0.021324	7.675	1.65e-14 ***
ÖV.GüteklasseA	-0.136134	0.120215	-1.132	0.257459
ÖV.GüteklasseB	-0.040870	0.118929	-0.344	0.731112
ÖV.GüteklasseC	-0.033844	0.118002	-0.287	0.774256
ÖV.GüteklasseD	-0.101872	0.117601	-0.866	0.386353
ÖV.GüteklasseE	-0.211485	0.119081	-1.776	0.075735 .
ÖV.GüteklasseF	-0.269380	0.137024	-1.966	0.049307 *
Potentialindikator.Fuß.Bahnhof	0.038794	0.007879	4.924	8.48e-07 ***
X15.Minuten.Subscore.Freizeit	0.027469	0.003937	6.977	3.02e-12 ***
Potentialindikator.Fuß.Fast.Food	-0.062561	0.016440	-3.805	0.000142 ***
Potentialindikator.Fahrrad.Discount.Supermarkt	0.174274	0.030106	5.789	7.10e-09 ***
Potentialindikator.Fahrrad.Gym	-0.052945	0.015634	-3.387	0.000708 ***
Potentialindikator.Fuß.Kindergarten	0.261504	0.041404	6.316	2.69e-10 ***
Potentialindikator.Fahrrad.Zahnarzt	0.088569	0.028996	3.055	0.002254 **
Potentialindikator.Fahrrad.Apotheke	-0.138899	0.035020	-3.966	7.30e-05 ***
Potentialindikator.Fahrrad.Bar	-0.028412	0.010725	-2.649	0.008067 **
Potentialindikator.Fuß.Supermarkt	0.033515	0.012195	2.748	0.005990 **
Potentialindikator.Fuß.Grundschule	0.186913	0.028680	6.517	7.17e-11 ***
X15.Minuten.Subscore.Bildung	-0.041652	0.008410	-4.953	7.32e-07 ***
Potentialindikator.Fuß.Kinderkrippe	0.111930	0.034035	3.289	0.001006 ***
Potentialindikator.Fahrrad.U.Bahnhaltestelle	-0.012679	0.007472	-1.697	0.089697 .
Potentialindikator.Fahrrad.Carsharing	0.073112	0.013706	5.334	9.59e-08 ***
Potentialindikator.Fuß.Apotheke	0.049604	0.016396	3.025	0.002483 **
Potentialindikator.Fuß.Bikesharing	0.042276	0.008611	4.909	9.14e-07 ***
Potentialindikator.Fahrrad.Bikesharing	-0.037041	0.011641	-3.182	0.001463 **
Potentialindikator.Fuß.Bevölkerung	0.047459	0.020185	2.351	0.018712 **
Potentialindikator.Fuß.Zahnarzt	0.039128	0.014132	2.769	0.005626 **
Aufenthaltsqualität..Umwelt.	-0.147321	0.055438	-2.657	0.007875 **
X15.Minuten.Score	-0.036186	0.007294	-4.961	7.00e-07 ***
Potentialindikator.Fahrrad.Fast.Food	-0.074852	0.038292	-1.955	0.050615 .
Potentialindikator.Fahrrad.Restaurant	0.096692	0.055003	1.758	0.078757 .
X15.Minuten.Subscore.ÖV	-0.005116	0.003259	-1.570	0.116450
---				
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Die im Kontext der Diversität aufgestellten Hypothesen können auf Basis der Datenanalyse wie folgt beantwortet werden:

**Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Vielfalt an Gelegenheiten (Diversity) und ...**

**... einer geringeren Wegelängen von Versorgungs- bzw. Freizeitwegen**

Wie zuvor beschrieben, konnte eine Korrelation im Fall von Versorgungswegen nicht bestätigt werden. Tatsächlich gibt es bei Freizeitwegen in Gebieten mit höherer Diversität leicht längere Wege. Der positive Zusammenhang zwischen dem 15-Minuten-Score und der Länge von Freizeitwegen ist auf den ersten Blick verwunderlich. Gleichzeitig kann dies auch aus dem Ergebnisbericht der MiD-Studie entnommen werden (Nobis und Kuhnimhof 2018, 63). Die Unterschiede in der Länge von Freizeitwegen zwischen verschiedenen räumlichen Typologien sind nur geringfügig. Zudem sind Freizeitwege in Metropolen etwas länger als in anderen Räumen. Mögliche Gründe hierfür sind die generell etwas längeren Freizeitwege in Metropolen sowie die Tatsache, dass nicht alle Freizeitziele in den Indikatoren erfasst werden können. Insbesondere regionale Besonderheiten, wie das attraktive Alpenvorland in der Region München, konnten nicht in ihrer Anziehungskraft für Freizeitwege gesondert berücksichtigt werden.

**... einer geringeren Pkw-Verkehrsleistung**

Es ist anhand der Daten erkennbar, dass eine höhere Diversität dazu beiträgt, die Pkw-Verkehrsleistung zu reduzieren. Es besteht ein schwacher negativer Zusammenhang von bis zu R von -0,22 zwischen dem 15-Minuten-Score und der Pkw-Verkehrsleistung. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass Wege in städtischen Lagen mit höherer Diversität eher mit alternativen Verkehrsmitteln zurückgelegt werden und Arbeitswege tendenziell kürzer sind.

**... eines höheren Modal Splits für die aktive Mobilität**

Eine höhere Diversität korreliert moderat mit einem höheren Anteil der aktiven Mobilität am Modal Split. So ergeben sich R-Werte von 0,32 für die Korrelation mit dem 15-Minuten-Subscore Freizeit und 0,36 für den gesamten 15-Minuten-Score. Da im gesamten 15-Minuten-Score eine größere Anzahl von Gelegenheiten enthalten ist, kann dieser stärker für die Diversität an Gelegenheiten stehen, was die etwas stärkere Korrelation erklären könnte.

### Hypothese 3: Distance to Public Transport

Für die Betrachtung von "Distance to Public Transport" sind insbesondere die ÖV-Güteklasse sowie der 15-Minuten-Subscore ÖV von Bedeutung.

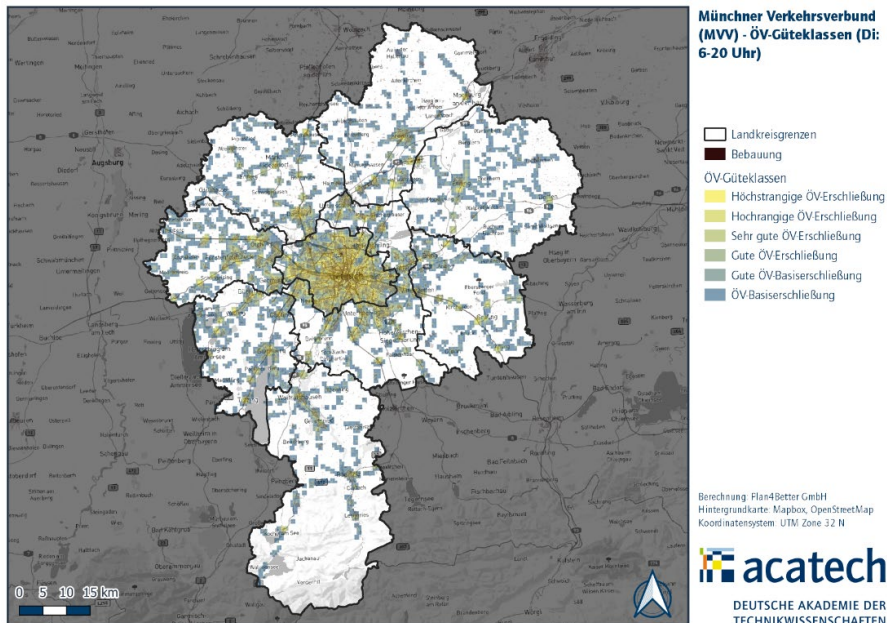


Abbildung 21: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – ÖV-Güteklassen (Di: 6-20 Uhr)

Wie in Abbildung 21 dargestellt, folgt die ÖV-Güteklasse den qualitativ hochwertigen ÖV-Linien, wie beispielsweise den S-Bahnlinien in der Region und den U-Bahnlinien auf dem Stadtgebiet von München. Abbildung 22 zeigt den Modal Split für den ÖV in der Region München. Visuell ist eine hohe Korrelation zwischen beiden Karten erkennbar. Räume mit einer hohen ÖV-Güteklasse weisen auch einen höheren Anteil des ÖV am Modal Split auf. Diese Beobachtung konnte ebenso in den Regionen Freiburg und Aachen gemacht werden.



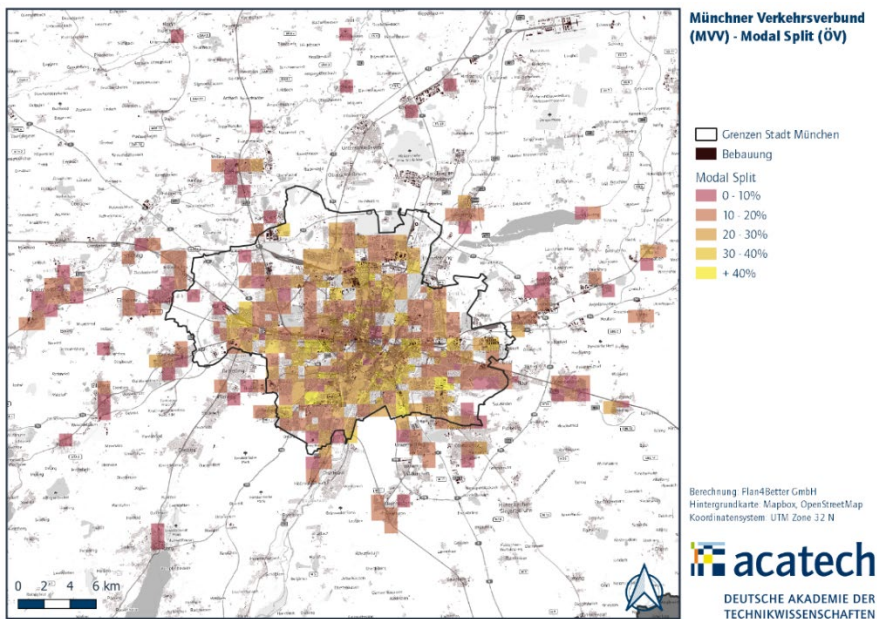


Abbildung 22: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Modal Split (ÖV)

In Abbildung 23 ist der Pkw-Besitz je Haushalt in der Region München dargestellt. Dieser ist grundsätzlich hoch, sodass nur wenige Haushalte gar keinen Pkw besitzen. Gleichzeitig ist deutlich zu erkennen, dass der Pkw-Besitz in zentralen Lagen mit guter ÖV-Erschließung niedriger ist.

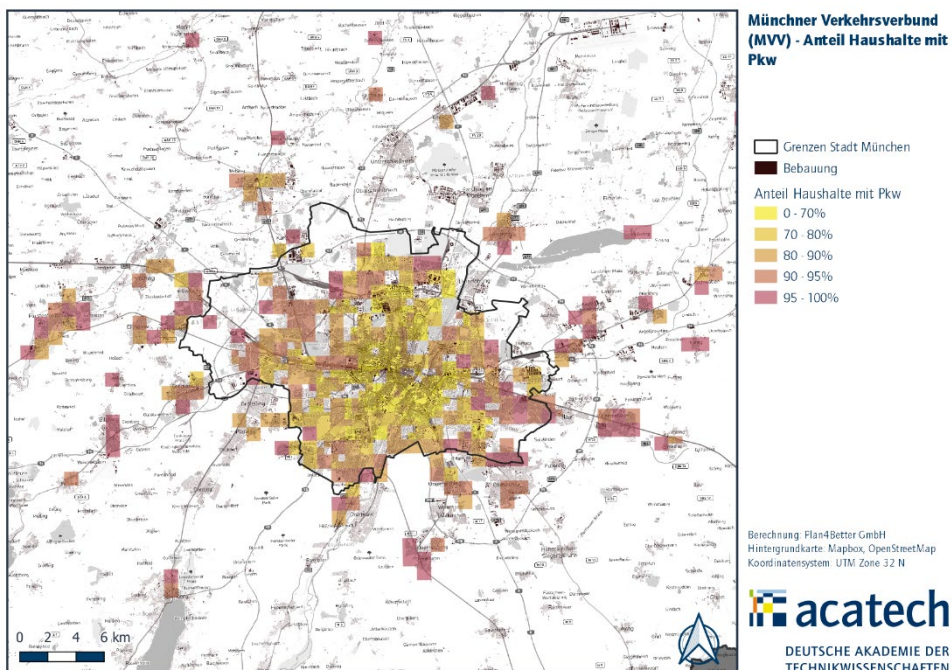


Abbildung 23: Münchner Verkehrsverbund (MVV) – Anteil Haushalte mit Pkw

Die Korrelationsmatrix in Abbildung 24 bestätigt dieses Bild. So zeigt diese den Zusammenhang zwischen dem 15-Minuten-Subscore ÖV, der ÖV-Gütekategorie, dem Fahrkarten- und Fahrzeugbesitz sowie dem Modal Split für den ÖV auf. Im Vergleich zu den anderen 5Ds zeigen sich hier die stärksten Zusammenhänge. Es zeigt sich somit grundsätzlich ein hoher Einfluss von “Distance to Public Transport” auf eine höhere Nutzung des ÖVs, sowie einem geringeren Pkw-Besitz.

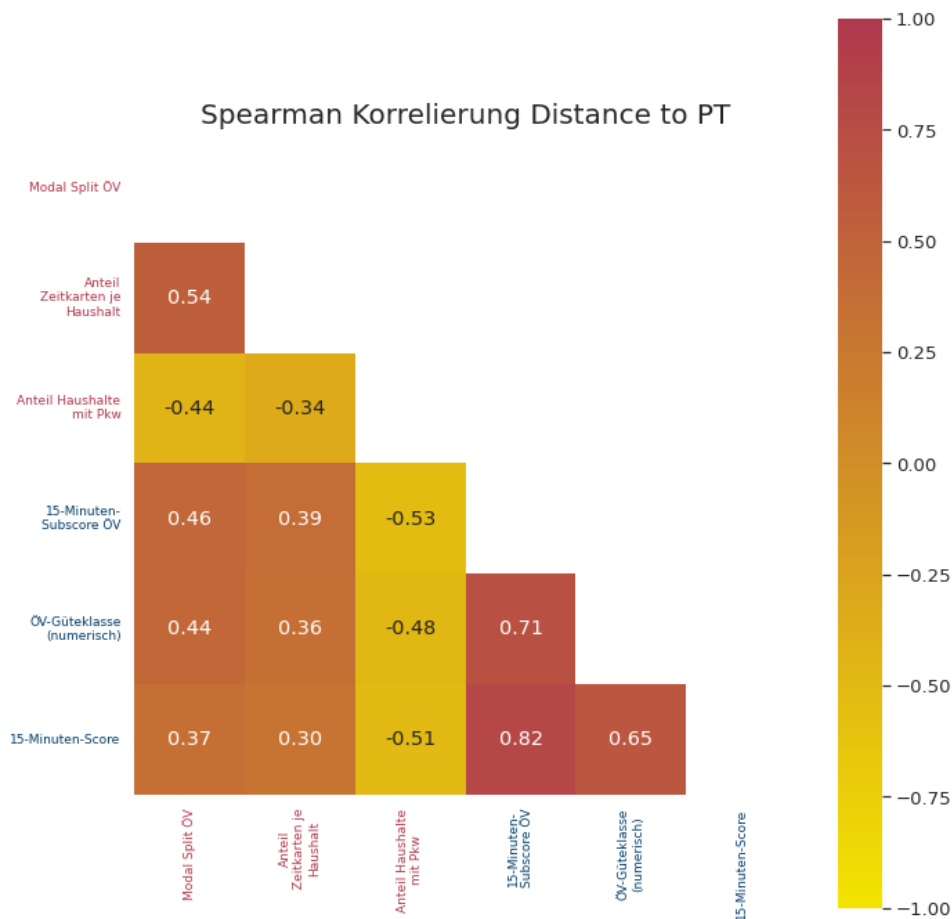


Abbildung 24: Spearman Korrelierung Distance to Public Transport

Auf Basis der Daten können die Hypothesen wie folgt beantwortet werden.

**Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren ÖPNV-Erschließungsqualität (Distance to PT) und ...**

**...eines höheren Modal Splits für den ÖPNV**

Es besteht eine moderate bis beinahe starke Korrelation zwischen dem Anteil am Modal Split im ÖV und der ÖV-Erschließung, abhängig von dem betrachteten Indikator. Die Güteklasse weist einen R von 0,44 auf, während der 15-Minuten-Subscore ÖV eine Korrelation von R 0,46 zeigt. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass attraktive ÖV-Systeme tatsächlich von der Bevölkerung genutzt werden.

**...einem höheren Anteil von Fahrkartenbesitzern**

In Gebieten mit hoher ÖV-Erschließung besteht eine moderate Korrelation mit dem Besitz von ÖV-Zeitkarten. Es zeigt sich ein positiver R von 0,39 zwischen dem 15-Minuten-Subscore ÖV und dem Besitz von Zeitkarten. Ein Grund dafür, dass der Besitz von Zeitkarten möglicherweise nicht noch höher ist, könnte in der vermuteten geringeren Anzahl von Schülerkarten in innerstädtischen Lagen im Vergleich zum Besitz von Schülerkarten in suburbanen und ländlichen Räumen liegen.

Zudem wird angenommen, dass in den untersuchten kreisfreien Städten vermehrt Gelegenheitsnutzer des ÖV wohnen. Im Gegensatz dazu ist der ÖV in den Landkreisen stärker auf Pendler- und Schülerverkehr ausgerichtet, bei denen Zeitkarten häufiger im Besitz sind.

**...einem geringeren Anteil von Fahrzeugbesitzern**

Der Fahrzeugbesitz steht in starker Korrelation zur ÖV-Erschließung. Der 15-Minuten-Subscore ÖV zeigt eine starke negative Korrelation zum Pkw-Besitz von Haushalten, mit einem R von -0,53. Dies verdeutlicht,



dass der Pkw-Besitz in Räumen mit attraktivem ÖPNV-Angebot deutlich geringer ausfällt. Auf Basis der Daten kann leider keine Aussage zur Anzahl der verfügbaren Pkw im Haushalt getroffen werden. Gleichwohl legen die Ergebnisse nahe, dass auch die durchschnittliche Anzahl der Pkw deutlich abnehmen bei hoher ÖV-Erschließung.

### Hypothese 4: Destination Accessibility

Die "Destination Accessibility" wurde mithilfe zahlreicher Potenzialindikatoren und dem 15-Minuten-Score dargestellt. In Abbildung 25 ist beispielhaft der 15-Minuten-Score für die Region Aachen abgebildet. Es lassen sich hohe Werte für die Stadt Aachen erkennen, aber auch für weitere Zentren in der Region, wie beispielsweise die Stadt Düren.

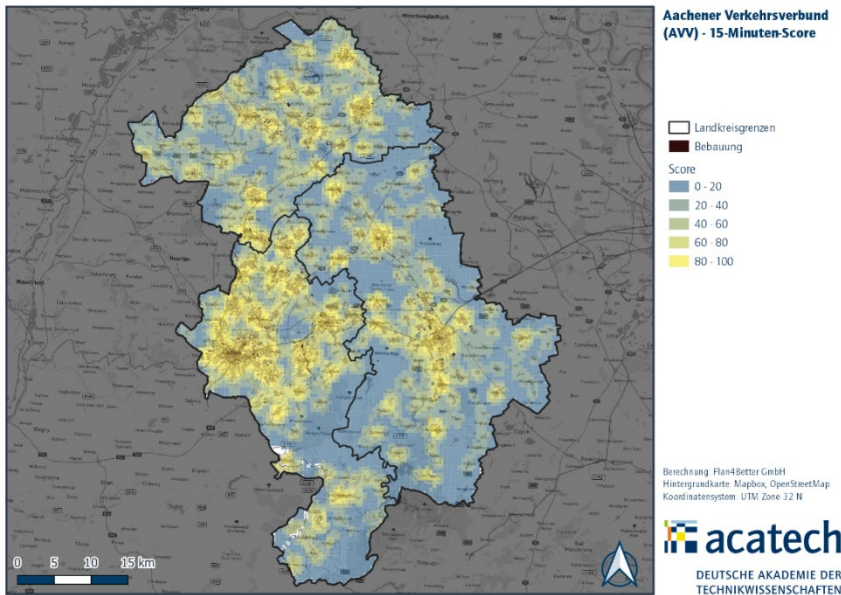


Abbildung 25: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – 15-Minuten-Score

Ergänzend hierzu ist in Abbildung 26 die Erreichbarkeit von Apotheken in der Region Aachen dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass aufgrund der höheren Reisegeschwindigkeit, deutlich größere Bereiche einen hohen Erreichbarkeitswert aufzeigen.

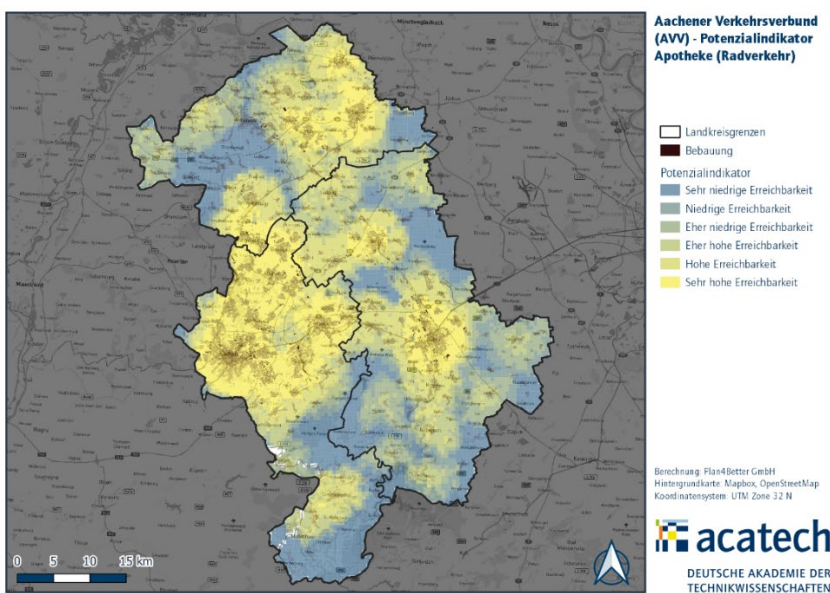


Abbildung 26: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Potenzialindikator Apotheke (Radverkehr)

In Abbildung 27 dargestellt, zeigt sich, dass der Umweltverbund besonders in Gebieten mit hoher Erreichbarkeit hohe Anteile aufweist. Gleichzeitig ist zu betonen, dass für den überwiegenden Teil der Region Aachen in der MiD-Studie nicht genügend Daten zur Verfügung standen, um eine flächendeckende Aussage über die kleinräumige Verteilung des Modal Splits treffen zu können.

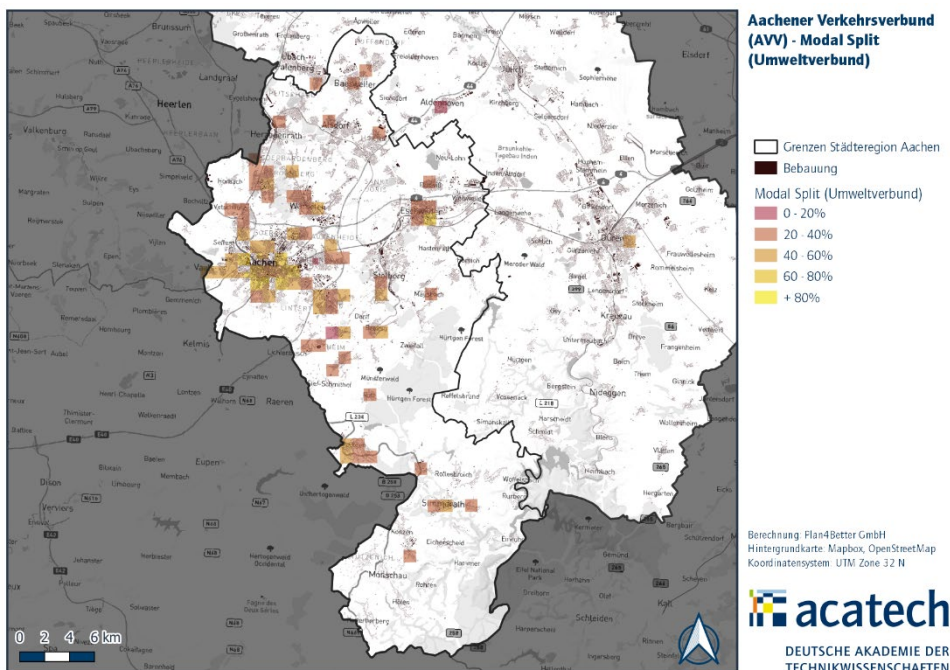


Abbildung 27: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Modal Split (Umweltverbund)

In Abbildung 28 ist die durchschnittliche Anzahl der täglich zurückgelegten Wege dargestellt. Obwohl aus der Karte ersichtlich ist, dass Orte mit höherer Erreichbarkeit tendenziell eine höhere Anzahl an Wegen aufweisen, ist eine klare Aussage aufgrund der geringen Datendichte nicht ohne weiteres möglich. Bei der näheren Betrachtung der anderen Regionen lässt sich ebenfalls keine eindeutige Aussage anhand der Karten treffen (siehe *Anhang: Karten- und Tabellenband*).

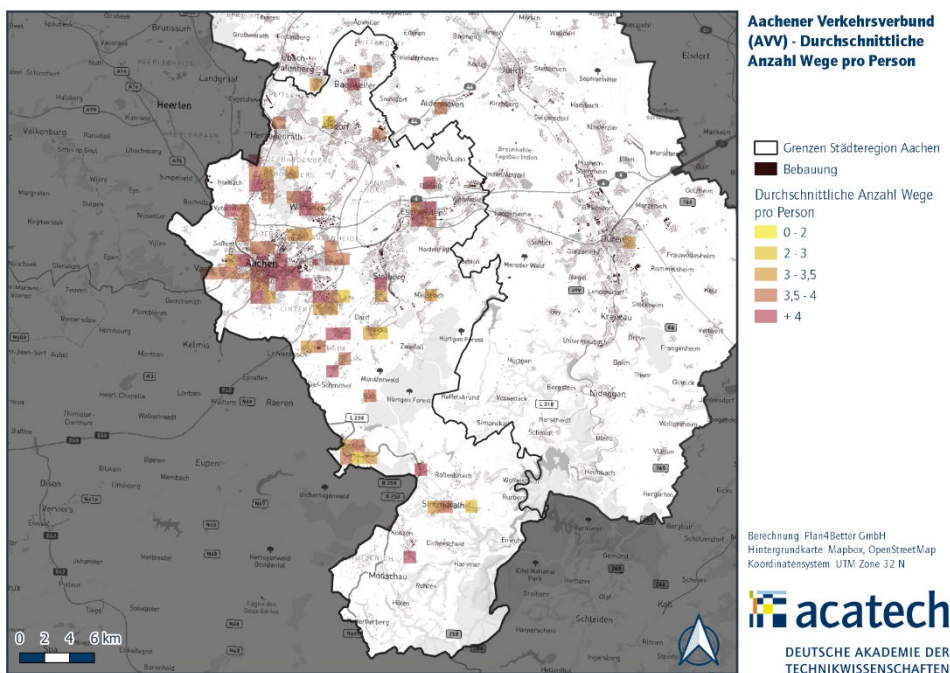


Abbildung 28: Aachener Verkehrsverbund (AVV) – Durchschnittliche Anzahl Wege pro Person

In der Korrelationsmatrix in Abbildung 29 werden die weiteren Zusammenhänge deutlicher. Es zeigt sich ein sehr schwacher Zusammenhang zwischen den Indikatoren der "Destination Accessibility" und der Anzahl der durchschnittlich zurückgelegten Wege. Des Weiteren besteht ein moderater bis fast starker Zusammenhang mit dem Modal Split des Umweltverbundes. Zusätzlich ist ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen den Indikatoren der "Destination Accessibility" und der Pkw-Verkehrsleistung erkennbar.

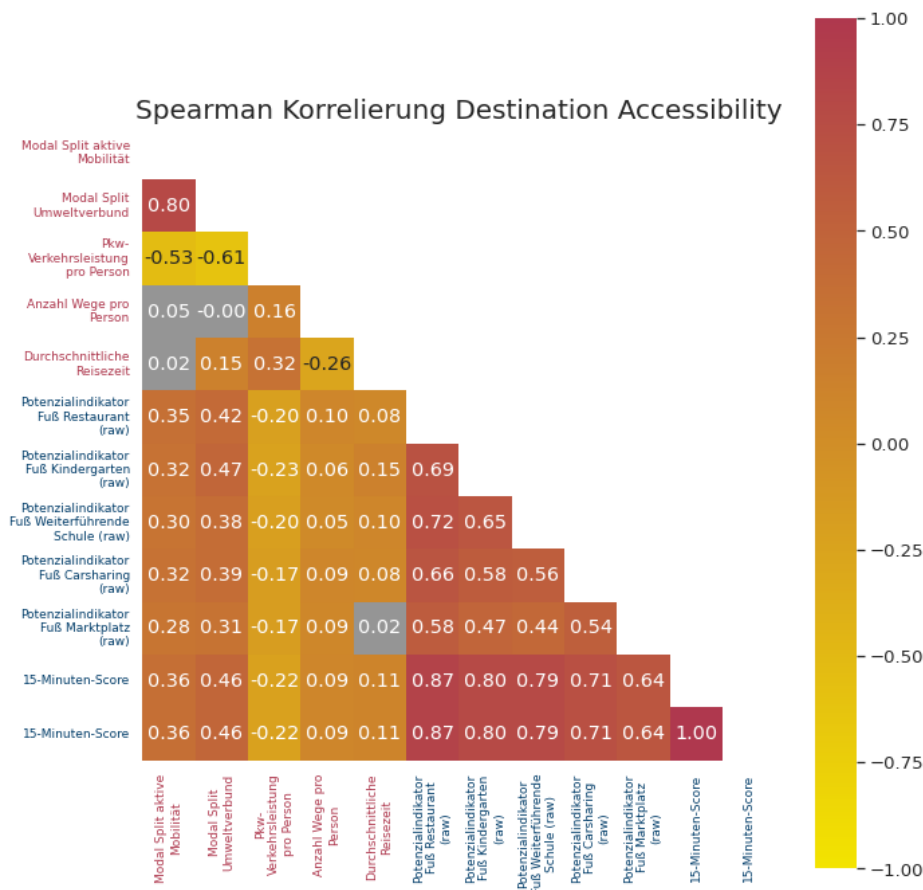


Abbildung 29: Spearman Korrelierung Destination Accessibility

Um den Einfluss der 5Ds noch genauer auf die Pkw-Verkehrsleistung zu untersuchen, wird wieder eine lineare Regression erstellt (siehe Tabelle 8: ). Dabei wird hier explorativ mittels eines schrittweisen Regressionsverfahrens nach dem Akaike-Informationskriterium die unabhängigen Variablen des Modells ausgesucht. Die Überprüfung der Voraussetzungen für den Einsatz des Modells wie der Verteilung der Residuen und der Multikollinearität (Varianz-Inflations-Faktor durchgehend unter 2,5) verlief positiv unter Hinblick realer Daten. Die größte Einschränkung sind die oft schiefe Verteilungen der Variablen.

Tabelle 8: Lineare Regression Pkw-Verkehrsleistung pro Person

```
Call:
lm(formula = Pkw.Verkehrsleistung.pro.Person ~ ÖV.Güteklasse..numerisch. +
  Aufenthaltsqualität..Umwelt. + Potenzialindikator.Fuß.Straßenbahnhaltestelle +
  Potenzialindikator.Fahrrad.Marktplatz + Potenzialindikator.Fahrrad.Bar +
  Potenzialindikator.Fuß.Discount.Supermarkt + Potenzialindikator.Fuß.Fitnessstudio +
  Gebiet, data = filtered_df)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-48.87 -13.66  -5.79   5.16 491.53

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      24.9275     5.8970   4.227 2.51e-05 ***
ÖV.Güteklasse..numerisch.
-1.5667     0.7360  -2.129 0.033438 *
Aufenthaltsqualität..Umwelt.
11.9709     3.7511   3.191 0.001446 **
Potenzialindikator.Fuß.Straßenbahnhaltestelle
-1.8731     0.5341  -3.507 0.000467 ***
Potenzialindikator.Fahrrad.Marktplatz
-1.9938     0.5756  -3.464 0.000548 ***
Potenzialindikator.Fahrrad.Bar
 1.3664     0.6260   2.183 0.029199 *
Potenzialindikator.Fuß.Discount.Supermarkt
-1.7535     0.6506  -2.695 0.007115 **
Potenzialindikator.Fuß.Fitnessstudio
 1.0461     0.5157   2.028 0.042689 *
GebietMünchner Verkehrsverbund (MVV)
-2.0997     2.2695  -0.925 0.355013
GebietRegio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF)
 4.9693     3.7345   1.331 0.183508
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 29.43 on 1479 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.05922, Adjusted R-squared:  0.0535
F-statistic: 10.35 on 9 and 1479 DF, p-value: 1.289e-15
```

Wie abzusehen wird durch ein lineares Modell mit den 5Ds nur ein Bruchteil der Streuung der Pkw-Verkehrsleistung erklärt (Adjusted  $R^2 = 0,0535$ ). Einige Potenzialindikatoren sowie die ÖV-Güteklassen haben einen signifikant negativen Einfluss auf die Pkw-Verkehrsleistung, während die Aufenthaltsqualität einen positiven Einfluss aufweist. Dies kann damit erklärt werden, dass Orte mit hoher Aufenthaltsqualität (Umwelt) sehr häufig im ländlichen Raum zu finden sind, die grundsätzlich eher autoabhängig sind.

Auf Grundlage der durchgeführten Analysen können die aufgestellten Hypothesen nun im Folgenden diskutiert und beantwortet werden.

### Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Erreichbarkeit zu Gelegenheiten (Destination Accessibility) und ...

#### ...einer geringeren Pkw-Verkehrsleistung

Wie zuvor beschrieben, besteht ein schwacher negativer Zusammenhang. Der R beträgt bis zu -0,23 im Fall des Potenzialindikators für die Erreichbarkeit von Kindergärten zu Fuß. Gleichzeitig zeigt sich eine deutlich schwächere Korrelation zwischen dem Potenzialindikator für die Erreichbarkeit von Bushaltestellen mit -0,13. Dies könnte damit erklärt werden, dass Bushaltestellen generell flächendeckend vorhanden sind. Allerdings spiegelt die reine Erreichbarkeit von Bushaltestellen ohne Berücksichtigung der Bedienqualität nur bedingt die Attraktivität des ÖPNV wider. Dies zeigt die Überlegenheit von Indikatoren wie der ÖV-Güteklasse.

#### ...eines höheren Modal Splits für den Umweltverbund

Der Modal Split im Umweltverbund weist eine deutliche Korrelation mit den Indikatoren der "Destination Accessibility" auf. Die Korrelation erreicht Werte von bis zu 0,47 zwischen dem Potenzialindikator für die Erreichbarkeit von Kindergärten zu Fuß und dem Modal Split des Umweltverbundes. Ebenso zeigt sich mit 0,46 nahezu eine hohe Korrelation zwischen dem 15-Minuten-Score und dem Modal Split des Umweltverbundes.

#### ...einer höheren Anzahl an Wegen

Die durchgeführten Analysen zeigen lediglich eine sehr schwache positive Korrelation für bestimmte Indikatoren. Beispielsweise ergibt sich eine Korrelation von 0,1 zwischen dem Potenzialindikator für Restaurants im Fußverkehr und der Anzahl der zurückgelegten Wege. Für den 15-Minuten-Score beträgt der Korrelationskoeffizient 0,09.



## Hypothese 5: Design

Die Komponente Design innerhalb der 5Ds wurde in diesem Projekt durch zwei spezifische Indikatoren abgebildet. Der Netzwerkkonnektivität und dem eigens für das Projekt entwickelte Index zur Aufenthaltsqualität (Umwelt). So ist in Abbildung 30 der Indikator für die Region Freiburg dargestellt.

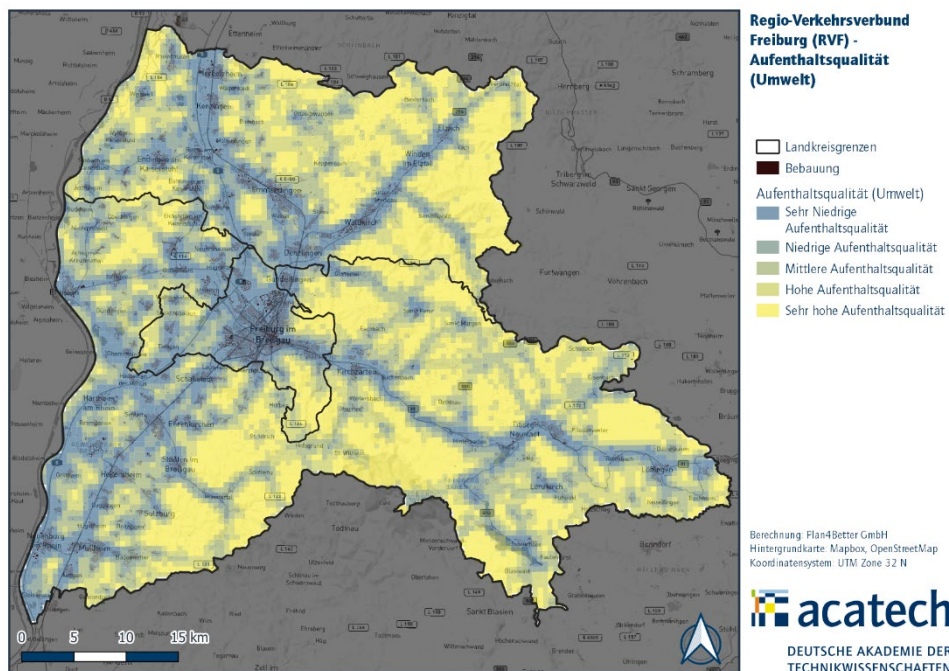


Abbildung 30: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – Aufenthaltsqualität (Umwelt)

In Abbildung 31 wird exemplarisch die Fahrrad-Konnektivität in der Region Freiburg dargestellt. Die Netzwerkkonnektivität ist ein infrastrukturbasierter Indikator, der die Erreichbarkeit von Zielen nicht direkt berücksichtigt. Daher ist in vielen Gebieten die Konnektivität höher als die Erreichbarkeit der Potenzialindikatoren. Die Konnektivität ist insbesondere an Orten ohne Straßennetz oder im Falle des Radverkehrs bei starken Steigungen eingeschränkt. In der Region Freiburg wird dies besonders deutlich in den Gebieten des Schwarzwaldes.



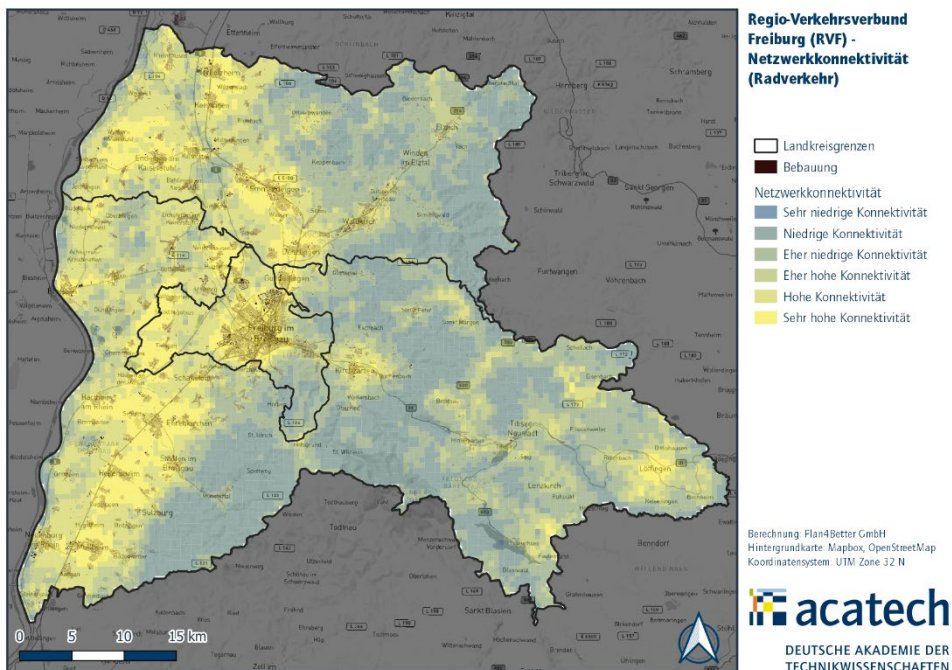


Abbildung 31: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – Netzwerkkonnektivität (Radverkehr)

Um den Einfluss von Umweltfaktoren zu untersuchen, zeigt Abbildung XXX den berechneten Indikator für die Aufenthaltsqualität in Bezug auf die Umwelt. Im Vergleich zu den anderen Indikatoren ergibt sich ein deutlich gegensätzliches Bild, da negative Umweltwirkungen hauptsächlich entlang von Straßen und versiegelten Flächen auftreten, während Grünräume eine positive Wirkung haben. Aufgrund der geringen MiD-Datendichte in der Region Freiburg ist es lediglich möglich, den Modal Split für den Radverkehr in bestimmten Teilen des Stadtgebiets von Freiburg darzustellen, wie in Abbildung 32 gezeigt.

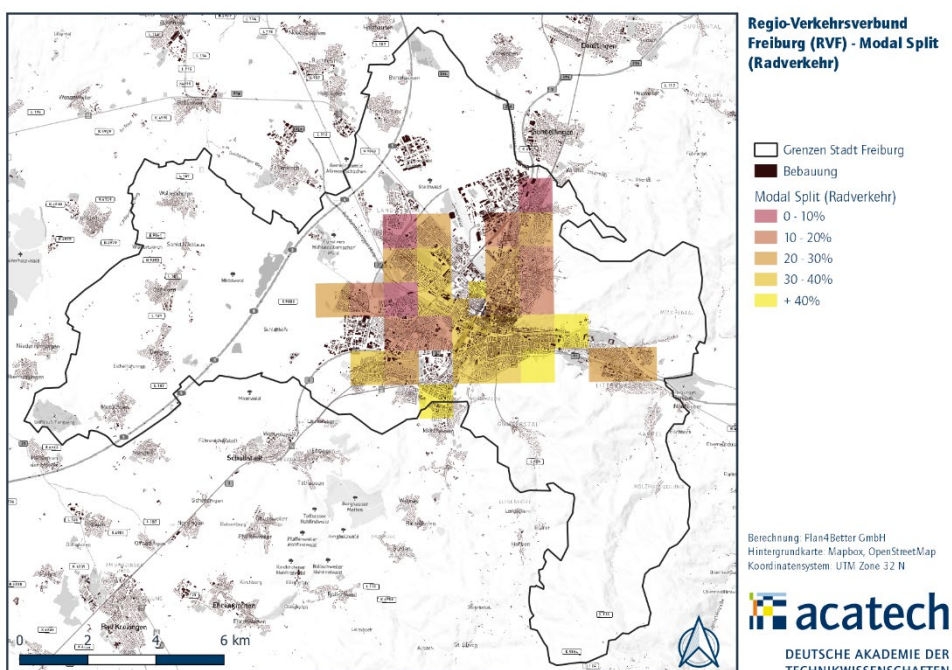


Abbildung 32: Regio-Verkehrsverbund Freiburg (RVF) – Modal Split (Radverkehr)

Die präsentierten Karten legen nahe, dass kein oder nur ein geringer Zusammenhang zwischen den ausgewählten Indikatoren für die Design-Komponente und dem Mobilitätsverhalten besteht. Dies lässt sich auch aus Abbildung 33 erkennen.

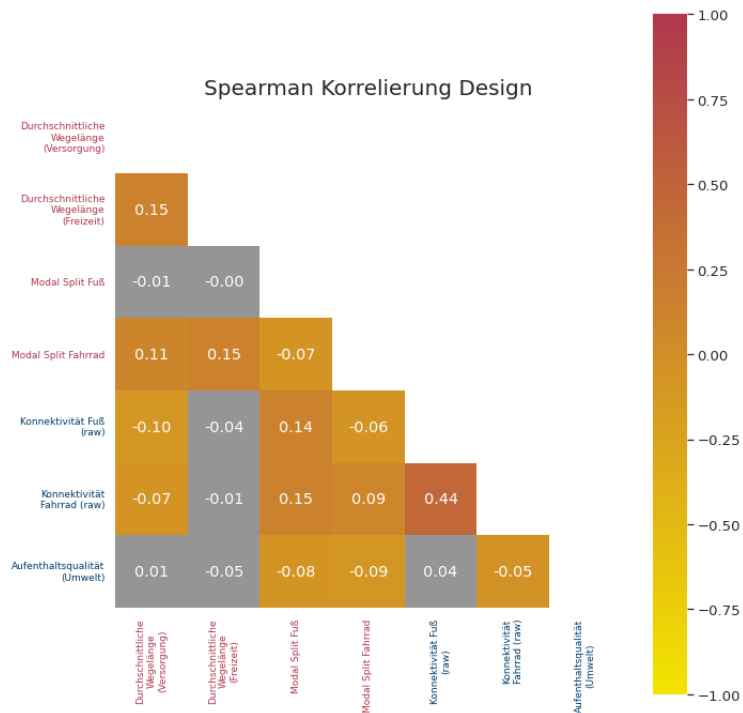


Abbildung 33: Spearman Korrelierung Design

Auf dieser Basis können die formulieren Hypothesen zur Komponente Design beantwortet werden.

**Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen einer höheren Aufenthaltsqualität/ Walkability/ Konnektivität (Design) und ...**

**...einer geringeren Wegelängen von Versorgungs- bzw. Freizeitwegen**

Es gibt einen schwachen Zusammenhang mit einem R von -0,1 zwischen der Konnektivität für den Fußverkehr und der durchschnittlichen Länge von Versorgungswegen. Allerdings ist kein Zusammenhang mit Freizeitwegen erkennbar. Es ist kein Zusammenhang mit dem Indikator Aufenthaltsqualität (Umwelt) zu erkennen.

**...eines höheren Modal Splits für den Fußverkehr**

Die Korrelation zwischen der Konnektivität im Fußverkehr und dem Modal Split im Fußverkehr ist ebenfalls nur schwach ausgeprägt, allerdings mit einem R von 0,15 etwas stärker. Die Aufenthaltsqualität (Umwelt) weist einen sehr schwachen negativen Zusammenhang von 0,08 mit dem Modal Split für den Fußverkehr auf. Obwohl der Zusammenhang sehr gering ist, könnte dies dadurch erklärt werden, dass der Indikator für die Aufenthaltsqualität (Umwelt) besonders in dünn besiedelten Gebieten hoch ist. Diese Gebiete bieten in der Regel hinsichtlich der Siedlungsstruktur keine attraktiven Bedingungen für kurze Wege.

**...eines höheren Modal Splits für den Radverkehr**

Die Korrelation zwischen der Konnektivität des Radverkehrs und dem Modal Split zeigt noch schwächere Zusammenhänge. Die Konnektivität im Radverkehr hat einen R von 0,09 mit dem Modal Split im Radverkehr. Zugleich weist der Indikator für die Aufenthaltsqualität (Umwelt) einen sehr schwachen negativen Zusammenhang von -0,09 mit dem Modal Split für den Radverkehr auf. Es wird angenommen, dass die Gründe für diese Zusammenhänge ähnlich denen im Fall des Fußverkehrs sind.

## Schlussfolgerung

Die vorliegenden Studienergebnisse bieten bisher einzigartige Vergleiche zwischen den 5Ds (Density, Diversity, Design, Destination Accessibility und Distance to Public Transport) und ausgewählten Mobilitätsparametern. Grundsätzlich erwiesen sich die ausgewählten Indikatoren als geeignet für die Darstellung der 5Ds.

Dennoch gestaltet es sich schwierig, die 5Ds umfassend zu erfassen. Insbesondere der Aspekt Design erweist sich aufgrund subjektiver Wahrnehmungen und der Vielzahl potenzieller Parameter als schwer greifbar. Beispielsweise konnten architektonische Ästhetik oder detailliertere Straßenmerkmale, wie Gehwegbreite, aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt werden. Es ist anzumerken, dass die Indikatoren untereinander stark korrelierten, was darauf hindeutet, dass nicht zwingend alle Indikatoren für die Korrelationsanalyse notwendig waren. Die hohe Auflösung der Indikatoren bot einerseits den Vorteil, flexibel auf die Auflösung der MiD-Daten reagieren zu können. Andererseits erwies sich die hohe Auflösung in der Berechnung als teilweise aufwendig.

Obwohl die Indikatoren für die 5Ds mit einer sehr hohen Auflösung berechnet wurden, lagen die MiD-Daten nicht in derselben Auflösung vor. Dies führte dazu, dass die Indikatoren aggregiert werden mussten. Die MiD-Daten wiesen häufig eine geringe Datendichte auf, wobei insbesondere die Region München im Datensatz stark dominierte. Ein weiterer Limitationsfaktor ist die geringe Datendichte in dünn besiedelten und somit stärker autoaffinen Gebieten. Dies könnte ein Grund dafür sein, dass die Korrelationen in einigen Fällen nur gering ausfielen, da Orte mit hoher PKW-Nutzung nur begrenzt im Datensatz vertreten waren.

Die Studie fokussierte sich primär auf die Situation an Wohnstandorten. Lediglich einige qualitative Auswertungen wurden an ausgewählten Arbeitsplatzstandorten durchgeführt (siehe *Weitere Darstellungen*). Zukünftige Forschungsarbeiten sollten diesen Aspekt weiter untersuchen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Hypothesen größtenteils beantwortet werden konnten. Die Korrelationen für "Distance to Public Transport" haben die formulierten Hypothesen am deutlichsten bestätigt. Für die Komponenten Density, Diversity und Destination Accessibility zeigen sich insbesondere moderate Zusammenhänge. Im Gegensatz dazu weisen die Ergebnisse für die Komponente Design keine oder lediglich schwache Zusammenhänge auf. Diese Erkenntnisse könnten als Grundlage für weiterführende Untersuchungen dienen, um das Verständnis der Zusammenhänge zwischen den 5Ds und Mobilitätsparametern weiter zu vertiefen.

## Anhang: Karten- und Tabellenband

Die verschiedenen Visualisierungen, insbesondere in Form von Karten werden gesondert als Bilddateien bereitgestellt. Im Folgenden werden die verschiedenen Karten nummeriert aufgelistet.

### Darstellung 5Ds

Karte 1: 15 Minuten Score AVV  
 Karte 2: 15 Minuten Score MVV  
 Karte 3: 15 Minuten Score RVF  
 Karte 4: 15 Minuten Subscore Freizeit AVV  
 Karte 5: 15 Minuten Subscore Freizeit MVV  
 Karte 6: 15 Minuten Subscore Freizeit RVF  
 Karte 7: Aufenthaltsqualität (Umwelt) AVV  
 Karte 8: Aufenthaltsqualität (Umwelt) MVV  
 Karte 9: Aufenthaltsqualität (Umwelt) RVF  
 Karte 10: Aufenthaltsqualität (Umwelt) Stadt München  
 Karte 11: Konnektivität Fahrrad AVV  
 Karte 12: Konnektivität Fahrrad MVV  
 Karte 13: Konnektivität Fahrrad RVF  
 Karte 14: Konnektivität Fuß AVV  
 Karte 15: Konnektivität Fuß MVV  
 Karte 16: Konnektivität Fuß RVF  
 Karte 17: Potenzialindikator Fahrrad Apotheken AVV  
 Karte 18: Potenzialindikator Fahrrad Apotheken MVV  
 Karte 19: Potenzialindikator Fahrrad Apotheken RVF  
 Karte 20: Potenzialindikator Fahrrad Car Sharing AVV  
 Karte 21: Potenzialindikator Fahrrad Car Sharing MVV  
 Karte 22: Potenzialindikator Fahrrad Car Sharing RVF  
 Karte 23: Potenzialindikator Fahrrad Supermärkte AVV  
 Karte 24: Potenzialindikator Fahrrad Supermärkte MVV  
 Karte 25: Potenzialindikator Fahrrad Supermärkte RVF  
 Karte 26: Potenzialindikator Fuß Apotheken AVV  
 Karte 27: Potenzialindikator Fuß Apotheken MVV  
 Karte 28: Potenzialindikator Fuß Apotheken RVF  
 Karte 29: Potenzialindikator Fuß Car Sharing AVV  
 Karte 30: Potenzialindikator Fuß Car Sharing MVV  
 Karte 31: Potenzialindikator Fuß Car Sharing RVF  
 Karte 32: Potenzialindikator Fuß Supermärkte AVV  
 Karte 33: Potenzialindikator Fuß Supermärkte MVV  
 Karte 34: Potenzialindikator Fuß Supermärkte RVF  
 Karte 35: ÖV Güteklassen Dienstag AVV  
 Karte 36: ÖV Güteklassen Dienstag MVV  
 Karte 37: ÖV Güteklassen Dienstag RVF  
 Karte 38: ÖV Güteklassen Sonntag AVV  
 Karte 39: ÖV Güteklassen Sonntag MVV  
 Karte 40: ÖV Güteklassen Sonntag RVF

### Darstellung Mobilitätsparameter

Karte 41: Anteil Haushalte mit Pkw AVV  
 Karte 42: Anteil Haushalte mit Pkw MVV  
 Karte 43: Anteil Haushalte mit Pkw RVF  
 Karte 44: Anzahl Wege pro Person AVV  
 Karte 45: Anzahl Wege pro Person MVV  
 Karte 46: Anzahl Wege pro Person RVF  
 Karte 47: Modal Split aktive Mobilität AVV  
 Karte 48: Modal Split aktive Mobilität MVV  
 Karte 49: Modal Split aktive Mobilität RVF  
 Karte 50: Modal Split Fahrrad AVV  
 Karte 51: Modal Split Fahrrad MVV  
 Karte 52: Modal Split Fahrrad RVF  
 Karte 53: Modal Split Fuß AVV  
 Karte 54: Modal Split Fuß MVV  
 Karte 55: Modal Split Fuß RVF  
 Karte 56: Modal Split Umweltverbund AVV  
 Karte 57: Modal Split Umweltverbund MVV

*Karte 58: Modal Split Umweltverbund RVF*  
*Karte 59: Modal Split ÖV AVV*  
*Karte 60: Modal Split ÖV MVV*  
*Karte 61: Modal Split ÖV RVF*  
*Karte 62: Pkw Verkehrsleistung AVV*  
*Karte 63: Pkw Verkehrsleistung MVV*  
*Karte 64: Pkw Verkehrsleistung RVF*  
*Karte 65: Reisezeit Arbeit AVV*  
*Karte 66: Reisezeit Arbeit MVV*  
*Karte 67: Reisezeit Arbeit RVF*  
*Karte 68: Reisezeit Freizeit AVV*  
*Karte 69: Reisezeit Freizeit MVV*  
*Karte 70: Reisezeit Freizeit RVF*  
*Karte 71: Reisezeit Nicht-Arbeitsweg MVV*  
*Karte 72: Reisezeit Nicht-Arbeitsweg RVF*  
*Karte 73: Reisezeit Nicht-Arbeitswege AVV*  
*Karte 74: Reisezeit Versorgung AVV*  
*Karte 75: Reisezeit Versorgung MVV*  
*Karte 76: Reisezeit Versorgung RVF*  
*Karte 77: Wegelänge Arbeit AVV*  
*Karte 78: Wegelänge Arbeit MVV*  
*Karte 79: Wegelänge Arbeit RVF*  
*Karte 80: Wegelänge Freizeit AVV*  
*Karte 81: Wegelänge Freizeit MVV*  
*Karte 82: Wegelänge Freizeit RVF*  
*Karte 83: Wegelänge Nicht-Arbeitswege AVV*  
*Karte 84: Wegelänge Nicht-Arbeitswege MVV*  
*Karte 85: Wegelänge Nicht-Arbeitswege RVF*  
*Karte 86: Wegelänge Versorgung AVV*  
*Karte 87: Wegelänge Versorgung MVV*  
*Karte 88: Wegelänge Versorgung RVF*  
*Karte 89: ÖV-Zeitkarten je Haushalt AVV*  
*Karte 90: ÖV-Zeitkarten je Haushalt MVV*  
*Karte 91: ÖV-Zeitkarten je Haushalt RVF*

## Darstellung Statistiken

*Diagramm 1: Kendall Korrelierung Design*  
*Diagramm 2: Lineare Regression Pkw-Verkehrsleistung*  
*Diagramm 3: Logistische Regression aktive Mobilität*  
*Diagramm 4: Pearson Korrelierung 15-Minuten-Score*  
*Diagramm 5: Pearson Korrelierung Density*  
*Diagramm 6: Pearson Korrelierung Design*  
*Diagramm 7: Pearson Korrelierung Destination Accessibility Auswahl*  
*Diagramm 8: Pearson Korrelierung Destination Accessibility*  
*Diagramm 9: Pearson Korrelierung Distance to PT*  
*Diagramm 10: Pearson Korrelierung Diversity*  
*Diagramm 11: Pearson Korrelierung Potenzialindikator Fuß*  
*Diagramm 12: Scatter Density*  
*Diagramm 13: Scatter Design*  
*Diagramm 14: Scatter Destination Accessibility*  
*Diagramm 15: Scatter Distance to PT*  
*Diagramm 16: Scatter Diversity*  
*Diagramm 17: Spearman Korrelierung 15-Minuten-Score*  
*Diagramm 18: Spearman Korrelierung Density*  
*Diagramm 19: Spearman Korrelierung Design*  
*Diagramm 20: Spearman Korrelierung Destination Accessibility Auswahl*  
*Diagramm 21: Spearman Korrelierung Destination Accessibility*  
*Diagramm 22: Spearman Korrelierung Distance to PT*  
*Diagramm 23: Spearman Korrelierung Diversity*  
*Diagramm 24: Spearman Korrelierung Potenzialindikator Fuß*

## Weitere Darstellungen

*Karte 92: Arbeitswege FIZ MVV*



*Karte 93: Arbeitswege Hochschule München MVV*  
*Karte 94: Bevölkerungsdichte je Gitterzelle AVV*  
*Karte 95: Bevölkerungsdichte je Gitterzelle MVV*  
*Karte 96: Bevölkerungsdichte je Gitterzelle RVF*  
*Karte 97: Untersuchungsgebiete ISM Quantitative Analyse*

## **Rohdatensätze**

Die Ergebnisse sind als Rohdatensätze in der Exceltabelle mit dem Titel Ergebnisse\_Rohdaten.xlsx abgespeichert.



## Literaturverzeichnis

- BMDV. 2023. „BMDV - Entwicklung eines digitalen Erreichbarkeitsinstruments für eine ausgeglichene Raum- und Verkehrsplanung - GOAT 3.0“. 2023. <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/goat-3-0.html>.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE. 2022. „ÖV-Güteklassen Berechnungsmethodik ARE“. Grundlagenbericht. <https://www.are.admin.ch/dam/are/de/dokumente/verkehr/oev-gueteklassen-berechnungsmethodikare.pdf.download.pdf/oev-gueteklassen-berechnungsmethodikare.pdf>.
- Cohen, Jacob. 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>.
- Conveyal. 2022. „Conveyal R5 Routing Engine“. Java. Conveyal. <https://github.com/conveyal/r5>.
- GOAT-Community. 2022. „Github-Account GOAT-Community“. GitHub. 2022. <https://github.com/goat-community>.
- Nobis, Claudia, und Tobias Kuhnimhof. 2018. „Mobilität in Deutschland 2017 - Ergebnisbericht“. Ergebnisbericht Mobilität in Deutschland-MiD Ergebnisbericht. MiD. Bonn, Berlin: Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). [www.mobilitaet-in-deutschland.de](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de).
- Pajares, Elias, Benjamin Büttner, Ulrike Jehle, Aaron Nichols, und Gebhard Wulfhorst. 2021. „Accessibility by Proximity: Addressing the Lack of Interactive Accessibility Instruments for Active Mobility“. *Journal of Transport Geography* 93 (Mai): 103080. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2021.103080>.
- Pajares, Elias, Ulrike Jehle, Joelean Hall, Montserrat Miramontes, und Gebhard Wulfhorst. 2022. „Assessment of the Usefulness of the Accessibility Instrument GOAT for the Planning Practice“. *Journal of Urban Mobility* 2 (Dezember): 100033. <https://doi.org/10.1016/j.urbmob.2022.100033>.
- Plan4Better GmbH. 2023a. „Isochronen Berechnung“. Isochronen | Plan4Better. 2023. <https://plan4better.de/docs/alphashape/>.
- . 2023b. „ÖV Güteklassen Berechnung“. ÖV Güteklassen | Plan4Better. 2023. [https://plan4better.de/docs/oev\\_gueteklasse/](https://plan4better.de/docs/oev_gueteklasse/).
- Uber. 2018. „H3: Uber’s Hexagonal Hierarchical Spatial Index“. Uber Blog. 27. Juni 2018. <https://www.uber.com/blog/h3/>.
- Vale, David S, und Mauro Pereira. 2017. „The Influence of the Impedance Function on Gravity-Based Pedestrian Accessibility Measures: A Comparative Analysis“. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science* 44 (4): 740–63. <https://doi.org/10.1177/0265813516641685>.