

Diploma Thesis

Developing and analyzing spatial indicators for the public transport

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Entwicklung und Analyse räumlicher Indikatoren des öffentlichen Verkehrs

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Marin Sučić-Cikić, BSc

Matr.Nr.: 01225157

unter der Anleitung von

Ao.Univ.Prof. Mag. Dr. Günter Emberger

Institut für Verkehrswissenschaften
Forschungsbereich für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik
Technische Universität Wien,
Gußhausstraße 30/231, A-1040 Wien

Wien, im Mai 2019

Marin Sučić-Cikić, BSc

Kurzfassung

Einleitung: Leistungsmessungen und Evaluierungen von ÖV-Systemen sind wesentliche Instrumente der Verkehrsplanung, die zu einem kontinuierlichen Fortschritt von öffentlichen Verkehrssystemen führen. Die Qualität eines ÖV-Systems kann mithilfe verschiedener Indikatoren dargestellt werden und dadurch ein Grundstein für Verbesserungsmaßnahmen gelegt werden.

Ziel: Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollen räumliche Indikatoren gefunden werden, die einerseits einfach bestimmt werden können, andererseits stark mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. mit der ÖV-Zufriedenheit korrelieren. Die Bestimmung der Indikatoren soll ausschließlich auf geographischen Daten eines ÖV-Systems und der Bevölkerungsverteilung basieren.

Methodik: Es werden sieben Indikatoren für acht europäische Großstädte, zum Teil unter Zuhilfenahme einer GIS-Software, berechnet und dem jeweiligen ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der Zufriedenheit mit dem ÖV gegenübergestellt. Danach wird mittels Regressionsanalysen untersucht, wie stark die Indikatoren mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der ÖV-Zufriedenheit zusammenhängen.

Fazit: Das Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass der Indikator „Haltestellen pro 1.000 Einwohner“ mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits sehr stark korreliert. Die Indikatoren „Durchschnittlicher Haltestellenabstand“, „ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis“ und „ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis“ weisen einen mittleren Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der ÖV-Zufriedenheit auf. Diese Indikatoren lassen sich sehr einfach mithilfe einer Verhältnisrechnung bestimmen. Die komplexeren Indikatoren, welche die räumliche Haltestellenverteilung und die Bevölkerungsverteilung miteinbeziehen, weisen unerwartet schwächere Zusammenhänge auf.

Abstract

Introduction: Performance measurements and evaluations of public transport systems are essential tools of transport planning, which lead to a continuous progress of public transport systems. The quality of a public transport system can be illustrated by various indicators, therefore, lay the foundation for improvement measures.

Purpose: The aim of this diploma thesis is to find spatial indicators, which on the one hand can be determined easily, and, on the other hand, correlate strongly with the public transport share in the modal split or with the satisfaction regarding public transport. The determination of the indicators should be based exclusively on geographical data of a public transport system and the distribution of the population.

Methods: Seven indicators for eight major European cities are calculated, partly with the aid of a GIS-software, and compared to the respective public transport share of the modal split and the satisfaction with the public transport. Afterwards regression analyzes are used to investigate how strongly the indicators relate to the public transport share in the modal split or to the satisfaction with public transport.

Conclusions: The result of this study is that the indicator "stops per 1.000 inhabitants" strongly correlates with the public transport share in the modal split. The indicators "average stop distance", "public transport network - road network ratio" and "public transport network - area ratio" show a medium correlation with the public transport share in the modal split and the satisfaction with the public transport. These indicators can be easily determined with a ratio calculation. The more complex indicators, which include the spatial stop distribution and the population distribution, show unexpected weaker correlations.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
1. Einleitung.....	1
2. Forschungsfrage und Hypothese.....	3
3. Ein nachhaltiges Verkehrssystem.....	5
4. Messung und Bewertung des ÖV	7
4.1 Angebotsqualität des ÖV aus Fahrgastsicht	8
4.1.1 Serviceverfügbarkeit	9
4.1.2 Servicezuverlässigkeit.....	10
4.1.3 Komfort	11
4.1.4 Sauberkeit.....	11
4.1.5 Sicherheit.....	11
4.1.6 Preis.....	12
4.1.7 Information.....	12
4.1.8 Kundendienst	12
4.2 Indikatoren der Serviceverfügbarkeit.....	13
4.2.1 Durchschnittlicher Haltestellenabstand.....	13
4.2.2 Haltestellen pro km ²	14
4.2.3 Haltestellen pro 1.000 Einwohner	14
4.2.4 ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis.....	15
4.2.5 ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis	15
4.2.6 Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer	16
4.2.7 Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer.....	16

4.2.8	ÖV-Güteklassen	17
4.2.9	Public Transport Accessibility Index (PTAI):	18
5.	Datengrundlagen.....	21
5.1	Zahlen und Fakten	21
5.2	GIS-Daten.....	22
6.	Methodik.....	23
7.	Auswahl der Städte	32
8.	Berechnung und Analyse der Indikatoren.....	43
8.1	Indikator 1: Durchschnittlicher Haltestellenabstand	43
8.2	Indikator 2: Haltestellen pro km ²	55
8.3	Indikator 3: Haltestellen pro 1.000 Einwohner	60
8.4	Indikator 4: ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis	64
8.5	Indikator 5: ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis.....	74
8.6	Indikator 6: Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer	79
8.7	Indikator 7: Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer	88
8.8	Herausforderungen	98
8.8.1	Stadtgrenzenproblematik.....	98
8.8.2	Bevölkerungsdatenproblematik.....	101
9.	Fazit und Diskussion	103
10.	Literaturverzeichnis.....	107
11.	Abbildungsverzeichnis.....	113
12.	Tabellenverzeichnis.....	117

Lesehinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit werden innerhalb der Diplomarbeit männliche Substantive stellvertretend für männliche und weibliche Personen eingesetzt. Die Leserinnen und Leser werden dafür um Verständnis gebeten.

1. Einleitung

Die Nachfrage nach Personen- und Güterverkehr steigt in Städten stetig an. Dies führt zu Verkehrsüberlastungen und in weiterer Folge zu Verkehrsunfällen. Darüber hinaus führt der Anstieg des Verkehrsaufkommens zu erheblichen Umweltverschmutzungen und schränkt die allgemeine Erreichbarkeit stark ein. Die Verkehrsüberlastung und die negativen Umweltauswirkungen stellen die Verantwortlichen der Verkehrsplanung vor große Herausforderungen. Ein grundlegendes Umdenken im Bereich der städtischen Mobilität ist erforderlich, um nachhaltige Lösungen für diese Probleme zu finden. Es müssen städtische Verkehrssysteme geschaffen werden, die für den Bürger leicht erreichbar, zuverlässig und sicher sind. Einerseits muss also das individuelle Bedürfnis nach Mobilität befriedigt werden, andererseits müssen die umwelt- und gesundheitsschädlichen Auswirkungen des Verkehrs minimiert werden. Das alles erfordert eine vorausschauende Verkehrspolitik, die sich mit innovativen Maßnahmen den umweltpolitischen und gesellschaftlichen Herausforderungen stellt.

Die Entstehung eines qualitativ hochwertigen Verkehrssystems ist ein langwieriger Optimierungsprozess. Es wird durch verschiedenste Maßnahmen versucht, den ÖV attraktiver zu gestalten und stetig zu verbessern. Der Erfolg und die Wirkung dieser Maßnahmen werden anschließend mithilfe von Evaluierungen und Messungen bewertet. Eine ganzheitliche Messung und Bewertung der ÖV-Qualität ist aufgrund der Komplexität des ÖV-Systems jedoch schwer möglich.

In dieser Arbeit werden die Möglichkeiten zur Messung und Bewertung der ÖV-Qualität aufgezeigt. Darüber hinaus wird analysiert, welche Messmethoden bzw. Indikatoren eine hohe Aussagekraft über die Qualität eines ÖV-Systems aufweisen. Hierbei werden beispielsweise folgende Fragen geklärt:

- Wie kann die Qualität des ÖV verschiedener Städte verglichen werden?
- Wie stark wirkt sich der durchschnittliche Haltestellenabstand einer Stadt auf die Nutzung des öffentlichen Verkehrs aus?
- Wie wirkt sich die Bevölkerungsdichte um die Haltestellen auf den Modal Split aus?

Im Rahmen dieser Untersuchungen sollen aussagekräftige Indikatoren gefunden werden, welche einen starken Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits aufweisen. Diese Indikatoren können Verkehrsplaner in Zukunft unterstützen, ein wirksames ÖV-System aufzustellen und den Modal Split so zu steuern, dass der erwünschte ÖV-Anteil erreicht wird.

Im folgenden Kapitel werden die Ziele dieser Arbeit erläutert. Zudem werden Forschungsfragen ausgearbeitet und die Hypothesen aufgestellt.

Im Anschluss daran, soll die Wichtigkeit eines nachhaltigen und wirksamen Verkehrssystems deutlich gemacht werden und wie dieses durch die Anwendung effektiver Indikatoren gewährleistet werden kann. Danach wird geklärt, welche Methoden es zur Messung des ÖV gibt und welche Aspekte dabei berücksichtigt werden.

Abschließend werden ausgewählte Indikatoren berechnet und auf Zusammenhänge mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits sowie der ÖV-Zufriedenheit überprüft.

2. Forschungsfrage und Hypothese

Es gibt zahlreiche Studien, die sich damit beschäftigen, verschiedene Indikatoren des öffentlichen Verkehrs zu definieren und zu beschreiben.¹ Ziel dabei ist es immer, die Qualität des ÖV so realitätsnah wie möglich mit einem Indikator darzustellen. Aufgrund der hohen Komplexität des Verkehrssystems, werden oft aufwendige Berechnungen und komplizierte Methoden angewendet, um dieses Ziel zu erreichen. Bei anderen Studien hingegen, werden Indikatoren definiert, welche relativ einfach zu berechnen sind, dafür jedoch viele Faktoren nicht berücksichtigen und somit die Qualität des öffentlichen Verkehrssystems stark vereinfacht beschreiben.²

Hier stellt sich nun die Frage, wie aussagekräftig diese Indikatoren nun tatsächlich sind. Gibt es eventuell Indikatoren, welche einfach zu berechnen sind und trotzdem die Qualität des ÖV ausreichend genau messen? In dieser Arbeit werden sieben Indikatoren untersucht, mit dem Ziel, die so eben gestellte Frage zu beantworten. Die Aussagekraft der Indikatoren bezüglich der Qualität eines ÖV-Systems wird hierbei über zwei Ansätze analysiert:

- Ein Indikator wird für zehn Städte berechnet und dem ÖV-Anteil des Modal Splits der jeweiligen Stadt gegenübergestellt. Daraus folgen zehn Wertepaare, deren Zusammenhang mithilfe einer Regressionsanalyse berechnet wird.
- Ein Indikator wird für zehn Städte berechnet und dem Bevölkerungsanteil, der laut Umfragen zufrieden mit dem ÖV seiner Stadt ist, gegenübergestellt. Daraus folgen erneut zehn Wertepaare, deren Zusammenhang mithilfe einer Regressionsanalyse berechnet wird.

Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- 1) Gibt es Indikatoren, die einerseits einfach zu berechnen sind und andererseits mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits stark zusammenhängen?
- 2) Gibt es Indikatoren, die einerseits einfach zu berechnen sind und andererseits mit dem Bevölkerungsanteil, der laut Umfragen zufrieden mit dem ÖV seiner Stadt ist, stark zusammenhängen?

¹ (vgl. Saghapour, Moridpour, & Thompson, 2016; Aberegg & Tschopp, 2010)

² (vgl. Domenech & Gutierrez, 2017; Pinto)

Um die oben angeführten Forschungsfragen zu beantworten, werden verschiedene Indikatoren untersucht, welche nach eigener Einschätzung die ÖV-Qualität beeinflussen und sich somit auf die Verkehrsmittelwahl und die Zufriedenheit mit dem ÖV auswirken. Die Berechnung dieser Indikatoren soll so einfach als möglich sein. Dementsprechend werden zuerst Indikatoren untersucht, welche ausschließlich auf statistischen Kennzahlen basieren, wie beispielsweise der Indikator „durchschnittlicher Haltestellenabstand“. Anschließend werden Indikatoren analysiert, welche über ein GIS-gestütztes Modell die Servicequalität des ÖV darstellen. Dieses Modell basiert lediglich auf geographischen Daten, nämlich der Haltestellenverteilung und der Bevölkerungsverteilung.

Demzufolge lassen sich folgende Hypothesen aufstellen:

H₁: Es besteht ein starker Zusammenhang zwischen den untersuchten Indikatoren, welche ausschließlich auf statistischen Kennzahlen bzw. geographischen Daten basieren, und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.

H₂: Es besteht ein starker Zusammenhang zwischen den untersuchten Indikatoren, welche ausschließlich auf statistischen Kennzahlen bzw. geographischen Daten basieren, und der Zufriedenheit mit dem ÖV.

Folgende Indikatoren werden in dieser Arbeit untersucht und auf die oben beschriebenen Zusammenhänge geprüft:

- **Indikator 1:** Durchschnittlicher Haltestellenabstand
- **Indikator 2:** Haltestellen pro km²
- **Indikator 3:** Haltestellen pro 1.000 Einwohner
- **Indikator 4:** ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis
- **Indikator 5:** ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis
- **Indikator 6:** Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer
- **Indikator 7:** Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer

3. Ein nachhaltiges Verkehrssystem

Die Verfolgung von integrierten und nachhaltigen Ansätzen ist für eine gute Verkehrsplanung essentiell. Aufbauend darauf kann eine optimale Auslastung sämtlicher Verkehrsträger im lokalen Verkehrsnetz erreicht werden. Es reicht nicht aus, die Verkehrsinfrastruktur schlicht zu erweitern und Straßen auszubauen. Kurzfristig wäre damit das Problem der Verkehrsüberlastung eventuell gelöst. Langfristig würden jedoch die neuen Straßen immer mehr Menschen zum Autofahren anregen und infolgedessen wieder eine Überlastung des Systems verursachen.

CST³ definiert ein nachhaltiges Verkehrssystem als ein System, welches folgende Punkte erfüllt:⁴

- Das Verkehrssystem erfüllt die grundlegenden Zugangsbedürfnisse von Einzelpersonen und Gesellschaften, im Einklang mit der Gesundheit von Mensch und Ökosystem und mit Gerechtigkeit innerhalb und zwischen Generationen.
- Das Verkehrssystem ist leistbar und effizient, bietet eine Wahl zwischen verschiedenen Verkehrsarten und unterstützt eine dynamische Wirtschaft.
- Emissionen und Abfälle werden auf die Aufnahmefähigkeit des Planeten begrenzt, der Verbrauch von nicht erneuerbaren Ressourcen minimiert und jener der erneuerbaren Ressourcen auf einem nachhaltigen Ertragsniveau gehalten. Komponenten des Verkehrssystems werden wiederverwendet und recycelt, und die Nutzung von Land sowie die Produktion von Lärm minimiert.

Viel zu oft erfüllt nur der Verkehrsträger PKW die Bedürfnisse des Nutzers an ein zuverlässiges, sicheres und leicht erreichbares Verkehrssystem. Die Herausforderung besteht darin, Alternativen zur individuellen PKW-Nutzung zu entwickeln, um eine echte Wahl zwischen Verkehrsträgern zu bieten. Bei der Entwicklung dieser Alternativen sollte der Verkehrsnutzer im Mittelpunkt stehen und selbst entscheiden können, auf welche Art und Weise er seinen Weg zurücklegt. Diese Strategie soll sämtliche Verkehrsteilnehmer, vom Fußgeher bis zum Autofahrer, anregen, sich verantwortungsvoller und gewissenhafter

³ CST = The Centre for Sustainable Transportation

⁴ (vgl. The Centre for Sustainable Transportation, 2002, S. 1)

fortzubewegen. Aufbauend auf dieser individuellen Entscheidungskraft, kann die Nachhaltigkeit und Effizienz städtischer Verkehrssysteme erhöht werden.⁵

Der öffentliche Verkehr ist hinsichtlich des Platzverbrauchs pro Person in Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte der effizienteste Verkehrsträger. Laut IRU⁶ kann ein Bus so viele Fahrgäste befördern, wie etwa 30 PKWs. Er benötigt jedoch nur so viel Platz, wie etwa drei PKWs.⁷ Somit ist klar, dass fahrgastfreundliche und kostengünstige Lösungen für den ÖV gefunden werden müssen, um die Abhängigkeit vom Verkehrsträger PKW zu verringern.

Damit der ÖV eine echte Alternative zum PKW wird, muss er zumindest eine gleich gute Erreichbarkeit aufweisen, gut im städtischen Verkehrsnetz integriert, sicher und zuverlässig sein. Dadurch sollen die Verkehrsnutzer motiviert werden, den ÖV vermehrt zu nutzen. Im Dienste des öffentlichen Interesses soll ein attraktiver und hochwertiger öffentlicher Personenverkehr entstehen.

Laufende Evaluierungen und Messungen sind erforderlich, um eine entsprechende Qualität des ÖV zu erreichen und aufrechtzuerhalten. Welche Methoden es zur Messung des ÖV gibt und wie diese angewendet werden, wird im nächsten Kapitel näher erläutert.

⁵ (vgl. Transport Research and Innovation Portal, 2013, S. 3)

⁶ IRU = International Road Transport Union

⁷ (vgl. International Road Transport Union, 2009, S. 9)

4. Messung und Bewertung des ÖV

Leistungsmessungen und Evaluierungen sind wichtige Instrumente der Verkehrsplanung, da dadurch eine kontinuierliche Verbesserung des öffentlichen Verkehrsdienstes gewährleistet wird. Je nach Standpunkt sind unterschiedliche Aspekte bei der Leistungsmessung in Betracht zu ziehen. Aus der Sicht des Fahrgastes werden Aspekte, wie zum Beispiel das Serviceangebot, der Komfort oder der Preis, eine wichtige Rolle spielen. Für das Verkehrsunternehmen sind die Effizienz oder die Auslastung des Liniennetzes sehr wichtig. Vom Standpunkt der Gesellschaft aus gesehen, spielen Faktoren, wie zum Beispiel die Auswirkung des ÖV auf die Umwelt oder auf die Wirtschaft, eine wichtige Rolle.⁸

Zahlreiche Forscher sehen den Standpunkt des Fahrgastes als wichtigsten, so hat zum Beispiel Berry et al. (1990) geschrieben: „customers are the sole judge of service quality“⁹, was so viel bedeutet wie: „der Kunde allein bewertet die Servicequalität/Angebotsqualität.“

Die Qualität des Angebots des ÖV kann zum einen anhand subjektiver Messgrößen bewertet werden, die auf den Wahrnehmungen der Fahrgäste basieren. Zum anderen kann sie anhand objektiver Messgrößen bewertet werden, die auf Leistungskennzahlen basieren und numerisch ausgedrückt werden.¹⁰

Die subjektive Bewertung erfolgt meist mittels einer Befragung der Bevölkerung einer Stadt über ihre Zufriedenheit mit der Qualität des ÖV-Angebotes. Der größte Nachteil dieser Messmethode ist die Subjektivität der Fahrgäste, sowie die Miteinbeziehung der Wahrnehmung der Personen, die den ÖV nicht nutzen. Der Nachteil der objektiven Bewertung ist, dass zunächst keine Aussage getroffen werden kann, ob das Ergebnis „gut“ oder „schlecht“ ist. Erst durch Hinzunahme von Standardwerten oder Vergleichswerten der Vergangenheit ist eine Bewertung der Ergebnisse möglich.¹¹

Um nützlichere und zuverlässigere Messungen zur Qualität des ÖV zu erhalten, richten sich aktuelle Forschungen immer stärker darauf, sowohl die subjektive als auch die objektive Bewertung in Betracht zu ziehen.¹²

⁸ (vgl. Eboli & Mazzulla, S. 2)

⁹ (Berry, Zeithaml, & Parasuraman, 1990, S. 29)

¹⁰ (vgl. Eboli & Mazzulla, S. 1)

¹¹ (vgl. Eboli & Mazzulla, S. 4 f.)

¹² (vgl. Nathanail, 2008, S. 48-66)

Grundsätzlich gibt es drei Formate für objektive Bewertungen¹³:

- Verhältnis
- Level-of-Service
- Index

Die erste Möglichkeit ist, das Ergebnis als Verhältnis darzustellen, indem eine individuelle Messgröße durch eine andere geteilt wird. Hierbei wird ein Vergleichswert benötigt, um das Ergebnis interpretieren zu können.

Beim Level-of-Service (LoS) werden die Leistungsindikatoren auf einer Ordinalskala gemessen, beispielsweise mit Werten von „A“ (sehr gute Qualität) bis „F“ (sehr niedrige Qualität). Somit ist bei diesem Format eine sofortige Aussage über die Qualität möglich, da hier eine integrierte Bewertung der Indikatoren stattfindet.

Die dritte Bewertungsmöglichkeit ist das Index-Format. Der Index führt mehrere Leistungsindikatoren in eine Formel zusammen, um einen einzelnen Ausgabewert, beispielsweise für die Bewertung der Qualität des ÖV, zu erhalten. Es ist, sowie bei der Verhältnismethode, ein Vergleichswert notwendig, um die Ergebnisse bewerten zu können.

4.1 Angebotsqualität des ÖV aus Fahrgastsicht¹⁴

Die Angebotsqualität des öffentlichen Verkehrsdienstes aus der Sicht des Fahrgastes kann unter verschiedenen Aspekten betrachtet und gemessen werden. Einige beschreiben die Qualität eher sachlich (z.B. Serviceverfügbarkeit) und sind leicht zu messen, andere hängen stark von subjektiven Einschätzungen ab und sind somit schwerer messbar (z.B. Komfort). In erster Linie wird die Angebotsqualität von folgenden Aspekten charakterisiert:

- Serviceverfügbarkeit
- Servicezuverlässigkeit
- Komfort
- Sauberkeit
- Sicherheit
- Preis

¹³ (vgl. Eboli & Mazzulla, S. 6 f.)

¹⁴ (vgl. Eboli & Mazzulla, S. 8-15)

- Information
- Kundendienst

Im Folgenden werden diese Aspekte näher beschrieben.

4.1.1 Serviceverfügbarkeit

Die Serviceverfügbarkeit des ÖV lässt sich weiter unterteilen in Haltestellenverteilung, Bedienungshäufigkeit, Verkehrsmittelart und Betriebsdauer.

Haltestellenverteilung

Eine gut überlegte und effiziente Haltestellenverteilung führt zu höherer Erreichbarkeit des öffentlichen Verkehrs und somit zu einer Steigerung der Qualität des Systems. Die Dichte des Haltestellennetzwerks sollte so hoch sein, dass der Großteil der Bevölkerung einer Stadt innerhalb einer fußläufigen Distanz eine Haltestelle erreichen kann. Für eine fußläufige Distanz gibt es keine einheitliche Definition, so werden zum Beispiel in Helsinki¹⁵ 300m, in Sydney¹⁶ 400m und in Perth¹⁷ 500m herangezogen. Für Bahnstationen werden größere Distanzen gewählt. In Sydney¹⁸ beträgt sie beispielsweise 800m. Die Entfernung, die eine Person zu einer Haltestelle zurücklegen muss, spielt eine wichtige Rolle bei der Wahl des Verkehrsmittels. Bei relativ großen Entfernungen zu Haltestellen wird meist die bequemere Variante gewählt, nämlich der PKW, welcher oft unmittelbar vor der Haustür steht.

Bedienungshäufigkeit

Jede Person, die schon einmal lange auf einen Bus gewartet hat, wird verstehen, dass die Häufigkeit, mit der eine Haltestelle bedient wird, ein sehr wichtiger Faktor ist. Fährt ein Bus alle fünf Minuten, werden die meisten Menschen nicht darauf achten einen Bus zu einem bestimmten Zeitpunkt zu nehmen, sondern fahren einfach mit dem nächstbesten.¹⁹ Eine hohe Taktfrequenz führt also zu hoher Bequemlichkeit und Flexibilität auf dem Verkehrsweg von Fahrgästen.

Manche Haltestellen werden nur einmal innerhalb einer Stunde befahren und andere haben eine Taktfrequenz von einer Minute. In der Regel gilt, je höher die Taktfrequenz ist, umso

¹⁵ (HKL, 2008)

¹⁶ (Transport for NSW, 2013, S. 19)

¹⁷ (Public Transport Authority, 2003)

¹⁸ (Transport for NSW, 2013, S. 19)

¹⁹ (vgl. Poelman & Dijkstra, 2015, S. 3)

geringer ist die durchschnittliche Wartezeit. Das spiegelt sich natürlich in der Qualität der Haltestelle wider und in weiterer Folge auch in der Qualität des öffentlichen Verkehrsnetzes.

Art des Verkehrsmittels (Reisegeschwindigkeit)

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Art des Verkehrsmittels. Es macht einen erheblichen Unterschied, ob in der näheren Umgebung eine Anbindung beispielsweise an einen Bus oder an eine U-Bahn besteht. Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit eines Busses beträgt etwa 20 km/h, während die U-Bahn im Durchschnitt mit etwa 30 km/h unterwegs ist. Des Weiteren kann es bei Busfahrten, vor allem in der Früh und am späten Nachmittag, aufgrund der Verkehrslage zu Verzögerungen kommen.

Betriebsdauer

Die Betriebsdauer ist die Anzahl der Stunden, die ein ÖV-System an einem Tag betrieben wird. Diese hängt von einigen Faktoren ab. So kann sie je nach Wochentag oder ÖV-Linie variieren. Die Schul- bzw. Ferienzeit kann ebenfalls einen Einfluss auf die Betriebsdauer eines ÖV-Systems haben. Die Länge der Betriebsdauer bestimmt, über welchen Zeitraum eine Nutzung des öffentlichen Verkehrs überhaupt möglich ist.

4.1.2 Servicezuverlässigkeit

Die Servicezuverlässigkeit gilt als einer der wichtigsten Aspekte für Fahrgäste. Turnquist und Blume (1980) definieren die Servicezuverlässigkeit als „die Fähigkeit des ÖV-Systems, den Zeitplan einzuhalten und die geplanten Routen mit einer konstanten Reisedauer zu befahren“.²⁰ Unter Servicezuverlässigkeit werden also die Pünktlichkeit, die Einhaltung einer Route und eine konstante Reisedauer auf einer Route verstanden. Ein unzuverlässiger Verkehrsdienst führt zu erhöhten Fahrzeiten für die Passagiere, sowie zu erhöhten Wartezeiten für die wartenden Fahrgäste. Diese Systemunzuverlässigkeit kann zu einem Verlust von Kunden führen, während ein sehr zuverlässiges System zu einer Kundengewinnung beitragen kann.

²⁰ (Turnquist & Blume, 1980, S. 25-29)

4.1.3 Komfort

Komfort ist für Fahrgäste ebenfalls sehr wichtig, sowohl während der Fahrt mit einem öffentlichen Verkehrsmittel, als auch an Haltestellen während der Wartezeit. Komfort im Verkehrsmittel bedeutet, bequeme und saubere Sitzgelegenheiten, eine angenehme Temperatur, nicht zu viele Menschen, eine flüssige Fahrt, einen geringen Lärmpegel, geringe Erschütterungen und keine unangenehmen Gerüche im Fahrzeug zu haben. Komfort an den Haltestellen kann durch das Ausstattungsniveau beeinflusst werden. Je besser die Ausstattung einer Haltestelle, umso höher ist der Komfort. Zur Ausstattung gehören beispielsweise eine Überdachung, Sitzgelegenheiten, Abfallbehälter, ein Ticketautomat und eine angemessene Beleuchtung.

4.1.4 Sauberkeit

Dieser Aspekt bezieht sich auf die Sauberkeit der Fahrzeuge. Einerseits auf die Sauberkeit des Innenraums und der Einrichtung, wie zum Beispiel der Fenster oder der Sitzgelegenheiten, andererseits auf das äußere Erscheinungsbild der Fahrzeuge. Es wird bewertet, wie sauber die Fahrzeuge an der Außenseite sind, aber auch, ob sie beispielsweise frei von Graffiti oder Ähnlichem sind. Bei einer Analyse kann auch die Sauberkeit der Haltestellen untersucht werden.

Saubere öffentliche Verkehrsmittel können ein gutes Image fördern und dazu beitragen, Kunden zu gewinnen und zu binden.

4.1.5 Sicherheit

Im ÖV gibt es zwei Arten von Sicherheit. Eine Art von Sicherheit bezieht sich auf die Möglichkeit, in einem Verkehrsunfall verwickelt zu werden, und die andere, Opfer einer kriminellen Tat zu werden.

Wenn es zur Entscheidung kommt, welches Verkehrsmittel gewählt werden soll, spielt der Faktor Sicherheit in den Köpfen der meisten Menschen eine eher untergeordnete Rolle, da die Wahrscheinlichkeit eher gering ist, in einem Verkehrsunfall verwickelt oder Opfer einer kriminellen Tat zu werden.

4.1.6 Preis

Der Aspekt des Preises umfasst zum Beispiel die Kosten für eine einfache Fahrt mit einem Bus. Des Weiteren umfasst er die Verfügbarkeit von ermäßigten Fahrpreisen für bestimmte Bevölkerungsgruppen, wie zum Beispiel Studenten oder Senioren, aber auch die Verfügbarkeit von Mengenrabatten, wie beispielsweise Monatskarten oder Wochenkarten.

Es gibt zahlreiche Recherchen, die die These stützen, dass der Preis das Verhalten der Menschen bei der Wahl des Verkehrsmittels beeinflusst. Allerdings gibt es auch eine große Zahl an Studien, die belegen, dass die monetären Reisekosten kein ausschlaggebender Faktor bei der Wahl des Verkehrsmittels sind. Wallin und Wright (1974) schlussfolgerten beispielsweise, dass „Kosten bei der Wahl des Verkehrsträgers keine wesentliche Rolle spielen“.²¹

4.1.7 Information

Ein weiterer Aspekt der Serviceverfügbarkeit ist die Information, die den Fahrgästen geboten wird, um eine Fahrt gut planen und durchführen zu können. Fahrgäste sollen darüber informiert werden, wie sie zu einer Haltestelle gelangen, wie sie ein Fahrticket bekommen und welche Linien bei einer Haltestelle verkehren. Des Weiteren soll Auskunft über An- und Abfahrtszeiten sowie Umstiegs- und Ausstiegsmöglichkeiten gegeben werden. Ohne diese Informationen werden potentielle Fahrgäste nicht in der Lage sein, den öffentlichen Verkehr zu nutzen. Idealerweise sollten die Fahrgastinformationen auf jeder Etappe einer Fahrt für den Passagier zugänglich sein. Informationen vor der Abfahrt ermöglichen es dem Kunden seine Route und alle dafür notwendigen Verbindungen zu planen. Während der Fahrt soll der Fahrgast zu jeder Zeit sehen können mit welcher Linie er unterwegs ist und welche Umstiegs- und Ausstiegsmöglichkeiten er hat, um bedenkenlos an sein Ziel zu gelangen. Diese Informationen unterstützen den Fahrgast an jedem Punkt seiner Reise, und geben ihm somit Sicherheit, auf dem richtigen Weg zu sein.

4.1.8 Kundendienst

Der Kundendienst ist für eine angenehme und kundenfreundliche Fahrt verantwortlich. Dazu zählen zum Beispiel Höflichkeit und Hilfsbereitschaft des Fahrpersonals und der

²¹ (Wallin & Wright, 1974, S. 288)

Ticketverkäufer. Darüber hinaus soll der Ticketverkauf unkompliziert und leicht verständlich abgewickelt werden. Ein übersichtliches Tarifsysteem trägt ebenfalls zu einem guten Kundendienst bei.

Jeder einzelne beschriebene Aspekt, ob Kundendienst, Sicherheit oder Servicezuverlässigkeit, ist einer weiteren Untersuchung wert und wichtig für die Angebotsqualität eines öffentlichen Verkehrssystems. Diese Arbeit beschränkt sich jedoch auf den Aspekt der Serviceverfügbarkeit und beschäftigt sich ausschließlich mit Indikatoren hinsichtlich der Haltestellenverteilung, der Bedienungshäufigkeit und der Verkehrsmittelart.

4.2 Indikatoren der Serviceverfügbarkeit

Joumard und Gudmundsson (2010) definieren einen Indikator als eine Variable, die auf Messungen basiert und das untersuchte Phänomen so präzise wie möglich darstellt.²² Im deutschsprachigen Duden wird der Begriff Indikator als ein Merkmal definiert, welches als Anzeichen für eine bestimmte Entwicklung, einen eingetretenen Zustand oder Ähnlichem dient.²³

Indikatoren der Serviceverfügbarkeit können verschiedene Aspekte enthalten. Sie können sowohl einfach berechnet werden und wenige Eigenschaften des öffentlichen Verkehrs beschreiben, als auch eine Vielzahl von Merkmalen einschließen und eine umfangreiche Berechnung erfordern.

Im Folgenden werden einige Indikatoren genauer erläutert und deren Berechnung beschrieben. Außerdem wird aufgezeigt, welche Vor- und Nachteile die einzelnen Indikatoren bieten und welche Aspekte in der Berechnung berücksichtigt werden.

4.2.1 Durchschnittlicher Haltestellenabstand

Dieser Indikator beschreibt das Verhältnis zwischen der ÖV-Systemlänge in km und der Haltestellenanzahl desselben Verkehrssystems. Hierbei kann das System eine einzelne Verkehrslinie, das Netz einer Verkehrsmittelart oder das gesamte öffentliche Verkehrsnetz einer Stadt darstellen.

²² (vgl. Joumard & Gudmundsson, 2010, S. 28)

²³ ("Indikator" auf Duden online, 2018)

$$\text{Durchschn. Haltestellenabstand [km]} = \frac{\text{Verkehrssystemlänge [km]}}{\text{Haltestellenanzahl im Verkehrssystem}} \quad (1)$$

Vorteil dieses Indikators ist die einfache und schnelle Berechnung. Ein Nachteil ist, dass der Indikator eindimensional ist und somit keine Information über die räumliche Verteilung der Haltestellen beinhaltet. So kann ein Verkehrsnetz, beispielsweise durch eine hohe Anzahl an Haltestellen, einen sehr geringen durchschnittlichen Haltestellenabstand erreichen, aber durch ungünstige Linienführung und Haltestellenpositionierung, trotzdem schlechte Erreichbarkeiten aufweisen. Somit ist eine Aussage über die Erreichbarkeit der Haltestellen und in weiterer Folge über die Angebotsqualität des ÖV-Netzes voraussichtlich nur schwer möglich.

4.2.2 Haltestellen pro km²

Dieser Indikator gibt an, wie viele Haltestellen es in einer Stadt im Durchschnitt pro km² gibt.

$$\text{Haltestellendichte}_{\text{Fläche}} [\text{HS}/\text{km}^2] = \frac{\text{Haltestellenanzahl}}{\text{Fläche der Stadt [km}^2\text{]}} \quad (2)$$

Auch hier ist eine schnelle und einfache Berechnung des Indikators möglich, jedoch wird wie beim ersten Indikator die Verteilung und Positionierung der Haltestellen außer Acht gelassen.

4.2.3 Haltestellen pro 1.000 Einwohner²⁴

Ähnlich zum vorherigen Indikator wird auch hier eine Haltestellendichte berechnet, mit dem Unterschied, dass hierbei Bezug auf die Einwohnerzahl genommen wird.

$$\text{Haltestellendichte}_{\text{Einwohner}} = \frac{\text{Haltestellenanzahl}}{\text{Einwohnerzahl}} * 1000 \quad (3)$$

Die einfache Berechnung des Indikators ist auch hier als Vorteil zu nennen. Der Indikator gibt zwar einen schnellen Eindruck über das Verhältnis von Haltestellenanzahl zu Einwohnerzahl, betrachtet aber, ebenso wie die vorherigen Indikatoren, nicht deren räumliche Verteilung.

Nehmen wir als Beispiel zwei Städte mit gleicher Einwohnerzahl und gleicher Anzahl an Haltestellen. Je nach Verteilung und Positionierung der Haltestellen, können

²⁴ (vgl. Domenech & Gutierrez, 2017, S. 5)

unterschiedliche Erreichbarkeiten aufgewiesen werden. Sind die Haltestellen eher in dicht besiedelten Gebieten positioniert, ist die Erreichbarkeit des öffentlichen Verkehrs deutlich höher, als wenn die Haltestellen in Gebieten mit geringer Bevölkerungsdichte aufgestellt wären.²⁵

Dieser Vergleich macht deutlich, warum bei einer Gegenüberstellung von Städten bezüglich Erreichbarkeit des ÖV, die Bevölkerungsverteilung sowie die räumliche Haltestellenverteilung in die Analyse miteinbezogen werden sollte.

4.2.4 ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis²⁶

Dieser Indikator beschreibt das Verhältnis zwischen der gesamten ÖV-Netzlänge und der Straßennetzlänge einer Stadt.

$$\text{ÖV} - \text{Netz} - \text{Straßennetz} - \text{Verhältnis}[-] = \frac{\text{ÖV} - \text{Netzlänge} [km]}{\text{Straßennetzlänge} [km]} \quad (4)$$

Hierbei muss beachtet werden, dass es sich nicht um einen Ausnutzungsgrad des Straßennetzes handelt. Es fließen auch die schienengebundenen Verkehrsmittel in die Berechnung der ÖV-Netzlänge mit ein, welche auch abseits des Straßennetzes verkehren (U-Bahn, S-Bahn, teilweise Straßenbahn). Bei einem ÖV-Netz mit sehr großer Systemlänge kann diese Verhältniszahl auch größer als eins werden.

4.2.5 ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis²⁷

Bei diesem Indikator wird die ÖV-Netzlänge mit der Fläche der Stadt verglichen. Der Indikator gibt an, wieviel Kilometer des öffentlichen Verkehrsnetzes sich im Durchschnitt auf einem km² der jeweiligen Stadt befinden.

$$\text{ÖV} - \text{Netz} - \text{Fläche} - \text{Verhältnis} [km/km^2] = \frac{\text{ÖV} - \text{Netzlänge} [km]}{\text{Fläche der Stadt} [km^2]} \quad (5)$$

Dieser einfach zu berechnende Indikator verschafft einen schnellen Eindruck über die Ausdehnung des ÖV-Netzes einer Stadt. Hierbei werden lediglich zwei Kennzahlen in

²⁵ (vgl. Poelman & Dijkstra, 2015, S. 2)

²⁶ (vgl. Pinto, S. 5)

²⁷ (vgl. Pinto, S. 5)

Relation gesetzt und abermals die räumliche Verteilung der Haltestellen außer Acht gelassen.

4.2.6 Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer

Dieser Indikator beschreibt den Flächenanteil einer Stadt, welcher sich innerhalb der Haltestellenpuffer einer bestimmten Größe befindet. Die Größe dieser Puffer kann beliebig gewählt werden. Sinnvoll ist es, die Haltestellenpuffergröße so zu wählen, dass dadurch die fußläufige Distanz zu einer Haltestelle dargestellt wird.

$$\text{Erschließungsanteil}_{\text{Fläche im Puffer } i} [\%] = \frac{\sum \text{Fläche im Puffer } i \text{ [km}^2\text{]}}{\text{Fläche der Stadt [km}^2\text{]}} \quad (6)$$

$$i = 100m, 200m, 300m, 400m, 500m$$

Bei diesem Indikator wird erstmals die räumliche Verteilung der Haltestellen miteinbezogen. Unberücksichtigt bleibt weiterhin die Verteilung der Bevölkerung der Stadt. Des Weiteren werden die Art des Verkehrsmittels und die Taktfrequenz, mit welcher die Haltestelle bedient wird, nicht in Betracht gezogen.

4.2.7 Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer

Hierbei handelt es sich um einen Indikator, welcher den Bevölkerungsanteil innerhalb von Haltestellenpuffern angibt. Die Größe der Haltestellenpuffer kann beliebig gewählt werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Bevölkerungsanteile innerhalb der 100m-, 200m-, 300m-, 400m- und 500m-Haltestellenpuffer berechnet.

$$\text{Erschließungsanteil}_{\text{Bevölkerung im Puffer } i} [\%] = \frac{\sum \text{Bevölkerung im Puffer } i}{\text{Bevölkerung der Stadt}} \quad (7)$$

$$i = 100m, 200m, 300m, 400m, 500m$$

Dieser Indikator berücksichtigt sowohl die räumliche Verteilung der Haltestellen, als auch die der Bevölkerung. Somit kann untersucht werden, wie hoch die Erreichbarkeit der Haltestellen in Bezug auf die Bevölkerungsverteilung ist. Die Bedienungshäufigkeit der Haltestelle sowie die Art des Verkehrsmittels werden nicht berücksichtigt.

4.2.8 ÖV-Güteklassen²⁸

„Die ÖV-Güteklassen sind ein Maß für die Qualität der Erschließung des Raumes durch Haltestellen des öffentlichen Verkehrs.“²⁹

Die Kriterien zur Bestimmung der ÖV-Güteklassen sind die Haltestellenkategorien sowie die Distanz zu Haltestellen. Entsprechend dieser Kriterien wird dem Raum um die Haltestellen die Güteklasse A bis D zugewiesen. Gebiete, welche sich in kurzer Entfernung zu Bahnlinien mit hohen Taktfrequenzen befinden, werden einer höheren Güteklasse (A) zugewiesen. Wobei Gebiete, die lediglich eine Bushaltestelle in mittlerer Entfernung mit spärlicher Taktfrequenz zur Verfügung haben, einer niedrigeren Güteklasse (D) zugewiesen werden. In Tabelle 1 ist eine Übersicht der ÖV-Güteklassen zu sehen.

Das erste Kriterium, die Haltestellenkategorie, ergibt sich aus der Art des Verkehrsmittels und der Bedienungshäufigkeit. So fällt beispielsweise eine Bahn-Station mit einem Kursintervall von fünf Minuten in die Haltestellenkategorie I und eine Straßenbahnhaltestelle mit einem Kursintervall von 20 Minuten in die Kategorie V.

Tabelle 1: ÖV-Güteklassen in Abhängigkeit von Haltestellenkategorie und Distanz zur Haltestelle.
Quelle: Eigene Darstellung (nach: Aberegg & Tschopp, 2010, S. 10)

Haltestellenkategorie	Distanz zur Haltestelle			
	< 300 m	300 – 500 m	500 – 750 m	750 – 1000
I	Klasse A	Klasse A	Klasse B	Klasse C
II	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
III	Klasse B	Klasse C	Klasse D	-
IV	Klasse C	Klasse D	-	-
V	Klasse D	-	-	-

Bei den ÖV-Güteklassen handelt es sich um den Bewertungstyp „Level-of-Service“, welcher in Kapitel 4 bereits beschrieben wurde. Mit diesem Bewertungstyp ist eine sofortige Aussage über die Qualität des ÖV-Angebotes möglich, da hier eine integrierte Bewertung stattfindet.

²⁸ (vgl. Aberegg & Tschopp, 2010)

²⁹ (Aberegg & Tschopp, 2010, S. 9)

Aufbauend auf dieser Methode kann der Anteil der Bevölkerung einer Stadt oder gar eines Staates in den jeweiligen ÖV-Güteklassen bestimmt werden.

Mit der ÖV-Güteklassen-Methode ist eine detaillierte Bewertung der Qualität des ÖV-Angebots möglich. Es werden viele wichtige Faktoren der Serviceverfügbarkeit berücksichtigt. Der einzige Kritikpunkt ist, dass die Analyse sehr umfangreich und mit hohem Aufwand verbunden ist. In folgender Abbildung ist ein Beispiel der ÖV-Güteklassen zu sehen. Hierbei wird die gesamte Schweiz in die genannten Klassen eingeteilt.

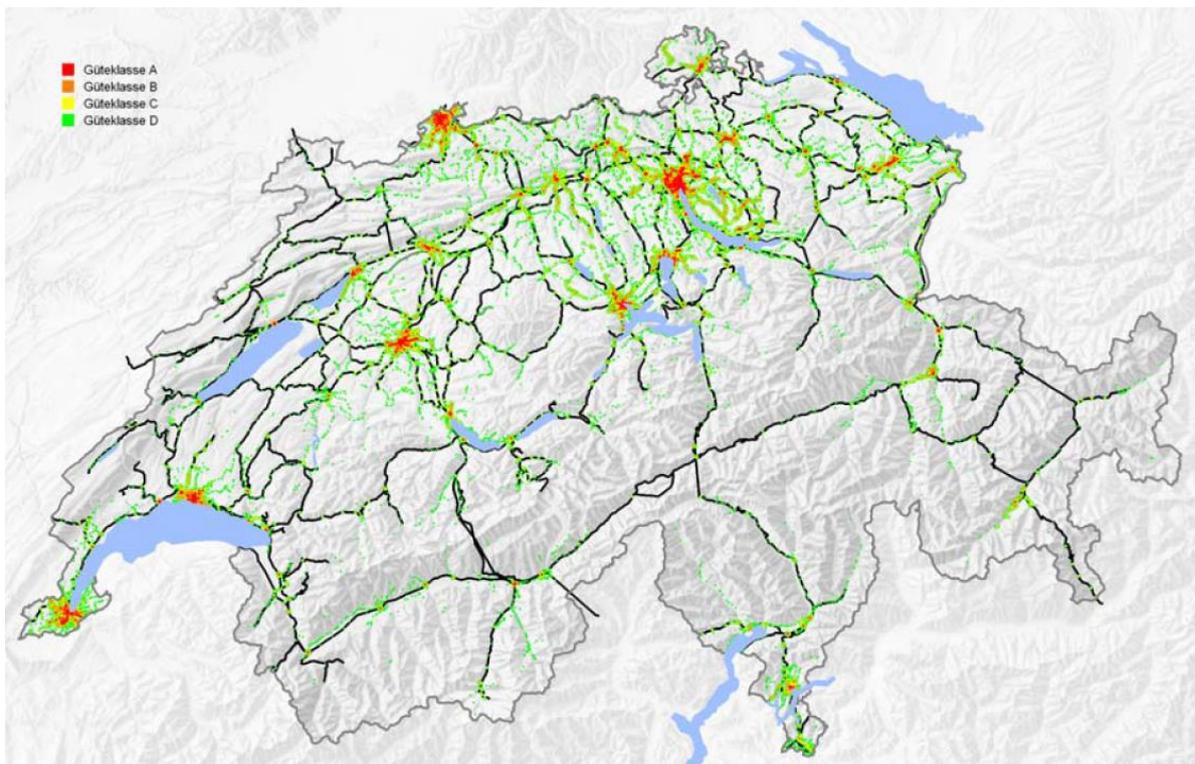


Abbildung 1: Einteilung der Schweiz in die ÖV-Güteklassen
Quelle: INFOPLAN-ARE. GEOSTAT-BFS. swisstopo

4.2.9 Public Transport Accessibility Index (PTAI)³⁰:

Der PTAI ist ein Index, der die Erreichbarkeit des ÖV in sogenannten Statistical Areas level 1³¹ (SA1) angibt. Der Index setzt sich aus zwei Faktoren zusammen. Ein Faktor ist der Quotient aus der Bevölkerungsdichte in den Haltestellenpuffern³² und der Bevölkerungsdichte in der SA1³³. Der zweite Faktor ist eine berechnete Taktfrequenz, welche sich aus der Zugangszeit

³⁰ (vgl. Saghapour, Moridpour, & Thompson, 2016)

³¹ Vergleichbar mit den Zählgebieten in Österreich

³² In der Formel: D_B = population density of buffer

³³ In der Formel: D_{SA1} = population density of the SA1

zur Haltestelle von einem POI³⁴ und der durchschnittlichen Wartezeit an der Haltestelle zusammensetzt. Zuzüglich wird diese Taktfrequenz nach den verschiedenen Verkehrsmittelarten gewichtet und als WEF³⁵ definiert.

$$PTAI_{SA1_i} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^I \left(\frac{D_{Bij}}{D_{SA1_i}} \right) * WEF_{SA1_i} \quad (8)$$

Unberücksichtigt bleiben bei diesem Ansatz die zeitlichen Variationen der Fahrpläne an den verschiedenen Wochentagen oder Tageszeiten. Nichtsdestotrotz werden so gut wie alle wichtigen Aspekte der Serviceverfügbarkeit des ÖV in die Berechnung miteinbezogen.

In der nachstehenden Tabelle sind die Ergebnisse der PTAI-Studie anhand der Stadt Melbourne, Australien dargestellt. Die PTAI-Werte werden kategorisiert und bewertet. Somit wird ersichtlich, wie viel Prozent der Bevölkerung Melbournes welcher PTAI-Kategorie angehören.

Tabelle 2: Ergebnisse der PTAI-Studie anhand der Stadt Melbourne, Australien
 Quelle: (Saghapour, Moridpour, & Thompson, 2016, S. 280)

PTAI ranges and categories.

Ranges	PTAI categories	SA1s		Population	
		No.	Percent	No.	Percent
0	N/A	52	0.55	16,243	0.41
<2	Very poor	1331	14.00	538,536	13.66
2-3.5	Poor	1607	16.90	671,449	17.04
3.5-6	Moderate	1791	18.83	751,327	19.06
6-12	Good	1969	20.70	801,520	20.34
12-20	Very good	1480	15.56	623,111	15.81
>20	Excellent	1280	13.46	539,025	13.68
Total	N/A	9510	100.00	3,941,211	100.00

Die PTAI-Studie hat ergeben, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Nutzung des öffentlichen Verkehrs und dem PTAI besteht. Das heißt, der Bevölkerungsanteil in den höheren PTAI-Kategorien (z.B. Excellent, Very good), welcher einen qualitativ hochwertigeren Zugang zum ÖV hat, nutzt den öffentlichen Verkehr öfter als der Bevölkerungsanteil in den niedrigeren Kategorien (z.B. Very poor, Poor).

³⁴ POI = Point of Interest

³⁵ WEF = weighted equivalent frequency

Genau dieser Zusammenhang zwischen einem Indikator und der ÖV-Nutzung wird unter anderem in dieser Arbeit untersucht.

Diese beschriebenen neun Indikatoren sind nur ein Bruchteil aller Möglichkeiten, wie der öffentliche Verkehr gemessen und bewertet werden kann. Die angeführten neun Indikatoren beschreiben lediglich die Serviceverfügbarkeit des öffentlichen Verkehrs. Einige behandeln mehr Teilaspekte, wie beispielsweise der zuletzt angeführte Indikator, PTAI, der die Bevölkerungsverteilung, die Haltestellenverteilung, die Taktfrequenz und weitere Aspekte in der Berechnung berücksichtigt. Andere Indikatoren berücksichtigen weniger Teilaspekte, wie beispielsweise der Indikator „Haltestellen pro 1.000 Einwohner“, welcher ausschließlich die Haltestellenanzahl und die Einwohnerzahl einer Stadt miteinbezieht.

Werden sämtliche Hauptaspekte der Angebotsqualität des ÖV aus Kapitel 4.1, wie zum Beispiel Preis oder Servicezuverlässigkeit, hinzugenommen, ergibt das eine Vielzahl an Variationen, wie ein Indikator zusammengesetzt werden kann.

Es stellt sich nur die Frage, ob es Indikatoren gibt, welche relativ einfach und übersichtlich zu berechnen sind, aber trotzdem die Qualität des öffentlichen Verkehrs gut abbilden. Mit anderen Worten, welche Aspekte der Angebotsqualität des ÖV wirken sich am stärksten auf die Verkehrsmittelwahl bzw. die Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr aus?

In dieser Arbeit wird der Ansatz verfolgt, dass die räumlichen Indikatoren der Serviceverfügbarkeit den größten Einfluss auf die Angebotsqualität des ÖV aufweisen. Folgende räumliche Indikatoren werden im Rahmen dieser Arbeit untersucht und auf Zusammenhänge mit der ÖV-Nutzung bzw. ÖV-Zufriedenheit geprüft:

- **Indikator 1:** Durchschnittlicher Haltestellenabstand
- **Indikator 2:** Haltestellen pro km²
- **Indikator 3:** Haltestellen pro 1.000 Einwohner
- **Indikator 4:** ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis
- **Indikator 5:** ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis
- **Indikator 6:** Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer
- **Indikator 7:** Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer

5. Datengrundlagen

5.1 Zahlen und Fakten

Die Bevölkerungszahlen der Städte werden entweder von der Homepage des statistischen Amtes des jeweiligen Landes, oder aus dem demographischen Jahrbuch der Vereinten Nationen³⁶ bezogen. Die Fläche einer Stadt wird mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS) berechnet, wobei die dafür benötigten Stadtgrenzen aus OpenStreetMap extrahiert werden.

Die Daten für die öffentlichen Verkehrsnetze, also Haltestellenanzahl und Netzlänge der verschiedenen Verkehrsträger, werden aus unterschiedlichsten Quellen bezogen. In erster Linie werden Daten aus den Betriebsangaben der jeweiligen Verkehrslinienbetreiber herangezogen. Falls solche Angaben nicht vorhanden oder veraltet sind, wird von sonstigen Literaturwerken, Statistiken oder Berichten Gebrauch gemacht. Können die erforderlichen Daten nicht gefunden werden, wird mithilfe einer GIS-Software und importierten Daten aus OpenStreetMap die benötigte Kennzahl berechnet.

Die Daten für den Motorisierungsgrad werden größtenteils von UITP³⁷ bezogen und die Kennzahlen für die Straßennetzlänge sind entweder aus diversen Statistikberichten oder werden mit einer GIS-Software berechnet.

Modal Split Daten werden hauptsächlich von TEMS³⁸ bezogen. Hierbei handelt es sich um eine Datensammlung von EPOMM³⁹, welche viele europäische Städte einschließt. Ist der hier aufgefundene Modal Split einer Stadt nicht mehr aktuell, so werden andere Quellen herangezogen.

Aus dem Bericht „Quality of Life in European Cities 2015“ von der Europäischen Kommission werden die Daten der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr bezogen. Der Bericht beruht auf einer Umfrage, welche in 79 europäischen Städten durchgeführt wurde, wobei in jeder Stadt ungefähr 500 Menschen befragt wurden.

³⁶ (United Nations, 2018)

³⁷ (Union Internationale de Transports Public, 2012)

³⁸ The EPOMM Modal Split Tool

³⁹ European Platform on Mobility Management

5.2 GIS-Daten

Die Daten der Bevölkerungsverteilung innerhalb einer Stadt werden von der Website <https://www.worldpop.org/> entnommen. Hierbei handelt es sich um Rasterdaten, welche durch einen innovativen Ansatz von Stevens et al. (2015) modelliert werden. Diese Methode basiert auf einem Random-Forest-Modell und erstellt Rasterdaten der Bevölkerung in einer Auflösung von ca. 100m.⁴⁰

Diese Quelle stellt eine einheitliche Datenbasis der Bevölkerungsverteilung für alle betrachteten Städte zur Verfügung und ermöglicht dadurch eine wissenschaftlich fundierte Analyse.

Die erforderlichen Daten des öffentlichen Verkehrsnetzes werden von der Website <http://download.geofabrik.de/> bezogen. Hierbei handelt es sich um Datenauszüge aus dem OpenStreetMap-Projekt, welche von der Geofabrik GmbH kostenlos zur Verfügung gestellt werden.

Die Daten der Bevölkerungsverteilungen sowie der öffentlichen Verkehrsnetze stehen in der Regel im Länderformat oder Regionalformat zur Verfügung. Somit müssen Stadtgrenzen in die GIS-Software importiert werden, um die umfassenden Daten auf die erforderlichen Städte zu dezimieren. Die Stadtgrenzen werden mithilfe des Plug-Ins „OSM Place Search“ in die GIS-Software importiert.

⁴⁰ (vgl. Stevens, Gaughan, Linard, & Tatem, 2015, S. 1)

6. Methodik

In dieser Arbeit sollen Indikatoren gefunden werden, welche eine hohe Aussagekraft über die Qualität eines ÖV-Systems aufweisen. Demzufolge sollen diese einen starken Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der Zufriedenheit mit dem ÖV aufweisen. Sieben ausgewählte Indikatoren werden auf diese Zusammenhänge überprüft.

Städteauswahl

Zuallererst werden zehn Städte innerhalb Europas nach festgelegten Kriterien (siehe Kapitel 7) ausgewählt. Anhand dieser Städte wird untersucht, ob die oben genannten Zusammenhänge zwischen einem Indikator und dem Qualitätsmerkmal des ÖV bestehen.

Berechnung der Indikatoren 1-5

Nach der Auswahl der Städte werden die Indikator 1-5 für alle Städte berechnet. Auf die Berechnung der Indikatoren wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, da diese in Kapitel 4.2 bereits ausführlich beschrieben ist.

Berechnung des Indikators 6

Für die Bestimmung des Indikators 6 (Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer) wird eine GIS-Software benötigt. Hierbei wird die Software Quantum GIS 3.4.4 herangezogen. Der Indikator wird für jede Stadt gesondert berechnet.

Im Folgenden werden die Schritte zur Bestimmung des Indikators erläutert:

1. Die Stadtgrenzen werden mithilfe des Plug-Ins „OSM Place Search“ in QGIS⁴¹ importiert. Hierbei wird ein Stadtgrenzenpolygon erstellt, welches in folgender Abbildung ersichtlich ist.

⁴¹ Quantum GIS 3.4.4



Abbildung 2: Stadtgrenzenpolygon in QGIS am Beispiel Wien
Quelle: Eigene Darstellung

2. Die Daten der Haltestellenverteilung werden in QGIS importiert. Diese Datei beinhaltet sämtliche Haltestellen des öffentlichen Verkehrs in Österreich. Mit dem Verschneidungswerkzeug von QGIS wird das Stadtgrenzenpolygon mit der Haltestellenverteilung verschnitten und ein Layer generiert, der ausschließlich Haltestellen innerhalb der Stadtgrenzen darstellt (siehe Abbildung 3). Haltestellen für Taxis sowie Fähreterminals werden aus dem Layer gelöscht. Somit verbleiben Bushaltestellen, Busterminals, Straßenbahnhaltestellen, Bahn-Stationen und Bahnhöfe im Layer.

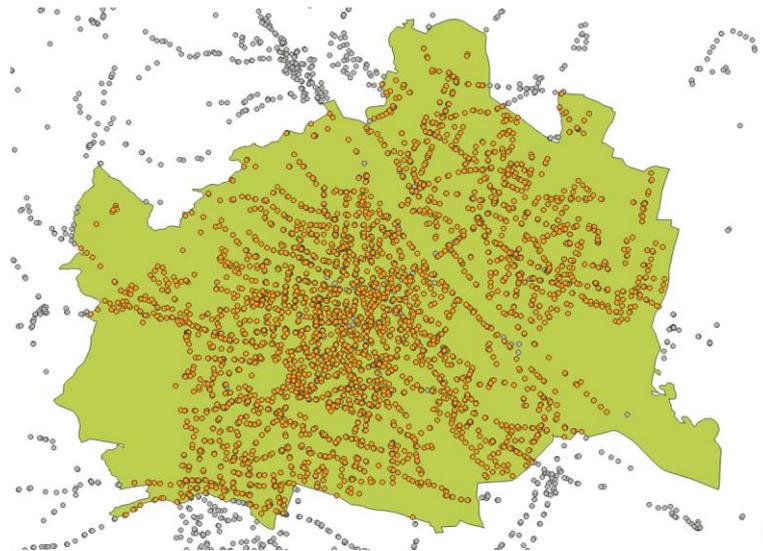


Abbildung 3: Stadtgrenzenpolygon mit Haltestellenverteilung in QGIS am Beispiel Wien. Die grauen Punkte stellen Haltestellen dar, welche nicht weiter betrachtet werden
Quelle: Eigene Darstellung

3. Es werden 100m-, 200m-, 300m-, 400m- und 500m-Puffer um die Haltestellen auf jeweils eigene Layer gemäß folgender Abbildung erzeugt.

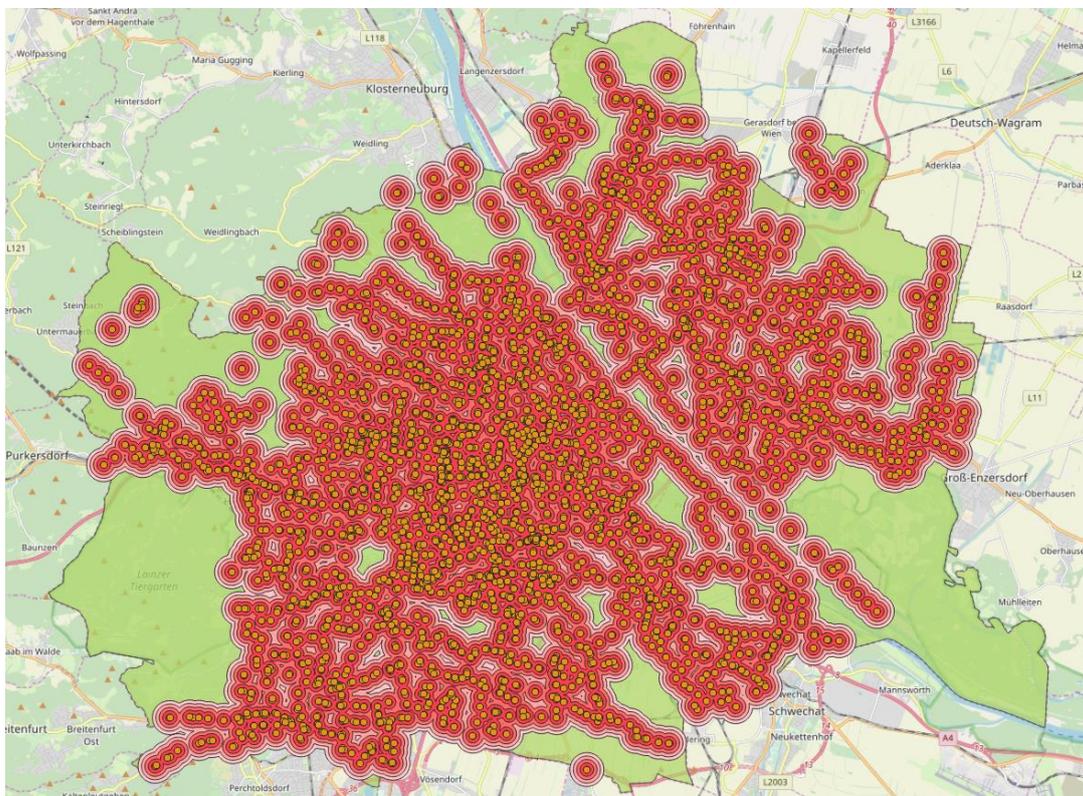


Abbildung 4: Haltestellenverteilung mit 100m-, 200m-, 300m-, 400m- und 500m-Puffer in QGIS am Beispiel Wien
Quelle: Eigene Darstellung

4. Die Summe der Flächen der Haltestellenpuffer einer Größe wird mit QGIS bestimmt und in weiterer Folge der Gesamtfläche der Stadt gegenübergestellt. Mithilfe der Formel (6) aus Kapitel 4.2.6 wird der Indikator schließlich berechnet.

Berechnung des Indikators 7

Die Bestimmung des Indikators 7 (Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer) ist mit jener des Indikators 6 bis einschließlich Schritt 3. ident. Aus diesem Grund werden diese Schritte nur zusammengefasst angeführt.

1. Das Stadtgrenzenpolygon wird erstellt.
2. Die Haltestellenverteilung wird importiert und ein Layer mit den relevanten Haltestellen erstellt.
3. Es werden 100m-, 200m-, 300m-, 400m- und 500m-Puffer um die Haltestellen auf jeweils eigene Layer erzeugt.
4. Die Daten der Bevölkerungsverteilung eines Staates werden in QGIS importiert. Diese Datei stellt den jeweiligen Staat in Form eines Zellrasters dar (siehe Abbildung 5). Die Zellgröße dieses Rasters beträgt ungefähr 100m x 60m. Jede Zelle verfügt über einige demographische Informationen. Für diese Analyse erweist sich in erster Linie die Einwohnerzahl der einzelnen Zellen als sehr nützlich.

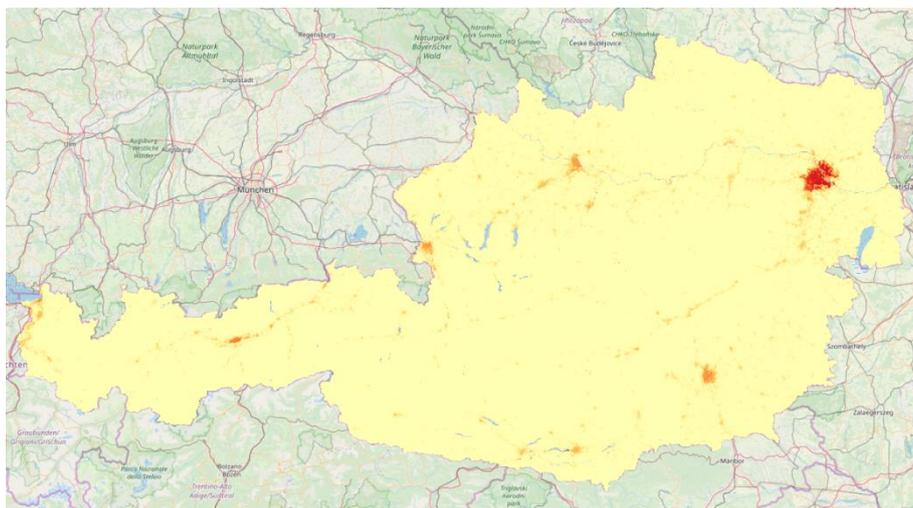


Abbildung 5: Zellraster mit Bevölkerungsverteilung am Beispiel Österreich. Rot bedeutet hohe Bevölkerungsdichte und gelb bedeutet niedrige Bevölkerungsdichte
Quelle: Eigene Darstellung

5. Mithilfe des Verschneidungswerkzeugs von QGIS wird das Zellraster auf die entsprechende Stadtgrenze zugeschnitten (siehe Abbildung 6).

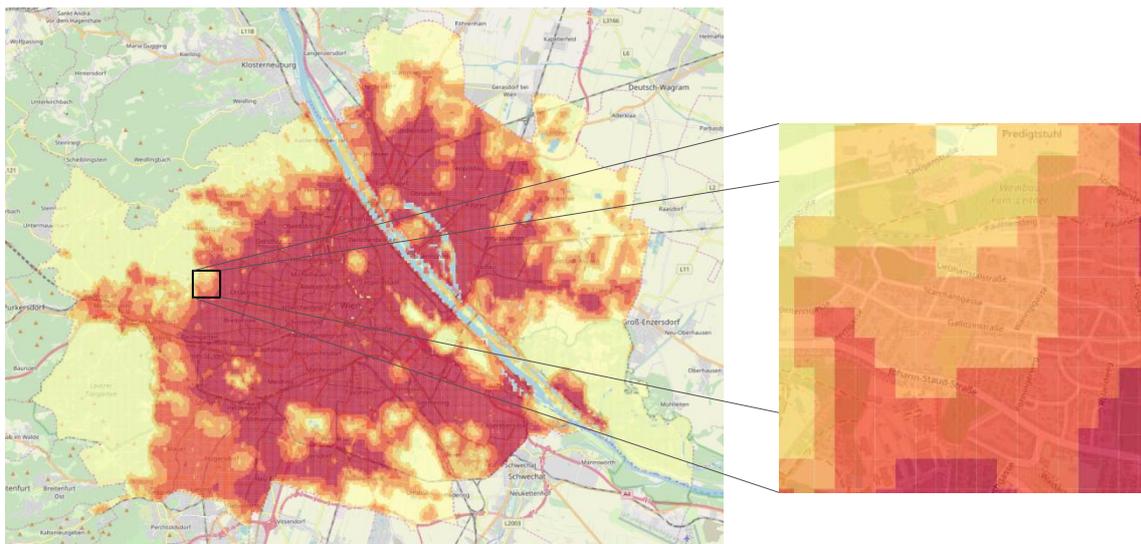


Abbildung 6: Zellraster mit Bevölkerungsverteilung zugeschnitten auf die Stadtgrenzen am Beispiel Wien. Rot bedeutet hohe Bevölkerungsdichte und gelb bedeutet niedrige Bevölkerungsdichte
Quelle: Eigene Darstellung

6. Das neue Raster wird mit den 100m-Haltestellenpuffern verschnitten. Somit entsteht ein Layer, welcher ausschließlich das Raster innerhalb der 100m-Puffer darstellt. Hierbei werden die Zellen entlang der Kreislinie der Puffer zugeschnitten. Die Information der Zellen über die Einwohnerzahl wird durch diese Verschneidung nicht verändert. Lediglich die Fläche einer Zelle wird kleiner, falls diese nur teilweise innerhalb der 100m-Puffer liegt (siehe Abbildung 7).

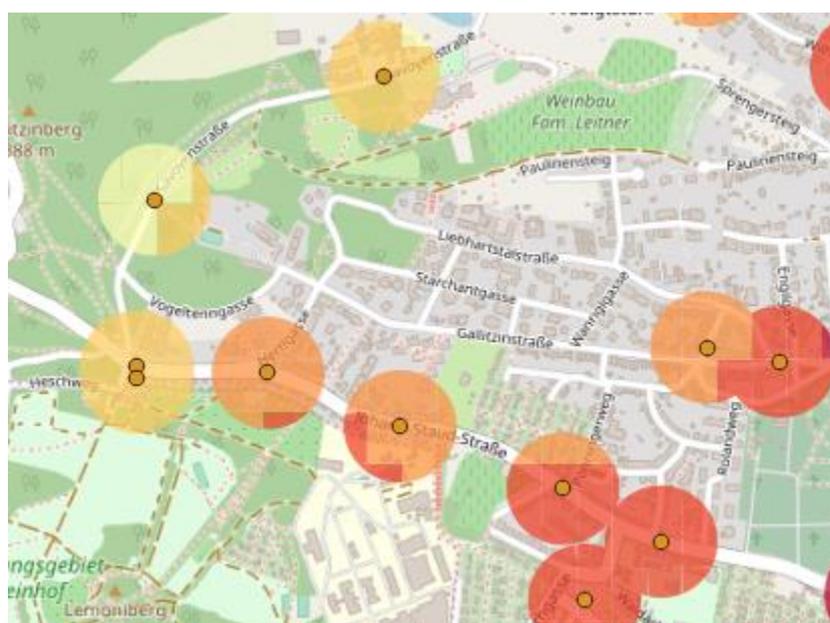


Abbildung 7: Zellraster innerhalb der 100m-Puffer
Quelle: Eigene Darstellung

7. Die Restfläche jeder Zelle innerhalb der 100m-Puffer wird mithilfe von QGIS berechnet.
8. Die ursprüngliche Einwohnerzahl einer Zelle wird als aliquoter Teil zu der Restfläche einer Zelle mithilfe von MS Excel berechnet.
9. Die aliquoten Einwohnerzahlen jeder Zelle werden aufsummiert. Daraus resultiert die Bevölkerungszahl innerhalb der 100m-Haltestellenpuffer.
10. Unter Anwendung der Formel (7) aus Kapitel 4.2.7 wird der Anteil der Bevölkerung innerhalb der 100m-Haltestellenpuffer berechnet.

Für die Berechnung der Bevölkerungsanteile in den restlichen Haltestellenpuffergrößen (200m, 300m, 400m, 500m) werden die Schritte 6.-10. analog durchgeführt, mit dem Unterschied, dass sich die Puffergröße entsprechend ändert.

Analyse der Indikatoren 1-7 mithilfe von Regressionen

Die Regressionsanalyse, oft kurz als Regression bezeichnet, ist ein bedeutsames statistisches Analyseverfahren. Die Regression beweist die Kausalität von Zusammenhängen. Jedoch muss die Kausalität theoretisch abgeleitet werden, bevor sie empirisch mithilfe der Regression bewiesen werden kann.⁴² In dieser Arbeit werden die Zusammenhänge zwischen dem ÖV-Angebot und der ÖV-Nutzung bzw. der ÖV-Zufriedenheit analysiert. Hierbei wird folgende Kausalität angenommen: Je besser das ÖV-Angebot, umso stärker ist die ÖV-Nutzung bzw. umso höher ist die ÖV-Zufriedenheit.

Das ÖV-Angebot wird durch sieben verschiedene Indikatoren dargestellt, deren Bestimmung auf den vorangehenden Seiten beschrieben ist. Die ÖV-Nutzung wird mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits beschrieben. Die ÖV-Zufriedenheit ist der Anteil der Bevölkerung einer Stadt, der laut der Untersuchung „Quality of Life in European Cities 2015“⁴³ der Europäischen Kommission zufrieden mit dem öffentlichen Verkehr seiner Stadt ist.

Um den oben beschriebenen Zusammenhang zwischen einem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der ÖV-Zufriedenheit zu überprüfen, wird zunächst eine Punktwolke in einem (x, y) -Koordinatensystem aufgetragen. Jeder Punkt dieser Punktwolke beschreibt ein Wertepaar einer Stadt bestehend aus dem Wert des Indikators und dem ÖV-Anteil des

⁴² (vgl. Cleff, 2008, S. 145)

⁴³ (Europäische Kommission, 2016)

Modal Splits bzw. dem Anteil der Bevölkerung der zufrieden mit dem ÖV ist. Auf der x -Achse wird der Wert des Indikators angegeben und auf der y -Achse der ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. die ÖV-Zufriedenheit.

Anschließend wird mithilfe von MS Excel zunächst eine Regressionsgerade erstellt, welche die Punktwolke möglichst gut wiedergibt. Die Regressionsgerade wird mit einer Geradengleichung beschrieben, wobei diese im Falle einer einfachen Regression aus zwei Komponenten besteht, den sogenannten Modellparametern. Der eine Modellparameter ist ein konstanter Wert, bei welchem die Gerade die y -Achse schneidet. Dieser Parameter wird hier als a definiert. Er gibt den Abstand der Gerade entlang der y -Achse zum Ursprung an. Zum anderen besteht die Geradengleichung aus dem Steigungskoeffizienten b . Dieser gibt Auskunft über die Steigung der Gerade. Je größer die Steigung der Gerade, umso stärker ist der Einfluss des x -Wertes auf den y -Wert. Die Geradengleichung wird in folgender Form dargestellt:

$$y = a + bx \tag{9}$$

Die folgende Abbildung dient zur Veranschaulichung und zeigt eine beliebige Punktwolke mit der zugehörigen Regressionsgerade. Der Ordinatenabstand a beträgt 5,4444 und die Steigung b beträgt 1,2333.

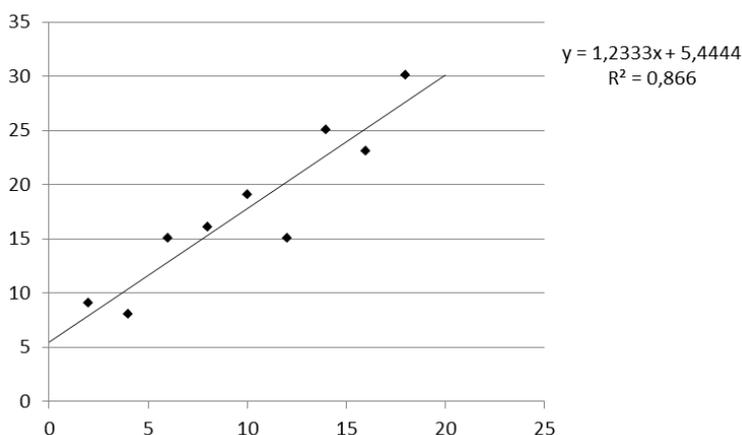


Abbildung 8: Beliebige Punktwolke mit zugehöriger Regressionsgerade
 Quelle: Eigene Darstellung

Bislang wurde davon ausgegangen, dass die Daten mittels einer linearen Funktion, also einer Gerade beschrieben werden. Oft zeigt jedoch der erste Blick auf ein Punktdiagramm, dass die Punkte besser durch eine Parabel, eine exponentielle oder eine logarithmische Funktion beschrieben werden können. Liegt eine solche Struktur vor, ist es nicht von Vorteil, stur an dem Modell der linearen Regression festzuhalten. Hierbei können die Daten mit nichtlinearen Regressionsmodellen beschrieben werden.⁴⁴

In Abbildung 8 ist auch zu sehen, dass die ermittelte Regressionsgerade die y -Werte vieler Punkte über- oder unterschätzt. Aus diesem Grund muss ermittelt werden, wie gut die Qualität der Regressionsgerade ist. Eine Regressionsgerade ist umso besser, je näher die einzelnen Punkte an der Gerade liegen. Es besteht ein perfekter Zusammenhang, wenn alle Punkte genau auf der Regressionsgerade liegen. Zur Bewertung der Anpassungsgüte wird das Bestimmtheitsmaß R^2 herangezogen, welches auf der Streuung der Punkte basiert. Dieses nimmt Werte zwischen 0 und 1 an. Wenn die Anpassungsgüte der Regressionsgerade an die Punkte perfekt ist, ist das Bestimmtheitsmaß $R^2=1$. Im schlechtmöglichsten Fall der Anpassungsgüte ist das Bestimmtheitsmaß $R^2=0$.⁴⁵

Mit einer multiplen linearen Regression wird die einfache Regression dahingehend erweitert, dass die Zielvariable y mithilfe mehrerer Variablen x_1, \dots, x_n erklärt wird.⁴⁶

Das Modell lässt sich somit in folgender Form darstellen:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + \dots + b_nx_n \quad (10)$$

Die Güte eines solchen Regressionsmodells wird ebenfalls mit dem Bestimmtheitsmaß R^2 beschrieben. Bei der Hinzunahme mehrerer Variablen wird dieses jedoch fälschlicherweise größer und muss um einen Korrekturwert verringert werden. Diesen Korrekturwert berücksichtigt das sogenannte adjustierte Bestimmtheitsmaß. Daher nimmt das adjustierte Bestimmtheitsmaß in der Regel einen geringeren Wert als das einfache R^2 an und kann in manchen Fällen sogar negativ werden. Der Korrekturwert steigt mit der Anzahl der unabhängigen Variablen.⁴⁷

⁴⁴ (vgl. Fahrmeir, Heumann, Künstler, Pigeot, & Tutz, 2016, S. 155)

⁴⁵ (vgl. Cleff, 2008, S. 154)

⁴⁶ (vgl. Fahrmeir, Heumann, Künstler, Pigeot, & Tutz, 2016, S. 450)

⁴⁷ (Pflieger, 2014)

Mit einer multiplen linearen Regression kann beispielsweise der Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Haltestellenabstand eines ÖV-Systems und dem ÖV-Anteil des Modal Splits, getrennt nach den verschiedenen Verkehrsträgern analysiert werden. In weiterer Folge lässt sich herausfinden, welche Verkehrsträger einen größeren Einfluss auf den untersuchten Zusammenhang und welche einen geringeren aufweisen. Je höher der Modellparameter b_i , umso höher ist der Einfluss des Parameters auf die Zielvariable y .

Als nächstes werden der t-Wert und der p-Wert der Modellparameter betrachtet. Anhand dieser Werte wird entschieden, ob der Parameter in der Analyse enthalten bleibt oder aussortiert wird.

Der t-Wert beschreibt das Verhältnis zwischen einem Parameter b_i und dessen Standardabweichung. Die Standardabweichung gibt an, wie sehr die Daten vom Mittelwert abweichen. Anders gesagt drückt die Standardabweichung aus, wie stark sich die Datenpunkte voneinander unterscheiden.⁴⁸ Je höher der t-Wert, umso höher ist der Parameter im Vergleich zu dessen Standardabweichung und umso präziser das Ergebnis des Parameters. Die t-Werte der einzelnen Parameter können untereinander verglichen werden und es kann bestimmt werden, welche Parameter in der Analyse beibehalten werden und welche herausgenommen werden.

Der p-Wert ist definiert als eine Wahrscheinlichkeit und nimmt somit Werte zwischen 0 und 1 an. Mit diesem Wert kann ein Signifikanztest durchgeführt werden. Ist der p-Wert eines Parameters höher als das festgelegte Signifikanzniveau α , so wird dieser Parameter aus der Analyse herausgenommen. Liegt der p-Wert unter dem Signifikanzniveau α , so ist dieser signifikant und bleibt erhalten. Das Signifikanzniveau α wird mit 0,05 festgelegt.⁴⁹

⁴⁸ (Novustat, 2018)

⁴⁹ (Fahrmeir, Heumann, Künstler, Pigeot, & Tutz, 2016, S. 388)

7. Auswahl der Städte

Für die Analyse der Indikatoren wird im Rahmen eines Städtevergleichs untersucht, ob ein starker Zusammenhang zwischen einem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der ÖV-Zufriedenheit besteht. Pro Stadt und Indikator entsteht somit ein Wertepaar. Es wird angenommen, dass zehn Städte und somit zehn Wertepaare ausreichen, um mithilfe einer Regressionsanalyse aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Es werden zehn europäische Großstädte für diesen Städtevergleich herangezogen.

Die Kriterien für die Auswahl der Städte sind:

- 1) Die Stadt liegt in Europa.
- 2) Die Bevölkerungszahl der Stadt beträgt zwischen einer und drei Millionen Einwohner.
- 3) Die politische Stadtgrenze liegt nicht unverhältnismäßig weit innerhalb oder außerhalb des urbanen Bereichs.
- 4) Die Stadt ist Teil der Untersuchung „Quality of Life in European Cities 2015“⁵⁰ der Europäischen Kommission.

Unter Einhaltung der genannten Kriterien werden folgende zehn Städte ausgewählt:

- | | |
|-------------|------------|
| ▪ Barcelona | ▪ Prag |
| ▪ Budapest | ▪ Rom |
| ▪ Bukarest | ▪ Sofia |
| ▪ Hamburg | ▪ Warschau |
| ▪ München | ▪ Wien |

Demographische Daten, Statistiken zu den öffentlichen Verkehrssystemen, Modal Splits und die Ergebnisse der Untersuchung bezüglich der Zufriedenheit mit dem öffentlichen Verkehr aller zehn Städte werden auf den folgenden Seiten beschrieben.

⁵⁰ (Europäische Kommission, 2016)

Auswahl der Städte

Tabelle 3: Einwohnerzahl, Fläche und Bevölkerungsdichte der ausgewählten Städte

Quelle: Eigene Darstellung

	Einwohner	Fläche ⁵¹ [km ²]	Bevölkerungsdichte ⁵² [Einw./km ²]
Barcelona	1.620.343 ⁵³	101	16.043
Budapest	1.749.734 ⁵⁴	525	3.333
Bukarest	1.835.623 ⁵⁵	228	8.051
Hamburg	1.841.484 ⁵⁶	755	2.439
München	1.456.039 ⁵⁷	310	4.697
Prag	1.280.508 ⁵⁸	496	2.582
Rom	2.872.800 ⁵⁹	1.285	2.236
Sofia	1.325.429 ⁶⁰	1.349	983
Warschau	1.753.977 ⁶¹	517	3.393
Wien	1.898.000 ⁶²	415	4.573

In der oben angeführten Tabelle sind die demographischen Daten sowie die Fläche der untersuchten Städte zu sehen. Es fällt auf, dass Barcelona die mit Abstand höchste Bevölkerungsdichte aufweist. Aus der relativ geringen Fläche von 101 km² resultiert die verhältnismäßig hohe Bevölkerungsdichte von 16.043 Einwohner/km². Die geringe Fläche der Stadt ist auf die Lage der Stadtgrenze zurückzuführen, da diese nur einen Teil des gesamten urbanen Gebiets einschließt. Sofia weist mit 983 Einwohner/km² die mit Abstand geringste Bevölkerungsdichte auf. Die Einwohnerzahl der Städte liegt, mit Ausnahme von Rom, zwischen 1,2 Mio. und 1,9 Mio. Rom hat mit 2.872.800 weitaus mehr Einwohner als die restlichen Städte. Somit muss überlegt werden, ob die Städte Barcelona, Sofia und Rom in

⁵¹ Mithilfe von QGIS berechnet mit den Stadtgrenzen von OpenStreetMap

⁵² Berechneter Wert

⁵³ (Instituto Nacional de Estadística, 2018)

⁵⁴ (Brinkhoff, 2018)

⁵⁵ (United Nations, 2018)

⁵⁶ (Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein, 2019)

⁵⁷ (Bayerisches Landesamt für Statistik, 2019)

⁵⁸ (United Nations, 2018)

⁵⁹ (ISTAT, 2017)

⁶⁰ (Republic of Bulgaria National Statistical Institute, 2018)

⁶¹ (Znajewska, Stańczak, Cierniak-Piotrowska, Stelmach, Urbanowicz, & Kostrzewa, 2017)

⁶² (Statistik Austria, 2019)

Auswahl der Städte

der Auswahl enthalten bleiben oder aus dieser entfernt werden. Dazu werden weitere Daten untersucht und zum Ende dieses Kapitels entschieden, welche Städte schlussendlich der Analyse unterzogen werden.

Tabelle 4: Netzlängen der einzelnen Verkehrsträger der ausgewählten Städte
Quelle: Eigene Darstellung

	ÖV-Netzlänge [km]				
	Bus	Straßenbahn	U-Bahn	S-Bahn	Gesamt
Barcelona	833 ⁶³	29 ⁶⁴	182*	143 ⁶⁵	1.187
Budapest	2.409 ⁶⁶	155 ⁶⁷	39 ⁶⁸	41*	2.644
Bukarest⁶⁹	2.282	181*	69	-	2.532
Hamburg	2.300 ⁷⁰	-	106 ⁷¹	144 ⁷²	2.550
München⁷³	505	82	95	434 ⁷⁴	1.116
Prag⁷⁵	825	143	65	160	1.193
Rom	2.300 ⁷⁶	36 ⁷⁷	60 ⁷⁸	348 ⁷⁹	2.744
Sofia⁸⁰	2.347	294	31	-	2.672
Warschau⁸¹	3.077	248	23	93*	3.441
Wien⁸²	846	220	83	120*	1.269

* Mit QGIS berechnet mithilfe der Datensätze von OpenStreetMap

⁶³ (Transports Metropolitans de Barcelona, 2018)

⁶⁴ (vgl. Ajuntament de Barcelona, 2009, S. 52)

⁶⁵ (Rueda & Franzen, 2012)

⁶⁶ (BKV Zrt., 2012)

⁶⁷ (Schwandl, 2011)

⁶⁸ (BKV Zrt., 2012)

⁶⁹ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁷⁰ (Hamburger Verkehrsverbund, 2019)

⁷¹ (Hamburger Hochbahn AG, 2018)

⁷² (S-Bahn Hamburg GmbH, 2018)

⁷³ (Münchner Verkehrsgesellschaft mbH (MVG), 2019)

⁷⁴ (Civitas Initiative, 2013)

⁷⁵ (Department of Transportation Engineering, 2017)

⁷⁶ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁷⁷ (ATAC Roma, 2018)

⁷⁸ (Giglio, 2015)

⁷⁹ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁸⁰ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁸¹ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁸² (Wiener Linien GmbH & Co KG, 2017)

Auswahl der Städte

In Tabelle 4 sind die Netzlängen der Verkehrsträger Bus, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn der untersuchten Städte angeführt. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass der Verkehrsträger Bus in allen Fällen das längste Netz aufweist. In den Städten Bukarest und Sofia gibt es kein S-Bahnnetz und in der Stadt Hamburg kein Straßenbahnnetz.

Tabelle 5: Haltestellenanzahl der einzelnen Verkehrsträger der ausgewählten Städte

Quelle: Eigene Darstellung

	Haltestellen				Gesamt
	Bus	Straßenbahn	U-Bahn	S-Bahn	
Barcelona	2.541 ⁸³	56 ⁸⁴	126*	9*	2.732
Budapest ⁸⁵	4.443*	627	48	73	5.191
Bukarest ⁸⁶	1.482	586	51	-	2.119
Hamburg	4.042*	-	92 ⁸⁷	68 ⁸⁸	4.202
München ⁸⁹	1.006	173	100	150 ⁹⁰	1.429
Prag ⁹¹	2.566*	274	61	46	2.947
Rom	8.390*	192 ⁹²	73 ⁹³	147 ⁹⁴	8.802
Sofia ⁹⁵	2.510	337*	27	-	2.874
Warschau ⁹⁶	4.965	571	21	48*	5.605
Wien ⁹⁷	4.197	1.053	109	53*	5.412

* Mit QGIS berechnet mithilfe der Datensätze von OpenStreetMap

⁸³ (Transports Metropolitans de Barcelona (TMB), 2018)

⁸⁴ (TRAM, 2018)

⁸⁵ (BKV Zrt., 2012)

⁸⁶ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁸⁷ (Hamburger Hochbahn AG, 2018)

⁸⁸ (S-Bahn Hamburg GmbH, 2018)

⁸⁹ (Münchner Verkehrsgesellschaft mbH (MVG), 2019)

⁹⁰ (Civitas Initiative, 2013)

⁹¹ (Department of Transportation Engineering, 2017)

⁹² (ATAC Roma, 2018)

⁹³ (ATAC Roma, 2018)

⁹⁴ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁹⁵ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁹⁶ (United Nations Economic Commission for Europe, 2015)

⁹⁷ (Wiener Linien GmbH & Co KG, 2017)

Auswahl der Städte

In Tabelle 5 sind die Haltestellenanzahlen der einzelnen Verkehrsträger Bus, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn der untersuchten Städte zu sehen. Auch hier sticht der Verkehrsträger Bus deutlich heraus, unter anderem aufgrund der deutlich größeren Netzlänge, welche auf der vorigen Seite beschrieben ist. Die Städte Bukarest und Sofia weisen keinen Wert für die S-Bahn und die Stadt Hamburg keinen für die Straßenbahn auf, da hier das entsprechende Netz nicht vorhanden ist.

Tabelle 6: Straßennetzlänge und Motorisierungsgrad der ausgewählten Städte
Quelle: Eigene Darstellung

	Straßennetzlänge [km]	Motorisierungsgrad [Pkw/1.000 Einwohner]
Barcelona	1.362 ⁹⁸	383 ⁹⁹
Budapest	1.133 ¹⁰⁰	327 ¹⁰¹
Bukarest	2.555*	-
Hamburg	4.398*	452 ¹⁰²
München	2.330 ¹⁰³	452 ¹⁰⁴
Prag	877 ¹⁰⁵	621 ¹⁰⁶
Rom	5.409*	641 ¹⁰⁷
Sofia	3.696*	-
Warschau	1.093 ¹⁰⁸	575 ¹⁰⁹
Wien	2.784 ¹¹⁰	371 ¹¹¹

* Mit QGIS berechnet mithilfe der Datensätze von OpenStreetMap

⁹⁸ (Rueda & Franzen, 2012)

⁹⁹ (Union Internationale de Transports Public, 2012)

¹⁰⁰ (Gorzalak, Bachtler, & Smetkowski, 2010)

¹⁰¹ (Union Internationale de Transports Public, 2012)

¹⁰² (Union Internationale de Transports Public, 2012)

¹⁰³ (Civitas Initiative, 2013)

¹⁰⁴ (Union Internationale de Transports Public, 2012)

¹⁰⁵ (Gorzalak, Bachtler, & Smetkowski, 2010)

¹⁰⁶ (Department of Transportation Engineering, 2017)

¹⁰⁷ (Union Internationale de Transports Public, 2012)

¹⁰⁸ (Gorzalak, Bachtler, & Smetkowski, 2010)

¹⁰⁹ (Union Internationale de Transports Public, 2012)

¹¹⁰ (Magistrat der Stadt Wien, 2018)

¹¹¹ (VCÖ - Mobilität mit Zukunft, 2018)

In Tabelle 6 sind die Straßennetzlänge und der Motorisierungsgrad der Städte ersichtlich. Es fällt auf, dass Prag mit 877 km das kürzeste Straßennetz aber mit 621 Pkw/1.000 Einwohner einen der höchsten Motorisierungsgrade im Vergleich zu den anderen Städten aufweist.

Auf den folgenden Seiten werden die Modal Splits der ausgewählten Städte in Abbildung 9-Abbildung 18 gegenübergestellt. Den höchsten ÖV-Anteil im Modal Split weist Warschau mit 47% auf, wobei Hamburg mit 22% den niedrigsten ÖV-Anteil hat.

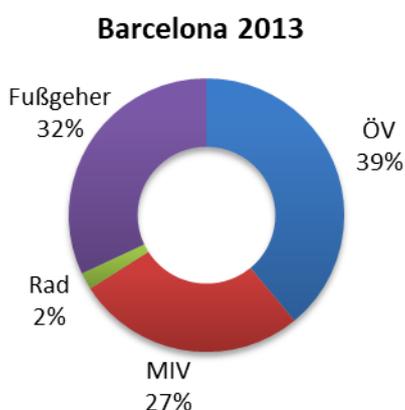


Abbildung 9: Modal Split von Barcelona aus dem Jahr 2013
Quelle: Eigene Darstellung (nach: Ajuntament de Barcelona, 2014, S. 20)

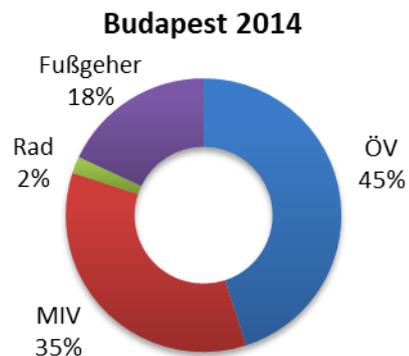


Abbildung 10: Modal Split von Budapest aus dem Jahr 2014
Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)

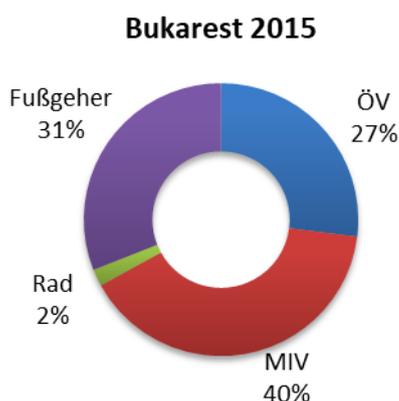


Abbildung 11: Modal Split von Bukarest aus dem Jahr 2015
Quelle: Eigene Darstellung (nach: Cavoli, 2017, S. 14)

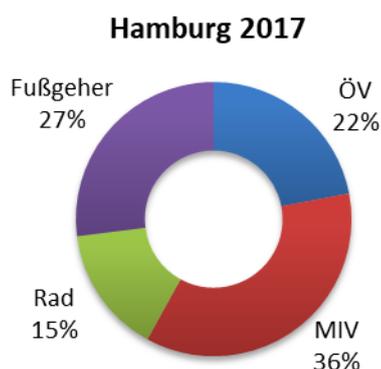


Abbildung 12: Modal Split von Hamburg aus dem Jahr 2017
Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)

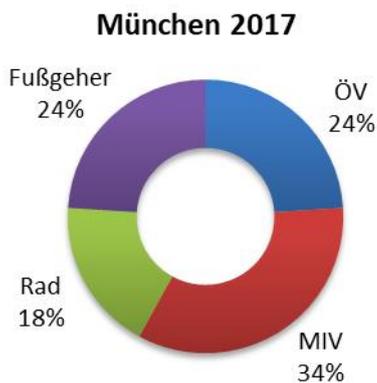


Abbildung 13: Modal Split von München aus dem Jahr 2017
Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)

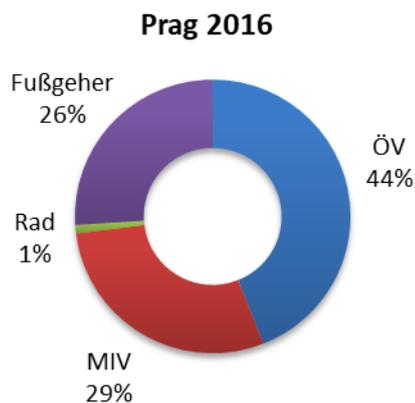


Abbildung 14: Modal Split von Prag aus dem Jahr 2016
Quelle: Eigene Darstellung (nach: Department of Transportation Engineering, 2017)

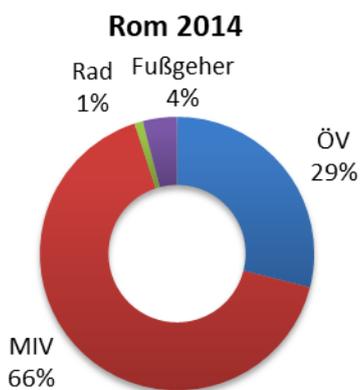


Abbildung 15: Modal Split von Rom aus dem Jahr 2014
Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)

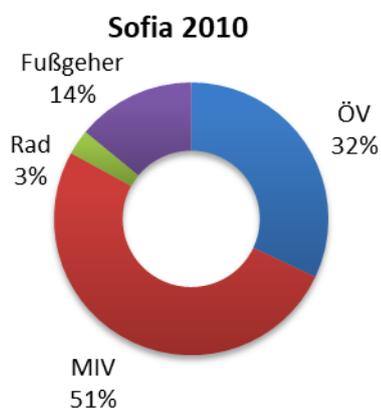


Abbildung 16: Modal Split von Sofia aus dem Jahr 2010
Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)

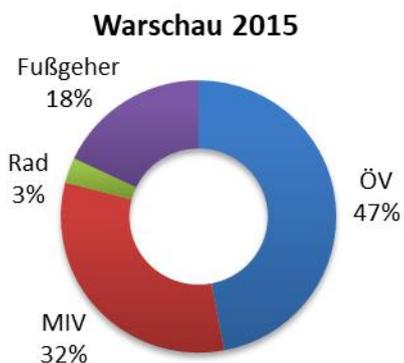


Abbildung 17: Modal Split von Warschau aus dem Jahr 2015
Quelle: Eigene Darstellung (nach: Iwinska, Blicharska, Pierotti, Tainio, & de Nazelle, 2018, S. 292)

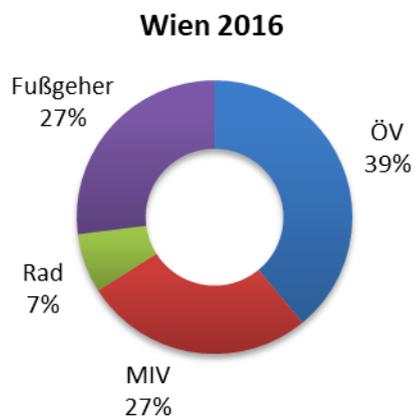


Abbildung 18: Modal Split von Wien aus dem Jahr 2016
Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)

Bei genauerer Betrachtung der Modal Splits der untersuchten Städte fällt auf, dass die Städte Rom und Sofia mit 4% und 14% sehr niedrige Anteile für den Fußgeherverkehr aufweisen. Dies könnte auf die Methode der Erhebung zurückzuführen sein. Eventuell wurden nur Wege im Berufsverkehr untersucht. Aufgrund dieser Abweichung und jener in den demographischen Daten werden die Städte Rom und Sofia aus der Stichprobe herausgenommen und bei der Analyse der Indikatoren nicht betrachtet. Somit verbleiben folgende acht Städte, anhand derer die Indikatoren analysiert werden:

- Barcelona
- Budapest
- Bukarest
- Hamburg
- München
- Prag
- Warschau
- Wien

In folgender Grafik sind die Ergebnisse der Untersuchung bezüglich der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr zu sehen. In Wien sind 95% der Befragten zufrieden mit dem öffentlichen Verkehr, wohingegen in Rom lediglich 30% der Befragten zufrieden mit dem ÖV sind.

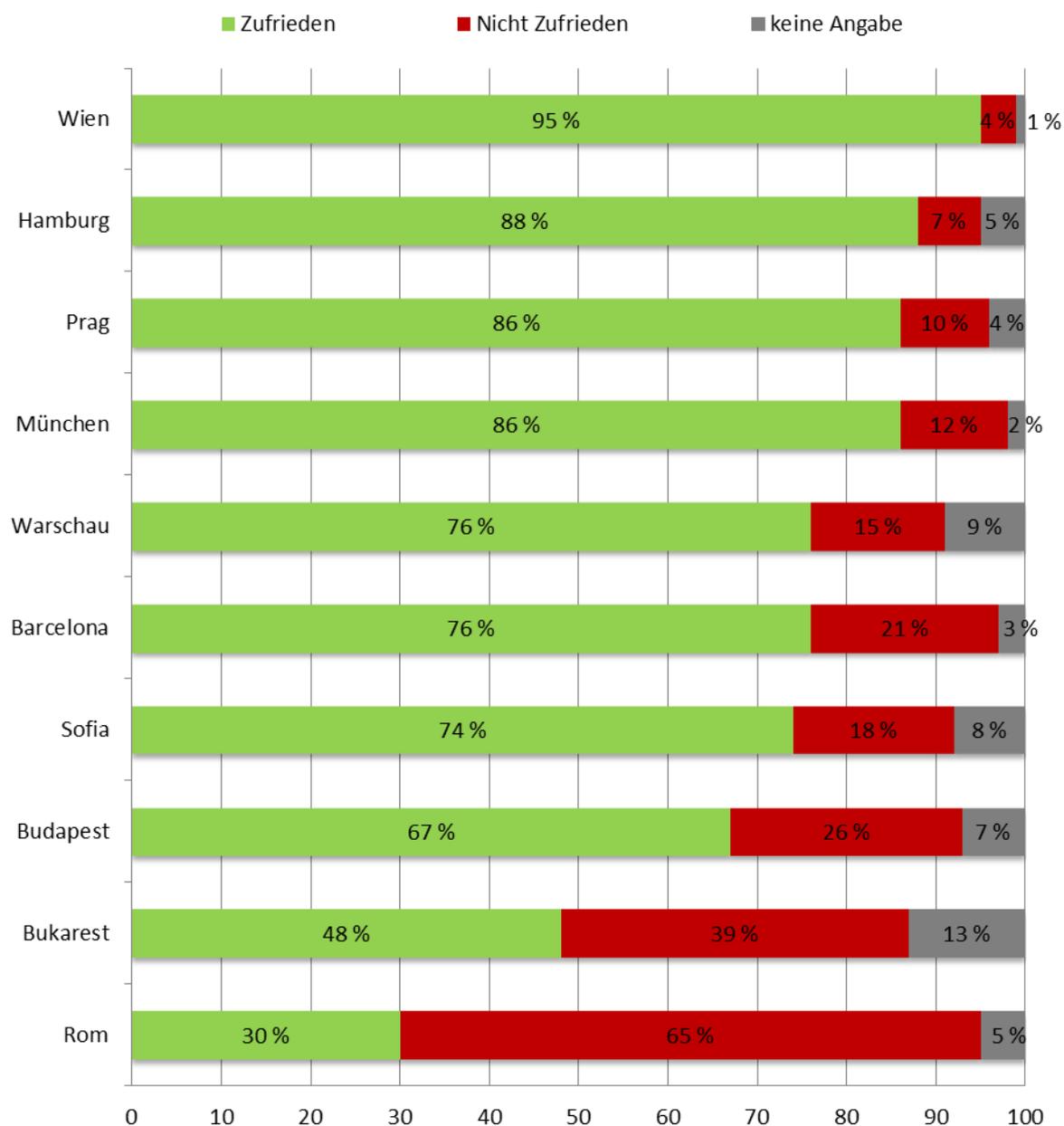


Abbildung 19: Die Zufriedenheit der Bevölkerung der ausgewählten Städte mit dem öffentlichen Verkehr im Vergleich
 Quelle: Eigene Darstellung (nach: Europäische Kommission, 2016, S. 25)

Bevor im nächsten Kapitel die Indikatoren berechnet und auf Zusammenhänge mit der ÖV-Nutzung bzw. der ÖV-Zufriedenheit überprüft werden, wird zunächst untersucht, ob eventuell zwischen diesen beiden Parametern ein Zusammenhang besteht.

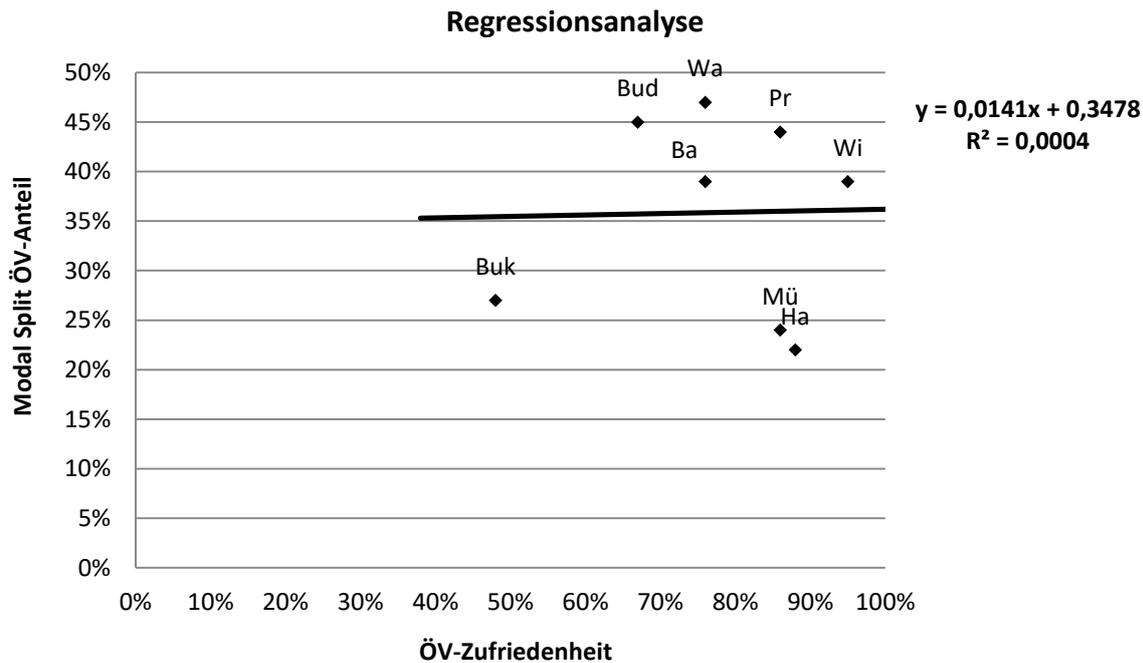


Abbildung 20: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem ÖV-Anteil des Modal Splits und der ÖV-Zufriedenheit
 Quelle: Eigene Darstellung

In obenstehender Abbildung ist ersichtlich, dass zwischen dem ÖV-Anteil des Modal Splits und der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr ein sehr schwacher Zusammenhang besteht. Das Bestimmtheitsmaß beträgt lediglich 0,0004.

In einem weiteren Schritt wird untersucht, ob die ÖV-Zufriedenheit eventuell mit dem Anteil des Modal Splits, der sich aus dem Fußgeher-Anteil, dem Rad-Anteil und dem ÖV-Anteil, also dem Anteil des Umweltverbunds, zusammensetzt, besser zusammenhängt.

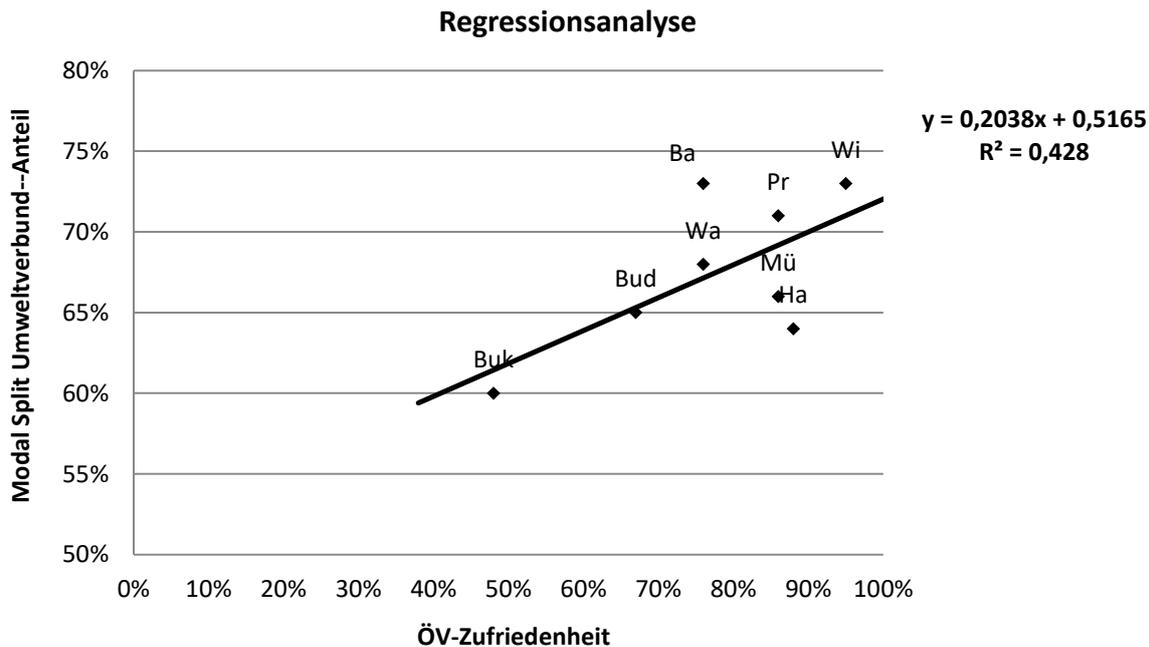


Abbildung 21: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Umweltverbund-Anteil des Modal Splits und der ÖV-Zufriedenheit
 Quelle: Eigene Darstellung

In diesem Diagramm ist eine Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Umweltverbund-Anteil im Modal Split und der ÖV-Zufriedenheit zu sehen. Die Steigung der Regressionsgerade deutet auf einen positiven Zusammenhang hin. Somit steigt mit dem Umweltverbund-Anteil im Modal Split auch die Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem ÖV. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,428. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass zwischen den beiden Parametern ein mittlerer Zusammenhang besteht.

8. Berechnung und Analyse der Indikatoren

Ziel ist es, einen Indikator zu finden, der einerseits einfach bestimmt werden kann, andererseits stark mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der Zufriedenheit mit dem ÖV korreliert. Die Berechnung des Indikators soll ausschließlich auf statistischen Kennzahlen oder auf geographischen Daten basieren, wie der Haltestellenverteilung und der Bevölkerungsverteilung.

Die Indikatoren 1-5 lassen sich vergleichsweise simpel bestimmen und beruhen lediglich auf einer Verhältniszahl. Dahingegen erfordern die Indikatoren 6 und 7 eine GIS-gestützte Berechnung und erweitern damit die Analyse um eine räumliche Komponente.

Mithilfe von Regressionen werden die Zusammenhänge zwischen den Indikatoren und dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der ÖV-Zufriedenheit bestimmt. Aus jeder Regressionsanalyse resultiert eine Funktionsgleichung, welche das Regressionsmodell beschreibt. Des Weiteren wird das Bestimmtheitsmaß R^2 der Regression berechnet, mit welchem eine Aussage über die Größe des Zusammenhangs möglich ist. In der nachstehenden Tabelle wird die Interpretation des Bestimmtheitsmaßes R^2 für diese Arbeit erläutert.

Tabelle 7: Interpretation des Bestimmtheitsmaßes R^2
Quelle: Eigene Darstellung

		Zusammenhang				
		sehr schwach	schwach	mittel	stark	sehr stark
R^2		< 0,20	0,20 - 0,40	0,40 - 0,60	0,60 - 0,80	> 0,80

8.1 Indikator 1: Durchschnittlicher Haltestellenabstand

Die Berechnung des durchschnittlichen Haltestellenabstandes erfolgt nach Formel (1) aus Kapitel 4.2.1. Diese wird zum besseren Verständnis noch einmal angeführt.

$$\text{Durchschn. Haltestellenabstand [km]} = \frac{\text{Verkehrssystemlänge [km]}}{\text{Haltestellenanzahl im Verkehrssystem}}$$

Als Verkehrssystemlänge wird in dieser Untersuchung die Länge des gesamten öffentlichen Verkehrsnetzes herangezogen. Diese setzt sich aus der Bus-, Straßenbahn-, U-Bahn- und S-Bahn-Netzlänge zusammen. Die Haltestellenanzahl im Verkehrssystem ist die Summe der Haltestellenanzahlen der einzelnen Verkehrsträger. In folgender Tabelle sind die ÖV-Netzlänge, die Haltestellenanzahl sowie der daraus berechnete Indikator für die ausgewählten Städte ersichtlich.

Tabelle 8: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für ausgewählte Städte

Quelle: Eigene Darstellung

	ÖV-Netzlänge [km]	Haltestellenanzahl	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]
Barcelona	1187	2732	434
Budapest	2644	5191	509
Bukarest	2532	2119	1195
Hamburg	2550	4202	607
München	1116	1429	781
Prag	1193	2947	405
Warschau	3441	5605	614
Wien	1269	5412	235

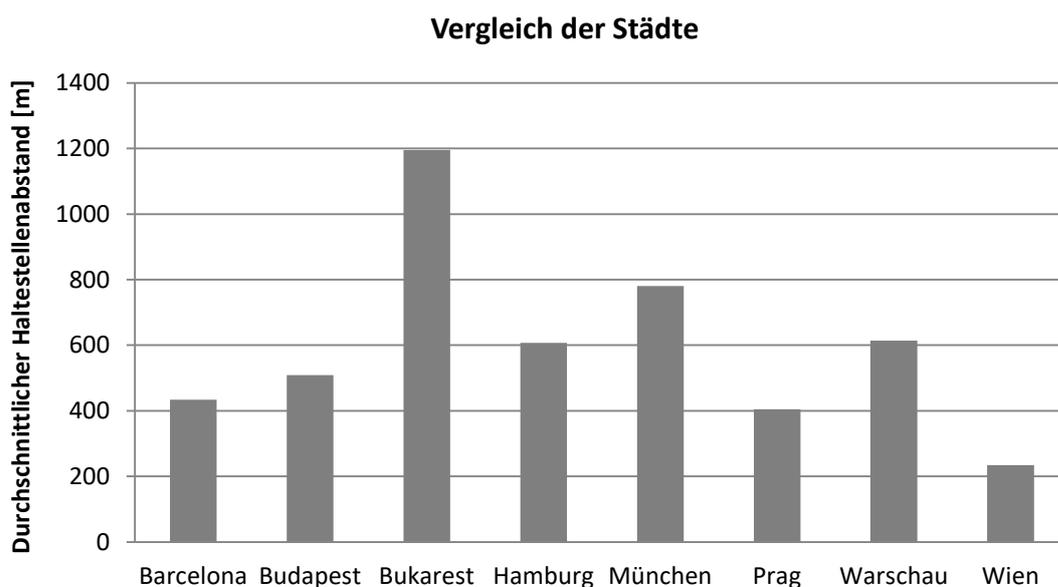


Abbildung 22: Vergleich der Städte hinsichtlich des durchschnittlichen Haltestellenabstandes

Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 22 ist ersichtlich, dass der Indikator zwischen den Städten stark schwankt. Bukarest weist mit 1195m den höchsten und Wien mit 235m den niedrigsten Wert auf.

Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Im Folgenden wird untersucht, wie stark der Indikator mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits korreliert. In der nachstehenden Tabelle ist eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für die betrachteten Städte ersichtlich.

Tabelle 9: Gegenüberstellung vom durchschnittlichen Haltestellenabstand und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]	Modal Split ÖV-Anteil
Barcelona	Ba	434	39%
Budapest	Bud	509	45%
Bukarest	Buk	1195	27%
Hamburg	Ha	607	22%
München	Mü	781	24%
Prag	Pr	405	44%
Warschau	Wa	614	47%
Wien	Wi	235	39%

In der nachstehenden Abbildung ist eine lineare Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Indikator und ÖV-Anteil des Modal Splits zu sehen. Die Punktwolke besteht aus acht Punkten, wobei jeder Punkt das Wertepaar einer Stadt darstellt. Die Punktwolke wird mithilfe einer Regressionsgerade möglichst gut beschrieben.

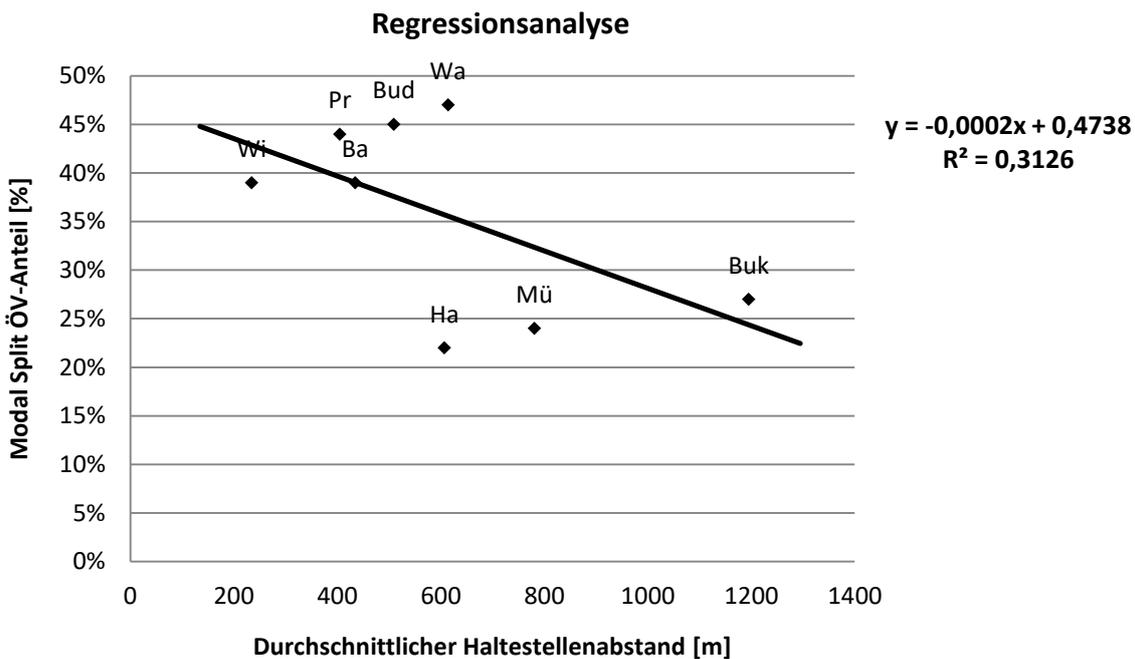


Abbildung 23: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 1 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
 Quelle: Eigene Darstellung

Erwartungsgemäß besitzt die Regressionsgerade eine negative Steigung. Dies deutet auf einen negativen Zusammenhang hin. Das bedeutet, je höher der durchschnittliche Haltestellenabstand, umso geringer ist der ÖV-Anteil des Modal Splits. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,3126 und besagt somit, dass zwischen dem durchschnittlichen Haltestellenabstand und dem ÖV-Anteil des Modal Splits ein **schwacher Zusammenhang** besteht.

Dieser Zusammenhang wird im Weiteren einer multiplen linearen Regressionsanalyse unterzogen. Hierbei wird der durchschnittliche Haltestellenabstand separat für die Verkehrsträger Bus, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn berechnet. Somit entsteht ein Regressionsmodell, welches vier Regressionsparameter aufweist und anhand folgender Formel beschrieben wird.

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 \tag{11}$$

x_1, x_2, x_3 und x_4 sind die vier Einflussgrößen, also die durchschnittlichen Haltestellenabstände der einzelnen Verkehrsträger. y ist in diesem Fall der ÖV-Anteil des Modal Splits, welche mithilfe der Einflussgrößen x_1, x_2, x_3, x_4 und Parameter a, b_1, b_2, b_3, b_4

erklärt wird. Mithilfe der multiplen linearen Regression werden die Parameter a , b_1 , b_2 , b_3 und b_4 berechnet.

In den folgenden Tabellen wird der Indikator getrennt nach Verkehrsmittelart für die untersuchten Städte berechnet.

Tabelle 10: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für den Verkehrsträger Bus
Quelle: Eigene Darstellung

Bus			
	ÖV-Netzlänge [km]	Haltestellenanzahl	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]
Barcelona	833	2541	328
Budapest	2409	4443	542
Bukarest	2282	1482	1540
Hamburg	2300	4042	569
München	505	1006	502
Prag	825	2566	322
Warschau	3077	4965	620
Wien	846	4197	202

Tabelle 11: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für den Verkehrsträger Straßenbahn
Quelle: Eigene Darstellung

Straßenbahn			
	ÖV-Netzlänge [km]	Haltestellenanzahl	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]
Barcelona	29	56	518
Budapest	155	627	247
Bukarest	181	586	309
Hamburg	-	-	-
München	82	173	474
Prag	143	274	521
Warschau	248	571	434
Wien	220	1053	209

Berechnung und Analyse der Indikatoren

Tabelle 12: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für den Verkehrsträger U-Bahn

Quelle: Eigene Darstellung

	U-Bahn		
	ÖV-Netzlänge [km]	Haltestellenanzahl	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]
Barcelona	182	126	1444
Budapest	39	48	821
Bukarest	69	51	1359
Hamburg	106	92	1152
München	95	100	950
Prag	65	61	1067
Warschau	23	21	1095
Wien	83	109	762

Tabelle 13: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für den Verkehrsträger S-Bahn

Quelle: Eigene Darstellung

	S-Bahn		
	ÖV-Netzlänge [km]	Haltestellenanzahl	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]
Barcelona	143	9	15889
Budapest	41	73	562
Bukarest	-	-	-
Hamburg	144	68	2118
München	434	150	2893
Prag	160	46	3478
Warschau	93	48	1938
Wien	120	53	2266

In der nachstehenden Tabelle sind die durchschnittlichen Haltestellenabstände jedes Verkehrsträgers übersichtlich dargestellt und dem ÖV-Anteil des Modal Splits gegenübergestellt.

Tabelle 14: Gegenüberstellung von den durchschnittlichen Haltestellenabständen der verschiedenen Verkehrsträger und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
 Quelle: Eigene Darstellung

	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]				ÖV-Anteil Modal Split [%]
	Bus	Straßenbahn	U-Bahn	S-Bahn	
Barcelona	328	518	1444	15889	39
Budapest	542	247	821	562	45
Bukarest	1540	309	1359	-	27
Hamburg	569	-	1152	2118	22
München	502	474	950	2893	24
Prag	322	521	1067	3478	44
Warschau	620	434	1095	1938	47
Wien	202	209	762	2266	39

Im weiteren Verlauf wird mithilfe von MS Excel die multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt und somit die gesuchten Parameter berechnet.

Tabelle 15: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung
 Quelle: Eigene Darstellung

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,5735
Bestimmtheitsmaß	0,3289
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	-0,5658
Standardabweichung	12,5567
Beobachtungen	8

Tabelle 16: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert
Quelle: Eigene Darstellung

	Koeffizienten	Standardabweichung	t-Wert	p-Wert
Schnittpunkt	40,2693	36,5915	1,1005	0,3515
Bus	-0,0068	0,0267	-0,2539	0,8160
Straßenbahn	0,0251	0,0295	0,8524	0,4566
U-Bahn	-0,0077	0,0506	0,1528	0,8882
S-Bahn	-0,0002	0,0024	-0,0716	0,9474

In der Tabelle 15 und Tabelle 16 sind die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse ersichtlich. Das adjustierte Bestimmtheitsmaß beträgt -0,5685, somit besteht **kein Zusammenhang** zwischen den durchschnittlichen Haltestellenabständen und dem ÖV-Anteil des Modal Split. Die t-Werte aller Modellparameter sind sehr niedrig, und die p-Werte aller Parameter sind sehr hoch, somit erklären alle vier Variablen sehr schlecht die Zielvariable „ÖV-Anteil des Modal Splits“. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das Bestimmtheitsmaß aus der einfachen linearen Regression, welches 0,3126 beträgt, nur zufällig so hoch ist und zwischen dem Indikator „durchschnittlicher Haltestellenabstand“ und dem ÖV-Anteil des Modal Splits absolut **kein Zusammenhang** besteht.

Zusammenhang mit der ÖV-Zufriedenheit

Hier wird untersucht, wie stark der durchschnittliche Haltestellenabstand mit der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr zusammenhängt. In Tabelle 17 ist eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für die untersuchten Städte ersichtlich.

Berechnung und Analyse der Indikatoren

Tabelle 17: Gegenüberstellung vom durchschnittlichen Haltestellenabstand und der Zufriedenheit mit dem ÖV
Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]	Zufriedenheit mit dem ÖV
Barcelona	Ba	434	76%
Budapest	Bud	509	67%
Bukarest	Buk	1195	48%
Hamburg	Ha	607	88%
München	Mü	781	86%
Prag	Pr	405	86%
Warschau	Wa	614	76%
Wien	Wi	235	95%

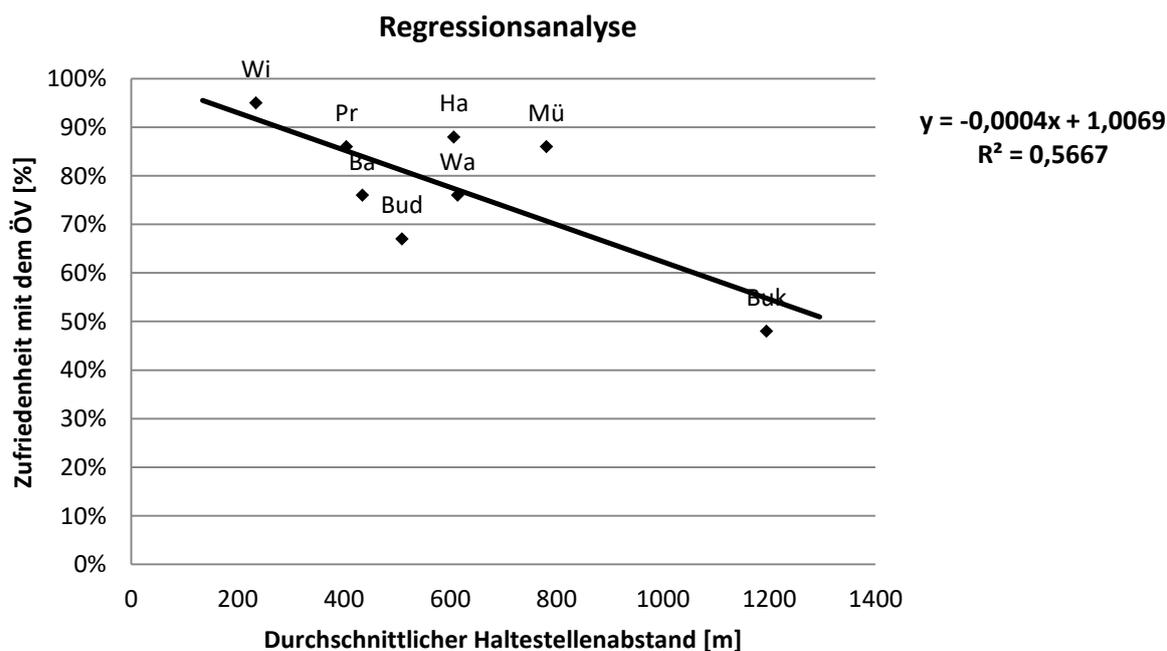


Abbildung 24: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 1 und der Zufriedenheit mit dem ÖV.

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 24 beschreibt die lineare Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem durchschnittlichen Haltestellenabstand und der Zufriedenheit mit dem ÖV. Die Erstellung der Regressionsgerade erfolgt anhand der gegebenen acht Datenpunkte aus obiger Tabelle. Auch hier besitzt die Regressionsgerade erwartungsgemäß eine negative

Steigung, was auf einen negativen Zusammenhang hindeutet. Das heißt, je höher der durchschnittliche Haltestellenabstand, umso niedriger ist die Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,5667, somit besteht ein **mittlerer Zusammenhang** zwischen dem Indikator und der ÖV-Zufriedenheit.

Aufgrund des hohen mittleren Zusammenhangs, wird dieser mithilfe einer multiplen linearen Regression genauer analysiert. Hierbei wird erneut der durchschnittliche Haltestellenabstand separat für die Verkehrsträger Bus, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn herangezogen. Somit entsteht ein Regressionsmodell, welches vier Regressionsparameter aufweist und anhand folgender Formel beschrieben wird.

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 \quad (12)$$

y ist in diesem Fall die Zufriedenheit mit dem ÖV, welche mithilfe der Einflussgrößen x_1, x_2, x_3, x_4 und Parameter a, b_1, b_2, b_3, b_4 erklärt wird. Mithilfe der multiplen linearen Regression werden die Parameter a, b_1, b_2, b_3 und b_4 berechnet. In der nachstehenden Tabelle sind die durchschnittlichen Haltestellenabstände jedes Verkehrsträgers übersichtlich dargestellt und der Zufriedenheit mit dem ÖV gegenübergestellt.

Tabelle 18: Gegenüberstellung von den durchschnittlichen Haltestellenabständen der verschiedenen Verkehrsträger und der Zufriedenheit mit dem ÖV
Quelle: Eigene Darstellung

	Durchschnittlicher Haltestellenabstand [m]				Zufriedenheit mit ÖV [%]
	Bus	Straßenbahn	U-Bahn	S-Bahn	
Barcelona	328	518	1444	15889	76
Budapest	542	247	821	562	67
Bukarest	1540	309	1359	-	48
Hamburg	569	-	1152	2118	88
München	502	474	950	2893	86
Prag	322	521	1067	3478	86
Warschau	620	434	1095	1938	76
Wien	202	209	762	2266	95

Im weiteren Verlauf wird mithilfe von MS Excel die multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt und somit die gesuchten Parameter berechnet.

Tabelle 19: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung
Quelle: Eigene Darstellung

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,9209
Bestimmtheitsmaß	0,8481
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,6455
Standardabweichung	8,8474
Beobachtungen	8

Tabelle 20: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und P-Wert
Quelle: Eigene Darstellung

	Koeffizienten	Standardabweichung	t-Wert	P-Wert
Schnittpunkt	81,1618	25,7822	3,1480	0,0513
Bus	-0,0491	0,0188	-2,6091	0,0797
Straßenbahn	-0,0094	0,0208	0,4553	0,6798
U-Bahn	0,0323	0,0356	0,9073	0,4311
S-Bahn	-0,0019	0,0017	-1,0964	0,3530

In der Tabelle 19 und Tabelle 20 sind die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse ersichtlich. Das adjustierte Bestimmtheitsmaß beträgt 0,6455, somit besteht ein **starker Zusammenhang** zwischen den durchschnittlichen Haltestellenabständen und der Zufriedenheit mit dem ÖV. Mit den Koeffizienten aus Tabelle 20 lässt sich die Formel des Regressionsmodells wie folgt darstellen:

$$y = 81,1618 + (-0,0491)x_1 + (-0,0094)x_2 + 0,0323x_3 + (-0,0019)x_4 \quad (13)$$

Es fällt auf, dass der Koeffizient b_1 , welcher dem Verkehrsträger Bus zugeordnet ist, mit (-0,0491) betragsmäßig größer ist als die restlichen drei Koeffizienten b_2 , b_3 und b_4 . Das bedeutet, dass der Parameter Bus den größten Einfluss auf den oben beschriebenen starken Zusammenhang hat. Des Weiteren lässt sich aus der Regressionsstatistik ablesen, dass der Parameter Bus einen sehr guten p-Wert (0,0513) und ebenso einen akzeptablen t-Wert (-2,6091) aufweist, im Gegensatz zu den Parametern Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn,

welche um ein Vielfaches höhere p-Werte und niedrigere t-Werte aufweisen. Aufgrund dessen werden diese drei Parameter aus der Analyse herausgenommen und eine weitere Regressionsanalyse, ausschließlich mit dem Parameter Bus, durchgeführt.

Tabelle 21: Ergebnisse der einfachen Regression mit dem Parameter Bus mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung
Quelle: Eigene Darstellung

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,8622
Bestimmtheitsmaß	0,7434
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,7006
Standardabweichung	8,1301
Beobachtungen	8

Tabelle 22: Ergebnisse der einfachen Regression mit dem Parameter Bus mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und P-Wert
Quelle: Eigene Darstellung

	Koeffizienten	Standardabweichung	t-Wert	P-Wert
Schnittpunkt	95,6027	5,1574	18,5371	1,59 E-06
Bus	-0,0309	0,0074	-4,1692	0,0059

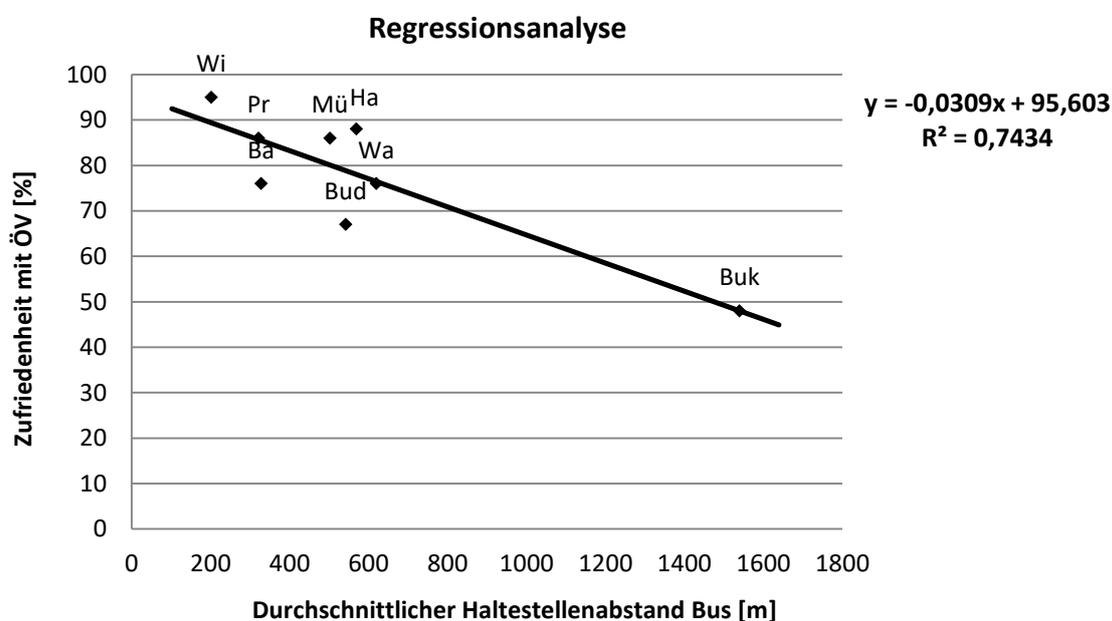


Abbildung 25: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem durchschnittlichen Haltestellenabstandes des Busverkehrssystems und der Zufriedenheit mit dem ÖV.
Quelle: Eigene Darstellung

In Tabelle 21 und Tabelle 22 sind die Ergebnisse der einfachen linearen Regressionsanalyse zu sehen. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen dem Indikator „durchschnittlicher Haltestellenabstand“ des Verkehrsträgers Bus und der Zufriedenheit mit dem ÖV untersucht. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,7434 und somit besteht ein **starker Zusammenhang**.

8.2 Indikator 2: Haltestellen pro km²

Die Berechnung der Haltestellenanzahl pro km² erfolgt nach Formel (2) aus Kapitel 4.2.2. Diese wird zum besseren Verständnis noch einmal angeführt.

$$\text{Haltestellendichte}_{\text{Fläche}} [\text{HS}/\text{km}^2] = \frac{\text{Haltestellenanzahl}}{\text{Fläche der Stadt} [\text{km}^2]}$$

Die Haltestellenanzahl ist die Summe der Haltestellen der Verkehrsträger Bus, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn einer Stadt.

In nachstehender Tabelle sind die Haltestellenanzahl, die Fläche sowie die berechnete Haltestellenanzahl pro km² für jede der untersuchten Städte angegeben.

Tabelle 23: Haltestellenanzahl, Fläche der Stadt und die daraus berechnete Haltestellenanzahl pro km² für ausgewählte Städte
Quelle: Eigene Darstellung

	Haltestellenanzahl	Fläche [km ²]	Haltestellen pro km ²
Barcelona	2732	101	27
Budapest	5191	525	10
Bukarest	2119	228	9
Hamburg	4202	755	6
München	1429	310	5
Prag	2947	496	6
Warschau	5605	517	11
Wien	5412	415	13

In Abbildung 26 ist ein Vergleich der Städte hinsichtlich der Haltestellenanzahl pro km² ersichtlich. Es ist zu erkennen, dass Barcelona mit 27 Haltestellen pro km² den höchsten

Wert aufweist. Dieser Umstand ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Lage der Stadtgrenze zurückzuführen. Innerhalb Barcelonas Stadtgrenze liegt fast ausschließlich eine städtische Bebauung vor, was zu einer hohen Haltestellendichte führt.

Die Werte der restlichen Städte liegen zwischen 5 und 13 Haltestellen pro km². Wien hat mit 13 Haltestellen pro km² im Vergleich mit den anderen Städten einen der höchsten Werte.

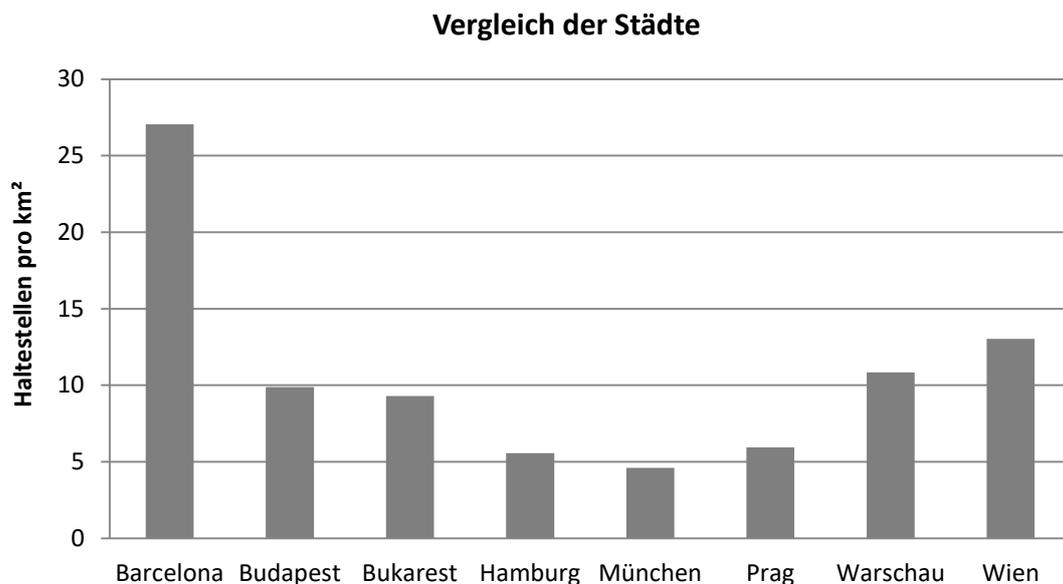


Abbildung 26: Vergleich der Städte hinsichtlich der Haltestellenanzahl pro km²
Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Im weiteren Verlauf wird untersucht, wie sehr der Indikator „Haltestellenanzahl pro km²“ mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits zusammenhängt. Folgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für jede der untersuchten Städte.

Tabelle 24: Gegenüberstellung von der Haltestellenanzahl pro km² und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Haltestellen pro km ²	Modal Split ÖV-Anteil
Barcelona	Ba	27	39%
Budapest	Bud	10	45%
Bukarest	Buk	9	27%
Hamburg	Ha	6	22%
München	Mü	5	24%
Prag	Pr	6	44%
Warschau	Wa	11	47%
Wien	Wi	13	39%

In Abbildung 27 ist eine lineare Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits zu sehen. Der rote Datenpunkt im Punktdiagramm beschreibt die Werte für Barcelona. Dieser wird bei der Erstellung der Regressionsgerade nicht berücksichtigt, da er stark vom Streuungsbereich abweicht. Die Erstellung der Regressionsgerade erfolgt anhand der restlichen sieben Datenpunkte.

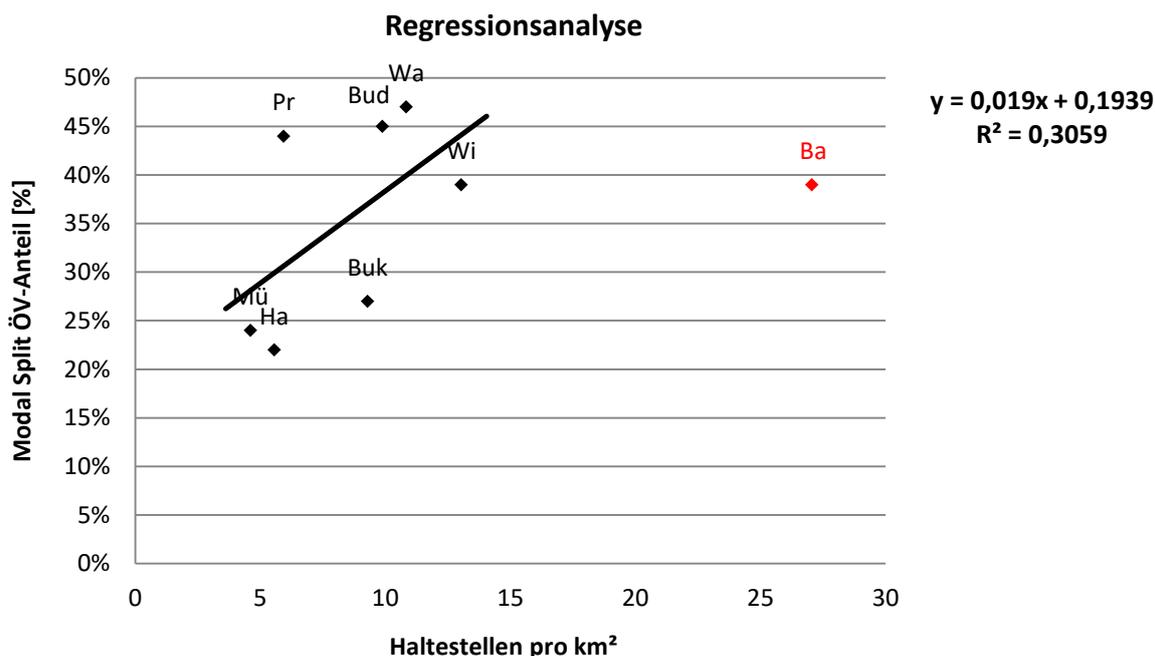


Abbildung 27: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 2 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund der steigenden Regressionsgerade besteht hier wie erwartet ein positiver Zusammenhang. Das heißt, je höher die Haltestellenanzahl pro km², umso höher ist der ÖV-Anteil des Modal Splits. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,3059, somit besteht ein **schwacher Zusammenhang** zwischen dem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.

Zusammenhang mit der ÖV-Zufriedenheit

In Tabelle 25 ist eine Gegenüberstellung vom Indikator „Haltestellenanzahl pro km²“ und der Zufriedenheit mit dem ÖV für jede untersuchte Stadt ersichtlich.

Abbildung 28 zeigt eine lineare Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator und der ÖV-Zufriedenheit. Es lässt sich beobachten, dass die Datenpunkte eine sehr starke und ungeordnete Streuung aufweisen. Folglich beträgt das Bestimmtheitsmaß der Regression nur 0,0115. Daraus resultiert, dass zwischen der Haltestellenanzahl pro km² und der Zufriedenheit mit dem ÖV ein **sehr schwacher Zusammenhang** besteht.

Berechnung und Analyse der Indikatoren

Tabelle 25: Gegenüberstellung von der Haltestellenanzahl pro km² und der Zufriedenheit mit dem ÖV
Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Haltestellen pro km ²	Zufriedenheit mit dem ÖV
Barcelona	Ba	27	76%
Budapest	Bud	10	67%
Bukarest	Buk	9	48%
Hamburg	Ha	6	88%
München	Mü	5	86%
Prag	Pr	6	86%
Warschau	Wa	11	76%
Wien	Wi	13	95%

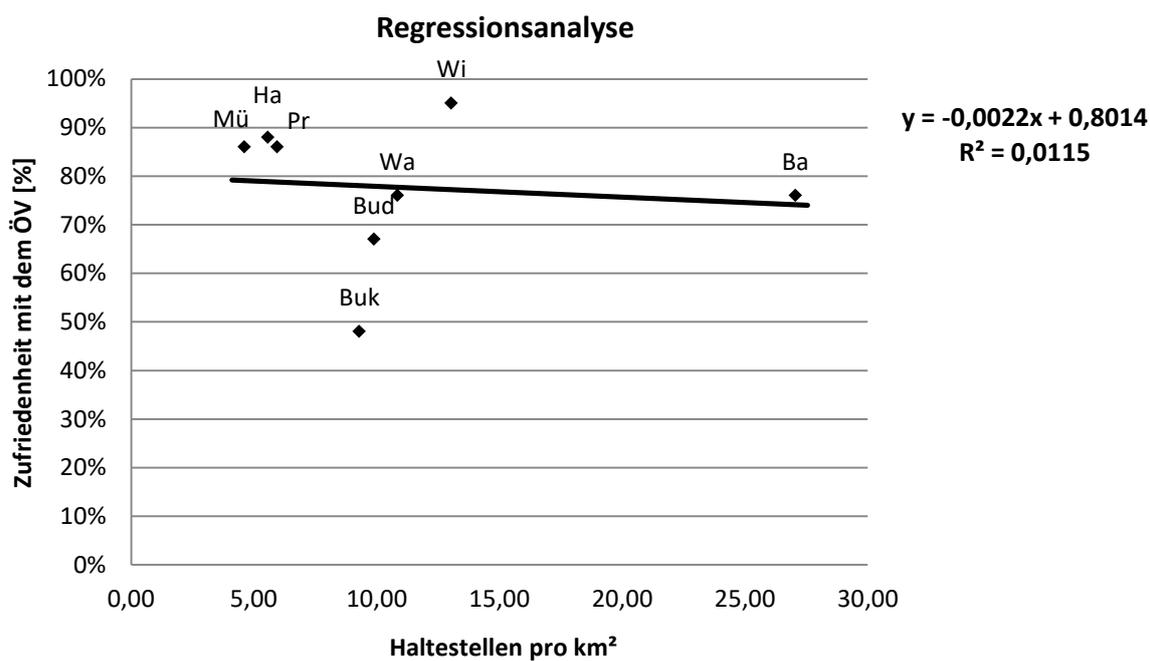


Abbildung 28: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 2 und der Zufriedenheit mit dem ÖV
Quelle: Eigene Darstellung

8.3 Indikator 3: Haltestellen pro 1.000 Einwohner

Die Berechnung der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner erfolgt nach Formel (3) aus Kapitel 4.2.3. Diese wird zum besseren Verständnis noch einmal angeführt.

$$\text{Haltestellendichte}_{\text{Einwohner}} = \frac{\text{Haltestellenanzahl}}{\text{Einwohnerzahl}} * 1000$$

Die Haltestellenanzahl ist, wie schon beim vorigen Indikator beschrieben, die Summe der Haltestellen der Verkehrsträger Bus, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn einer Stadt.

In folgender Tabelle sind die Haltestellenanzahl, die Einwohnerzahl sowie der daraus berechnete Indikator für die ausgewählten Städte ersichtlich.

Tabelle 26: Haltestellenanzahl, Einwohnerzahl der Stadt und die daraus berechnete Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner für ausgewählte Städte
Quelle: Eigene Darstellung

	Haltestellenanzahl	Einwohner	Haltestellen pro 1.000 Einwohner
Barcelona	2732	1.620.343	1,69
Budapest	5191	1.749.734	2,97
Bukarest	2119	1.835.623	1,15
Hamburg	4202	1.841.484	2,38
München	1429	1.456.039	0,98
Prag	2947	1.280.508	2,30
Warschau	5605	1.753.977	3,20
Wien	5412	1.898.000	2,85

In Abbildung 29 ist ersichtlich, dass die Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner zwischen den Städten stark schwankt. Warschau weist mit 3,20 Haltestellen pro 1.000 Einwohner den höchsten und München mit 0,98 Haltestellen pro 1.000 Einwohner den niedrigsten Wert auf. Wien hat mit 2,85 Haltestellen pro 1.000 Einwohner im Vergleich mit den anderen Städten einen der höchsten Werte.

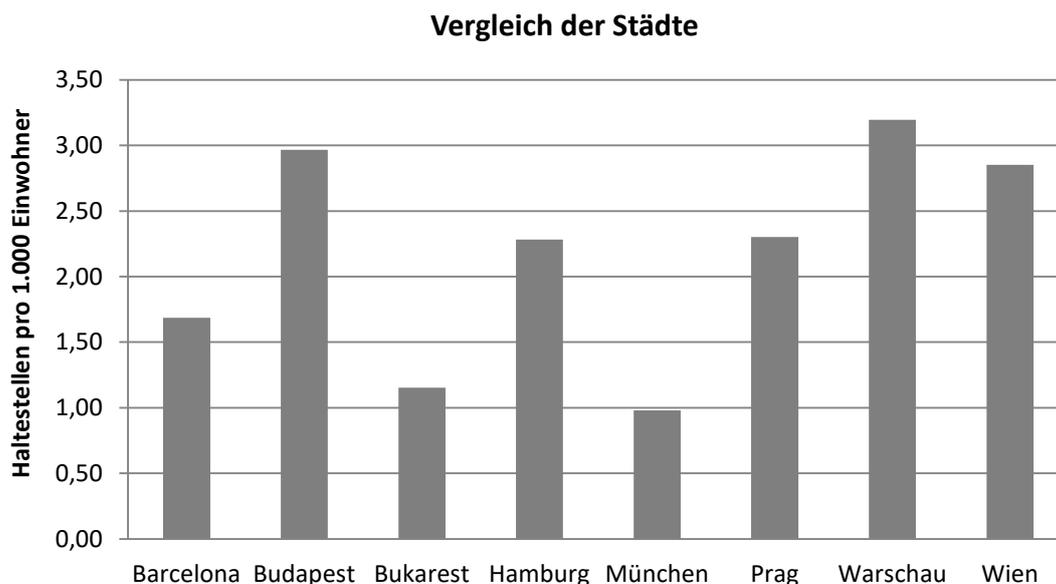


Abbildung 29: Vergleich der Städte hinsichtlich der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner
Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Im Folgenden wird untersucht, wie stark der Indikator mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits korreliert. In der nachstehenden Tabelle ist eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für die betrachteten Städte ersichtlich.

Abbildung 30 zeigt eine logarithmische Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner und dem ÖV-Anteil des Modal Splits. Der rote Datenpunkt im Punktdiagramm beschreibt die Werte für Hamburg. Dieser wird bei der Erstellung der Funktion nicht berücksichtigt, da er stark vom Streubereich abweicht. Die Erstellung der Logarithmusfunktion erfolgt anhand der restlichen sieben Datenpunkte. Die stark steigende Funktion deutet auf einen positiven Zusammenhang hin. Das bedeutet, je höher die Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner, umso höher ist der ÖV-Anteil des Modal Splits. Die Datenpunkte liegen sehr nahe an der logarithmischen Funktion, was zu einem sehr hohen Bestimmtheitsmaß führt. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,8753. Somit besteht zwischen der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner und dem ÖV-Anteil des Modal Splits ein **sehr starker Zusammenhang**.

Berechnung und Analyse der Indikatoren

Tabelle 27: Gegenüberstellung von der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Haltestellen pro 1.000 Einwohner	Modal Split ÖV-Anteil
Barcelona	Ba	1,69	39%
Budapest	Bud	2,97	45%
Bukarest	Buk	1,15	27%
Hamburg	Ha	2,38	22%
München	Mü	0,98	24%
Prag	Pr	2,30	44%
Warschau	Wa	3,20	47%
Wien	Wi	2,85	39%

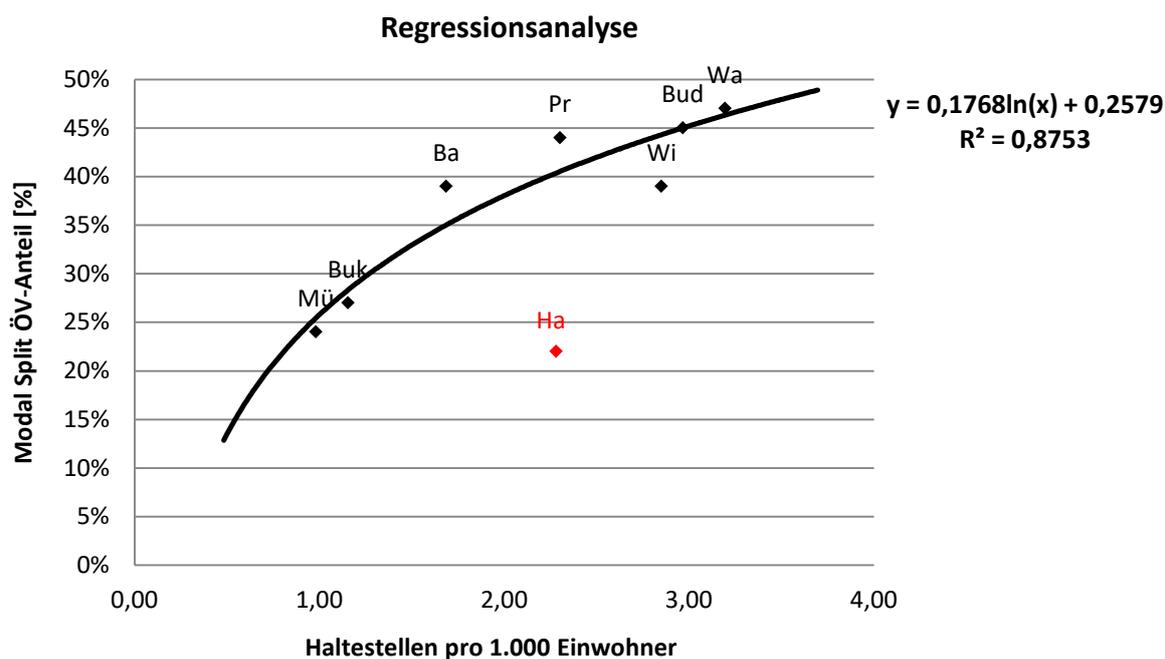


Abbildung 30: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 3 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenhang mit der ÖV-Zufriedenheit

Hier wird analysiert, wie sehr die Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner mit der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr zusammenhängt. In folgender Tabelle ist eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für jede untersuchte Stadt ersichtlich.

Tabelle 28: Gegenüberstellung von der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner und der Zufriedenheit mit dem ÖV
 Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Haltestellen pro 1.000 Einwohner	Zufriedenheit mit dem ÖV
Barcelona	Ba	1,69	76%
Budapest	Bud	2,97	67%
Bukarest	Buk	1,15	48%
Hamburg	Ha	2,38	88%
München	Mü	0,98	86%
Prag	Pr	2,30	86%
Warschau	Wa	3,20	76%
Wien	Wi	2,85	95%

In Abbildung 31 wird der oben genannte Zusammenhang mithilfe einer Regression veranschaulicht. In diesem Fall wird eine Potenzfunktion mit einem positiven rationalen Exponenten angewendet, da diese die Datenpunkte im Punktdiagramm am besten wiedergibt. Aufgrund der steigenden Funktion besteht hier wie erwartet ein positiver Zusammenhang. Das heißt, je höher die Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner, umso höher ist die Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,1174, somit besteht ein **sehr schwacher Zusammenhang** zwischen dem Indikator und der ÖV-Zufriedenheit.

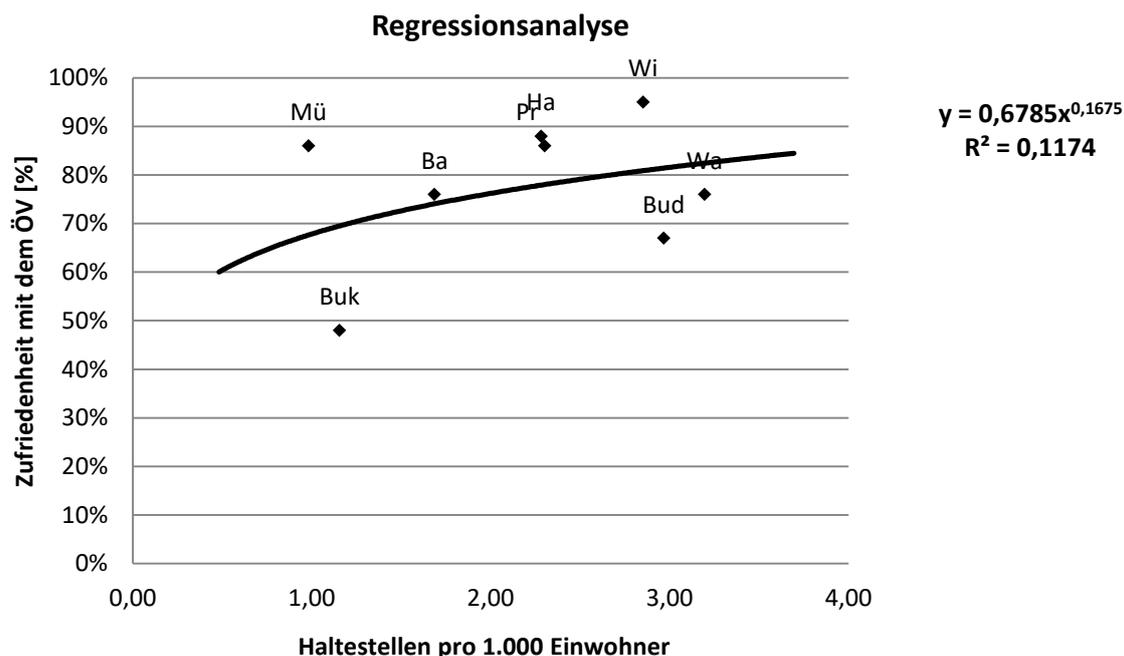


Abbildung 31: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 3 und der Zufriedenheit mit dem ÖV
 Quelle: Eigene Darstellung

8.4 Indikator 4: ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis

Die Berechnung des ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnisses erfolgt nach Formel (4) aus Kapitel 4.2.4. Diese wird zum besseren Verständnis noch einmal angeführt.

$$\text{ÖV – Netz – Straßennetz – Verhältnis}[-] = \frac{\text{ÖV – Netzlänge [km]}}{\text{Straßennetzlänge [km]}}$$

Die ÖV-Netzlänge setzt sich aus der Bus-, Straßenbahn-, U-Bahn- und S-Bahn-Netzlänge zusammen. In Tabelle 29 sind die ÖV-Netzlänge, die Straßennetzlänge sowie der daraus berechnete Indikator für die ausgewählten Städte ersichtlich.

Berechnung und Analyse der Indikatoren

Tabelle 29: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und das daraus berechnete ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis für ausgewählte Städte

Quelle: Eigene Darstellung

	ÖV-Netzlänge [km]	Straßennetzlänge [km]	ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis
Barcelona	1187	1362	0,87
Budapest	2644	1133	2,33
Bukarest	2532	2555	0,99
Hamburg	2550	4398	0,58
München	1116	2330	0,48
Prag	1193	877	1,36
Warschau	3441	1093	3,15
Wien	1269	2784	0,46

Vergleich der Städte

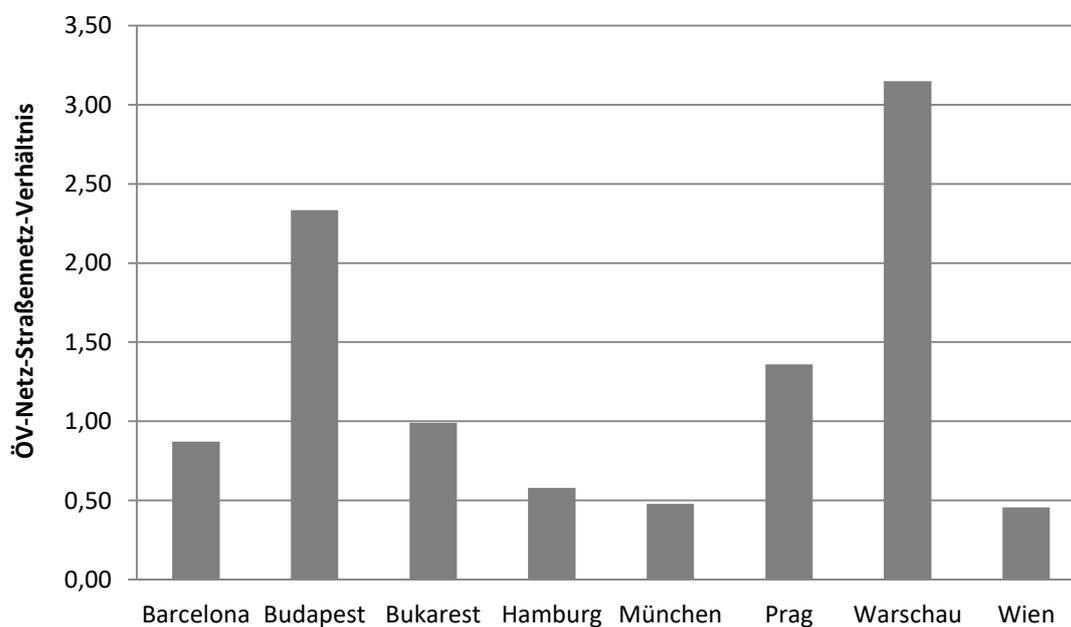


Abbildung 32: Vergleich der Städte hinsichtlich des ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnisses

Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 32 ist ein Vergleich der Städte hinsichtlich des Indikators zu sehen. Es fällt auf, dass Warschau mit 3,15 einen weitaus höheren Wert als die anderen Städte aufweist. Die

restlichen Städte weisen Werte zwischen 0,46 und 2,33 auf. Wien weist mit einem ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis von 0,46 im Vergleich den niedrigsten Wert auf.

Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Im weiteren Verlauf wird untersucht, wie sehr der Indikator „ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis“ mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits zusammenhängt. Folgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für jede der untersuchten Städte.

Tabelle 30: Gegenüberstellung vom ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis	Modal Split ÖV-Anteil
Barcelona	Ba	0,87	39%
Budapest	Bud	2,33	45%
Bukarest	Buk	0,99	27%
Hamburg	Ha	0,58	22%
München	Mü	0,48	24%
Prag	Pr	1,36	44%
Warschau	Wa	3,15	47%
Wien	Wi	0,46	39%

In Abbildung 33 ist die Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits zu sehen. Zunächst werden die acht Wertepaare der untersuchten Städte in das Koordinatensystem eingetragen. Aus der Verteilung der Punkte geht hervor, dass diese am besten durch eine logarithmische Funktion beschrieben werden. Es ist zu sehen, dass die Regressionsgerade eine positive Steigung aufweist, aufgrund dessen besteht hier ein positiver Zusammenhang. Das heißt, je höher das ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis, umso höher ist der ÖV-Anteil des Modal Splits. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,5244, somit besteht ein **mittlerer Zusammenhang** zwischen dem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.

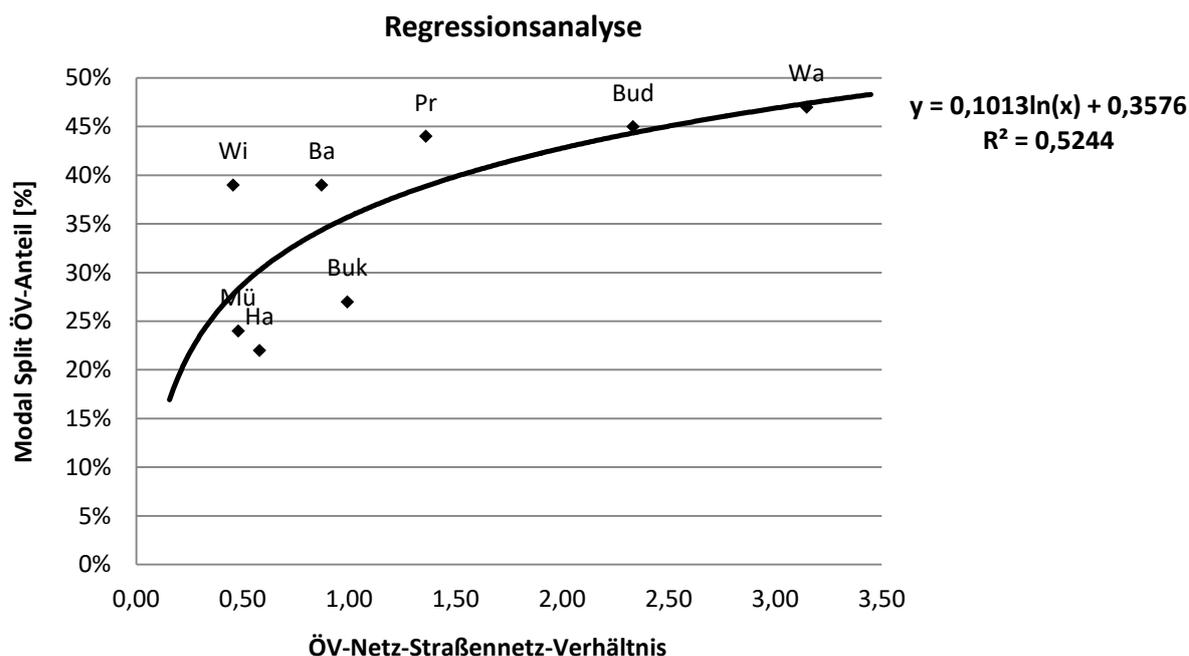


Abbildung 33: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 4 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

Aufgrund des hohen mittleren Zusammenhangs wird hierbei zusätzlich eine multiple lineare Regression durchgeführt. Hierbei wird das ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis separat für die Verkehrsträger Bus, Straßenbahn, U-Bahn und S-Bahn berechnet. Somit entsteht ein Regressionsmodell, welches vier Regressionsparameter aufweist und anhand folgender Formel beschrieben wird.

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 \quad (14)$$

x_1, x_2, x_3 und x_4 sind die vier Einflussgrößen, also die ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnisse der einzelnen Verkehrsträger. y ist in diesem Fall der ÖV-Anteil des Modal Splits, welche mithilfe der Einflussgrößen x_1, x_2, x_3, x_4 und Parameter a, b_1, b_2, b_3, b_4 erklärt wird. Mithilfe der multiplen linearen Regression werden die Parameter a, b_1, b_2, b_3 und b_4 berechnet.

In den folgenden Tabellen wird der Indikator getrennt nach Verkehrsmittelart für die untersuchten Städte berechnet.

Berechnung und Analyse der Indikatoren

Tabelle 31: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und das daraus berechnete ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis für den Verkehrsträger Bus

Quelle: Eigene Darstellung

	Bus		
	ÖV-Netzlänge [km]	Straßennetzlänge	ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis [-]
Barcelona	833	1362	0,61
Budapest	2409	1133	2,13
Bukarest	2282	2555	0,89
Hamburg	2300	4398	0,52
München	505	2330	0,22
Prag	825	877	0,94
Warschau	3077	1093	2,82
Wien	846	2784	0,30

Tabelle 32: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und das daraus berechnete ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis für den Verkehrsträger Straßenbahn

Quelle: Eigene Darstellung

	Straßenbahn		
	ÖV-Netzlänge [km]	Straßennetzlänge	ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis [-]
Barcelona	29	1362	0,02
Budapest	155	1133	0,14
Bukarest	181	2555	0,07
Hamburg	-	4398	-
München	82	2330	0,04
Prag	143	877	0,16
Warschau	248	1093	0,23
Wien	220	2784	0,08

Tabelle 33: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und der daraus berechnete ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis für den Verkehrsträger U-Bahn
Quelle: Eigene Darstellung

U-Bahn			
	ÖV-Netzlänge [km]	Straßennetzlänge	ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis [-]
Barcelona	182	1362	0,13
Budapest	39	1133	0,03
Bukarest	69	2555	0,03
Hamburg	106	4398	0,02
München	95	2330	0,04
Prag	65	877	0,07
Warschau	23	1093	0,02
Wien	83	2784	0,03

Tabelle 34: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und das daraus berechnete ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis für den Verkehrsträger S-Bahn
Quelle: Eigene Darstellung

S-Bahn			
	ÖV-Netzlänge [km]	Straßennetzlänge	ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis [-]
Barcelona	143	1362	0,10
Budapest	41	1133	0,04
Bukarest	-	2555	-
Hamburg	144	4398	0,03
München	434	2330	0,19
Prag	160	877	0,18
Warschau	93	1093	0,09
Wien	120	2784	0,04

In der nachstehenden Tabelle sind die ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnisse jedes Verkehrsträgers übersichtlich dargestellt und dem ÖV-Anteil des Modal Splits gegenübergestellt.

Tabelle 35: Gegenüberstellung von den ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnissen der verschiedenen Verkehrsträger und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
 Quelle: Eigene Darstellung

	ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis [-]				ÖV-Anteil Modal Split [%]
	Bus	Straßenbahn	U-Bahn	S-Bahn	
Barcelona	0,61	0,02	0,13	0,10	39
Budapest	2,13	0,14	0,03	0,04	45
Bukarest	0,89	0,07	0,03	-	27
Hamburg	0,52	-	0,02	0,03	22
München	0,22	0,04	0,04	0,19	24
Prag	0,94	0,16	0,07	0,18	44
Warschau	2,82	0,23	0,02	0,09	47
Wien	0,30	0,08	0,03	0,04	39

Im weiteren Verlauf wird mithilfe von MS Excel die multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt und somit die gesuchten Parameter berechnet.

Tabelle 36: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung
 Quelle: Eigene Darstellung

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,9340
Bestimmtheitsmaß	0,8724
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,7023
Standardabweichung	5,4755
Beobachtungen	8

Tabelle 37: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert
Quelle: Eigene Darstellung

	Koeffizienten	Standardabweichung	t-Wert	p-Wert
Schnittpunkt	20,7127	4,8674	4,2554	0,0238
Bus	-1,2057	4,6703	-0,2582	0,8130
Straßenbahn	137,2105	57,0527	2,4050	0,0954
U-Bahn	150,8035	63,9593	2,3578	0,0996
S-Bahn	-40,6029	39,6424	-1,0242	0,3811

In der Tabelle 36 und Tabelle 37 sind die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse ersichtlich. Mithilfe der Koeffizienten lässt sich das Regressionsmodell wie folgt darstellen:

$$y = 20,7127 + (-1,2057)x_1 + 137,2105x_2 + 150,8035x_3 + (-40,6029)x_4 \quad (15)$$

Es fällt auf, dass die Koeffizienten b_2 und b_3 , welcher den Verkehrsträgern Straßenbahn und U-Bahn zugeordnet sind, mit 137,2105 und 150,8035 betragsmäßig größer sind als die restlichen zwei Koeffizienten b_1 und b_4 . Das bedeutet, dass die Parameter Straßenbahn und U-Bahn den größeren Einfluss auf die Zielvariable „ÖV-Anteil des Modal Splits“ haben.

Das adjustierte Bestimmtheitsmaß beträgt 0,7023, somit besteht ein **starker Zusammenhang** zwischen den ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnissen und dem ÖV-Anteil des Modal Splits. Die t-Werte der Modellparameter Straßenbahn und U-Bahn sind mit 2,4050 und 2,3578 akzeptabel und die p-Werte dieser beiden Parameter sind mit 0,0954 und 0,0996 sehr nahe am Signifikanzniveau α . Die t- und p-Werte der Parameter Bus und S-Bahn sind dahingegen sehr schlecht, somit werden diese Parameter aus der Analyse herausgenommen. Eine weitere multiple lineare Regressionsanalyse wird mit den Modellparametern Straßenbahn und U-Bahn durchgeführt.

Tabelle 38: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung
Quelle: Eigene Darstellung

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,9074
Bestimmtheitsmaß	0,8233
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,7527
Standardabweichung	4,9906
Beobachtungen	8

Tabelle 39: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert
Quelle: Eigene Darstellung

	Koeffizienten	Standardabweichung	t-Wert	p-Wert
Schnittpunkt	19,5331	4,1309	4,7290	0,0052
Straßenbahn	116,7824	24,9714	4,6766	0,0054
U-Bahn	117,0574	50,7044	2,3086	0,0690

Mit den neuen Koeffizienten sieht das Regressionsmodell folgendermaßen aus:

$$y = 19,5331 + 116,7824x_1 + 117,0574x_2 \quad (16)$$

Da der p-Wert des Modellparameters U-Bahn mit 0,069 nicht unter dem Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ liegt, wird dieser aus der Analyse herausgenommen und eine weitere Regressionsanalyse ausschließlich mit dem Parameter Straßenbahn durchgeführt.

Tabelle 40: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung
Quelle: Eigene Darstellung

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,7969
Bestimmtheitsmaß	0,6350
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,5742
Standardabweichung	6,5482
Beobachtungen	8

Tabelle 41: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert
Quelle: Eigene Darstellung

	Koeffizienten	Standardabweichung	t-Wert	p-Wert
Schnittpunkt	26,4739	3,7184	7,1198	0,0004
Straßenbahn	102,6162	31,7605	3,2309	0,0179

Das Regressionsmodell sieht nun wie folgt aus:

$$y = 26,4739 + 102,6162x_1 \quad (17)$$

In Tabelle 40 und Tabelle 41 sind die Ergebnisse der einfachen linearen Regressionsanalyse zu sehen. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen dem Indikator „ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis“ des Verkehrsträgers Straßenbahn und dem ÖV-Anteil des Modal Splits

untersucht. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,6350 und somit besteht ein **starker Zusammenhang**.

Zusammenhang mit der ÖV-Zufriedenheit

Hier wird untersucht, wie stark das ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis mit der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr zusammenhängt. In Tabelle 42 ist eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für die untersuchten Städte ersichtlich.

Abbildung 34 zeigt eine lineare Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator und der ÖV-Zufriedenheit. Die Regressionsgerade besitzt eine negative Steigung, was auf einen negativen Zusammenhang hindeutet. Das heißt, je höher das ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis, umso geringer ist die Zufriedenheit mit dem ÖV. Erwartet wird jedoch genau das Gegenteil. Mit steigendem ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis sollte auch die Zufriedenheit mit dem ÖV steigen. Darüber hinaus lässt sich beobachten, dass die Datenpunkte eine starke Streuung aufweisen. Folglich beträgt das Bestimmtheitsmaß der Regression nur 0,1033. Daraus resultiert, dass zwischen dem ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis und der Zufriedenheit mit dem ÖV ein **unerwartet negativer** und **sehr schwacher Zusammenhang** besteht.

Tabelle 42: Gegenüberstellung vom ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis und der Zufriedenheit mit dem ÖV
Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis	Zufriedenheit mit dem ÖV
Barcelona	Ba	0,87	76%
Budapest	Bud	2,33	67%
Bukarest	Buk	0,99	48%
Hamburg	Ha	0,58	88%
München	Mü	0,48	86%
Prag	Pr	1,36	86%
Warschau	Wa	3,15	76%
Wien	Wi	0,46	95%

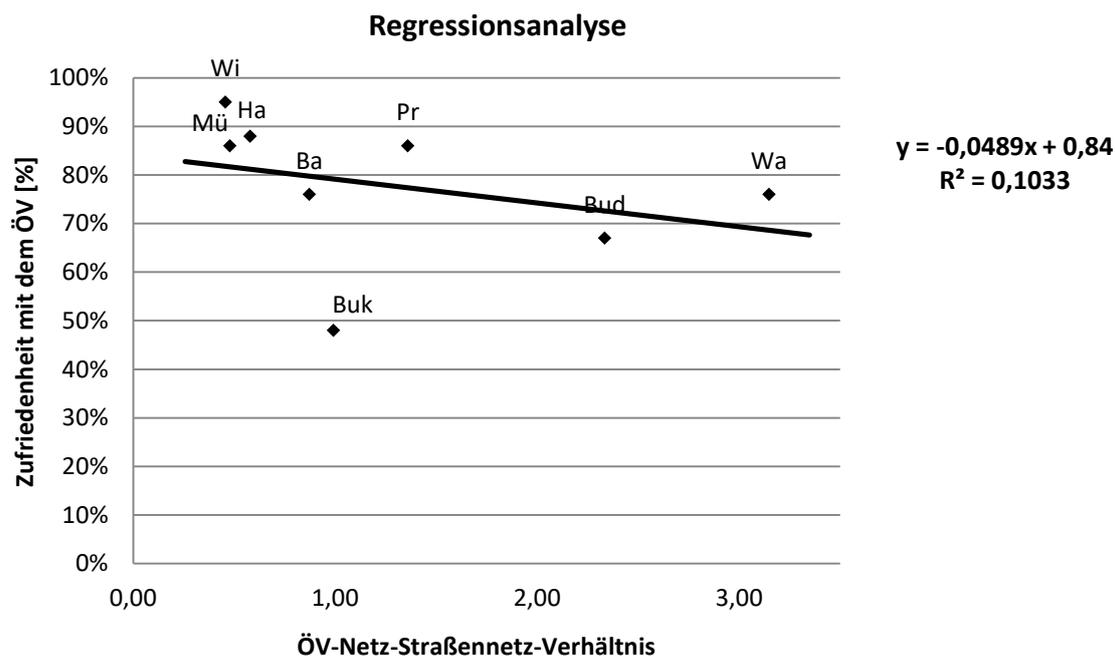


Abbildung 34: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 4 und der Zufriedenheit mit dem ÖV
 Quelle: Eigene Darstellung

8.5 Indikator 5: ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis

Die Berechnung des ÖV-Netz-Fläche-Verhältnisses erfolgt nach Formel (5) aus Kapitel 4.2.5. Diese wird zum besseren Verständnis noch einmal angeführt.

$$\text{ÖV – Netz – Fläche – Verhältnis [km/km}^2] = \frac{\text{ÖV – Netzlänge [km]}}{\text{Fläche der Stadt [km}^2]}$$

Die ÖV-Netzlänge setzt sich, wie schon beim vorigen Indikator, aus der Bus-, Straßenbahn-, U-Bahn- und S-Bahn-Netzlänge zusammen. In folgender Tabelle sind die ÖV-Netzlänge, die Fläche sowie der daraus berechnete Indikator für die ausgewählten Städte ersichtlich.

Tabelle 43: ÖV-Netzlänge, Fläche der Stadt und das daraus berechnete ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis für ausgewählte Städte

Quelle: Eigene Darstellung

	ÖV-Netzlänge [km]	Fläche [km ²]	ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis
Barcelona	1187	101	11,75
Budapest	2644	525	5,04
Bukarest	2532	228	11,11
Hamburg	2550	755	3,38
München	1116	310	3,60
Prag	1193	496	2,40
Warschau	3441	517	6,66
Wien	1269	415	3,06

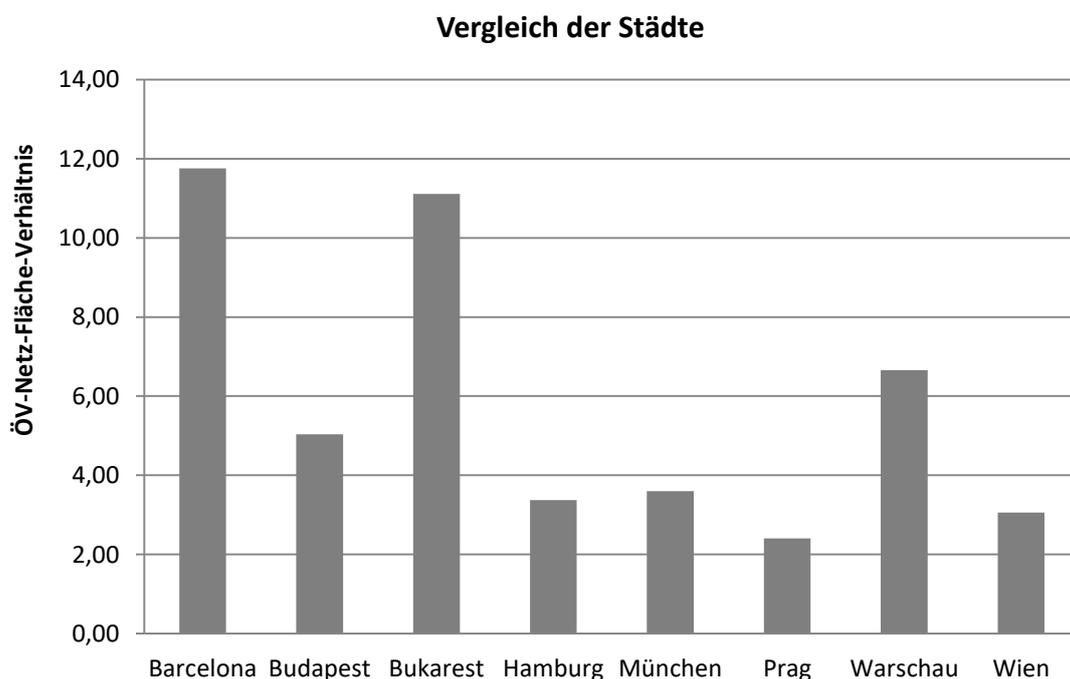


Abbildung 35: Vergleich der Städte hinsichtlich des ÖV-Netz-Fläche-Verhältnisses

Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 35 ist ein Vergleich der Städte hinsichtlich des Indikators zu sehen. Die Städte Barcelona und Bukarest weisen mit 11,75 und 11,11 einen deutlich höheren Wert als die

restlichen Städte auf. Die Werte der restlichen sechs Städte liegen zwischen 6,66 (Warschau) und 2,40 (Prag).

Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Im Folgenden wird analysiert, wie stark der Indikator mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits korreliert. In der nachstehenden Tabelle ist eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für die betrachteten Städte ersichtlich.

Abbildung 36 zeigt eine lineare Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis und dem ÖV-Anteil des Modal Splits. Es lässt sich beobachten, dass die Datenpunkte eine sehr starke und ungeordnete Streuung aufweisen. Folglich beträgt das Bestimmtheitsmaß der Regression lediglich $8E-05$. Daraus resultiert, dass zwischen dem ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis und dem ÖV-Anteil des Modal Splits ein **sehr schwacher Zusammenhang** besteht.

Tabelle 44: Gegenüberstellung vom ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis	Modal Split ÖV-Anteil
Barcelona	Ba	11,75	39%
Budapest	Bud	5,04	45%
Bukarest	Buk	11,11	27%
Hamburg	Ha	3,38	22%
München	Mü	3,60	24%
Prag	Pr	2,40	44%
Warschau	Wa	6,66	47%
Wien	Wi	3,06	39%

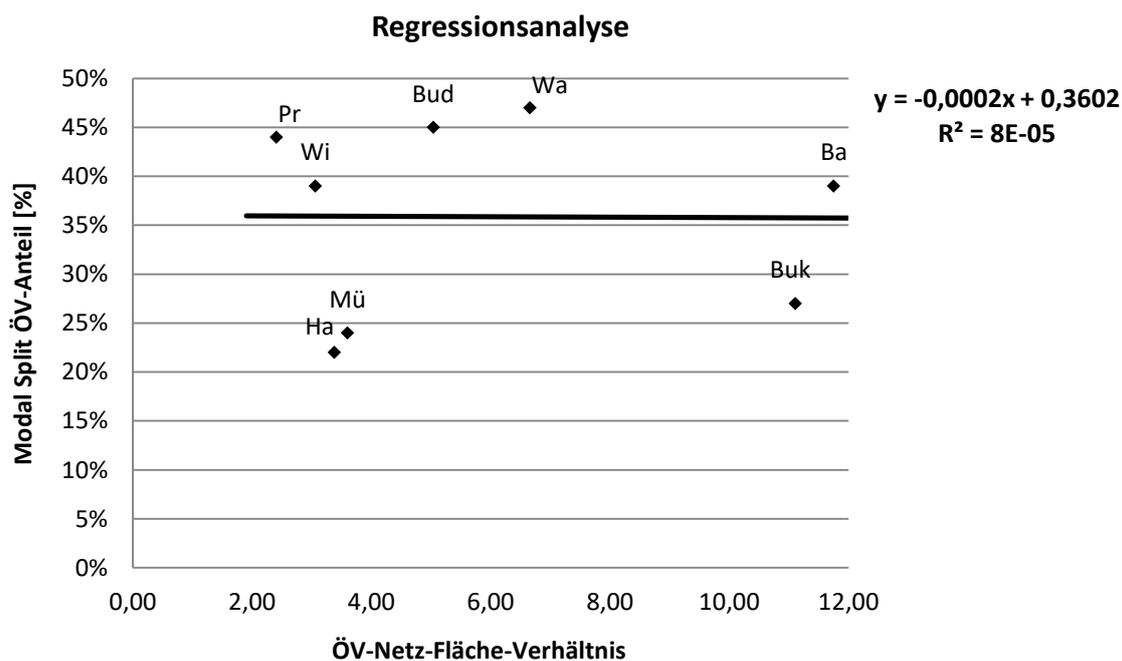


Abbildung 36: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 5 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenhang mit der ÖV-Zufriedenheit

Im weiteren Verlauf wird untersucht, wie sehr der Indikator „ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis“ mit der ÖV-Zufriedenheit zusammenhängt. Folgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für jede der untersuchten Städte.

Tabelle 45: Gegenüberstellung vom ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis und der Zufriedenheit mit dem ÖV
 Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis	Zufriedenheit mit dem ÖV
Barcelona	Ba	11,75	76%
Budapest	Bud	5,04	67%
Bukarest	Buk	11,11	48%
Hamburg	Ha	3,38	88%
München	Mü	3,60	86%
Prag	Pr	2,40	86%
Warschau	Wa	6,66	76%
Wien	Wi	3,06	95%

Abbildung 37 beschreibt die lineare Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis und der Zufriedenheit mit dem ÖV. Die Erstellung der Regressionsgerade erfolgt anhand der acht Wertepaare aus obiger Tabelle. Es wird erwartet, dass zwischen dem Indikator und der Zufriedenheit ein positiver Zusammenhang besteht, das heißt, dass mit steigendem ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis auch die Zufriedenheit steigt. Aus der Analyse resultiert jedoch genau das Gegenteil, mit steigendem ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis, sinkt die Zufriedenheit. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,5356. Somit besteht hier ein **mittlerer Zusammenhang**, wobei dieser **unerwartet negativ** ist.

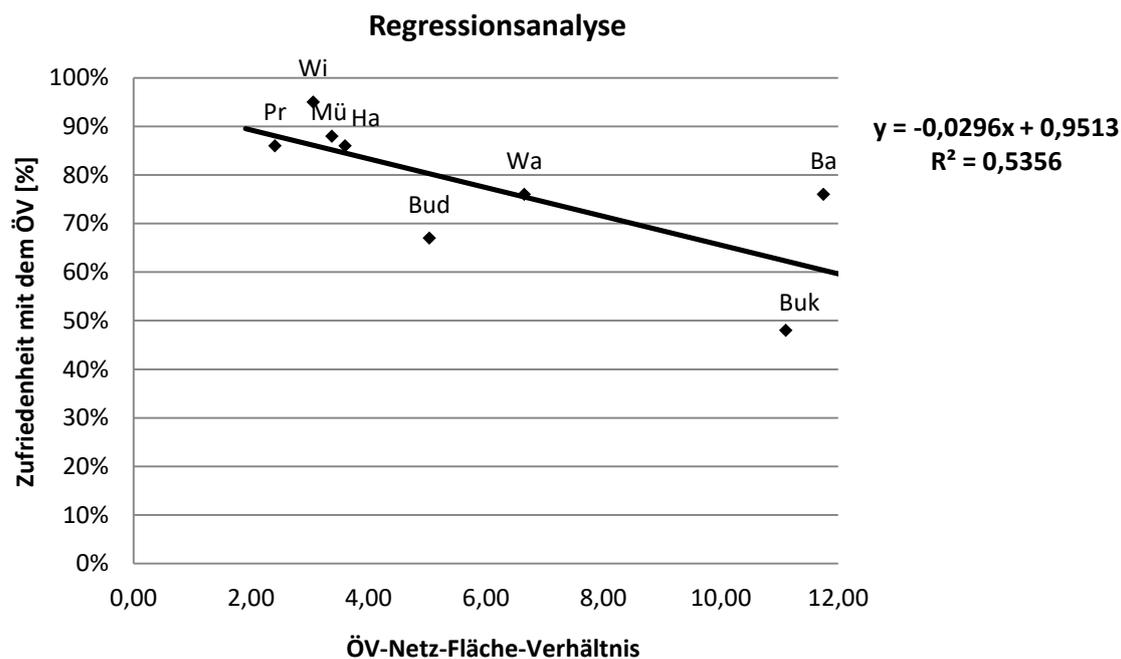


Abbildung 37: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 5 und der Zufriedenheit mit dem ÖV
Quelle: Eigene Darstellung

8.6 Indikator 6: Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer

Die Berechnung des Anteils der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer erfolgt nach Formel (6) aus Kapitel 4.2.6. Diese wird zum besseren Verständnis noch einmal angeführt.

$$\text{Erschließungsanteil}_{\text{Fläche im Puffer } i} [\%] = \frac{\sum \text{Fläche im Puffer } i \text{ [km}^2\text{]}}{\text{Fläche der Stadt [km}^2\text{]}}$$

$$i = 100m, 200m, 300m, 400m, 500m$$

Es wird der Anteil der Fläche in den 100m-, 200m-, 300m-, 400m- und 500m-Haltestellenpuffern für jede untersuchte Stadt berechnet. In nachstehender Tabelle ist eine Übersicht über alle Städte und deren Flächenanteile in den entsprechenden Haltestellenpuffern gegeben.

Tabelle 46: Anteile der Fläche der untersuchten Städte in den unterschiedlichen Haltestellenpuffern
 Quelle: Eigene Darstellung

	Haltestellenpuffer				
	100m	200m	300m	400m	500m
Barcelona	26%	55%	68%	75%	80%
Budapest	17%	44%	62%	72%	78%
Bukarest	14%	37%	54%	65%	73%
Hamburg	12%	34%	53%	66%	75%
München	14%	41%	61%	72%	79%
Prag	12%	34%	52%	64%	74%
Warschau	16%	41%	59%	71%	78%
Wien	17%	43%	60%	69%	75%

Für jede Haltestellenpuffergröße wird ein Säulendiagramm erstellt. In diesen sind die Flächenanteile innerhalb der jeweiligen Puffergröße jeder untersuchten Stadt ersichtlich. In Abbildung 38 sind die Flächenanteile innerhalb der 100m-Haltestellenpuffer zu sehen. Hierbei weist Barcelona mit 26% mit Abstand den höchsten Wert auf. Die Flächenanteile der anderen sieben Städte nehmen Werte zwischen 12% und 17% an.

In den weiteren Abbildungen (Abbildung 39 -Abbildung 42) sind die Flächenanteile der untersuchten Städte innerhalb der 200m-, 300m-, 400m- und 500m-Haltestellenpuffer dargestellt. In gleicher Weise zu Abbildung 38 weist auch bei den weiteren Diagrammen Barcelona den höchsten Wert auf.

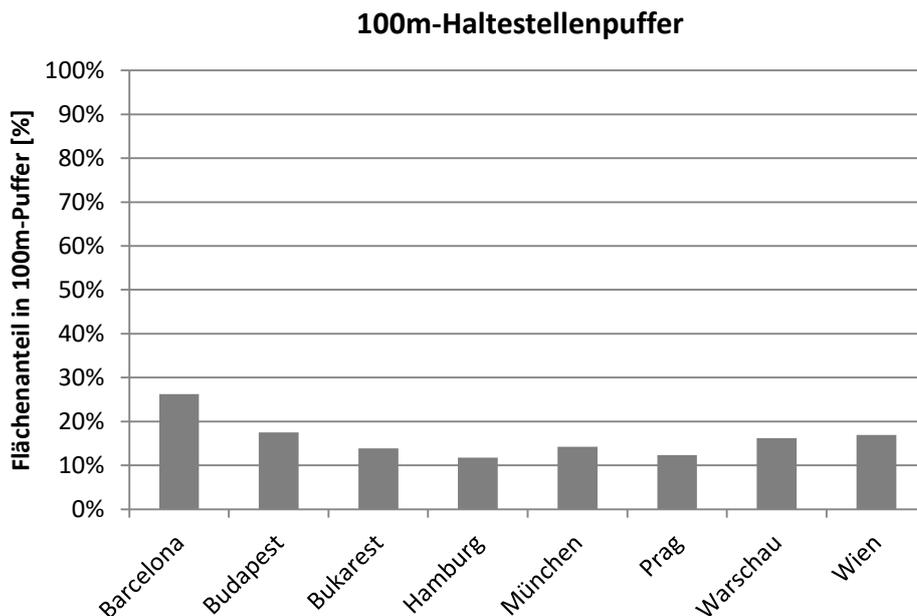


Abbildung 38: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 100m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

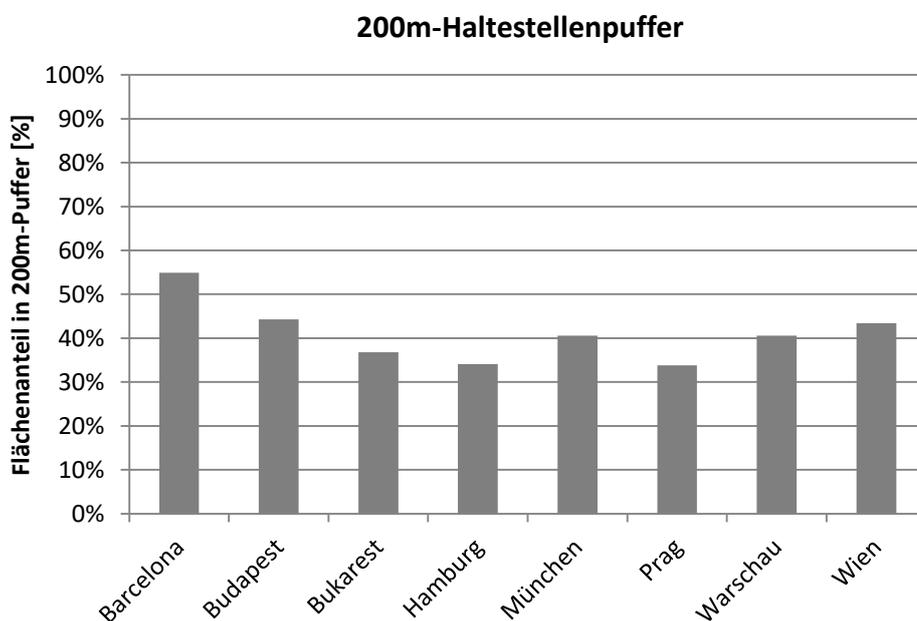


Abbildung 39: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 200m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

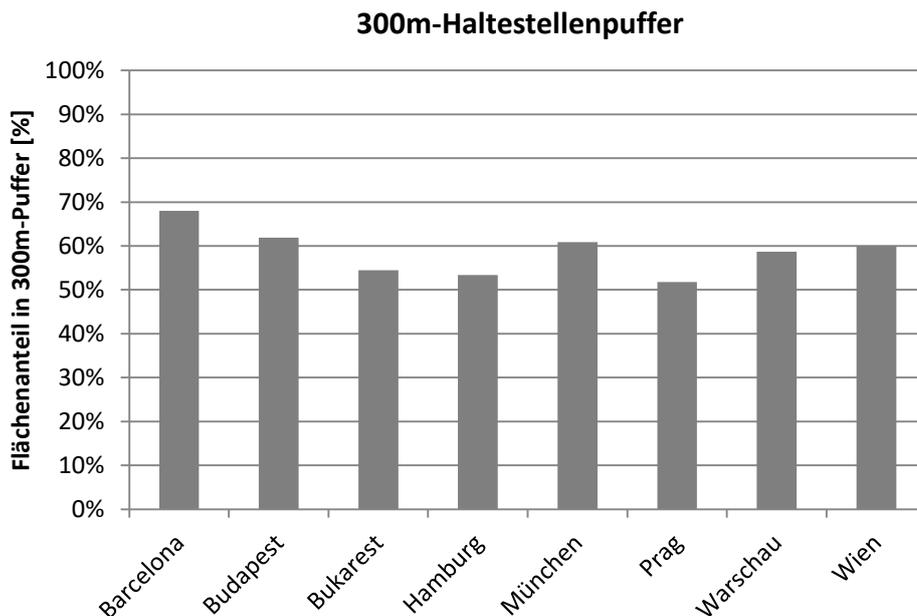


Abbildung 40: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 300m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

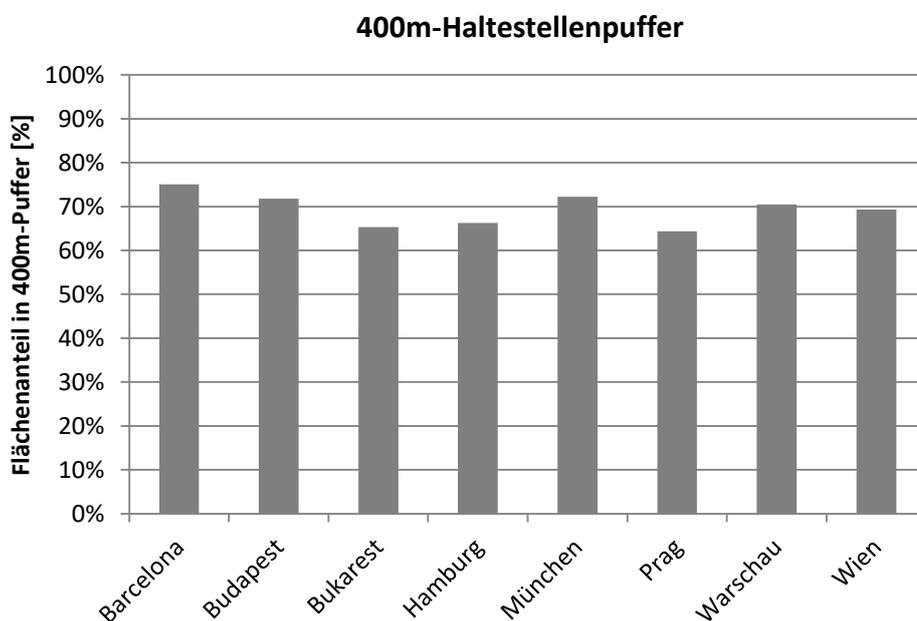


Abbildung 41: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 400m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

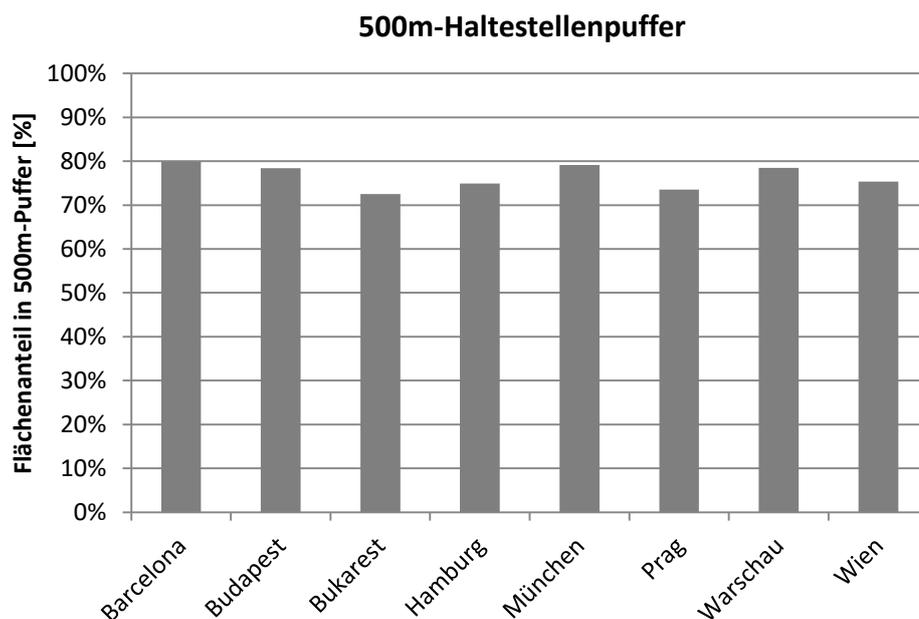


Abbildung 42: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 500m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

Zur Übersichtlichkeit sind in Abbildung 43 kumulierte Häufigkeitsverteilungen der untersuchten Städte in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt.

Auch aus diesem Diagramm lässt sich ableiten, dass die Summenlinie von Barcelona von den anderen abweicht und somit Barcelona die höchsten Flächenanteile innerhalb der Haltestellenpuffer aufweist.

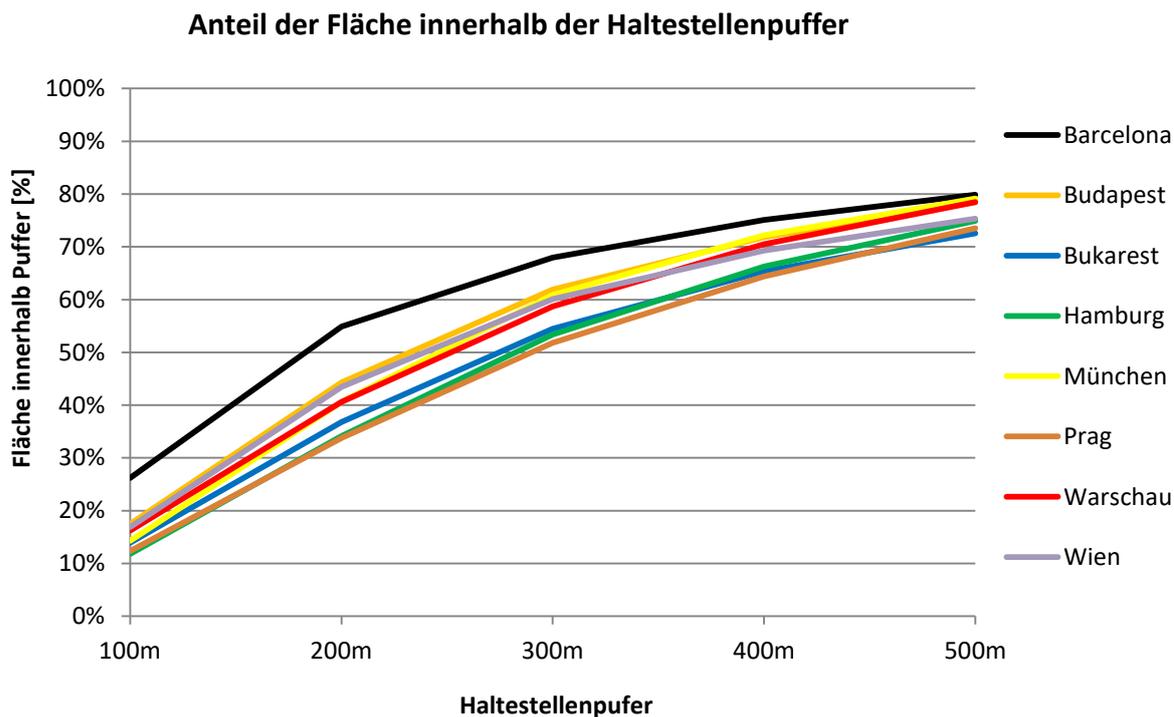


Abbildung 43: Vergleich der untersuchten Städte hinsichtlich der Flächenanteile in den Haltestellenpuffern
 Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Im weiteren Verlauf wird untersucht, wie sehr der Indikator „Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer“ mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits korreliert. In dieser Analyse wird die Haltestellenpuffergröße so gewählt, dass die fußläufige Distanz zu einer Haltestelle dargestellt wird. Als fußläufige Distanz wird an dieser Stelle, in Anlehnung an bestehende Literatur¹¹², 300m definiert. Somit wird der Anteil der Fläche innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer dem ÖV-Anteil des Modal Splits gegenübergestellt.

Tabelle 47 zeigt eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für jede der untersuchten Städte.

¹¹² (HKL, 2008; Frey, 2015, S. 89)

Tabelle 47: Gegenüberstellung vom Flächenanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer und dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Flächenanteil in 300m-Haltestellenpuffer	Modal Split ÖV-Anteil
Barcelona	Ba	68%	39%
Budapest	Bud	62%	45%
Bukarest	Buk	54%	27%
Hamburg	Ha	53%	22%
München	Mü	61%	24%
Prag	Pr	52%	44%
Warschau	Wa	59%	47%
Wien	Wi	60%	39%

In Abbildung 44 ist eine lineare Regression zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits zu sehen. Die Erstellung der Regressionsgerade erfolgt anhand der acht Wertepaare aus der oben dargestellten Tabelle.

Es ist erkenntlich, dass die Regressionsgerade eine positive Steigung aufweist und somit ein positiver Zusammenhang besteht. Das heißt, je höher der Flächenanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer, umso höher ist der ÖV-Anteil des Modal Splits. Das Bestimmtheitsmaß beträgt jedoch lediglich 0,0604, somit besteht ein **sehr schwacher Zusammenhang** zwischen dem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.

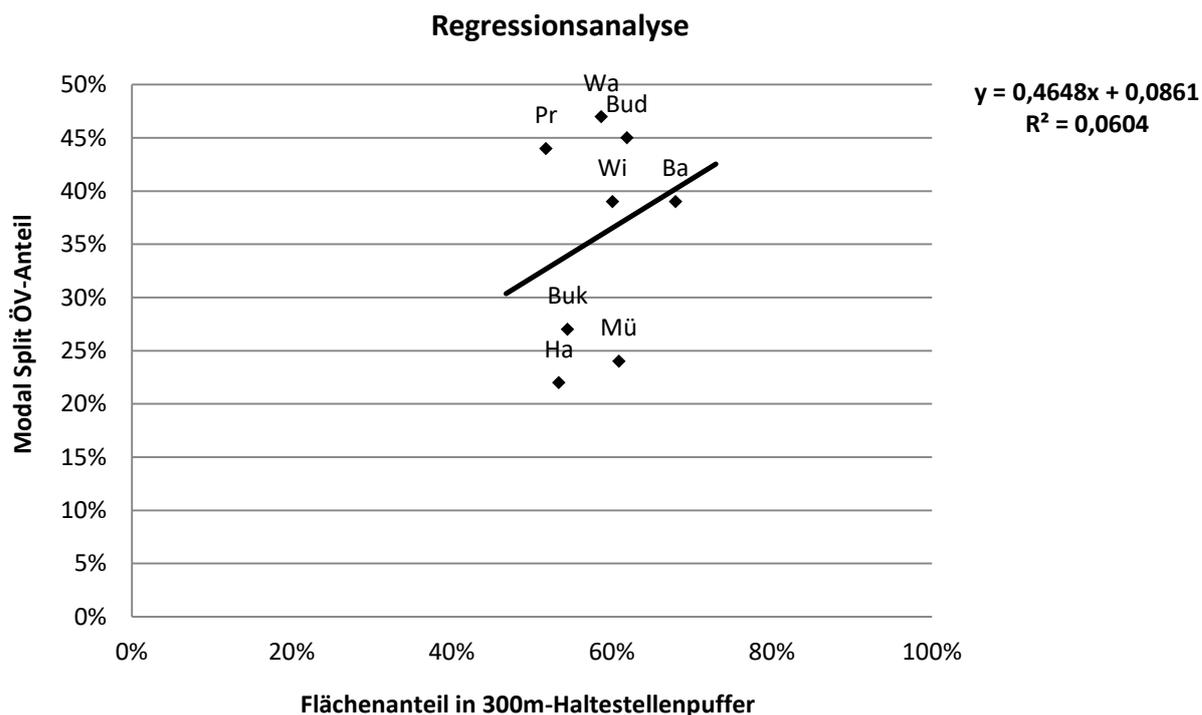


Abbildung 44: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 6 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenhang mit der ÖV-Zufriedenheit

Hier wird untersucht, wie stark der Indikator mit der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr korreliert. In Tabelle 48 ist eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für die untersuchten Städte ersichtlich.

Abbildung 45 zeigt ein Punktdiagramm mit der entsprechenden Regressionsgerade. Jeder Punkt repräsentiert eine Stadt hinsichtlich der beiden Parameter aus Tabelle 48. Anhand der acht Wertepaare aus dieser Tabelle wird die Regressionsgerade erstellt.

Es lässt sich beobachten, dass die Datenpunkte eine sehr starke und ungeordnete Streuung aufweisen. Folglich beträgt das Bestimmtheitsmaß der Regression nur $8E-05$. Daraus resultiert, dass zwischen dem Flächenanteil in den 300m-Haltestellenpuffern und der Zufriedenheit mit dem ÖV ein **sehr schwacher Zusammenhang** besteht.

Berechnung und Analyse der Indikatoren

Tabelle 48: Gegenüberstellung vom Flächenanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer und der Zufriedenheit mit dem ÖV

Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Flächenanteil in 300m-Haltestellenpuffer	Zufriedenheit mit dem ÖV
Barcelona	Ba	68%	76%
Budapest	Bud	62%	67%
Bukarest	Buk	54%	48%
Hamburg	Ha	53%	88%
München	Mü	61%	86%
Prag	Pr	52%	86%
Warschau	Wa	59%	76%
Wien	Wi	60%	95%

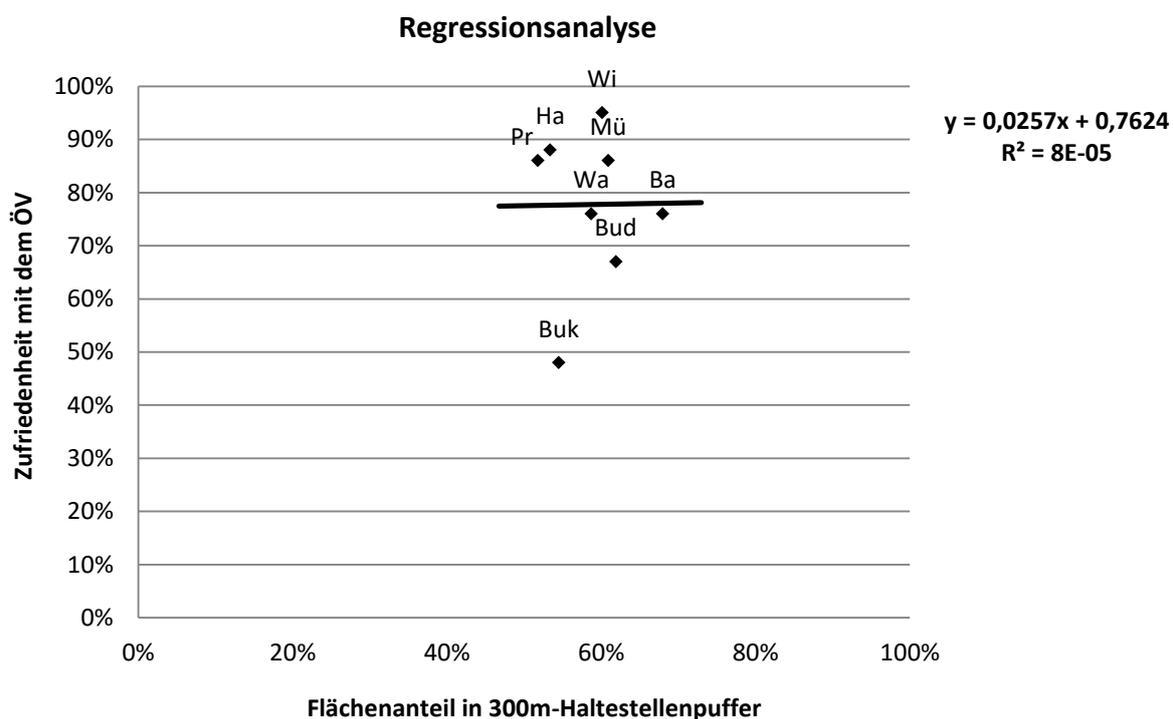


Abbildung 45: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 6 und der Zufriedenheit mit dem ÖV

Quelle: Eigene Darstellung

8.7 Indikator 7: Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer

Die Berechnung des Anteils der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer erfolgt nach Formel (7) aus Kapitel 4.2.7. Diese wird zum besseren Verständnis noch einmal angeführt.

$$\text{Erschließungsanteil}_{\text{Bevölkerung im Puffer } i} [\%] = \frac{\sum \text{Bevölkerung im Puffer } i}{\text{Bevölkerung der Stadt}}$$

$$i = 100m, 200m, 300m, 400m, 500m$$

Es wird der Anteil der Bevölkerung in den 100m-, 200m-, 300m-, 400m- und 500m-Haltestellenpuffern für jede untersuchte Stadt berechnet. In folgender Tabelle ist eine Übersicht über alle Städte und deren Bevölkerungsanteile in den entsprechenden Haltestellenpuffern gegeben.

Tabelle 49: Anteile der Bevölkerung der untersuchten Städte in den unterschiedlichen Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

	Haltestellenpuffer				
	100m	200m	300m	400m	500m
Barcelona	34%	69%	82%	87%	90%
Budapest	31%	71%	88%	94%	96%
Bukarest	21%	53%	76%	87%	92%
Hamburg	17%	47%	70%	83%	89%
München	19%	53%	76%	87%	93%
Prag	18%	48%	71%	83%	90%
Warschau	28%	63%	82%	91%	95%
Wien	25%	62%	82%	91%	94%

Zu jeder Haltestellenpuffergröße wird ein Säulendiagramm mit den Bevölkerungsanteilen der untersuchten Städte in den jeweiligen Puffern erstellt. Dies ermöglicht einen Vergleich der Städte hinsichtlich jeder der fünf Puffergrößen. In Abbildung 46 sind die Bevölkerungsanteile in den 100m-Puffern dargestellt. In diesem Diagramm lässt sich beobachten, dass in Barcelona 34% der Bevölkerung in den 100m-Haltestellenpuffer

angesiedelt sind und somit Barcelona den höchsten Wert aufweist. Im Gegensatz dazu weist Hamburg mit 17% den niedrigsten Wert auf.

In den weiteren Abbildungen (Abbildung 47 - Abbildung 50) sind, analog zu Abbildung 46, Diagramme zu den Haltestellenpuffergrößen 200m, 300m, 400m und 500m dargestellt. Es fällt auf, dass Budapest bei diesen Diagrammen den höchsten Bevölkerungsanteil in der jeweiligen Puffergröße erreicht. Daraus resultiert, dass die räumliche Erschließung der Haltestellen in Budapest besser ist, als in den restlichen untersuchten Städten. Demgegenüber weist Hamburg bei allen fünf Diagrammen den geringsten Bevölkerungsanteil innerhalb der Puffer auf. Infolgedessen ist die räumliche Erschließung der Haltestellen in Hamburg im Vergleich zu den anderen Städten am schlechtesten.

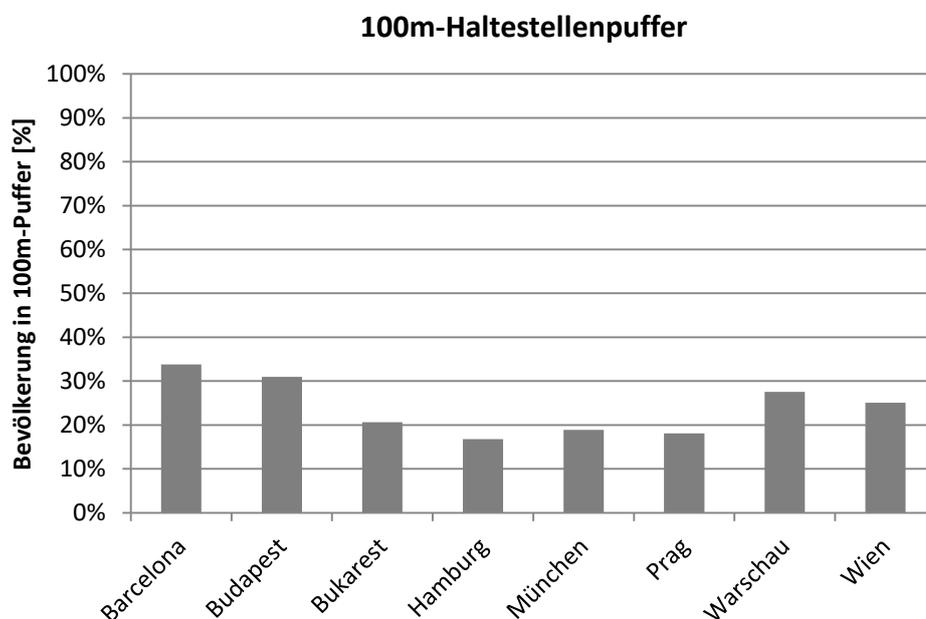


Abbildung 46: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 100m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

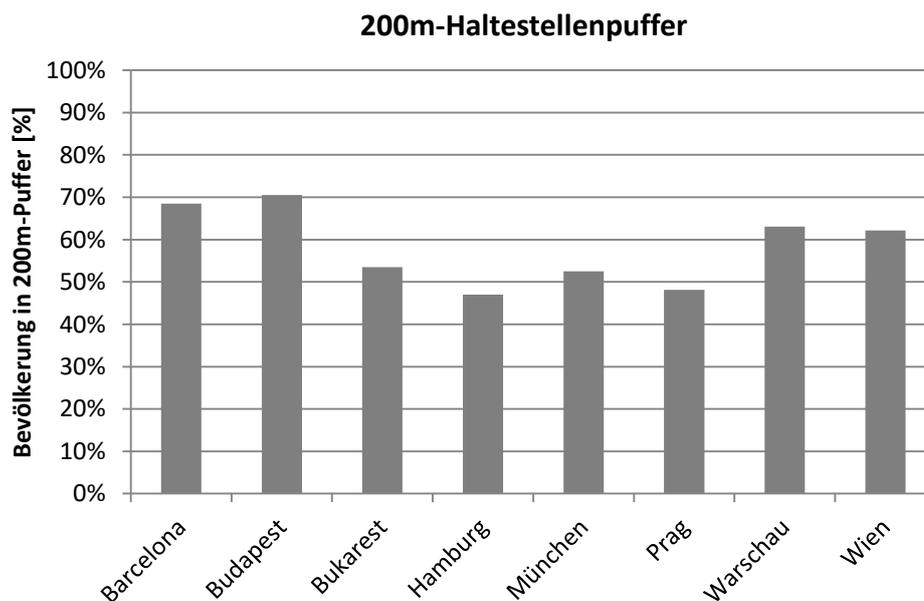


Abbildung 47: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 200m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

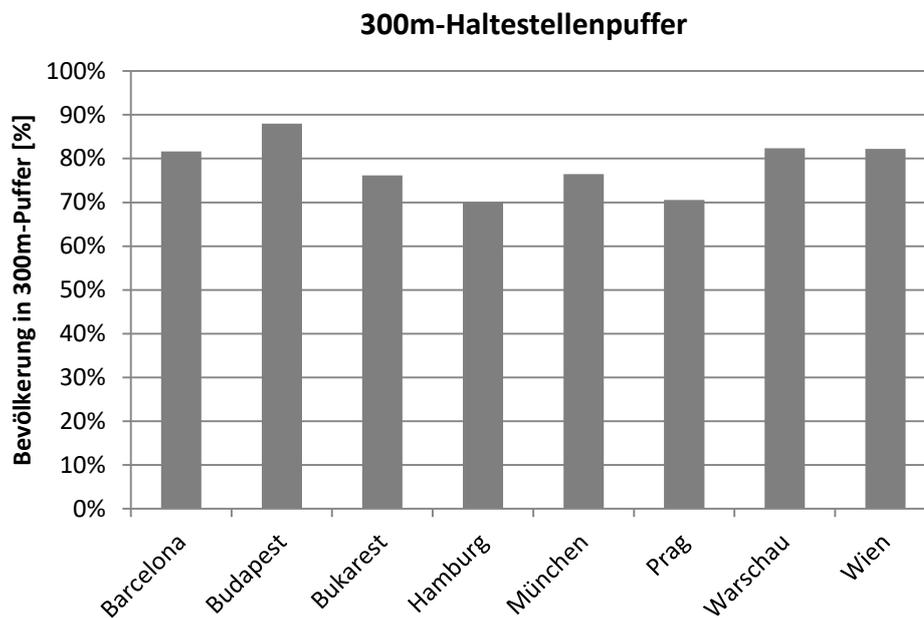


Abbildung 48: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 300m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

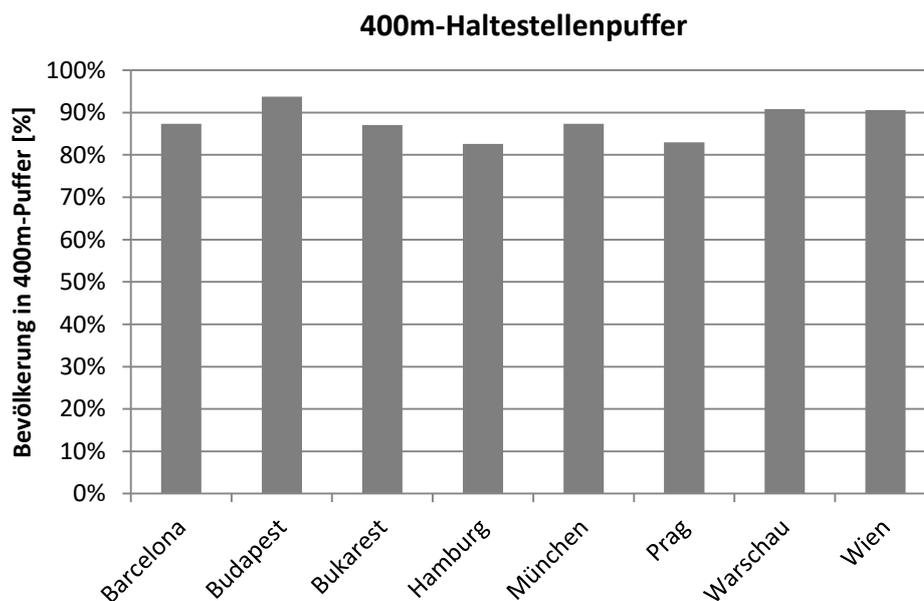


Abbildung 49: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 400m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

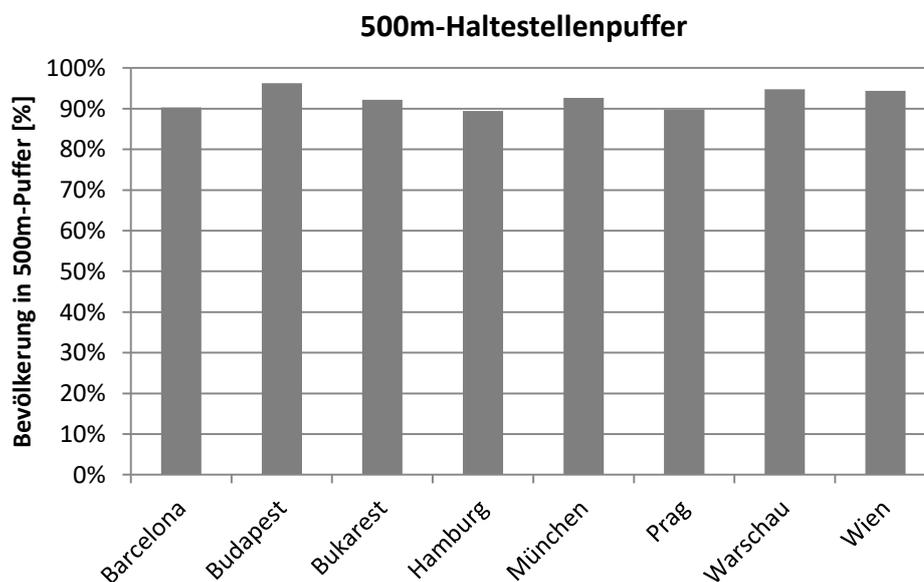


Abbildung 50: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 500m-Haltestellenpuffern
Quelle: Eigene Darstellung

Zur Übersichtlichkeit sind in Abbildung 51 kumulierte Häufigkeitsverteilungen der untersuchten Städte in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt.

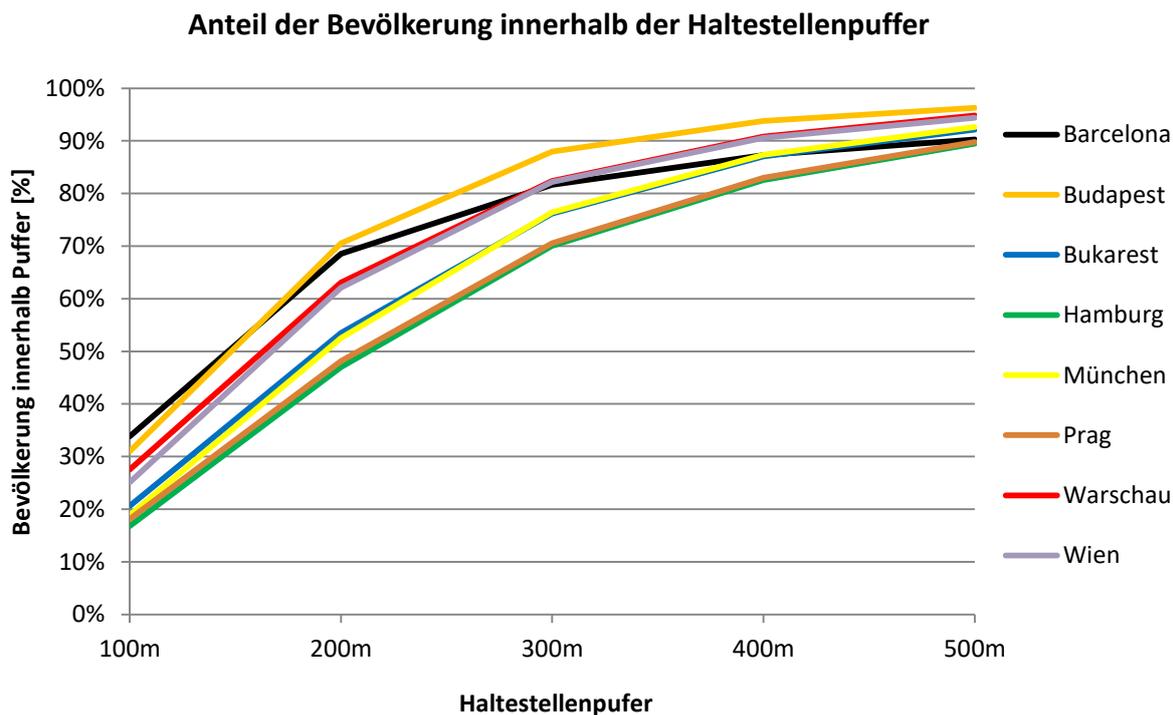


Abbildung 51: Vergleich der untersuchten Städte hinsichtlich der Bevölkerungsanteile in den Haltestellenpuffern
 Quelle: Eigene Darstellung

Auch in diesem Diagramm ist ersichtlich, dass Budapest die höchsten und Hamburg die niedrigsten Bevölkerungsanteile in den einzelnen Haltestellenpuffergrößen aufweisen.

Zusammenhang mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Im Folgenden wird untersucht, wie stark der Indikator mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits zusammenhängt. Hierbei wird die Haltestellenpuffergröße so gewählt, dass die fußläufige Distanz zu einer Haltestelle dargestellt wird. Als fußläufige Distanz wird hier wieder 300m definiert. Von jeder Stadt wird der Bevölkerungsanteil innerhalb der 300m-Puffer dem entsprechenden ÖV-Anteil des Modal Splits gegenübergestellt. In folgender Tabelle ist diese Gegenüberstellung ersichtlich.

Tabelle 50: Gegenüberstellung vom Bevölkerungsanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer und dem ÖV-Anteil des Modal Splits

Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Bevölkerungsanteil in 300m-Haltestellenpuffer	Modal Split ÖV-Anteil
Barcelona	Ba	82%	39%
Budapest	Bud	88%	45%
Bukarest	Buk	76%	27%
Hamburg	Ha	70%	22%
München	Mü	76%	24%
Prag	Pr	71%	44%
Warschau	Wa	82%	47%
Wien	Wi	82%	39%

In der nachstehenden Abbildung wird der Zusammenhang zwischen dem Indikator und dem ÖV-Anteil des Modal Splits mithilfe einer Regression dargestellt. Die Erstellung der Regressionsgerade erfolgt anhand der acht Wertepaare aus der oben angeführten Tabelle. Es ist ersichtlich, dass die Regressionsgerade eine starke Steigung aufweist. Dies deutet darauf hin, dass mit steigendem Bevölkerungsanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer, der ÖV-Anteil des Modal Splits stark steigt. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,3212. Daraus resultiert, dass ein **schwacher Zusammenhang** zwischen den beiden Parametern besteht.

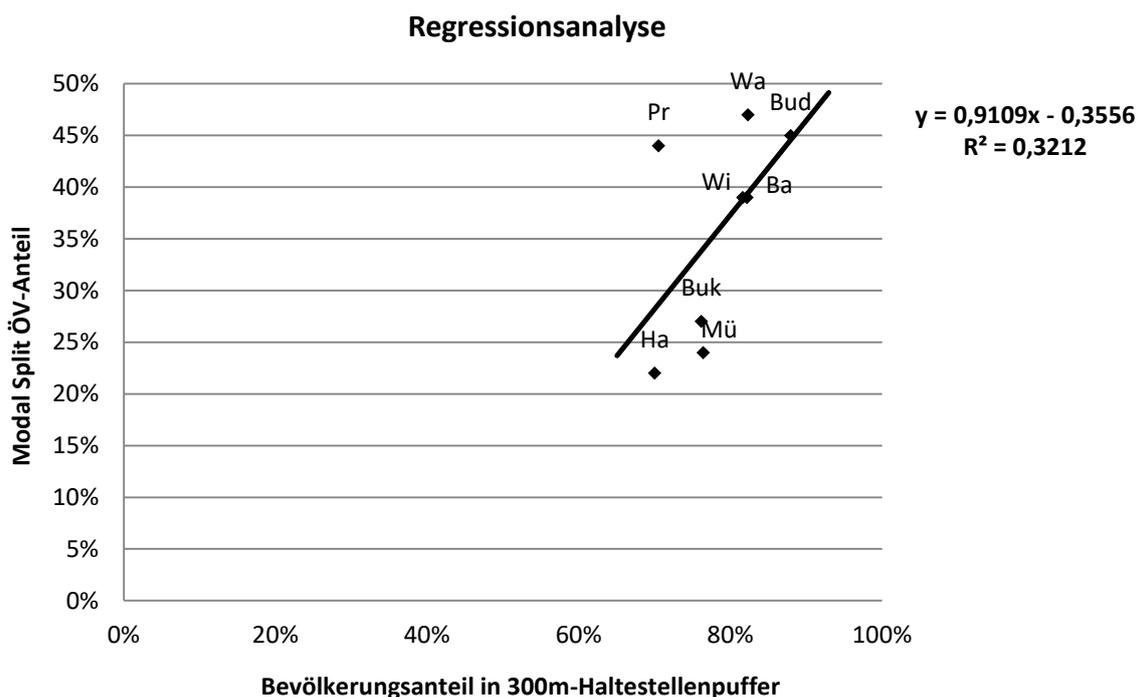


Abbildung 52: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 7 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits
 Quelle: Eigene Darstellung

Zusammenhang mit der ÖV-Zufriedenheit

Hier wird analysiert, wie sehr der Bevölkerungsanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer mit der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr zusammenhängt. In Tabelle 51 ist eine Gegenüberstellung der beiden Parameter für jede untersuchte Stadt zu sehen.

In Abbildung 53 wird der oben genannte Zusammenhang mithilfe einer Regression veranschaulicht. Es wird erwartet, dass zwischen dem Indikator und der Zufriedenheit ein positiver Zusammenhang besteht, das heißt, dass mit steigendem Bevölkerungsanteil innerhalb der Puffer auch die Zufriedenheit mit dem ÖV steigt. Aus der Analyse resultiert jedoch genau das Gegenteil. Mit steigendem Bevölkerungsanteil innerhalb der Puffer, sinkt die Zufriedenheit mit dem ÖV. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,054. Somit besteht hier ein **sehr schwacher Zusammenhang**, wobei dieser **unerwartet negativ** ist.

Berechnung und Analyse der Indikatoren

Tabelle 51: Gegenüberstellung vom Bevölkerungsanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer und der Zufriedenheit mit dem ÖV

Quelle: Eigene Darstellung

	Abkürzung	Bevölkerungsanteil in 300m-Haltestellenpuffer	Zufriedenheit mit dem ÖV
Barcelona	Ba	82%	76%
Budapest	Bud	88%	67%
Bukarest	Buk	76%	48%
Hamburg	Ha	70%	88%
München	Mü	76%	86%
Prag	Pr	71%	86%
Warschau	Wa	82%	76%
Wien	Wi	82%	95%

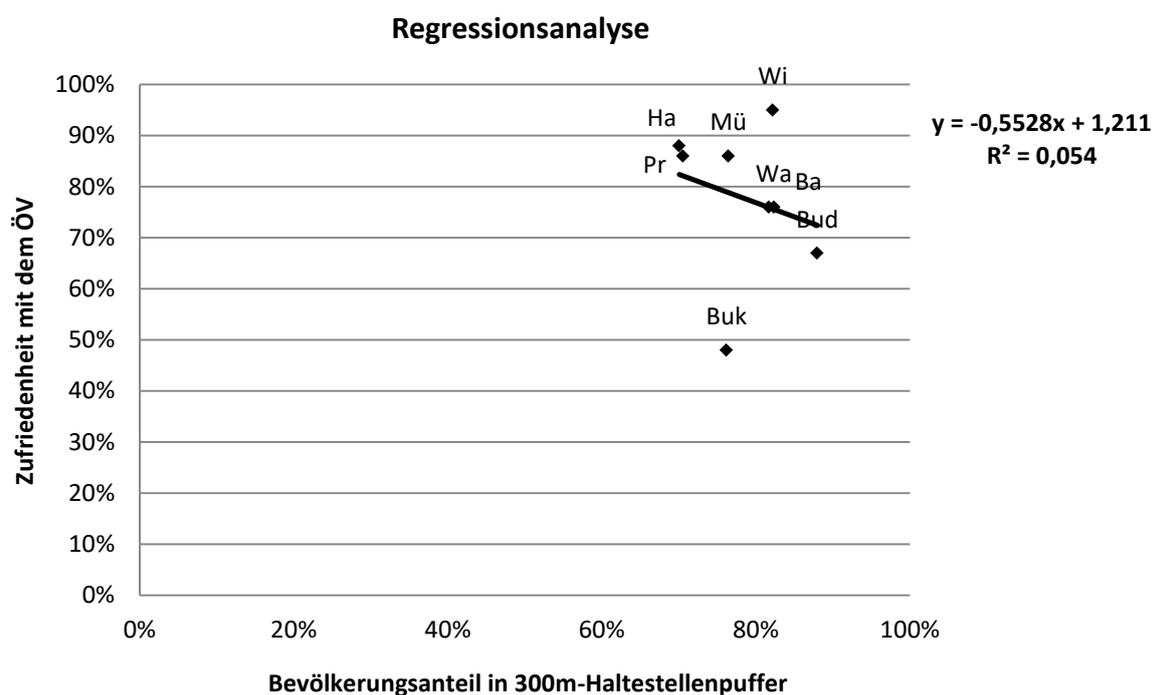


Abbildung 53: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 7 und der Zufriedenheit mit dem ÖV

Quelle: Eigene Darstellung

Bei genauerer Betrachtung der Punkteverteilung im Diagramm fällt auf, dass zwei Gruppen von Punkten gebildet werden können. Die eine Gruppe besteht aus den westlicheren und nördlicheren Städten Europas: Hamburg, München, Prag und Wien. Die andere Gruppe setzt sich aus den östlicheren und südlicheren Städten zusammen: Barcelona, Budapest, Bukarest und Warschau. Im Folgenden wird für diese beiden Punktwolken separat eine Regression durchgeführt. In nachstehender Abbildung wird diese veranschaulicht.

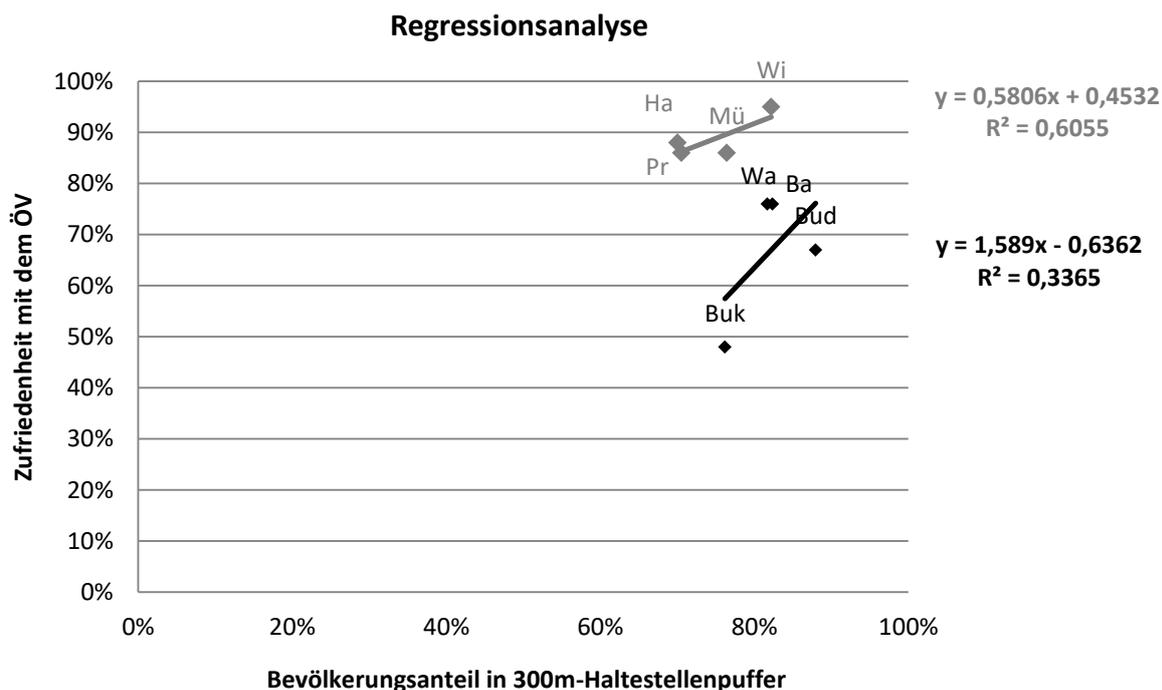


Abbildung 54: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 7 und der Zufriedenheit mit dem ÖV
 Quelle: Eigene Darstellung

Das Bestimmtheitsmaß dieser beiden Regressionen ist wesentlich höher als jenes der vorangehenden Regression, in der alle Städte gemeinsam betrachtet wurden. Somit besteht nun ein weitaus stärkerer Zusammenhang zwischen dem Indikator 7 und der ÖV-Zufriedenheit, jedoch separat betrachtet für geographisch unterschiedlich gelegene Stadtgruppen. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Erschließung der Haltestellen zweier Städte zwar ähnlich groß sein kann, aber dennoch die Zufriedenheit mit dem ÖV dieser Städte starke Unterschiede aufweisen kann. Die Zufriedenheit mit dem ÖV ist in den östlicheren und südlicheren Städten dieser Untersuchung generell niedriger als in den westlicheren und nördlicheren Städten. Offensichtlich sind andere Gründe als die Erschließungsqualität der

Haltestellen dafür verantwortlich. Solche Gründe können, wie schon in Kapitel 4.1 erläutert, beispielsweise die Servicezuverlässigkeit, der Komfort, der Preis oder andere sein.

Zum Schluss wird noch der Zusammenhang zwischen den Indikatoren 6 und 7 aufgezeigt. Indikator 6 gibt den Flächenanteil und Indikator 7 den Bevölkerungsanteil einer Stadt innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer an. Beide wurden unter Zuhilfenahme einer GIS-Software mithilfe einer ähnlichen Methodik berechnet. Es wird davon ausgegangen, dass der Bevölkerungsanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer mit dem Flächenanteil innerhalb dieser Puffer steigt. Diese Beziehung wird in folgender Regression analysiert.

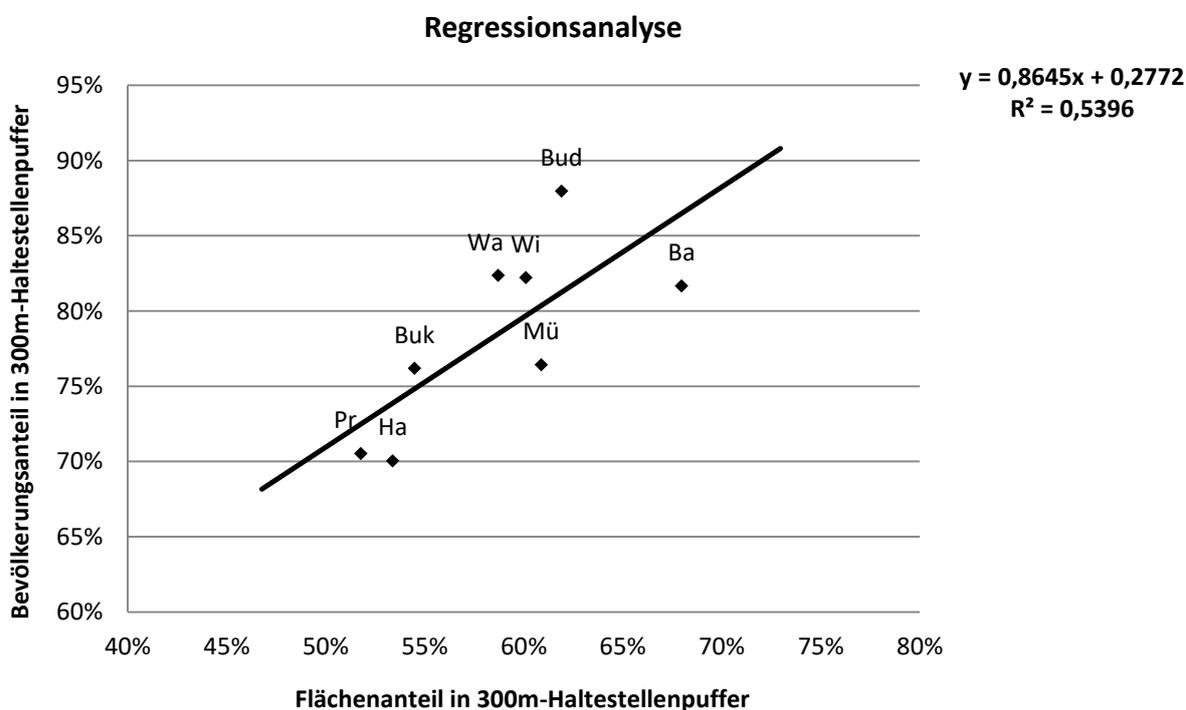


Abbildung 55: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 6 und dem Indikator 7
Quelle: Eigene Darstellung

Aus der dargestellten Regression lässt sich ableiten, dass der angenommene Zusammenhang zwischen Indikator 6 und 7 besteht. Je höher der Flächenanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer, umso höher ist der Bevölkerungsanteil in diesen Puffern. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 0,5396. Somit besteht ein mittlerer Zusammenhang zwischen den beiden Indikatoren.

8.8 Herausforderungen

Im Laufe der Untersuchung stellten sich Herausforderungen, wie beispielsweise die Problematik der Stadtgrenzen oder der Bevölkerungsverteilungsdaten, welche im Folgenden näher erläutert werden.

8.8.1 Stadtgrenzenproblematik

Die Definition einer Stadt bzw. deren Stadtgrenze basiert meist auf funktionalen Kriterien, ist historisch gewachsen und von vielen weiteren Faktoren abhängig, wie zum Beispiel der Bevölkerungsdichte oder der Bevölkerungsgröße.¹¹³ Daraus kann resultieren, dass die Stadtgrenze weit außerhalb des eigentlichen urbanen Zentrums liegt und außerhalb der Stadt liegende periphere Gebiete einschließt. Als Beispiel ist die Stadt Saragossa in Spanien zu nennen, welche eine Fläche von 974 km² einnimmt, aber das urbane Zentrum nur eine Fläche von 41 km² beträgt (siehe Abbildung 56).

Allerdings gibt es auch Städte, bei denen die politische Stadtgrenze innerhalb des urbanen Zentrums liegt. Paris hat beispielsweise eine Einwohnerzahl von ca. zwei Millionen. Wirft man jedoch einen Blick über die Stadtgrenze, stellt man fest, dass im Großraum Paris über zehn Millionen Menschen leben und somit die Stadtgrenze nur einen Teil des urbanen Gebiets einschließt (siehe Abbildung 57).¹¹⁴

Diese Umstände haben zur Folge, dass ein Vergleich dieser Städte bezüglich vieler Indikatoren keine sinnvollen Ergebnisse liefern würde, da ein überwiegend städtisches Gebiet mit einem fast ausschließlich ländlichem Gebiet verglichen werden würde.

¹¹³ (vgl. Dijkstra & Poelman, 2012, S. 3)

¹¹⁴ (vgl. Poelman & Dijkstra, 2015, S. 2)

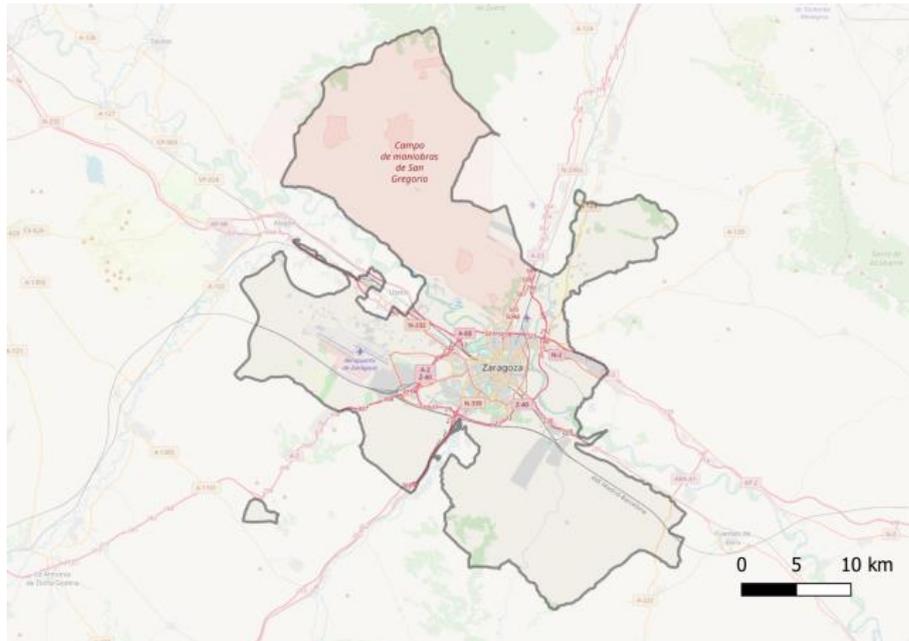


Abbildung 56: Stadtgrenze von Saragossa liegt weit außerhalb des urbanen Zentrums
Quelle: Eigene Darstellung

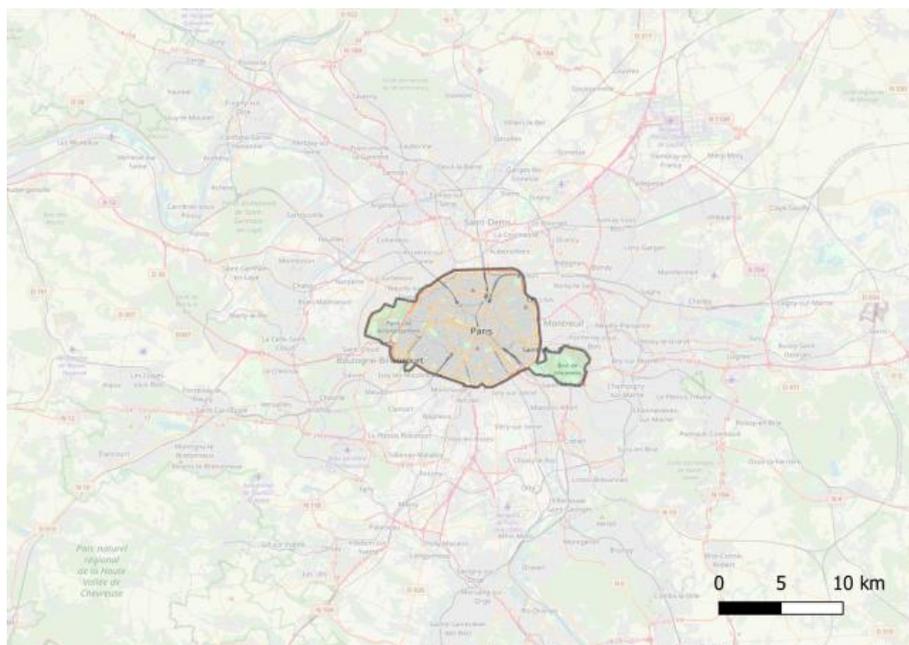


Abbildung 57: Stadtgrenze von Paris umschließt nur einen Teil des urbanen Zentrums
Quelle: Eigene Darstellung

Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und die Europäische Kommission haben einen Ansatz entwickelt, um dieses Problem zu lösen und Städte unabhängig von ihrer politischen Grenzen vergleichbar zu machen. Die Stadtgrenze wird abhängig von der Ausdehnung des urbanen Bereichs neu definiert. Dazu wird die Stadt

zunächst in ein Zellraster mit der Feinheit 1 km² eingeteilt. Im nächsten Schritt werden nur Zellen mit einer Bevölkerungsdichte von mehr als 1.500 Einwohner pro km² ausgewählt. Diese Zellen werden systematisch zu einem Cluster gebündelt, indem durch Iteration Lücken gefüllt und alleinstehende Einheiten ausgeschieden werden.¹¹⁵ Um diese Vorgehensweise auf alle Städte anwenden zu können, werden noch weitere Definitionen festgelegt. Zum Beispiel gibt es besondere Bestimmungen für Städte mit mehreren Stadtzentren oder für Städte, die sich ein urbanes Zentrum teilen.¹¹⁶

Dieser Ansatz wird jedoch in dieser Arbeit nicht weiter verfolgt, da der dadurch entstehende Aufwand zu hoch sein würde und den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

Aufgrund der beschriebenen Problematik der Stadtgrenzen wurde bei der Auswahl der Städte in Kapitel 7 auch darauf geachtet, dass sich die politischen Stadtgrenzen annähernd mit den urbanen Bereichen der Städte decken.

Die Stadt Brüssel ist beispielsweise aufgrund dieser Problematik aus der Auswahl ausgeschieden. Die administrative Stadtgrenze schließt nur einen Bruchteil des gesamten urbanen Zentrums ein (siehe Abbildung 58), somit ist ein Vergleich mit anderen Städten nur begrenzt möglich.

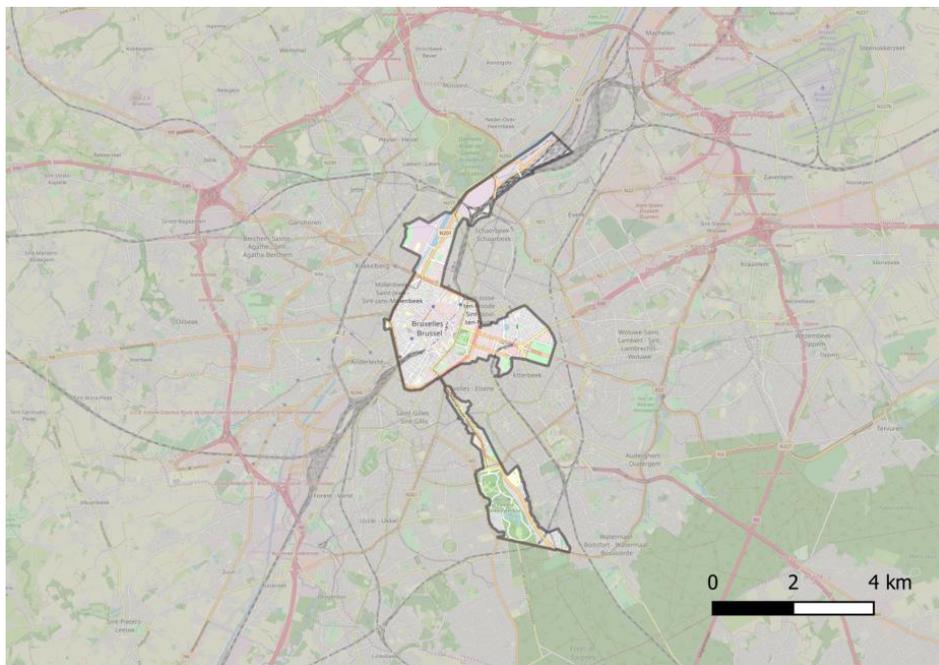


Abbildung 58: Die Stadtgrenzenproblematik am Beispiel Brüssel
Quelle: Eigene Darstellung

¹¹⁵ (vgl. Dijkstra & Poelman, 2012, S. 2)

¹¹⁶ (vgl. Dijkstra & Poelman, 2012, S. 12)

8.8.2 Bevölkerungsdatenproblematik

Bei der Beschaffung der Bevölkerungsdaten stellt sich die Frage, in welcher Feinheit die Daten sein sollen, um sinnvolle Ergebnisse zu bekommen. Es werden drei verschiedene Varianten am Beispiel der Stadt Wien untersucht:

▪ Zählbezirkfeinheit



Abbildung 59: Zählbezirke der Stadt Wien
Quelle: Eigene Darstellung

▪ Zählgebietfeinheit

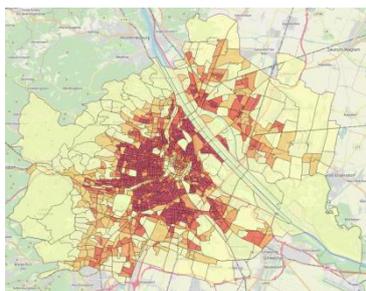


Abbildung 60: Zählgebiete der Stadt Wien
Quelle: Eigene Darstellung

▪ Zellraster 100m x 60m

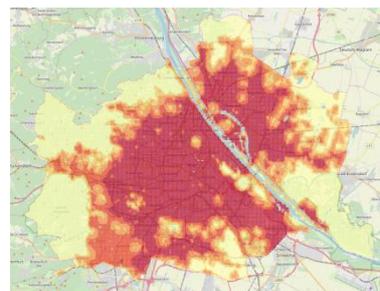


Abbildung 61: Zellraster am Beispiel Wien
Quelle: Eigen Darstellung

Bei der Zählbezirkfeinheit wird die Stadt Wien in 250 Zählbezirke unterteilt. Für jeden Zählbezirk ist die Einwohnerzahl bekannt. Bei der Berechnung des Indikators 7, welcher die Bevölkerungsverteilung miteinbezieht, werden diese Zählbezirke mit den Haltestellenpuffern verschnitten und die Einwohnerzahl innerhalb der Puffer aliquot zur Fläche berechnet. Aufgrund des Größenunterschiedes zwischen den einzelnen Zählbezirken und den generierten Puffern, kommt es zu hohen Ungenauigkeiten in den Ergebnissen. Bei einem großflächigen Zählbezirk mit viel Grünfläche und konzentrierten Siedlungen ist der Großteil der Bevölkerung meist in Haltestellennähe angesiedelt. Die Ergebnisse der flächenaliquoten Berechnung besagen jedoch, dass nur ein geringer Anteil der Bevölkerung in Haltestellennähe lebt. Dieser Fehler ist darauf zurückzuführen, dass der flächenmäßige Großteil des Zählbezirks aufgrund der großen unbebauten Fläche frei von Haltestellen ist und somit größtenteils nicht von den Haltestellenpuffern abgedeckt ist.

Angesichts dieser Fehler in der Berechnung wird diese Variante der Bevölkerungsverteilung als zu ungenau für die vorliegende Analyse eingestuft.

Die zweite Variante zur Darstellung der Bevölkerungsdaten ist die Aufteilung der Stadt Wien in 1364 Zählgebiete. Für jedes Zählgebiet ist die Einwohnerzahl bekannt. Die Berechnung des Indikators 7 erfolgt analog zu der oben beschriebenen Variante mit den Zählbezirken, mit

dem Unterschied, dass die Unterteilung der Stadt um ein Vielfaches feiner ist. Die Ergebnisse sind somit dementsprechend genauer. Die Problematik mit den großflächigen Bezirken wird jedoch auch mit dieser Variante nicht ganz gelöst, da die peripheren, größeren Zählbezirke nicht weitreichend genug unterteilt werden.

Im Großen und Ganzen reicht der Detaillierungsgrad dieser Variante aus, um sinnvolle Ergebnisse zu erreichen.

Das Problem bei dieser Variante ist, vergleichbare Daten für alle untersuchten Städte zu beschaffen. Es kann aufgrund sprachlicher Barrieren nicht festgestellt werden, ob Bevölkerungsdaten in vergleichbarer Form vorhanden sind.

Die dritte Variante beschreibt die Bevölkerungsverteilung einer Stadt in einem Zellraster der Feinheit 100m x 60m. Für jede Zelle ist die Einwohnerzahl bekannt. Somit kann in ähnlicher Weise zu den beiden vorgehenden Varianten der Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer berechnet werden. Ein Kritikpunkt bei dieser Variante ist, dass es sich nicht um offizielle Daten handelt und somit deren Richtigkeit hinterfragt werden muss.

Als Vorteil ist die Datenverfügbarkeit zu nennen. Das Zellraster der Bevölkerungsverteilung ist für alle betrachteten Städte zum gebührenfreien Download erhältlich und gewährleistet somit die Einheitlichkeit der Datenquellen.

Nach Abwägung der Vor- und Nachteile wird der Entschluss gefasst die Bevölkerungsverteilung mit der dritten Variante, dem Zellraster der Feinheit 100m x 60m, darzustellen.

9. Fazit und Diskussion

In dieser Arbeit wurde untersucht, ob es Indikatoren gibt, die einerseits einfach zu berechnen sind und andererseits mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits stark zusammenhängen. Zusätzlich wurde untersucht ob es einfach zu berechnende Indikatoren gibt, die mit der ÖV-Zufriedenheit der Bevölkerung stark korrelieren. Dazu wurden sieben Indikatoren anhand acht europäischer Städte untersucht und die Zusammenhänge mithilfe von einfachen und multiplen linearen Regressionen analysiert. In der nachstehenden Tabelle ist ein Überblick der Ergebnisse der einfachen Regressionsanalysen zu sehen.

Tabelle 52: Überblick der Ergebnisse der einfachen Regressionsanalysen der untersuchten Indikatoren
Quelle: Eigene Darstellung

	Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsanalyse mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits	Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsanalyse mit der ÖV-Zufriedenheit
Indikator 1: Durchschnittlicher Haltestellenabstand	0,3126	0,5667
Indikator 2: Haltestellen pro km ²	0,3059	0,0115
Indikator 3: Haltestellen pro 1.000 Einwohner	0,8753	0,1174
Indikator 4: ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis	0,5244	0,1033
Indikator 5: ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis	8E-05	0,5356
Indikator 6: Anteil der Fläche innerhalb der Haltestellenpuffer	0,0604	8E-05
Indikator 7: Anteil der Bevölkerung innerhalb der Haltestellenpuffer	0,3212	0,0540

Das höchste Bestimmtheitsmaß der einfachen Regressionen erreicht der Zusammenhang zwischen dem Indikator 3 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits ($R^2 = 0,8753$). Somit besteht bei dieser Beziehung ein **sehr starker Zusammenhang** und es lässt sich folgendes schlussfolgern:

Je mehr Haltestellen es pro 1.000 Einwohner in einer Stadt gibt, umso höher ist der ÖV-Anteil des Modal Splits einer Stadt.

Ebenfalls hohe Bestimmtheitsmaße erreichen die Zusammenhänge zwischen dem Indikator 1 und der ÖV-Zufriedenheit ($R^2 = 0,5667$), zwischen dem Indikator 4 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits ($R^2 = 0,5244$) und zwischen dem Indikator 5 und der ÖV-Zufriedenheit ($R^2 = 0,5356$). Somit besteht bei diesen drei Beziehungen ein **mittlerer Zusammenhang** und es lässt sich folgendes schlussfolgern:

Je geringer der durchschnittliche Haltestellenabstand des ÖV-Netzes einer Stadt, umso höher ist die Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr.

Je größer das ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis einer Stadt, umso höher ist der ÖV-Anteil des Modal Splits einer Stadt.

Je größer das ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis einer Stadt, umso höher ist die Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr einer Stadt.

Demnach bestätigt sich die aufgestellte Hypothese **H₁** für den Indikator 4 und die Hypothese **H₂** für den Indikator 1 und 5. Die Forschungsfrage, ob es einfache zu berechnende Indikatoren gibt, die mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits bzw. der ÖV-Zufriedenheit korrelieren, kann somit mit „Ja“ beantwortet werden.

Bei dem Zusammenhang zwischen Indikator 1 (durchschnittlicher Haltestellenabstand) und der ÖV-Zufriedenheit wurde zusätzlich eine multiple lineare Regression durchgeführt, wobei die verschiedenen Verkehrsträger die unabhängigen Variablen dargestellt haben. Aus der multiplen linearen Regression ist hervorgegangen, dass der durchschnittliche Haltestellenabstand des Busverkehrssystems die einzige unabhängige Variable mit aussagekräftigen Werten ist. In weiterer Folge wurde eine einfache lineare Regression ausschließlich mit dem durchschnittlichen Haltestellenabstand des Verkehrsträgers Bus gerechnet. Daraus resultierte ein Bestimmtheitsmaß von 0,7434 und somit ein **starker Zusammenhang** zwischen dem durchschnittlichen Haltestellenabstand des

Busverkehrssystem und der Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr. Es lässt sich also folgendes schließen:

Je geringer der durchschnittliche Haltestellenabstand des Busverkehrssystems einer Stadt, umso höher ist die Zufriedenheit der Bevölkerung mit dem öffentlichen Verkehr.

Eine weitere multiple lineare Regression wurde beim Zusammenhang zwischen den Indikator 4 „ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis“ und dem ÖV-Anteil des Modal Splits durchgeführt. Die verschiedenen Verkehrsträger stellten wieder die unabhängigen Variablen dar. Der Verkehrsträger Straßenbahn stellte sich als einziger aussagekräftiger Modellparameter heraus. Das Bestimmtheitsmaß betrug hierbei 0,6350 und somit besteht ein **starker Zusammenhang** zwischen dem ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis der Straßenbahn und dem ÖV-Anteil des Modal Splits. Daraus folgt:

Je größer das ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis der Straßenbahn einer Stadt, umso höher ist der ÖV-Anteil des Modal Splits einer Stadt.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen der Indikatoren 2, 6 und 7 besagen jedoch, dass schwache bzw. sehr schwache Zusammenhänge bestehen. Für diese Indikatoren werden die Hypothesen abgelehnt.

Des Weiteren lässt sich aus den Ergebnissen ableiten, dass die komplexeren Indikatoren 6 und 7, obwohl sie Informationen zur räumlichen Verteilung der Haltestellen bzw. zur Bevölkerungsverteilung beinhalten, nicht automatisch einen stärkeren Zusammenhang mit der ÖV-Nutzung bzw. der ÖV-Zufriedenheit aufweisen. Wie bereits erwähnt, weist der Indikator 3 den stärksten Zusammenhang auf, obwohl dieser mit einer einfachen Verhältnisrechnung bestimmt wird.

Nichtsdestotrotz sind die guten Ergebnisse der Indikatoren 1, 3, 4 und 5 kritisch zu betrachten. Der Stichprobenumfang beträgt in dieser Arbeit lediglich acht Städte. Aufbauend auf den Ergebnissen können weitere Forschungen mit größerem Stichprobenumfang, eventuell auch unter Einbeziehung weltweiter Städte, betrieben werden. Durch die größere Stichprobe kann möglicherweise eine statistische Signifikanz erzielt werden und die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt werden. Darüber hinaus können bei einer größeren Stichprobe die Städte geographisch gruppiert werden, um eventuell bessere Ergebnisse zu erzielen, wie es bei der Analyse des Indikators 7 der Fall war.

Mit einem Indikator, welcher statistisch signifikant mit dem ÖV-Anteil des Modal Splits korreliert, können Verkehrsplaner in Zukunft unterstützt werden, verkehrs- und umweltpolitische Ziele effizienter zu erreichen. Die Entwicklung des Modal Splits könnte mithilfe eines solchen Indikators durch die Verantwortlichen der Verkehrsplanung gesteuert werden und der erwünschte ÖV-Anteil erreicht werden. Ebenso kann ein Indikator, welcher statistisch signifikant mit der Zufriedenheit mit dem ÖV korreliert, dazu genutzt werden, die Zufriedenheit der Bevölkerung entsprechend zu erhöhen. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass es beispielsweise ausreichen könnte, die Abstände zwischen Bushaltestellen zu verkürzen, um eine höhere Zufriedenheit mit dem ÖV zu erreichen. Somit könnten Verkehrsplaner bei der Entscheidungsfindung zukünftiger Planungen unterstützt werden und in weiterer Folge Investitionsgelder effizienter genutzt werden.

10.Literaturverzeichnis

- "Indikator" auf Duden online. (2018). Abgerufen am 7. März 2019 von <https://www.duden.de/rechtschreibung/Indikator>
- Aberegg, I., & Tschopp, M. (2010). *Erschließung und Erreichbarkeit in der Schweiz mit dem öffentlichen Verkehr und dem motorisierten Individualverkehr*. Bern: Bundesamt für Raumentwicklung ARE.
- Ajuntament de Barcelona. (2009). *Barcelona 30 Anys Fent Ciutat*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- Ajuntament de Barcelona. (2014). *Dades basiques de mobilitat 2013*. Barcelona: Ajuntament de Barcelona.
- ATAC Roma. (2018). Abgerufen am 2. April 2019 von <https://www.atac.roma.it/page.asp?p=2&i=616&o=3&m=1&a=7&ci=45&tpg=2&lingua=ITA>
- Baidan, A. M. (2016). *A brief analysis of the sustainable mobility approach in Bucharest*. Villeneuve d'Ascq: Elsevier B.V.
- Bayerisches Landesamt für Statistik. (2019). *statistikdaten.bayern.de*. Abgerufen am 28. März 2019 von <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?sequenz=tabelleErgebnis&selectionname=12411-001>
- Berry, L., Zeithaml, V., & Parasuraman, A. (1990). *Five Imperatives for Improving Service Quality*. Sloan Management Review, Vol. 31, No. 4.
- BKV Zrt. (2012). *Annual Report 2011*. Budapest: BKV Zrt.
- Brinkhoff, T. (2018). *citypopulation.de*. Abgerufen am 28. März 2019 von <http://www.citypopulation.de/Hungary-Cities.html>
- Cavoli, C. (2017). *Past, Present and Future Mobility challenges and opportunities in Bucharest*. London.
- Civitas Initiative. (2013). *Civitas*. Abgerufen am 2. April 2019 von <https://civitas.eu/eccentric/munich>

- Cleff, T. (2008). *Deskriptive Statistik und moderne Datenanalyse: Eine computergestützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA*. Wiesbaden: Gabler.
- Department of Transportation Engineering. (2017). *Prague Transportation Yearbook 2016*. Prag: Department of Transportation Engineering.
- Dijkstra, L., & Poelman, H. (2012). *Cities in Europe - The new OECD-EC definition*. Brüssel: Europäische Kommission.
- Domenech, A., & Gutierrez, A. (15. März 2017). A GIS-Based Evaluation of the Effectiveness and Spatial Coverage of Public Transport Networks in Tourist Destinations. *International Journal of Geo-Information*.
- Dopravni podnik hlavniho mesta Prahy. (2018). *dpp.cz*. Abgerufen am 3. April 2019 von <http://www.dpp.cz/de/?l=1&p=dpp-v-datech>
- Eboli, L., & Mazzulla, G. (kein Datum). *Performance indicators for an objective measure of public transport service quality*. Calabria: Department of Land Use Planning, University of Calabria.
- EPOMM. (2018). *Endurance*. Abgerufen am 3. April 2019 von <http://epomm.eu/endurance/index.php?id=2809&city=291>
- EPOMM. (2018). *EPOMM - European Platform on Mobility Management*. Abgerufen am 3. April 2019 von <http://www.epomm.eu/tems/>
- Europäische Kommission. (2016). *Quality of Life in European Cities 2015*. Brüssel: Europäische Kommission.
- Fahrmeir, L., Heumann, C., Künstler, R., Pigeot, I., & Tutz, G. (2016). *Statistik: Der Weg zur Datenanalyse*. Berlin: Springer Spektrum.
- Frey, H. (2015). *Grundlagen der Fußverkehrsplanung*. Wien: Institut für Verkehrswissenschaften Forschungsbereich Verkehrsplanung und Verkehrstechnik TU Wien.
- Giglio, G. (2015). *Gazzetta de Trasporti*. Abgerufen am 2. April 2019 von <https://www.gazzettadeitrasporti.it/news/2015/06/27/il-settimanale-video-prossima-fermata-lodi-metro-c-roma-avvicina-centro/>

- Gorzela, G., Bachtler, J., & Smetkowski, M. (2010). *Regional Development in Central and Eastern Europe: Development processes and policy challenges*. New York: Routledge.
- Hamburger Hochbahn AG. (2018). *Hochbahn.de*. Abgerufen am 2. April 2019 von <https://www.hochbahn.de/hochbahn/hamburg/de/Home/Einsteigen/U-Bahn/Streckennetz>
- Hamburger Verkehrsverbund. (2019). *hvv.de*. Abgerufen am 4. April 2019 von <https://www.hvv.de/de>
- HKL. (2008). *Public transport planning guidelines in Helsinki*. Helsinki: HKL Planning Unit.
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *ine.es*. Abgerufen am 12. März 2019 von <http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2861>
- International Road Transport Union. (2009). *"Wussten Sie schon?" Zahlen und Fakten über Kraftomnibusverkehr in Europa*. Brüssel.
- ISTAT. (2017). *demo.istat.it*. Abgerufen am 11. März 2019 von <http://www.demo.istat.it/bilmens2017gen/>
- Iwinska, K., Blicharska, M., Pierotti, L., Tainio, M., & de Nazelle, A. (2018). *Cycling in Warsaw, Poland – Perceived enablers and barriers according to cyclists and non-cyclists*. Warschau: Elsevier.
- Joumard, R., & Gudmundsson, H. (2010). *Indicators of environmental sustainability in transport: An interdisciplinary approach to methods*. Brüssel, Frankreich: Europäische Kommission.
- Magistrat der Stadt Wien. (2018). *wien.gv.at*. Abgerufen am 3. April 2019 von <https://www.wien.gv.at/statistik/verkehr-wohnen/tabellen/strassen-zr.html>
- Münchener Verkehrsgesellschaft mbH (MVG). (2019). *MVG*. Abgerufen am 3. April 2019 von <https://www.mvg.de/ueber/das-unternehmen/fahrzeuge.html>
- Nathanail, E. (2008). *Measuring the quality of service for passengers on the hellenic railways*. Transportation Research Part A, Vol. 42, Issue 1.
- Novustat. (27. September 2018). *novustat*. Abgerufen am 20. April 2019 von <https://novustat.com/statistik-blog/standardabweichung-interpretation.html>

- Pflieger, V. (14. Juli 2014). *INWT*. Abgerufen am 20. April 2019 von https://www.inwt-statistics.de/blog-artikel-lesen/Bestimmtheitsmass_R2-Teil4.html
- Pinto, J. A. (kein Datum). *Spatial Analysis of Quality of Service Indicators for Transit Service*. Lissabon: Technische Universität Lissabon.
- Poelman, H., & Dijkstra, L. (2015). *Measuring access to public transport in European cities*. Brüssel: Europäische Kommission.
- Public Transport Authority. (2003). *Design and planning guidelines for public transport infrastructure: Bus route planning and transit streets*. Westaustralien: Public Transport Authority.
- Republic of Bulgaria National Statistical Institute. (2018). *nsi.bg*. Abgerufen am 28. März 2019 von <http://www.nsi.bg/en/content/6704/population-districts-municipalities-place-residence-and-sex>
- Rueda, D. R., & Franzen, H. (2012). *Facts on Active Mobility Barcelona/Spain*. Barcelona.
- Saghapour, T., Moridpour, S., & Thompson, R. (2016). Public transport accessibility in metropolitan areas: A new approach incorporating population density. *Journal of Transport Geography* 54, S. 273-285.
- S-Bahn Hamburg GmbH. (2018). *S-Bahn-Hamburg*. Abgerufen am 2. April 2019 von https://www.s-bahn-hamburg.de/s_hamburg/view/wir/daten-zahlen-fakten.shtml
- Schwandl, R. (2011). *UrbanRail.net*. Abgerufen am 2. März 2019 von <http://www.urbanrail.net/eu/hu/budapest/tram/budapest-tram.htm>
- Statistik Austria. (2019). *statistik.at*. Abgerufen am 28. März 2019 von http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/bevoelkerungsstand_und_veraenderung/bevoelkerung_zu_jahres_quartalsanfang/023582.html
- Statistisches Amt für Hamburg und Schleswig-Holstein. (2019). *statistik-nord.de*. Abgerufen am 28. März 2019 von <https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/bevoelkerung/monatszahlen/>

- Stevens, F., Gaughan, A., Linard, C., & Tatem, A. (2015). *Disaggregating Census Data for Population Mapping Using Random Forests with Remotely-Sensed and Ancillary Data*. Louisville: plos one.
- The Centre for Sustainable Transportation. (2002). *Definition and Vision of Sustainable Transportation*. Mississauga, Kanada.
- TRAM. (2018). *tram.cat*. Abgerufen am 3. April 2019 von <http://www.tram.cat/>
- Transport for NSW. (2013). *Integrated Public Transport Service Planning Guidelines*. Sydney: NSW Government.
- Transport Research and Innovation Portal. (2013). *Innovationen im Bereich der städtischen Mobilität - Politische Entscheidungsfindung und Planung*. Brüssel: Europäische Kommission.
- Transports Metropolitans de Barcelona (TMB). (2018). *tmb.cat*. Abgerufen am 3. April 2019 von <https://www.tmb.cat/en/home>
- Transports Metropolitans de Barcelona. (2018). *Dades basiques 2018*. Barcelona.
- Turnquist, M., & Blume, S. (1980). *Evaluating potential effectiveness of headway control strategies for transit systems*. Transportation Research Record.
- Union Internationale de Transports Public. (2012). *Mobility in Cities Database*. Brüssel: UITP.
- United Nations. (2018). *United Nations Demographic Yearbook*. New York: United Nations.
- United Nations Economic Commission for Europe. (2015). *Sustainable Urban Mobility and Public Transport in UNECE Capitals*. New York: United Nations.
- VCÖ - Mobilität mit Zukunft. (2018). *VCÖ*. Abgerufen am 3. April 2019 von <https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/20181109-pkw-bestand-wien>
- Wallin, R., & Wright, P. (1974). Factors Which Influence Modal Choice. In *Traffic Quarterly 28* (S. 271-289). Westport, Connecticut: U.S.A. Library of Congress.
- Wiener Linien GmbH & Co KG. (2017). *Zahlen Daten Fakten*. Wien: Wiener Linien GmbH & Co KG.

Znajewska, A., Stańczak, J., Cierniak-Piotrowska, M., Stelmach, K., Urbanowicz, M., & Kostrzewa, Z. (2017). *Population. Size and Structure and Vital Statistics in Poland by Territorial Division in 2016*. Warschau: Statistical Publishing Establishment.

11. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung der Schweiz in die ÖV-Güteklassen	18
Abbildung 2: Stadtgrenzenpolygon in QGIS am Beispiel Wien	24
Abbildung 3: Stadtgrenzenpolygon mit Haltestellenverteilung in QGIS am Beispiel Wien. Die grauen Punkte stellen Haltestellen dar, welche nicht weiter betrachtet werden	25
Abbildung 4: Haltestellenverteilung mit 100m-, 200m-, 300m-, 400m- und 500m-Puffer in QGIS am Beispiel Wien	25
Abbildung 5: Zellraster mit Bevölkerungsverteilung am Beispiel Österreich. Rot bedeutet hohe Bevölkerungsdichte und gelb bedeutet niedrige Bevölkerungsdichte	26
Abbildung 6: Zellraster mit Bevölkerungsverteilung zugeschnitten auf die Stadtgrenzen am Beispiel Wien. Rot bedeutet hohe Bevölkerungsdichte und gelb bedeutet niedrige Bevölkerungsdichte	27
Abbildung 7: Zellraster innerhalb der 100m-Puffer	27
Abbildung 8: Beliebige Punktwolke mit zugehöriger Regressionsgerade	29
Abbildung 9: Modal Split von Barcelona aus dem Jahr 2013	37
Abbildung 10: Modal Split von Budapest aus dem Jahr 2014 Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)	37
Abbildung 11: Modal Split von Bukarest aus dem Jahr 2015	37
Abbildung 12: Modal Split von Hamburg aus dem Jahr 2017 Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)	37
Abbildung 13: Modal Split von München aus dem Jahr 2017 Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)	38
Abbildung 14: Modal Split von Prag aus dem Jahr 2016 Quelle: Eigene Darstellung (nach: Department of Transportation Engineering, 2017)	38
Abbildung 15: Modal Split von Rom aus dem Jahr 2014 Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)	38

Abbildung 16: Modal Split von Sofia aus dem Jahr 2010 Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)	38
Abbildung 17: Modal Split von Warschau aus dem Jahr 2015 Quelle: Eigene Darstellung (nach: Iwinska, Blicharska, Pierotti, Tainio, & de Nazelle, 2018, S. 292)	38
Abbildung 18: Modal Split von Wien aus dem Jahr 2016 Quelle: Eigene Darstellung (nach: EPOMM, 2018)	38
Abbildung 19: Die Zufriedenheit der Bevölkerung der ausgewählten Städte mit dem öffentlichen Verkehr im Vergleich	40
Abbildung 20: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem ÖV-Anteil des Modal Splits und der ÖV-Zufriedenheit	41
Abbildung 21: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Umweltverbund-Anteil des Modal Splits und der ÖV-Zufriedenheit	42
Abbildung 22: Vergleich der Städte hinsichtlich des durchschnittlichen Haltestellenabstandes	44
Abbildung 23: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 1 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.....	46
Abbildung 24: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 1 und der Zufriedenheit mit dem ÖV.	51
Abbildung 25: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem durchschnittlichen Haltestellenabstandes des Busverkehrssystems und der Zufriedenheit mit dem ÖV.....	54
Abbildung 26: Vergleich der Städte hinsichtlich der Haltestellenanzahl pro km ²	56
Abbildung 27: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 2 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.....	58
Abbildung 28: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 2 und der Zufriedenheit mit dem ÖV	59
Abbildung 29: Vergleich der Städte hinsichtlich der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner	61

Abbildung 30: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 3 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits..... 62

Abbildung 31: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 3 und der Zufriedenheit mit dem ÖV 64

Abbildung 32: Vergleich der Städte hinsichtlich des ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnisses 65

Abbildung 33: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 4 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits..... 67

Abbildung 34: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 4 und der Zufriedenheit mit dem ÖV 74

Abbildung 35: Vergleich der Städte hinsichtlich des ÖV-Netz-Fläche-Verhältnisses..... 75

Abbildung 36: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 5 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits..... 77

Abbildung 37: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 5 und der Zufriedenheit mit dem ÖV 79

Abbildung 38: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 100m-Haltestellenpuffern 81

Abbildung 39: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 200m-Haltestellenpuffern 81

Abbildung 40: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 300m-Haltestellenpuffern 82

Abbildung 41: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 400m-Haltestellenpuffern 82

Abbildung 42: Flächenanteile der untersuchten Städte in den 500m-Haltestellenpuffern 83

Abbildung 43: Vergleich der untersuchten Städte hinsichtlich der Flächenanteile in den Haltestellenpuffern 84

Abbildung 44: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 6 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits..... 86

Abbildung 45: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 6 und der Zufriedenheit mit dem ÖV 87

Abbildung 46: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 100m-Haltestellenpuffern 89

Abbildung 47: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 200m-Haltestellenpuffern	90
Abbildung 48: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 300m-Haltestellenpuffern	90
Abbildung 49: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 400m-Haltestellenpuffern	91
Abbildung 50: Bevölkerungsanteile der untersuchten Städte in den 500m-Haltestellenpuffern	91
Abbildung 51: Vergleich der untersuchten Städte hinsichtlich der Bevölkerungsanteile in den Haltestellenpuffern	92
Abbildung 52: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 7 und dem ÖV-Anteil des Modal Splits	94
Abbildung 53: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 7 und der Zufriedenheit mit dem ÖV	95
Abbildung 54: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 7 und der Zufriedenheit mit dem ÖV	96
Abbildung 55: Regressionsanalyse zur Bestimmung des Zusammenhangs zwischen dem Indikator 6 und dem Indikator 7	97
Abbildung 56: Stadtgrenze von Saragossa liegt weit außerhalb des urbanen Zentrums	99
Abbildung 57: Stadtgrenze von Paris umschließt nur einen Teil des urbanen Zentrums.....	99
Abbildung 58: Die Stadtgrenzenproblematik am Beispiel Brüssel.....	100
Abbildung 59: Zählbezirke der Stadt Wien.....	101
Abbildung 60: Zählgebiete der Stadt Wien	101
Abbildung 61: Zellraster am Beispiel Wien	101

12. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: ÖV-Güteklassen in Abhängigkeit von Haltestellenkategorie und Distanz zur Haltestelle.....	17
Tabelle 2: Ergebnisse der PTAI-Studie anhand der Stadt Melbourne, Australien	19
Tabelle 3: Einwohnerzahl, Fläche und Bevölkerungsdichte der ausgewählten Städte	33
Tabelle 4: Netzlängen der einzelnen Verkehrsträger der ausgewählten Städte	34
Tabelle 5: Haltestellenanzahl der einzelnen Verkehrsträger der ausgewählten Städte	35
Tabelle 6: Straßennetzlänge und Motorisierungsgrad der ausgewählten Städte	36
Tabelle 7: Interpretation des Bestimmtheitsmaßes R^2	43
Tabelle 8: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für ausgewählte Städte	44
Tabelle 9: Gegenüberstellung vom durchschnittlichen Haltestellenabstand und dem ÖV-Anteil des Modal Splits	45
Tabelle 10: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für den Verkehrsträger Bus.....	47
Tabelle 11: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für den Verkehrsträger Straßenbahn.....	47
Tabelle 12: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für den Verkehrsträger U-Bahn	48
Tabelle 13: ÖV-Netzlänge, Haltestellenanzahl und der daraus berechnete durchschnittliche Haltestellenabstand für den Verkehrsträger S-Bahn	48
Tabelle 14: Gegenüberstellung von den durchschnittlichen Haltestellenabständen der verschiedenen Verkehrsträger und dem ÖV-Anteil des Modal Splits	49
Tabelle 15: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung.....	49
Tabelle 16: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert	50

Tabelle 17: Gegenüberstellung vom durchschnittlichen Haltestellenabstand und der Zufriedenheit mit dem ÖV	51
Tabelle 18: Gegenüberstellung von den durchschnittlichen Haltestellenabständen der verschiedenen Verkehrsträger und der Zufriedenheit mit dem ÖV	52
Tabelle 19: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung.....	53
Tabelle 20: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und P-Wert	53
Tabelle 21: Ergebnisse der einfachen Regression mit dem Parameter Bus mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung.....	54
Tabelle 22: Ergebnisse der einfachen Regression mit dem Parameter Bus mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und P-Wert.....	54
Tabelle 23: Haltestellenanzahl, Fläche der Stadt und die daraus berechnete Haltestellenanzahl pro km ² für ausgewählte Städte.....	55
Tabelle 24: Gegenüberstellung von der Haltestellenanzahl pro km ² und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.....	57
Tabelle 25: Gegenüberstellung von der Haltestellenanzahl pro km ² und der Zufriedenheit mit dem ÖV.....	59
Tabelle 26: Haltestellenanzahl, Einwohnerzahl der Stadt und die daraus berechnete Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner für ausgewählte Städte	60
Tabelle 27: Gegenüberstellung von der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.....	62
Tabelle 28: Gegenüberstellung von der Haltestellenanzahl pro 1.000 Einwohner und der Zufriedenheit mit dem ÖV	63
Tabelle 29: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und das daraus berechnete ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis für ausgewählte Städte	65
Tabelle 30: Gegenüberstellung vom ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.....	66

Tabelle 31: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und das daraus berechnete ÖV-Netz- Straßennetz-Verhältnis für den Verkehrsträger Bus.....	68
Tabelle 32: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und das daraus berechnete ÖV-Netz- Straßennetz-Verhältnis für den Verkehrsträger Straßenbahn.....	68
Tabelle 33: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und der daraus berechnete ÖV-Netz- Straßennetz-Verhältnis für den Verkehrsträger U-Bahn	69
Tabelle 34: ÖV-Netzlänge, Straßennetzlänge und das daraus berechnete ÖV-Netz- Straßennetz-Verhältnis für den Verkehrsträger S-Bahn	69
Tabelle 35: Gegenüberstellung von den ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnissen der verschiedenen Verkehrsträger und dem ÖV-Anteil des Modal Splits	70
Tabelle 36: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung.....	70
Tabelle 37: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert	71
Tabelle 38: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung.....	71
Tabelle 39: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert	72
Tabelle 40: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Korrelationskoeffizient, Bestimmtheitsmaß und Standardabweichung.....	72
Tabelle 41: Ergebnisse der multiplen Regression mit MS Excel: Koeffizienten, Standardabweichung, t-Wert und p-Wert	72
Tabelle 42: Gegenüberstellung vom ÖV-Netz-Straßennetz-Verhältnis und der Zufriedenheit mit dem ÖV	73
Tabelle 43: ÖV-Netzlänge, Fläche der Stadt und das daraus berechnete ÖV-Netz-Fläche- Verhältnis für ausgewählte Städte	75
Tabelle 44: Gegenüberstellung vom ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis und dem ÖV-Anteil des Modal Splits.....	76

Tabelle 45: Gegenüberstellung vom ÖV-Netz-Fläche-Verhältnis und der Zufriedenheit mit dem ÖV	78
Tabelle 46: Anteile der Fläche der untersuchten Städte in den unterschiedlichen Haltestellenpuffern	80
Tabelle 47: Gegenüberstellung vom Flächenanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer und dem ÖV-Anteil des Modal Splits	85
Tabelle 48: Gegenüberstellung vom Flächenanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer und der Zufriedenheit mit dem ÖV	87
Tabelle 49: Anteile der Bevölkerung der untersuchten Städte in den unterschiedlichen Haltestellenpuffern	88
Tabelle 50: Gegenüberstellung vom Bevölkerungsanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer und dem ÖV-Anteil des Modal Splits	93
Tabelle 51: Gegenüberstellung vom Bevölkerungsanteil innerhalb der 300m-Haltestellenpuffer und der Zufriedenheit mit dem ÖV	95
Tabelle 52: Überblick der Ergebnisse der einfachen Regressionsanalysen der untersuchten Indikatoren	103