

Der Zusammenhang zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen in den Gemeinden Österreichs

Alexander Graßl

Ziel dieses Beitrags ist es, den Zusammenhang zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen in den Gemeinden Österreichs mittels quantitativer Methoden empirisch zu untersuchen. Dazu wurden der Grad der Zersiedelung anhand des Messansatzes gewichtete Zersiedelung von Jaeger und Schwick (2014) und die Längen der Gemeindestraßennetze aller Gemeinden Österreichs mittels einer neu entwickelten Methode zur Abfrage und Berechnung aus dem Verkehrsgraph GIP.at ermittelt sowie deren Zusammenhang anhand einer Regressionsanalyse statistisch untersucht. Im Rahmen der angewandten Methode konnte mit den verfügbaren Datengrundlagen ein geringer, negativ gerichteter Einfluss des Zersiedelungsgrades auf die Länge der Gemeindestraßen in den Gemeinden Österreichs mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,086$ festgestellt werden. Da bisherige Untersuchungen zu dieser Thematik durchaus einen starken Zusammenhang zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen nachweisen konnten, werden die hier ermittelten Ergebnisse kritisch betrachtet und mögliche Ansätze für weiterführende Analysen hinsichtlich der Eignung der verwendeten Methodik sowie Verbesserungspotenziale zu deren Anwendung dargelegt.

1 Einleitung & Problemstellung

Jährlich steigt der Flächenverbrauch für Bauflächen in Österreich derzeit um durchschnittlich etwa 17 km². Im Jahr 2019 war ein Anstieg von über 26 km² zu verzeichnen (Umweltbundesamt GmbH 2020: 1). Zahlen wie diese verdeutlichen den seit langem bestehenden und mit problematischen Folgen verbundenen Trend der zunehmenden Bodenversiegelung in Österreich. Als einer der Haupttreiber dieser Entwicklung kann die Zersiedelung betrachtet werden. Ausgelöst durch demografische und ökonomische Veränderungen sowie durch soziokulturelle Treiber wie dem Trend zum Einfamilienhaus entsteht eine hohe Nachfrage nach Wohn- und Betriebsansiedlungen am Stadtrand oder auf der grünen Wiese. Durch die angebotsseitige Bereitstellung von Bauland, Förderungen und den entsprechenden Ausbau sozialer und technischer Infrastruktur wird diese Nachfrage befriedigt und als Ergeb-

nis eine immer stärker zersiedelte Landschaft sichtbar (Cerveny/Schweighofer/Veigl 2011: 32). Vereinfacht kann nach Kellenberger (2010, zitiert nach Cerveny/Schweighofer/Veigl 2011: 13) „von Zersiedelung [...] gesprochen werden, wenn die Siedlungsfläche schneller wächst als die Bevölkerung“. Die Konsequenzen einer solchen Entwicklung sind evident. Direkte negative Auswirkungen auf die Umwelt durch die Flächenversiegelung werden besonders in Zeiten des Klimawandels bemerkbar und die Kosten für die öffentliche Infrastruktur, beispielsweise für Straßen, Strom- und Wasserversorgung sowie Internetanbindung steigen. Der wachsende Individualverkehr in Siedlungsformen, die durch öffentliche Verkehrsmittel kaum finanziell vertretbar erschlossen werden können, verursacht weitere volkswirtschaftliche Kosten. Aus diesen und vielen weiteren Gründen ist die Vermeidung weiterer Zersiedelung bereits Teil der Agenda verschiedenster Akteur:innen der Raumplanung. So haben beispielsweise alle Bundesländer

Österreichs entsprechende Zielsetzungen zum sparsamen Umgang mit der Ressource Boden in den Landesraumordnungsprogrammen verankert, was auch verdeutlicht, dass es sich bei der Begrenzung der Zersiedelung um einen der zentralen Aufgabenbereiche und eine der größten Herausforderungen der Raumplanung und Raumordnung handelt.

„Die Nutzung von Grundflächen hat unter Beachtung eines sparsamen Flächenverbrauches, einer wirtschaftlichen Aufschließung sowie weit gehender Vermeidung gegenseitiger nachteiliger Beeinträchtigungen zu erfolgen. Die Zersiedelung der Landschaft ist zu vermeiden.“

(§3 Abs 1 Z 2 StROG)

Ziel dieses Beitrags ist es daher, den Zusammenhang zwischen Zersiedelung und der Länge kommunaler Infrastrukturnetze, einer der greifbarsten Auswirkungen dieser, zu untersuchen. Die mit Abstand am deutlichsten wahrnehmbare Art von Infrastruktur ist dabei das Netz an Gemeindestraßen, weshalb diese Gegenstand der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analyse sind. Da sich die Kosten für Errichtung und Instandhaltung schätzungsweise aus der Straßennetzlänge mittels einschlägiger Kalkulationstools berechnen lassen, liegt der Fokus dieser Arbeit auf der Länge der Gemeindestraßen. Ziel des Beitrags ist es, eine empirisch-quantitativ belegte Aussage darüber treffen zu können, wie stark der Zusammenhang zwischen Zersiedelungsgrad und Gemeindestraßenlänge in den Gemeinden Österreichs ist. Da die im Rahmen des Beitrags angewandten Methoden bisher noch nicht für vergleichende Untersuchungen dieser Art genutzt worden sind, lautet die Forschungsfrage jedoch zunächst, ob ein quantitativ feststellbarer Zusammenhang zwischen Zersiedelungsgrad und der Länge der Gemeindestraßen in den Gemeinden Österreichs besteht.

Gestützt auf die Hypothese, dass ein solcher Zusammenhang messbar sei, ist es zunächst unerlässlich, anhand einer Literaturrecherche zu bereits durchgeführten Untersuchungen zu dieser Thematik zu ermitteln, ob das Thema bereits Gegenstand der Forschung war, mit welchen Methoden bisherige Analysen durchgeführt wurden und welche Ergebnisse daraus hervorgingen. Dies dient nicht nur der Beantwortung der Frage, ob eine weitere Verfolgung der Thematik überhaupt von Relevanz ist, sondern ermöglicht auch die Entwicklung erster Ansätze hinsichtlich möglicher Datenquellen und Methoden für die weitere Durchführung. Ausführungen zu dieser Recherche befinden sich im folgenden Kapitel Stand der Forschung. Im darauf folgenden Kapitel 3 werden die angewandten Methoden, Schritte der Durchführung sowie die Ergebnisse der Analyse des Zersiedelungsgrades beschrieben. In Kapitel 4 werden die zur Ermittlung der Länge der Gemeindestraßen verfolgte Methode, deren Anwendung sowie die daraus resultierenden Ergebnisse erläutert. Kapitel

5 bezieht sich auf den Fokus dieser Arbeit, die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen. Dabei werden analog zu den Kapiteln 3 und 4 Methodik, Schritte der Durchführung sowie die Ergebnisse in entsprechenden Unterkapiteln erläutert.

2 Stand der Forschung

Die Tatsache, dass mit steigender Zersiedelung auch die Netzlängen und Kosten für kommunale Infrastruktur zunehmen, erscheint aus Sicht der Raumplanung zunächst trivial und wurde bereits mehrfach wissenschaftlich untersucht. Quantitative Analysen zu Art und Ausmaß dieses Zusammenhangs waren jedoch bisher selten Gegenstand diesbezüglicher Untersuchungen. Als Beispiel für eine Analyse des Einflusses der Zersiedelung auf den kommunalen Infrastrukturaufwand ist die Analyse von sozialen Kosten im Zusammenhang mit unterschiedlichen Siedlungsformen aus dem Jahr 1984 von Hezel, Höfler, Kandel und Linhardt anzuführen. Als soziale Kosten wurden im Rahmen dieser Analyse „solche [definiert], die im Zusammenhang mit der Besiedelung entstehen, durch die Allgemeinheit oder Dritte getragen werden und als vermeidbar angesehen werden“ (Hezel et al. 1984: 41). Zu diesem Zweck wurden zunächst vier modellhafte Siedlungstypen mit unterschiedlicher Bebauungsstruktur und -dichte festgelegt und mittels präziser Analysen ermittelt, welche sozialen Kosten durch diese verursacht werden. Diese deduktive Methode mit „synthetisch gebildeten Modellen“ (ebd.: 44) wurde 1984 verfolgt, da ein empirischer Ansatz zu diesem Zeitpunkt mit Problemen im Zusammenhang mit der Datenbeschaffung (ebd.: 44) verbunden gewesen wäre.

Eine weitere Untersuchung zu dieser Thematik stellt die Analyse Siedlungsstruktur und Infrastrukturaufwand von Braumann aus dem Jahr 1988 dar. Hierbei wurde anhand dreier ausgewählter Gemeinden im Bundesland Salzburg versucht, den Grad der Zersiedelung quantitativ zu erfassen und deren Ausgaben für kommunale Infrastruktur gegenüberzustellen (Braumann 1988: 58). Zur Quantifizierung des Zersiedelungsgrades wurde für jede der Gemeinden ein Zersiedelungsindex ermittelt, welcher anhand der Verteilung aller Gebäude auf die einzelnen Ortsteile berechnet wird (ebd.: 81). Anschließend wurden diese Werte mit einem eigens ermittelten Infrastrukturindex, welcher auf Grundlage des „relativen Aufwandes an Straßenlänge und Wasserleitungslänge je Gebäude“ (ebd.: 67) gebildet wurde, verglichen. Laut Braumann kann der festgestellte Zusammenhang, wenngleich die Aussagekraft durch die geringe Anzahl untersuchter Gemeinden eingeschränkt ist, als „grundsätzlicher Nachweis für den direkten Zusammenhang zwischen der Art der Siedlungsstruktur und dem erforderlichen Aufwand für eine ordnungsgemäß ausgebaute Infrastruktur gelten“ (ebd.: 68). Aufbauend auf dem Grundprinzip der vorliegenden

Untersuchung von Braumann könnte der Untersuchungsgegenstand jedoch nach heutigem Stand der Technik, insbesondere durch die breite Verfügbarkeit entsprechender Geodaten mittels GIS-Analysen noch deutlich präziser und großflächiger beleuchtet werden.

Eine aktuellere Untersuchung von Doubek und Hiebl aus dem Jahr 2001 beschäftigte sich ebenfalls mit einer quantitativen Analyse des Einflusses der Siedlungsdichte auf Infrastrukturkosten. Der Fokus lag hierbei jedoch nicht auf den Kosten für bauliche Infrastruktur, sondern für soziale Dienste. Hierzu wurden insgesamt 22 Gemeinden mit unterschiedlicher Siedlungsstruktur und -dynamik ausgewählt (Doubek/Hiebl 2001: 13-18) und „in Interviews hinterfragt, welche sozialen Dienste [...] angeboten werden und wie diese Leistungen organisiert und finanziert werden“ (ebd.: 9). Die Untersuchungsgemeinden wurden nach Siedlungstypen kategorisiert und schließlich die Kosten für die sozialen Dienste (ebd.: 35-45) je Siedlungstyp untersucht. Die addierten Ausgaben für Transportkosten im Zusammenhang mit Kinderbegleitdienst, innergemeindlichem Schüler:innentransport, Heimhilfe sowie Essen auf Rädern unterscheiden sich dabei in kompakten und stark zersiedelten Orten sowie dynamischen Streusiedlungen signifikant (ebd.: 76f.).

Ähnlich zu den bereits genannten Untersuchungen verwendeten auch Einig und Spangenberg 2006 im Rahmen der Analyse „Siedlungsentwicklung und Infrastrukturkosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung“ eine Typisierung der Siedlungsstruktur als Beschreibungsansatz. Dabei wurden 72 verschiedene Strukturtypen festgelegt, für welche anhand statistischer Datenauswertungen spezifische Nettoeinzwohner:innendichten modelliert wurden (Einig/Spangenberg 2006: 54-57). Auch hier konnte ein starker Zusammenhang zwischen Siedlungsstruktur und Kosten für sowohl soziale als auch technische Infrastruktur festgestellt werden.

Die hier knapp zusammengefassten Analysen konnten nachweisen, dass eine deutlich nachweisbare Korrelation zwischen Ausgaben für Infrastruktur und Siedlungsdichte, und somit auch mit der Zersiedelung besteht. Die erläuterten Methoden weisen zwar an vielen Stellen deutliche Stärken hinsichtlich ihrer Genauigkeit auf, sind jedoch vielfach nur sehr zeit- und ressourcenintensiv umsetzbar, was neben der vor 20 bis 30 Jahren deutlich geringeren Verfüg- und Verarbeitbarkeit von entsprechend notwendigen Daten dazu führte, dass derartige Analysen nur modellhaft oder räumlich sehr stark eingegrenzt durchgeführt wurden. Aufgrund anderer Rahmenbedingungen kann bei einer Vereinfachung der zu ermittelnden Kenngrößen auf die Gesamtlänge bestimmter Infrastruktureinrichtungen, wie hier der kommunal unterhaltenen Straßen, eine deutlich großräumigere Untersuchung angestrebt werden. Der Grad der Zersiedelung, welcher hierbei als Erklärungsgröße herangezogen wird, kann mittels verfügbarer Methoden zur Geodatenanalyse stark standardisiert

anhand verschiedener Eingangsgrößen berechnet werden, wodurch eine möglichst hohe Vergleichbarkeit der Gemeinden untereinander erreicht werden kann.

3 Messung des Zersiedelungsgrades

Um eine vergleichende Analyse des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen durchführen zu können, ist es zunächst erforderlich, den Grad der Zersiedelung zu analysieren. Im ersten Schritt wird eine im Rahmen dieser Forschungsfrage gut anwendbare Vorgehensweise zur Quantifizierung des Zersiedelungsgrades ausgewählt und beschrieben. Darauf folgend werden die Schritte der Anwendung der gewählten Methode erläutert und in Kapitel 3.3 die Ergebnisse der Analyse des Zersiedelungsgrades der Gemeinden Österreichs beschrieben.

3.1 Methodik zur Messung des Zersiedelungsgrades

Um einen großflächigen, statistischen Vergleich zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen für alle Gemeinden in Österreich zu ermöglichen, ist es aus Gründen der Ressourceneffizienz und Objektivität vorteilhaft, eine quantitative Analyse einer qualitativen vorzuziehen. Da derartige Befunde sowohl eine Grundlage für weiterführende Analysen bilden, als auch für die Bewertung bestehender und zu entwickelnder Raumordnungsinstrumente zur flächensparenden Siedlungsentwicklung eingesetzt werden können, sprachen sich auch Behnisch/Jaeger/Krüger (2018: 25) in einem Beitrag in *Nachrichten der ARL* für die Quantifizierung der Zersiedelung aus. Einen weiteren Grund zur quantitativen Messung der Zersiedelung stellt im angeführten Beitrag auch die von den Autoren am Beispiel Deutschlands kritisierte reine „Mengendiskussion“ (ebd.: 25) zum Flächenverbrauch, bei der räumliche Anordnung sowie Nutzung der Siedlungsflächen wenig bis keine Berücksichtigung finden, dar. Die angeführten Defizite treffen dabei im Wesentlichen auch auf die Diskussion in Österreich zu. Im 15. Raumordnungsbericht werden entsprechend überwiegend am Flächenverbrauch orientierte Indikatoren angeführt (Dallhammer et al. 2018: 39-42). Zwar werden neben der absoluten Flächeninanspruchnahme für Siedlungszwecke auch der Anteil der versiegelten Fläche am Dauersiedlungsraum, versiegelte Fläche je Einwohner:in sowie gewidmetes bebautes und unbebautes Bauland je Einwohner:in ermittelt, analysiert und bewertet (ebd.: 41-45), jedoch stützen sich die Ausführungen damit insgesamt auf eher simplere Indikatoren. Diese bieten zwar Vorteile hinsichtlich einfacherer Berechnung und Kommunikation, verzerren jedoch durch die allenfalls vereinfacht betrachtete Nutzungs-

dichte sowie die nicht berücksichtigte Verteilung der Siedlungsbereiche im Raum die Analyseergebnisse zu einem gewissen Grad und können daher kaum eine Vergleichsebene für alle der über 2.000 Gemeinden in Österreich schaffen. Um den Grad der Zersiedelung möglichst realitätsgetreu erfassen zu können, bedarf es daher komplexerer Analysemethoden. Als Beispiele für solche sind drei Zersiedelungsindikatoren, welche in der jüngeren Vergangenheit in Deutschland angewandt wurden, anzuführen (Schwarzak/Behnisch 2017: 80).

Der von Ackermann 2008 vorgeschlagene Indikator setzt dabei bei der Vermessung der „Form und Ausdehnung von siedlungsfreien Flächen durch geometrische Linienpaare“ (ebd.: 80) mit dem Ziel an, die Zersiedelung anhand einer ihrer unmittelbaren Folgen, dem Verlust an unversiegelten Flächen, zu messen. Während sich dieser Ansatz sehr gut zur Quantifizierung der Auswirkungen von Zersiedelungsprozessen eignet (ebd.: 80), ist er für eine vollumfängliche Messung des Zersiedelungsgrades eher weniger geeignet, da hierbei aufgrund des Fokus auf den Freiraum die Nutzungsdichte des Siedlungsraumes unbeachtet bleibt.

Einen weiteren Messansatz stellt das 2012 entwickelte Verfahren von Fina (2013: 142-159) dar. Dabei wurde Bezug auf die von Galster et al. (2001: 687-698) vorgeschlagene Definition und Messung der Zersiedelung genommen, wobei bei Fina die räumliche Anordnung der Siedlungsflächen im Vordergrund stand (Schwarzak/Behnisch 2017: 80). Der entwickelte Ansatz zur Messung der Dispersion stützt sich dabei auf zwei Teilindikatoren. Der sogenannte *Dispersion Index* stellt das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Verteilung der Siedlungsflächen im Raum und einer errechneten, fiktiven maximalen räumlichen Dispersion im Zusammenhang mit dem *Level of urbanization* dar (Fina 2013: 149). Als zweiter Teilindikator werden sogenannte *Function Triangles* ermittelt. Diese bilden die Distanzen zwischen verschiedenen Raumnutzungsfunktionen im analysierten Gebiet ab (ebd.: 152-155). Um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten, können die beiden Indikatoren auch nach Einwohner:innen und Arbeitsplätzen gewichtet werden (ebd.: 154f.). Allgemein kann der angeführte Zersiedelungsindikator, welcher sich im Wesentlichen auf Distanzmessungen zwischen einzelnen Einheiten im Raum bezieht, dadurch auch Aspekte der Nutzungsdichte mitberücksichtigen und bietet damit bereits einen entscheidenden Vorteil gegenüber dem Indikator von Ackermann. Jedoch befindet sich dieser „bislang in der Erprobungsphase“ (Schwarzak/Behnisch 2017: 81), wurde noch nicht flächendeckend angewendet und könnte auch hinsichtlich der Datenverfügbarkeit schwer durchführbar sein, weswegen er in dieser Arbeit keine Anwendung findet.

Einen weiteren Messansatz der jüngeren Vergangenheit zur quantitativen Messung der Zersiedelung stellt der 2010 entwickelte *Multiindikatoren-Ansatz* von Siedentop und Fina (ebd.: 81) dar. Mit dem Grundansatz, für verschie-

dene Auswirkungen auch einzelne Indikatoren zu verwenden (Siedentop/Fina 2010: 78), werden insgesamt neun verschiedene Indikatoren zu den drei Dimensionen *Density*, *Pattern* und *Surface* betrachtet (ebd.: 81). Die einzelnen Analysen wurden jeweils auf Rasterbasis mit einer Zelengröße von 10x10 km durchgeführt. Die Stärken dieses Ansatzes liegen dabei in seiner hohen Komplexität. Durch die Untersuchung zahlreicher Analyseschichten kann eine umfangreiche Betrachtung des Phänomens der Zersiedelung erreicht werden. Dies kann für viele Anwendungsbereiche vorteilhaft sein, stellt jedoch für die im Rahmen dieses Beitrags durchgeführte Analyse keinen sinnvollen Ansatzpunkt dar. Neben dem Aspekt, dass für den Zweck einer vergleichenden Analyse mit dem Infrastrukturaufwand für einen großen, bundesweiten Analyserraum eine weniger komplexe Beschreibung der Siedlungsstruktur, im Optimalfall nur ein Indikatorwert, vorteilhaft wäre, könnte auch die verwendete Rasterweite, welche bei Flächenstaaten wie Deutschland durchaus angemessen erscheint, im Fall einer Analyse im Maßstab Österreichs ungeeignet sein und die Siedlungsstruktur insbesondere in alpinen Regionen möglicherweise nicht hochauflösend genug abbilden.

In der Schweiz wurde 2014 von Jaeger und Schwick ein weiterer Ansatz zur Messung der Zersiedelung, der Indikator *gewichtete Zersiedelung*, vorgestellt. Dieser stellt eine Weiterentwicklung des von ebendiesen, Bertiller und Kienast bereits 2010 entwickelten Ansatzes, welcher eine Definition und Berechnung des Zersiedelungsgrades anhand der vier Indizes *Dispersion*, *Total sprawl*, *Urban permeation* und *Sprawl per capita* vorsieht (Jaeger et al. 2010a: 428f.), dar. Der ursprüngliche Ansatz wurde dabei auf Grundlage einer ebenfalls 2010 von den selben Autoren vorgenommenen vergleichenden Analyse verschiedener Definitionen und dreier Messansätze zur Zersiedelung (*Amount of urban area*, *Proximity* und *Contagion*) anhand von 13 Eignungskriterien (Jaeger et al.: 2010b: 400-403) entwickelt, da diese zu dem Ergebnis gelangte, dass die untersuchten Indikatoren einzeln betrachtet in ihrer Aussagekraft hinsichtlich einer allgemeinen Messung des Zersiedelungsgrades begrenzt sind (ebd.: 405). Der im Rahmen dieses Beitrags verwendete Indikator *gewichtete Zersiedelung*, welcher 2014 von Jaeger und Schwick als Weiterentwicklung der beschriebenen Analysemethode vorgeschlagen wurde, bindet neben den bereits zuvor entwickelten Indizes der Streuung (*Dispersion*) und der urbanen Durchdringung (*Urban Permeation*) auch die Flächeninanspruchnahme je Einwohner:in und Arbeitsplatz, oder die Nutzungsdichte in die Berechnung ein (Jaeger/Schwick 2014: 296). Als „neuer, gut dokumentierter und international anerkannter“ (Schwarzak/Behnisch 2017: 81) Untersuchungsansatz erscheint dieser geeignet für die hier durchzuführende Analyse.

Die gewichtete Zersiedelung, auch „weighted urban proliferation“ genannt, welche sich aus den angeführten Teilindikatoren zusammensetzt, wird anhand dreier Parameter errechnet: Gesamtgröße der Siedlungsfläche, Streuung

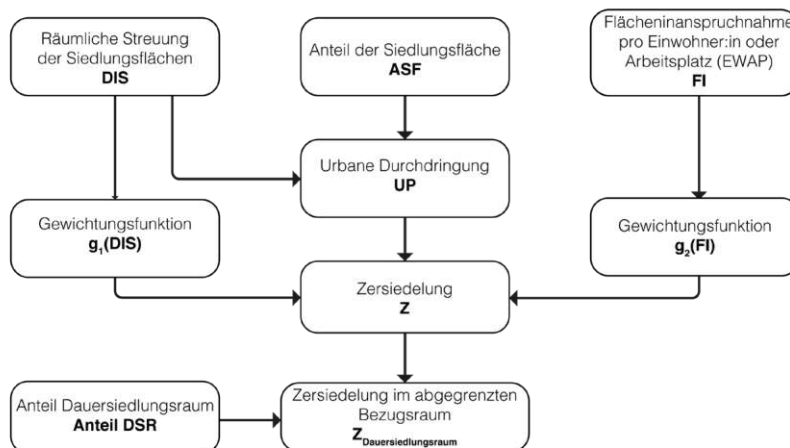


Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung der Rechnungsschritte zum Zersiedelungsgrad
Quelle: Schwick et al. 2018: 29, eigene Adaption

der Siedlungsfläche und Flächenanspruchnahme je Einwohner:in und Arbeitsplatz (Schwick et al. 2018: 27) (siehe Abb. 1). Die Analyse wurde dabei bewusst auf wenige Komponenten begrenzt und umfasst beispielsweise keine Untersuchung der Eigenschaften einzelner Gebäude (ebd.: 28), da einerseits historische, gebäudespezifische Daten kaum verfügbar (Jaeger/Bertiller 2006: 12) sind und andererseits eine „Abgrenzung, welche Gebäude in die Landschaft passen und welche nicht, in vielen Fällen kontrovers“ (ebd.: 12) und quantitativ kaum zu bewältigen wäre.

Die Streuung der Siedlungsfläche beschreibt dabei die morphologische Struktur der Siedlungsräume. Hierzu werden auf Rasterbasis die Distanzen aller Mittelpunkte besiedelter Rasterzellen innerhalb des bebauten Raumes zueinander innerhalb eines festgelegten Betrachtungshorizonts gemessen und ein Mittelwert gebildet, wobei durch die sogenannte Aufwandsfunktion größere Distanzen stärker gewichtet werden und zu jeder gemessenen Distanz ein

von der Zellengröße der verwendeten Rasterdaten abhängiger Zellinnenbetrag addiert wird (ebd.: 201) (siehe Abb. 2). Da nur Entfernungen innerhalb des Betrachtungshorizontes gemessen werden, ist die genaue Festlegung dessen stark von der Maßstabsebene abhängig, für welche der Grad der Zersiedelung ermittelt werden soll. Wird hierzu ein niedriger Wert gewählt, beeinflussen entferntere gelegene Siedlungsbereiche den Grad der Zersiedelung nicht. Da die Siedlungsbereiche in der Schweiz in der Regel etwa 2 km voneinander entfernt liegen und sich dieser Wert bei mehreren Berechnungen des Zersiedelungsindex bewährt hat, empfehlen Jaeger/Schwick (2014: 300) einen Betrachtungshorizont von 2.000 m. Das Ergebnis dieser Analyse wird in der Einheit „Durchsiedelungseinheiten pro Quadratmeter Siedlungsfläche“ angegeben und liegt in der Regel im Wertebereich zwischen 0 und 50, wobei höhere Werte möglich sind. (Schwick et al. 2018: 29). Anzumerken ist hierbei, dass der Begriff „Durchsiedelungseinheit“ in vorhandener Literatur zur Messmethode nicht genauer erläutert wird.

$$DIS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{n_i} \left(\sum_{j=1}^{n_i} \left(\sqrt{\frac{2 \cdot d_{ij}}{1m} + 1} - 1 \right) + \left(\sqrt{0,97428 \cdot \frac{b}{1m} + 1,046} - 0,996249 \right) \right) \left[\frac{DSE}{m^2} \right]$$

— Mittelwert über alle Zellen *i*

— Mittelwert der gewichteten Distanzen der Zelle *i* zu jeder Zelle *j*

— Mittels Aufwandsfunktion gewichtete Distanz *d_{ij}* von der besiedelten Zelle *i* zur besiedelten Zelle *j*

— Zellinnenbetrag, abhängig von der Zellengröße *b*

— Einheit: Durchsiedelungseinheiten pro m²

— $\frac{1}{n}$

— $\frac{1}{n_i}$

— $\sum_{j=1}^{n_i}$

— $\sqrt{\frac{2 \cdot d_{ij}}{1m} + 1} - 1$

— $\sqrt{0,97428 \cdot \frac{b}{1m} + 1,046} - 0,996249$

— $\left[\frac{DSE}{m^2} \right]$

Abbildung 2: Formel zur Berechnung der räumlichen Streuung der Siedlungsflächen
Quelle: Schwick et al. 2018: 201, eigene Adaption

Der Anteil der Siedlungsfläche innerhalb des Betrachtungsraumes wird dabei als Zahl im Wertebereich zwischen 0 und 1 angegeben (ebd.: 30).

Den dritten Parameter stellt die Flächeninanspruchnahme je Person und Arbeitsplatz dar. Während dieser Aspekt in der ursprünglichen Version des Zersiedelungsindikators noch als Nutzungsdichte definiert war und erst durch die daraus errechnete Gewichtungsfunktion der Kehrwert gebildet wird (Jaeger/Schwick 2014: 299), damit hohe Nutzungsdichten zu einem geringen Zersiedelungsgrad als Ergebnis führen, wird der Wert in neueren Publikationen von Beginn an als *Flächeninanspruchnahme pro Einwohner:in und Arbeitsplatz* definiert (Schwick et al. 2018: 29) und entsprechend gewichtet. Der Wert wird in der Einheit $m^2/EWAP$ (Quadratmeter pro Einwohner:in und Arbeitsplatz) angegeben.

Um aus diesen Komponenten schließlich einen Indikator zum Grad der Zersiedelung zu berechnen, werden diese zum Teil noch gewichtet. Die Flächeninanspruchnahme pro Einwohner und Arbeitsplatz wird dabei in Form der Gewichtungsfunktion $g_2(AD)$ (siehe Abb. 3) mit Wertebereich zwischen 0 und 1 bewertet, was sicherstellen soll, dass einerseits Räume mit besonders geringer Nutzungsdichte als stärker zersiedelt beschrieben werden und andererseits, dass „Innenstädte nicht als zersiedelt bewertet werden, obwohl der Anteil an Siedlungsfläche an der untersuchten Landschaft [...] sehr hoch ist“ (ebd.: 30). Der Aspekt der Streuung beeinflusst den gesamten Zersiedelungsindex auf zweifache Weise: Einerseits durch eine Gewichtungsfunktion $g_1(DIS)$ (siehe Abb. 4) mit Wertebereich zwischen 0,5 und 1,5, welche so festgelegt wurde, dass diese bei einer Streuung von $43,986 \text{ DSE}/m^2$, was dem schweizer Durchschnitt von 1960 entspricht, den Wert 1 annimmt, andererseits durch die urbane Durchdringung. Diese stellt das Produkt aus der Streuung und dem Anteil der Siedlungsfläche innerhalb des Betrachtungsraumes dar (siehe Abb. 5), „beschreibt den Grad, zu dem die untersuchte Landschaft von Siedlungsflächen durchdrungen ist“ (ebd.: 30) und wird wie die Streuung in der Einheit *Durchsiedelungseinheiten pro Quadratmeter* angegeben.

Um den Grad der Zersiedelung zu berechnen, wird schließlich das Produkt aus den beiden genannten Gewichtungsfunktionen und der urbanen Durchdringung (UP , *Degree of urban permeation*) gebildet (siehe Abb. 6).

$$g_2(AD) = \frac{e^{4,159 - 0,000613125 \frac{km^2}{EWAP} \cdot AD}}{1 + e^{4,159 - 0,000613125 \frac{km^2}{EWAP} \cdot AD}}$$

Abbildung 3: Formel $g_2(AD)$
Quelle: Schwick et al. 2018: 202

$$g_1(DIS) = 0,5 + \frac{e^{0,294432 \frac{m^2}{DSE} \cdot DIS - 12,955}}{1 + e^{0,294432 \frac{m^2}{DSE} \cdot DIS - 12,955}}$$

Abbildung 4: Formel $g_1(DIS)$
Quelle: Schwick et al. 2018: 202

$$UP = ASF \cdot DIS$$

Abbildung 5: Formel UP
Quelle: Schwick et al. 2018: 29

$$Z = UP \cdot g_1(DIS) \cdot g_2(AD)$$

Abbildung 6: Formel Z
Quelle: Schwick et al. 2018: 29

Da sich der so errechnete Wert des Zersiedelungsgrades auf die gesamte Fläche des Untersuchungsraumes bezieht, ist es zudem „sinnvoll, unbebaubare Flächen aus den Bezugsräumen auszuklammern“ (ebd.: 35). Schwick et al. (2018: 230) nahmen diese Abgrenzung mittels verschiedener Datenquellen zu den einzelnen Ausschlussflächen vor. Da für Österreich durch die Statistik Austria Erhebungen zum Dauersiedlungsraum durchgeführt werden, ist dieser Schritt hier nicht notwendig. Um die Eingrenzung des Bezugsraumes vorzunehmen, muss der Zersiedelungsindikator lediglich nachträglich durch den Anteil der Siedlungsfläche am Dauersiedlungsraum dividiert werden (siehe Abb. 7), da „in den unbesiedelbaren Gebieten in der Regel keine Siedlungsflächen liegen [und sich daher] die Werte der Dispersion, die Zahl der Einwohner:innen und Arbeitsplätze sowie der Wert der Flächeninanspruchnahme pro Person nicht“ (ebd.: 37) ändern.

$$Z_{\text{Dauersiedlungsraum}} = \frac{Z}{\text{Anteil DSR}}$$

Abbildung 7: Formel $Z_{\text{Dauersiedlungsraum}}$
Quelle: Schwick et al. 2018: 37, eigene Darstellung

Dass bei dieser Analysemitmethode mit dem Anteil des Siedlungsraumes am Dauersiedlungsraum auch ein Aspekt in den Grad der Zersiedelung miteinbezogen wird, von dem nicht anzunehmen ist, dass dieser die Länge der Gemeindestraßen beeinflusst, sollte im Rahmen dieser Analyse dennoch zunächst kein Problem darstellen, da bei der Messung des Zersiedelungsgrades auch die beiden anderen genannten Parameter berücksichtigt werden.

3.2 Durchführung der Analyse der gewichteten Zersiedelung

Um den Grad der Zersiedelung gemäß der beschriebenen Methodik für alle Gemeinden Österreichs zu berechnen, ist zunächst die Akquise geeigneter Datenquellen auf Gemeindeebene erforderlich.

Die Berechnung der Streuung der Siedlungsflächen erfordert allgemein einen georeferenzierten Datensatz zu bebauten und unbebauten Flächen. Als intuitivste Vorgehensweise erscheint hierbei zunächst die Verwendung der digitalen Landbedeckungskartierung *CORINE Land Cover*. Da der Datensatz jedoch gemäß dessen technischer Spezifikation nur Flächen über 25 Hektar erfasst (European Environment Agency 2017), kann diese Kartierung insbesondere hinsichtlich der Erfassung von kleinen Siedlungsräumen, welche erheblich zur Zersiedelung beitragen, deutliche Unschärfen aufweisen und wäre somit nur bedingt zur Erfassung der räumlichen Streuung der Siedlungsflächen geeignet. Eine präzisere Möglichkeit der Abgrenzung bietet hierbei der Datensatz *Dauersiedlungsraum* der Statistik Austria, welcher eine auf 250 m-Rasterzellen basierte räumliche Klassifizierung von nicht bebaubaren, bebaubaren und bebauten Flächen nach der 2008 von Wonka (432-435) entwickelten Methode zur Neuabgrenzung des Dauersiedlungsraumes zum Datenstand 2011 (Statistik Austria 2020) enthält. Da dies der aktuellste verfügbare Datensatz ist, werden auch die im Folgenden erläuterten weiteren zur Analyse erforderlichen Datensätze mit Datenstand 2011 verwendet.

Der Anteil der Siedlungsfläche am Bezugsraum wird ermittelt, indem die Siedlungsfläche aus dem beschriebenen Datensatz berechnet und durch die Gesamtfläche der jeweiligen Gemeinde, welche mittels GIS aus den Geodatenansätzen der Statistik Austria zur Verwaltungsgliederung des Bundesgebietes in politische Gemeinden (Gebietsstand 2011) errechnet werden kann, dividiert wird. Eine Differenzierung zwischen bebaubaren und nicht bebaubaren Flächen wird zu einem späteren Zeitpunkt in einem zusätzlichen Schritt vorgenommen.

Die Flächeninanspruchnahme pro Einwohner:in und Arbeitsplatz kann mithilfe von einem der angeführten und einem weiteren Datensatz ermittelt werden. Die Anzahl an Einwohner:innen und Beschäftigten in den Arbeitsstätten kann auf Gemeindeebene anhand der Daten der Abgestimmten Erwerbsstatistik 2011 und die Flächen der Gemeinden jeweils mittels Geoinformationssystem aus der Gliederung in politische Gemeinden berechnet werden.

Da das für die Berechnung der gewichteten Zersiedelung gemäß der beschriebenen Methodik entwickelte Tool *Urban Sprawl Metrics* kostenlos online zur Verfügung steht (Wetzel 2020), kann der Zersiedelungsgrad bei Verfügbarkeit der entsprechenden Datengrundlagen mit

wenig Aufwand berechnet werden. Das in die „Standard ArcGIS-Toolbox [implementierte]“ (ebd.: 48) Werkzeug erlaubt eine individuelle Festlegung des Betrachtungshorizontes und erfordert darüber hinaus lediglich die Festlegung eines Rasterdatensatzes, welcher die Informationen zu den bebauten und unbebauten Flächen enthält sowie einen Vektordatensatz mit den statistischen Einheiten, für welche der Grad der Zersiedelung berechnet werden soll (in diesem Fall die Gemeinden) und der Anzahl an Einwohner:innen und Arbeitsplätzen je Einheit.

Zur Durchführung der Analyse müssen die verwendeten Datengrundlagen zunächst entsprechend vorbereitet werden, damit alle Informationen in verwendbarer Form vorliegen. Zur Berechnung der räumlichen Streuung der Siedlungsflächen muss ein Rasterdatensatz mit dem Wert 1 für bebaute und 0 für unbebaute Flächen vorliegen. Da der verwendete Datensatz *Dauersiedlungsraum* der Statistik Austria zwar Rasterdaten enthält, diese jedoch technisch als Vektordaten vorliegen, ist es zunächst erforderlich, diese in einen tatsächlichen Rasterdatensatz zu konvertieren, wofür das Tool *Feature to Raster* verwendet wird. Mit dem Werkzeug *Reclassify* werden den Rasterzellen, welche für *nicht Dauersiedlungsraum* den Wert 1, für *besiedelbaren Raum* den Wert 2 und für *Siedlungsraum* den Wert 3 aufweisen, neue Werte zugewiesen, sodass bebaute Zellen den Wert 1 und alle übrigen den Wert 0 annehmen. Der zweite verwendete Datensatz mit den Grenzen der zu untersuchenden Gemeinden wird dabei mittels Table Join mit einer Tabelle verknüpft, in der die Summe der davor mit einem Tabellenkalkulationsprogramm addierten Zahlen zu Beschäftigten in den Arbeitsstätten sowie Einwohner:innen jeder Gemeinde aus der Abgestimmten Erwerbsstatistik 2011 der Statistik Austria enthalten ist.

Mit den vorliegenden Daten kann die Berechnung der gewichteten Zersiedelung mit dem Tool vorgenommen werden, wobei für den zu wählenden Betrachtungshorizont der empfohlene und voreingestellte Wert von 2.000 m angegeben wird. Die Berechnungsergebnisse werden anschließend in dem Vektordatensatz mit den Gemeindegrenzen in einem neuen Feld gespeichert, wobei die Zwischenergebnisse der einzelnen Berechnungsschritte ebenfalls in zusätzlichen Feldern angegeben werden. Da bei dem so berechneten Wert für die gewichtete Zersiedelung nicht zwischen bebaubarer und nicht bebaubarer Fläche unterschieden wird und sich dieser somit auf die Gesamtflächen der Gemeinden bezieht, muss ein abschließender Berechnungsschritt durchgeführt werden, damit sich die Ergebnisse korrekterweise nur auf den Dauersiedlungsraum beziehen. Hierbei ist, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, lediglich eine Anpassung des Bezugsraumes hinsichtlich des Parameters *Anteil der Siedlungsfläche (ASF)* vorzunehmen. Da die gewichtete Zersiedelung aus dem Produkt der Teilindikatoren berechnet wird, muss der Wert lediglich durch den Anteil des Dauersiedlungsraumes an der gesamten Gemeindefläche dividiert werden. Da die

intuitivste Methode, diesen Anteil aus dem Tabellendatensatz *Dauersiedlungsraum der Gemeinden* zu ermitteln, aufgrund unterschiedlicher Gebietsstände der Gemeindedaten nicht möglich ist, ist es erforderlich, diesen für den verwendeten Gebietsstand von 2011 zu berechnen. Hierzu werden der bereits verwendete Rasterdatensatz im Vektorformat sowie der Datensatz mit den entsprechenden Gemeindegrenzen nochmals verwendet. Zunächst werden die Flächen der einzelnen Gemeinden mit dem Werkzeug *Calculate Area* berechnet. In einem zweiten Schritt werden mit dem Tool *Intersect* die Flächen des Dauersiedlungsraums an den Gemeindegrenzen durchtrennt. Anschließend werden aus dem neuen Datensatz mit Gemeindegrenzen und Daten zum Dauersiedlungsraum mittels SQL-Abfrage diejenigen Flächen ausgewählt, welche dem Dauersiedlungsraum entsprechen. Dies trifft auf den Siedlungsraum und auf den besiedelbaren Raum zu, wobei folgende Abfrage verwendet wurde:

```
SELECT * FROM dsr_gem_intersect WHERE „NAME_1“ = ‚Besiedelbarer Raum‘ OR „NAME_1“ = ‚Siedlungsraum‘
```

Die Größe der Flächen wird wiederum mit dem Werkzeug *Calculate Area* berechnet. Anschließend werden diese mit dem Tool *Summarize* zur Summe je Gemeinde aggregiert, wodurch schließlich ein Datensatz entsteht, welcher sowohl die Fläche des Dauersiedlungsraumes als auch die Gesamtfläche jeder Gemeinde enthält. In einem letzten Schritt wird die Division der Fläche des Dauersiedlungsraumes durch die Gesamtgemeindefläche vorgenommen. Hierzu wird die entsprechende Datentabelle nun mittels *Table Join* mit dem Datensatz, welcher die Werte der gewichteten Zersiedelung enthält, verknüpft und diese

entsprechend durch den Anteil des Dauersiedlungsraumes dividiert, wodurch das korrekte Endergebnis für die gewichtete Zersiedelung berechnet ist.

3.3 Gewichtete Zersiedelung in den Gemeinden Österreichs

Auf Grundlage der in den vorigen Kapiteln beschriebenen Methode wurde der Zersiedelungsgrad jeder der zum Gebietsstand 2011 rund 2380 Gemeinden Österreichs in der Einheit DSE/m² (Durchsiedelungseinheiten pro Quadratmeter) berechnet.

Bei Betrachtung der Verteilung der errechneten Werte der gewichteten Zersiedelung (siehe Abb. 8) ist zunächst festzustellen, dass diese in Österreich im Wertebereich zwischen 0 DSE/m² (Wien Innere Stadt, Mariahilf, Neubau und Josefstadt) und 63,97 DSE/m² (Hirtenberg, NÖ) liegen mit einem Durchschnittswert von 21,73 DSE/m². Während 718 Gemeinden eine gewichtete Zersiedelung zwischen 16 und 24 DSE/m² aufweisen, werden Werte unter 1 DSE/m² nur selten erreicht. Mit Ausnahme von sieben Gemeinden ist dies nur bei zehn der Wiener Gemeindebezirke der Fall, wobei sich die betreffenden Kommunen hinsichtlich ihrer Einwohner:innenanzahl zwar stark unterscheiden, jedoch mit Ausnahme von Weiden an der March (77,1 %), Wien-Leopoldstadt (84,6 %), Wien-Ottakring (81,1 %) und Wien-Brigittenau (85,3 %) sehr hohe Werte für den Anteil des Dauersiedlungsraums an der Gesamtfläche zwischen 98 und 100 % aufweisen. Besonders hohe Werte über 55 DSE/m² sind in den Gemeinden Judendorf-Straßengel (55,21 DSE/m²), Kennelbach (56,76 DSE/m²), Maria Enz-

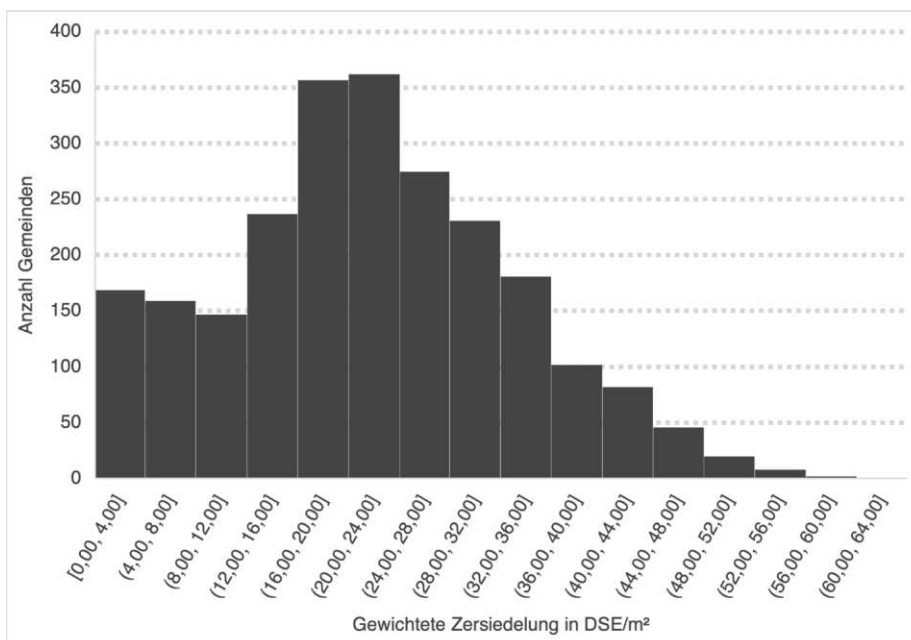


Abbildung 8: Histogramm der berechneten Zersiedelungsgrade
 Quelle: Statistik Austria 2011a; 2011b; 2016, Wetzels; 2020, eigene Darstellung

ersdorf (56,96 DSE/m²) und Hirtenberg (63,97 DSE/m²) zu beobachten. Auffällig ist hierbei, dass die genannten Gemeinden mit Ausnahme von Hirtenberg ausschließlich im Umfeld zentralerer Orte liegen.

Bei der räumlichen Betrachtung der Berechnungsergebnisse ist diese Tendenz zu höheren Werten der gewichteten Zersiedelung im Umland größerer Städte verstärkt zu beobachten. Besonders um Graz, Klagenfurt und Salzburg ist dies deutlich ausgeprägt, wobei um Wien nur bei Gemeinden im nordwestlichen, westlichen und südwestlichen Umland ein hoher Zersiedelungsgrad ermittelt wurde, wohingegen für die restlichen Umlandgemeinden eher niedrigere Werte errechnet wurden. Zudem wurden mit Ausnahme von Wien selbst für Großstädte teils hohe Werte berechnet. So wurde beispielsweise für Graz eine gewichtete Zersiedelung von 46,55 DSE/m² ermittelt. Besonders niedrige Zersiedelungsgrade sind vor allem im Burgenland, in einigen alpin geprägten Gemeinden in Kärnten, Salzburg und der Steiermark sowie im Waldviertel, Weinviertel und vielen niederösterreichischen Gemeinden südöstlich von Wien zu beobachten. Besonders hohe Werte für die gewichtete Zersiedelung sind über die bereits angeführten Umlandbereiche der Zentralräume hinaus auch allgemein in Vorarlberg, in einigen Gemeinden im Süden Oberösterreichs sowie im Inntal in Tirol festgestellt worden.

Allgemein wurden durch die verwendete Berechnungsmethode insgesamt vergleichsweise hohe Werte ermittelt. Schwick et al. (2018: 66) empfehlen für deren Untersuchung der Gemeinden der Schweiz folgende Klassifizierung der Werte der gewichteten Zersiedelung:

- 4-6 DSE/m²- schwache Zersiedelung
- 6-10 DSE/m²- mittelhohe Zersiedelung
- 10-16 DSE/m²- hohe Zersiedelung
- 16-30 DSE/m²- sehr hohe Zersiedelung sowie
- >30 DSE/m²- extrem hohe Zersiedelung

Demnach weisen über 400 österreichische Gemeinden eine extrem hohe Zersiedelung auf, darunter auch Großstädte wie Graz (46,55 DSE/m²) und Salzburg (37,48 DSE/m²). Die stark unterschiedlichen berechneten Zersiedelungsgrade lassen den Schluss zu, dass eine der verwendeten Datengrundlagen möglicherweise nur bedingt für die Analysemethode geeignet ist. Da anzunehmen ist, dass die amtlich erhobenen Daten zu Einwohner:innen und Arbeitsplätzen auf Gemeindeebene hinreichend genau erfasst werden, kann nur der Datensatz *Dauersiedlungsraum* ursächlich für die analytische Unschärfe sein. Da auch hierbei die angewandte Methode zur Ermittlung der Daten nicht auf eine ungenaue Erfassung schließen lässt, ist anzunehmen, dass die Größe der Rasterzellen von 250 m möglicherweise ursächlich für die Unschärfe ist: Einerseits aufgrund des höheren Zellinnenbetrags und andererseits aufgrund einer möglichen Überschätzung der Siedlungsfläche. Auch wurden bei anderen Untersuchungen mit der selben Analysemethode meist Daten mit höherer Auflösung verwendet. So wurde die angeführte Untersuchung von Schwick et al. (ebd.: 69) mit hochauflösenden Vektordaten aus der Schweizer Arealstatistik durchgeführt. Eine flächendeckende Analyse der Gemein-

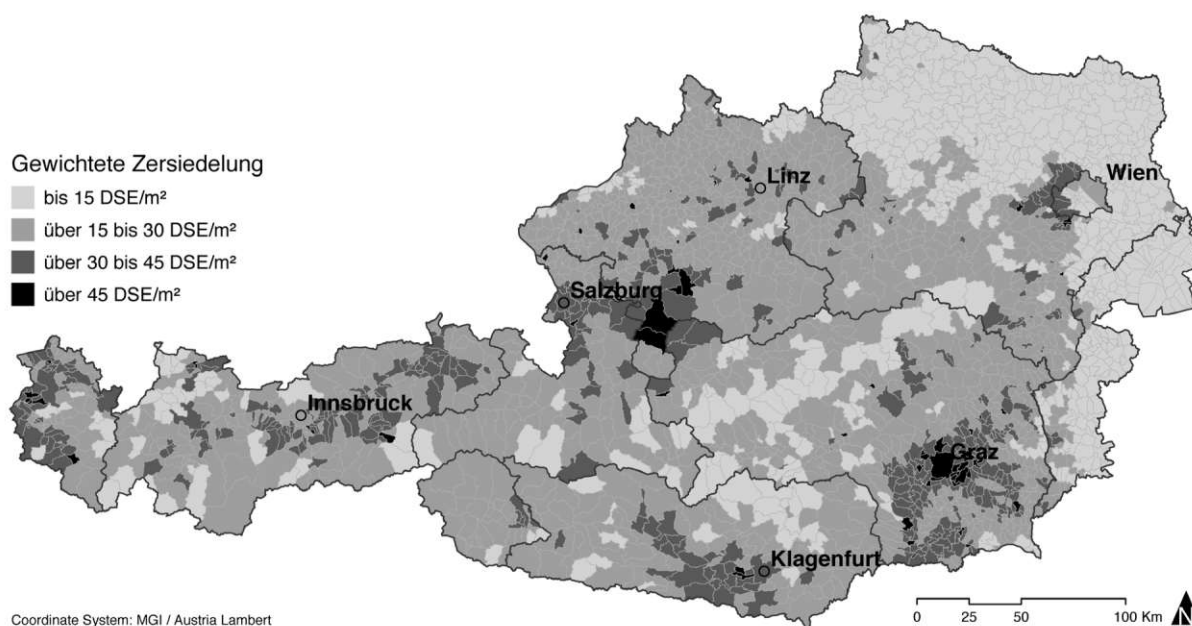


Abbildung 9: Karte der berechneten Zersiedelungsgrade
 Quelle: Statistik Austria 2011a; 2011b; 2016, Wetzels; 2020, eigene Darstellung

den in Deutschland aus dem Jahr 2017, welche eine maximale gewichtete Zersiedelung von 45,11 DSE/m² ergab, stützte sich auf genauere Vektordaten aus dem digitalen Basislandschaftsmodell, welche auf Basis von 15m-Rasterzellen generalisiert zur Berechnung verwendet wurden (Schwarzak/Behnisch 2017: 85-89). Da jedoch trotz der genannten Unschärfe auch teilweise durchaus plausible Werte berechnet wurden und derzeit keine genaueren Datengrundlagen für eine erneute Analyse vorliegen, werden die hier ermittelten Berechnungsergebnisse der Messung des Zersiedelungsgrades dennoch in der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Gemeindestraßenlänge in Kapitel 5 Anwendung finden.

4 Messung der Länge der Gemeindestraßen

Um den Zusammenhang zwischen Zersiedelungsgrad und der Länge der Gemeindestraßen untersuchen zu können, bedarf es mangels vorhandener flächendeckender Daten auf Gemeindeebene zur Kommunalstraßenlänge eines eigenen Ansatzes um diese zu berechnen. Eine Methode mit einer möglichen Datenquelle hierzu, die Schritte zur Anwendung dieser sowie die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchung werden im Folgenden näher erläutert.

4.1 Methodik zur Messung der Straßenslängen

Um die Länge der Gemeindestraßen als zweite Komponente im Rahmen der Analyse dieser Arbeit ermitteln zu können, bedarf es aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit einer eigenen Auswertung von bestehenden Geodaten. Die hier zu ermittelnden Infrastrukturlängen von kommunal unterhaltenen Straßen werden in Österreich nicht flächendeckend einheitlich publiziert, wenngleich einzelne Gemeinden und Bundesländer diesbezügliche Daten veröffentlichen. Da der hier auf das gesamte Bundesgebiet der Republik Österreich festgelegte Untersuchungsraum aufgrund seiner Größe ressourcenbedingt kaum eine Auswertung einzelner kommunaler Datensätze, welche ohnehin nicht in standardisierter Form vorliegen, zulässt und eine händische Erfassung mit sehr hohem Aufwand verbunden wäre, erfordert diese Analyse eine einheitliche Datengrundlage, anhand derer die benötigten Straßennetzlängen ermittelt werden können. Da zum Zeitpunkt der Recherche keine methodenbezogene Literatur zu derartigen Analysen vorliegt, wird zunächst der Ansatz gewählt, anhand der Quellenangaben bestehender Analysen zu den Längen der Straßennetze mögliche Anhaltspunkte zu ermitteln, wie diese berechnet werden können. Datenauswertungen zu den Netzlängen der Straßeninfrastruktur publiziert beispielsweise das Bundesmi-

nisterium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen der *Statistik Straße und Verkehr* (Abteilung IV/IVVS1 2020: 4). Dort werden unter anderem auch aktuelle Zahlen zu den Infrastrukturlängen von Bundes-, Landes- und Gemeindestraßen veröffentlicht, jedoch nur auf Länderebene, wodurch diese Daten für die hier durchzuführende Analyse nicht ausreichend präzise sind. Jedoch weisen die Angaben zu den dort verwendeten Datenquellen auf eine geeignete Möglichkeit zur Erfassung der Netzlängen hin. Die im Rahmen der Untersuchung ausgewertete Datengrundlage, die Graphenintegrationsplattform des Österreichischen Instituts für Verkehrsdateninfrastruktur, bildet, alle zwei Monate aktualisiert, sämtliche Verkehrswege innerhalb Österreichs ab und enthält präzise Informationen zu den einzelnen Infrastrukturabschnitten. Mit dem Anspruch, eine einheitliche und vollständige räumliche Referenzbasis für alle Verkehrsnetze zu schaffen, werden bei der Graphenintegrationsplattform verschiedene Datenbanken und GIS-Systeme von einer Vielzahl an Datenbereitstellenden, beispielsweise der ASFINAG, Verkehrsverbänden und den Bundesländern, zur Verkehrsinfrastruktur zu einem zentralen Datenmodell zusammengefasst (Kollarits 2011: 106-110). Da dieser Datensatz auch Angaben zu den Unterhaltszuständigkeiten der einzelnen Infrastrukturabschnitten enthält, können daraus mit überschaubarem Aufwand die hier untersuchten kommunal instand gehaltenen Straßen extrahiert und deren Gesamtlänge je Gemeinde anschließend mittels GIS ermittelt werden. Daraus kann schließlich die Länge der Gemeindestraßen je Einwohner:in und Arbeitsplatz für jede der untersuchten Gemeinden ermittelt werden. Wenngleich bei der Graphenintegrationsplattform keine absolute Gewähr auf Vollständigkeit vorliegt, kann dennoch davon ausgegangen werden, dass die Daten in den meisten Gemeinden vollständig sind, da diese, wie bereits angeführt, von offiziellen Stellen bereitgestellt werden. Die Bezugnahme zu Einwohner:innen und Arbeitsplätzen findet hierbei Anwendung, damit ein Vergleich zwischen den unterschiedlich großen Gemeinden möglich ist.

4.2 Messung der Straßenslängen mithilfe der Graphenintegrationsplattform

Um die Straßennetzlängen der Gemeindestraßen für alle Gemeinden Österreichs mittels der zuvor angeführten Vorgehensweise zu berechnen, ist zunächst die Sichtung und Analyse der Struktur des verwendeten Datensatzes erforderlich, da die in Kapitel 4.1 beschriebene Methode auf Grundlage einer konkreten Datenquelle entwickelt wurde.

Der hierbei verwendete Datensatz, die Graphenintegrationsplattform **GIP.at**, ist eine umfassende Datenbank zur Verkehrsinfrastruktur in Österreich (ikp Salzburg GmbH 2018: 6). Da hierbei auch die Geometrie der Infrastrukturabschnitte in Form von Vektordaten erfasst ist, können anhand dieser mittels GIS auch die Längen der Abschnitte

errechnet werden. Das georeferenzierte, aus Knoten und Kanten aufgebaute Basisnetzwerk enthält zudem auch weiterführende Informationen zu den einzelnen Infrastrukturabschnitten. Diese Informationen sind zur Ermittlung der zu untersuchenden kommunal unterhaltenen Straßen von zentraler Bedeutung. Allgemein enthält der Datensatz folgende Informationen zu den Kanten:

- Abschnittsname
- Subnetz
- Abschnittskategorie
- Status
- Bauliche Struktur
- Verkehrsbedeutung
- Erhalter
- Regionalcode

(Fellendorf/Habenstreit 2019: 26)

Für die weitere Analyse werden dabei die Daten zu den Merkmalen *Abschnittskategorie*, *Status*, *Verkehrsbedeutung*, *Erhalter* und der *Regionalcode* ausgewertet.

Die Geodatenanalyse zu den Gesamtlängen der kommunal unterhaltenen Straßen je Gemeinde wird dabei in fünf Schritten vorgenommen. Zuerst werden mittels SQL-Abfrage die entsprechenden Infrastrukturabschnitte gefiltert, sodass nicht zu untersuchende Abschnitte, wie beispielsweise Autobahnen, Eisenbahnstrecken oder Forstwege nicht in die weiteren Berechnungen miteinbezogen werden. Darauf folgend werden die verbleibenden Linienabschnitte an den Gemeindegrenzen getrennt und den entsprechenden Gemeinden zugeordnet. Daraus können deren Längen, welche im dritten Schritt berechnet werden, im vierten Schritt aggregiert werden, womit die Gesamtnetzlänge je Gemeinde vorliegt. Im letzten Schritt wird die Straßenlänge jeder Gemeinde durch die Summe der Einwohner:innen und Arbeitsplätze dividiert, um schließlich die Gemeindestraßenlänge je Einwohner:in und Arbeitsplatz zu berechnen.

Um die für die weitere Analyse relevanten Straßenabschnitte aus dem gesamten Datensatz zu extrahieren, wird zunächst eine SQL-Abfrage formuliert, welche nur Abschnitte erfasst, welche die folgenden Bedingungen erfüllen:

- Im Betrieb
- Von den Gemeinden unterhalten
- In Österreich befindlich

Die erste der genannten Bedingungen kann intuitiv durch das Merkmal *Status* (BAUSTATUS) abgefragt werden. Da hierbei, möglicherweise aufgrund verschiedener Klassifizierungen der Straßen in den unterschiedlichen in der GIP zusammengefassten Datensätzen, nicht alle kommunal unterhaltenen Straßen erfasst sind, wird dieser Teil der Abfrage um einen Ausdruck erweitert, welcher anhand der im Datensatz enthaltenen Information zur Zuständigkeit für die Erhaltung auch weitere Abschnitte miteinbezieht, welche durch die *Abschnittskategorie* nicht erfasst werden. Da die sehr umfassende Datenbank zu den Erhalter:innen der Straßen in den Bundesländern und Bezirken nicht einheitlich geführt wird, existieren hierbei zahlreiche Ausprägungen *Sonstige*, welche ebenfalls miteinbezogen werden müssen, um alle relevanten Abschnitte zu erfassen. Da dadurch jedoch wiederum viele privat unterhaltene Infrastrukturabschnitte wie beispielsweise Wege der inneren Erschließung, Parkplätze oder Forstwege erfasst werden, wird dieser Teil der Abfrage um einen Ausdruck ergänzt, welcher ausschließlich Sammelstraßen, Straßen des innerörtlichen Netzes, Gemeindeverbindungsstraßen sowie Straßen des regionalen, zentralörtlichen, transregionalen und transnationalen Netzes, wobei hinsichtlich der beiden letzteren anzunehmen ist, dass diese selten kommunal erhalten werden, über das Merkmal *Verkehrsbedeutung* (FRC) miteinbezieht. Die Verortung im Bundesgebiet Österreichs, kann mittels eines Ausdrucks bewerkstelligt werden, welcher nur mit AT beginnende Ausprägungen des Merkmals *Regionalcode* (REGCODE) erfasst, da die Graphenintegrationsplattform zum Teil auch in Nachbarländern gelegene Infrastrukturabschnitte enthält. Da die Analyse des Zersiedelungsgrades zum Datenstand 2011 erfolgt, wäre es auch bei der Errechnung der Infrastrukturnetzlängen vorteilhaft, nur Abschnitte in die Berechnung miteinzubeziehen, welche zu diesem Zeitpunkt bereits im Betrieb waren. Jedoch ist anzunehmen, dass durch das Attribut *Gültigkeitsdatum* nicht zuverlässig alle im Jahr 2011 im Betrieb befindlichen Straßen erfasst werden, weshalb das Gültigkeitsdatum hier keine Berücksichtigung findet und die daraus resultierende analytische Unschärfe in Kauf genommen werden muss. Der Ausdruck für die gesamte SQL-Abfrage, wobei die Attributausprägungen im Basisdatensatz nur mit Codes angegeben werden, welche auf sogenannte Lookuptabellen (Geoland.at 2020a) verweisen, lautet daher:

```
SELECT * FROM EDGE_OGD WHERE „BAUSTATUS“ = 5
AND
(„FRC“ >= 0 AND „FRC“ <= 7
AND
((„sust_int“ > 10100 AND „sust_int“ < 10933) OR („sust_int“ > 20100 AND „sust_int“ < 71002) OR („sust_int“ > 80100 AND „sust_int“ < 99002 ) OR („sust_int“ = 900009)) OR („EDGE CAT“ = ‚G‘))
AND
„REGCODE“ LIKE ‚AT%‘
```

Das Feld *sust_int* beinhaltet dabei den Zahlenwert des Attributs *Erhalter*, da im originalen Datensatz auch nicht numerische Ausprägungen des Feldes bestehen, welche jedoch ausschließlich für nicht kommunale Erhalter verwendet werden, und diese in mit SQL-Operatoren intuitiver verwendbare Integer-Werte umgewandelt wurden.

Die Teilung der verbleibenden Straßenabschnitte an den Gemeindegrenzen wird durch das Tool *Intersect* vorgenommen. Durch diesen Schritt sind die Abschnitte in jedem Fall eindeutig einer Gemeinde zuordenbar, selbst wenn die einzelnen Geobjekte im ursprünglichen Datensatz über Gemeindegrenzen hinaus reichen. Die Zuordnung der Straßenabschnitte zu den Gemeinden wird ebenfalls in diesem Schritt vorgenommen.

Im dritten Schritt werden anhand der Daten zur Geometrie der Abschnitte deren Längen durch das Tool *Calculate Geometry* berechnet.

Im letzten Schritt werden die so ermittelten Längen durch das GIS-Tool *Summarize* je Gemeinde aggregiert und so die Gesamtnetzlänge der Gemeindestraßen für jedes Gemeindegebiet berechnet sowie die ermittelten Werte durch die Summe Anzahlen der Einwohner:innen und Beschäftigten in den Arbeitsstätten gemäß der Abgestimmten Erwerbsstatistik 2011 je Kommune dividiert.

4.3 Gemeindestraßenlängen in den Gemeinden Österreichs

Hinsichtlich der Ergebnisse der erläuterten Berechnungsmethode zur Länge der Gemeindestraßen je Einwohner:in und Arbeitsplatz kann zunächst festgestellt werden, dass diese in über 700 der rund 2.300 Gemeinden Österreichs im Bereich zwischen 6 und 12 m liegt (siehe Abb. 10). In 129 Gemeinden ergab die Berechnung eine Straßenlänge von 0 bis 3 m je Einwohner:in und Arbeitsplatz sowie in 46 Gemeinden über 54 m. Der Wertebereich der Analyse reicht von 0 m bis zu 96,5 m, wobei der Wert 0 in fünf Gemeinden, von denen vier im Bundesland Salzburg und eine in Vorarlberg liegen, erreicht wird. Den Maximalwert von 69,5 m je Einwohner:in und Arbeitsplatz erreicht die Gemeinde Gressenberg im Bundesland Steiermark. Der ungewichtete Mittelwert über alle 2.379 Gemeinden Österreichs zum Gebietsstand 2011 liegt bei etwa 16,08 m. Insgesamt ist bei genauer Betrachtung der Berechnungsergebnisse jedoch festzustellen, dass in vielen Gemeinden in den Bundesländern Salzburg und Vorarlberg teils sehr niedrige Werte zu beobachten sind. Den niedrigsten Wert, welcher außerhalb dieser Bundesländer ermittelt wurde, stellen 0,37 m Straßenlänge im Wiener Gemeindebezirk Neubau dar, wobei ungeachtet der fünf Gemeinden, für welche 0 m errechnet wurden, 13 Kommunen, von denen alle Salzburg oder Vorarlberg liegen, noch niedrigere Werte aufweisen. Da dies bei augenscheinlicher Betrachtung wenig plausibel erscheint, ist anzunehmen, dass bei den vorliegenden Daten der Graphenintegrationsplattform in den genannten Bundesländern Inkonsistenzen bestehen und die Berechnungsergebnisse sollten daher entsprechend kritisch betrachtet werden. Eine fallweise

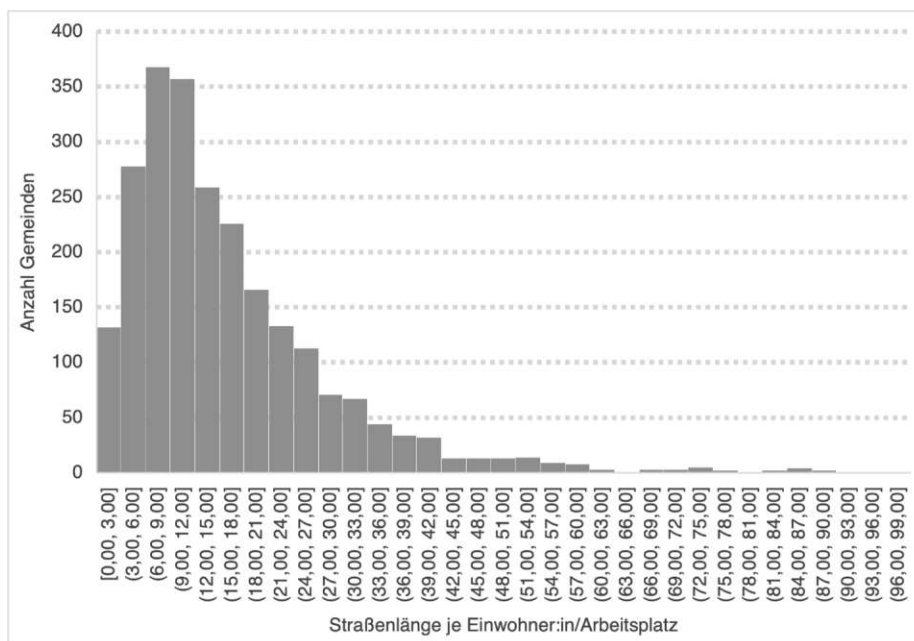


Abbildung 10: Histogramm der berechneten Gemeindestraßenlängen
 Quelle: geoland.at 2020b, Statistik Austria 2011a; 2011b, eigene Darstellung

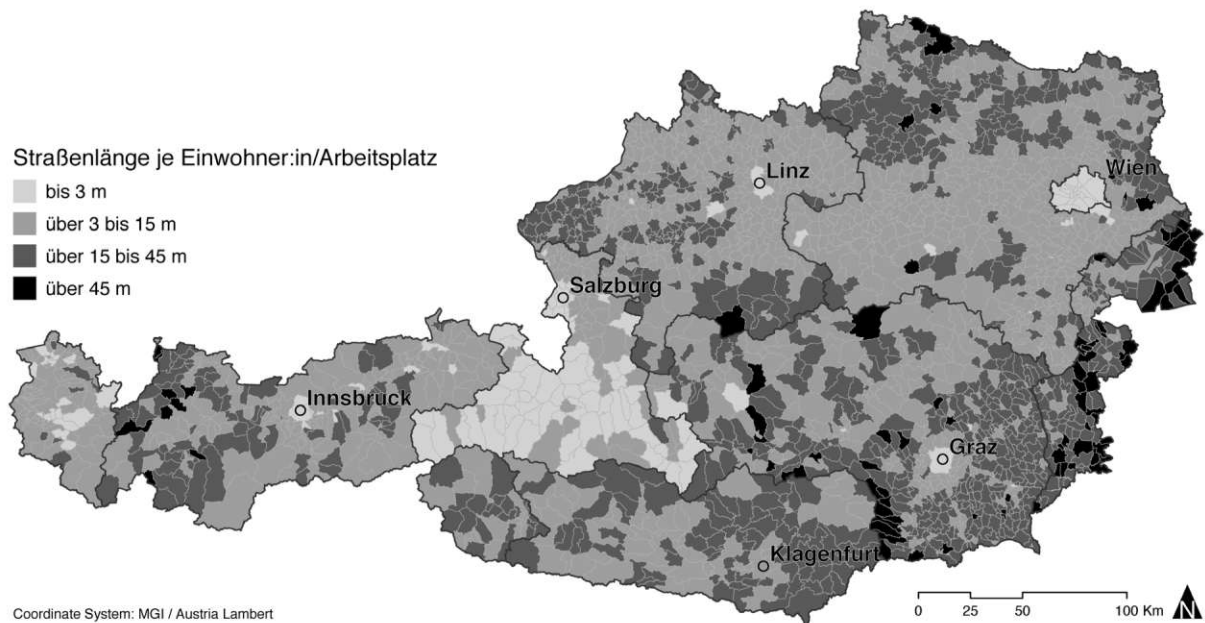


Abbildung 11: Karte der berechneten Gemeindestraßenlängen
 Quelle: geoland.at 2020b, Statistik Austria 2011a; 2011b, eigene Darstellung

Prüfung für die Gemeinde St. Gerold in Vorarlberg, bei der eine Straßenlänge von 0 m berechnet wurde, hat dabei gezeigt, dass die Gemeindestraßen dort im Datenmodell als Gemeindewege bezeichnet werden und die Annahme entsprechend bestätigt. Da die Kategorie *Gemeindeweg* jedoch auch für Infrastrukturabschnitte verwendet wird, welche im Rahmen dieser Analyse nicht erfasst werden sollen und eine weitere Differenzierung nicht möglich ist, können analytische Unschärfen in Vorarlberg nicht ausgeschlossen werden. Die beispielhafte Überprüfung der Gemeinde Großmain im Bundesland Salzburg bestätigt hierbei eine ähnliche Problematik. Dort sind Gemeindestraßen als *Sonstige Straßen* definiert und das *Land Salzburg* als Erhalter angegeben. Ein Vergleich der auf Bundesländerebene aggregierten berechneten absoluten Straßenlängen mit den Werten der *Statistik Straße und Verkehr* des Bundesministeriums für Verkehr Innovation und Technologie lässt die Annahme zu, dass die Berechnungsergebnisse für die Gemeinden in den übrigen Bundesländern plausibel sind (Abteilung IV/IVVS1 2020: 4).

Bei räumlicher Betrachtung der Analyseergebnisse ist festzustellen, dass mit Ausnahme der Bundesländer Vorarlberg und Salzburg vor allem in zentraleren Räumen wie Wien (0,37 – 2,53 m), Graz (2,79 m) und Linz (2,04 m) deutlich geringere Netzlängen je Einwohner:in und Arbeitsplatz als in anderen Gemeinden zu beobachten sind und nur sehr wenige andere Kommunen Werte unter 3 m erreichen (siehe Abb. 11). Besonders hohe Berechnungsergebnisse über 45 m je Einwohner:in und Arbeitsplatz treten insbesondere bei einigen Gemeinden im Burgenland, im Waldviertel sowie im Westen Tirols und vereinzelt im Bundesland Steiermark auf.

Da die berechneten Straßenlängen je Einwohner:in und Arbeitsplatz mit Ausnahme einiger Werte von Gemeinden in Salzburg und Vorarlberg allgemein plausibel erscheinen, ist anzunehmen, dass die Berechnungsergebnisse der anderen Bundesländer für die weitere Analyse im Rahmen dieser Arbeit allgemein geeignet sind, wenngleich, wie in Kapitel 4.1 angeführt, keine absolute Gewähr auf Vollständigkeit des Datensatzes besteht.

5 Analyse des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen

Um den Zusammenhang zwischen Zersiedelungsgrad und Gemeindestraßenlänge aus den zuvor berechneten Daten zu den beiden Aspekten zu analysieren, wird eine quantitative, statistische Untersuchung vorgenommen. Die gewählte Methode sowie deren Anwendung werden im Folgenden knapp beschrieben. Die Ergebnisse dieses Analyseschrittes werden abschließend näher beleuchtet und interpretiert sowie mögliche Ansätze zu aufgetretenen Unklarheiten und Verbesserungspotenziale zur durchgeführten Untersuchung knapp erläutert.

5.1 Methodik zur Analyse des Zusammenhangs

Den dritten Teil der Analyse und Hauptaspekt zur Beantwortung der formulierten Forschungsfrage stellt die statistische Auswertung des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Gemeindefußlänge je Einwohner:in und Arbeitsplatz dar. Um die passende statistische Methodik zu ermitteln, wurde ein online verfügbares Entscheidungstool verwendet, welches anhand mehrerer Abfragen zu den zu untersuchenden Zusammenhängen, Skalenniveaus und Verteilungen der zu analysierenden Datensätze eine begründete Empfehlung zur Wahl eines Berechnungsverfahrens abgibt (Schwarz/Enzler-Bruderer 2019). Da es sich bei den vorliegenden Werten um zwei metrische Variablen handelt und ein gerichteter vermuteter Zusammenhang untersucht werden soll, wird eine Regressionsanalyse durchgeführt. Da die Wahl des anschließend verwendeten Verfahrens in jedem Fall von der Linearität der zu untersuchenden Korrelation abhängt, wird zunächst mittels Streudiagramm geprüft, ob eher eine lineare oder eine nichtlineare Korrelation vorliegt. Schließlich wird der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen *Zersiedelungsgrad* und *Gemeindefußlänge je Einwohner:in* und Arbeitsplatz ermittelt und das entsprechende Bestimmtheitsmaß R^2 mit Wertebereich von 0 bis 1, wobei 1 einer absoluten Korrelation entspricht, quantitativ berechnet.

Das Bestimmtheitsmaß R^2 gibt dabei grafisch betrachtet an, wie gut sich die Verteilung der einzelnen Werte durch eine Gerade oder Kurve annähern lässt und wird anschließend als vom Wert 1 subtrahierter Quotient aus der Summe der quadrierten Abweichungen der Einzelwerte von der Regressionsgeraden, den sogenannten Residuen und der gesamten Quadratsumme (Cleff 2015: 146) der abhängigen Variable berechnet.

5.2 Durchführung der statistischen Analyse des Zusammenhangs

Um mittels der Ergebnisse der beiden vorigen Untersuchungen im Rahmen der beschriebenen Methodik den Einfluss des Zersiedelungsgrades auf die Länge der Gemeindefußstraßen in den Gemeinden Österreichs analysieren zu können, ist es zunächst erforderlich, die bestehenden Analyseergebnisse mittels Tabellenkalkulationssoftware in einem Datensatz zusammenzuführen, bevor die nicht zu analysierenden Daten der Gemeinden in Salzburg und Vorarlberg entfernt und der Dateiimport in das verwendete Statistikprogramm SPSS vorgenommen werden.

Wie im vorigen Kapitel beschrieben wird anschließend zunächst ein Streudiagramm erstellt, um abschätzen zu können, welches Verfahren zur Regressionsanalyse Anwendung findet. Da dieses auf keinen eindeutig linearen Zusammenhang schließen lässt, wird folglich eine

Regressionsanalyse mit Kurvenanpassung durchgeführt. Hierzu wird der Zersiedelungsgrad als unabhängige sowie die Länge der Gemeindefußstraßen je Einwohner:in und Arbeitsplatz als abhängige Variable definiert und die Analyse für verschiedene Funktionsformen durchgeführt. Das Endergebnis in Tabellenform enthält eine Zusammenfassung, welchen Wert das Bestimmtheitsmaß R^2 bei der jeweils analysierten Art des Zusammenhangs annimmt.

5.3 Ergebnisse der Analyse des Zusammenhangs

Bereits das Streudiagramm, welches zunächst Anwendung findet, zeigt ein unerwartetes Ergebnis. Die grafische Darstellung der Gemeindefußstraßenlängen in Bezug auf die gemessenen Werte der gewichteten Zersiedelung zeigt einerseits, dass kein sehr starker Zusammenhang zwischen den beiden Größen festgestellt wurde und deutet andererseits deutlich darauf hin, dass die eingangs aufgestellte Arbeitshypothese, dass ein quantitativ feststellbarer Einfluss des Zersiedelungsgrades auf die Länge der Gemeindefußstraßen in den Gemeinden Österreichs bestehe, widerlegt wurde.

Die daraufhin durchgeführte Regressionsanalyse konnte dies auch bestätigen. Der höchste Wert für R^2 wurde dabei für einen linearen Zusammenhang festgestellt und liegt mit 0,086 nahe 0 (siehe Tabelle 1), wodurch der bei graphischer Interpretation des Streudiagramms entstandene Eindruck eines geringen Zusammenhangs bestätigt wurde. Die Gleichung der ermittelten Regressionsgeraden lautet: $y = 24,223 - 0,333x$.

Die im Rahmen dieser Untersuchung berechneten Ergebnisse sind vor dem Hintergrund einschlägiger Annahmen in der Raumplanung und insbesondere auch früherer Untersuchungen zur Thematik erstaunlich. Daher kann angenommen werden, dass entweder die hier angewandte Methode zur Messung des Zersiedelungsgrades für Analysen in Bezug auf Straßennetze ungeeignet, oder die verwendeten Datengrundlagen ursächlich für das Ergebnis der hier durchgeführten Untersuchung sind. Als Aspekt, welcher auf Ersteres hindeutet, ist der Miteinbezug des Anteils der Siedlungsfläche am Dauersiedlungsraum anzuführen. Dass dieser Parameter, wie in Kapitel 3 angeführt, möglicherweise keinen bis wenig Einfluss auf die Länge von Straßennetzen hat, könnte zu dem hier ermittelten Ergebnis beigetragen haben. Diesbezüglich wäre eine vertiefende Analyse und Bewertung der Messmethode *gewichtete Zersiedelung* notwendig. Die möglicherweise bedingte Aussagekraft der gewichteten Zersiedelung könnte auch in Kombination den verwendeten Datengrundlagen zu diesem Ergebnis geführt haben. Dass die verwendeten Daten ebenfalls ursächlich für den nicht feststellbaren Zusammenhang sein könnten, erscheint plausibel, da bisherige Analysen des Zersiedelungsgrades mithilfe der gewichteten Zersiedelung, wie in Kapitel 3

angeführt, mit deutlich genaueren Datensätzen zur Siedlungsfläche zu stark abweichenden Ergebnissen gelangen. Nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass Rasterdaten zum Siedlungsraum mit geringer Auflösung aufgrund der zentralen Bedeutung innerhalb der Messmethode auf dreierlei Art den berechneten Wert des Zersiedelungsgrades beeinflussen, könnten die Datengrundlagen Ursache sein. Da bei einer Überschätzung der Siedlungsfläche tendenziell hohe Werte für die räumliche Streuung der Siedlungsflächen berechnet, der Anteil der Siedlungsfläche am Dauersiedlungsraum überschätzt und die Nutzungsdichte der besiedelten Fläche unterschätzt werden, könnte die Auflösung der Rasterdaten ein zentrales Problem in der Anwendung der Methode dargestellt haben. Auch hierbei könnten vertiefende, vergleichende Analysen über Berechnungsergebnisse der gewichteten Zersiedelung mit verschiedenen Rasterzellengrößen Klarheit verschaffen. Somit bestehen trotz der möglicherweise nicht sinnvoll verwendbaren Untersuchungsergebnisse der Analyse des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen dennoch Gründe, sich in vertiefender Forschung weiter mit der Thematik zu beschäftigen.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Aufbauend auf die Arbeitshypothese, dass ein quantitativ feststellbarer Zusammenhang zwischen Zersiedelungsgrad und der Länge der Gemeindestraßen in den Gemeinden Österreichs bestehe, wird der Einfluss der Zersiedelung auf die Straßenlänge mittels quantitativer Ansätze für alle Gemeinden in Österreich statistisch untersucht. Hierzu wird mit dem Messansatz *gewichtete Zersiedelung* der Grad der Zersiedelung aller Gemeinden mittels Geodatenanalyse anhand der drei Parameter *räumliche Streuung der Siedlungsflächen*, *Anteil der Siedlungsfläche am Dauersiedlungsraum* und *Nutzungsdichte* berechnet und in einem zweiten Schritt durch die Abfrage und Auswertung vorhandener Geodaten der Graphenintegrationsplattform die Länge der kommunalen Straßen auf Gemeindeebene ermittelt. In einem dritten Analyseschritt wird der Einfluss des Zersiedelungsgrades auf die Länge der Gemeindestraßen mittels einer Regressionsanalyse quantitativ untersucht. Im Rahmen der Analyse zum Zersiedelungsgrad wurden Werte zwischen 0 DSE/m² in einigen Gemeindebezirken Wiens und 63,97 DSE/m² in der Gemeinde Hirtenberg berechnet, wobei vorwiegend im näheren Umfeld größerer Städte besonders hohe Zersiedelungsgrade ermittelt wurden. Teilweise wurden selbst für Großstädte hohe Werte berechnet, beispielsweise eine gewichtete Zersiedelung von 46,55 DSE/m² für die Stadt Graz, wodurch die Ergebnisse teils unplausibel erscheinen. Die Ermittlung der Länge der Gemeindestraßen je Einwohner:in und Arbeitsplatz führte zu Ergebnissen zwischen 0 m in einigen Gemeinden in Salzburg und Vorarlberg und

96,5 m in der Gemeinde Gressenberg. Besonders niedrige Werte wurden hierbei überwiegend für größere Städte, besonders hohe Werte insbesondere für Gemeinden im Burgenland und der Steiermark ermittelt. Die Regressionsanalyse des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen hat mit einem Wert von $R^2 = 0,086$ für eine lineare Korrelation nur einen geringen und zudem negativen Einfluss des Zersiedelungsgrades auf die Gemeindestraßenlänge nachweisen können.

Im Rahmen bisheriger Untersuchungen zum Einfluss der Zersiedelung auf die Kosten oder Längen kommunal unterhaltener Straßen konnte meist ein sehr deutlicher Zusammenhang festgestellt werden. Als Beispiel ist hierbei die vergleichende Analyse der sozialen Kosten unterschiedlicher Siedlungsformen auf Basis modellhafter Siedlungstypen von Hezel et al. (1984) anzuführen. Diese führte, wie viele weitere Analysen zu dem Ergebnis, dass die Siedlungsform die Länge der Straßen stark beeinflusst. Eine weitere Untersuchung stellt die 1988 durchgeführte empirische Analyse *Siedlungsstruktur und Infrastrukturaufwand* von Braumann (1988) anhand dreier Gemeinden in Salzburg dar, welche ebenfalls einen starken Zusammenhang zwischen Zersiedelung und Gemeindestraßenlänge nachweisen konnte. Abschließend ist somit festzuhalten, dass das im Rahmen dieses Beitrags ermittelte Ergebnis im starken Kontrast zu bisherigen Untersuchungen steht und daher vertiefende Analysen diesbezüglich notwendig wären.

Obwohl die durchgeführte Untersuchung die Arbeitshypothese sehr deutlich widerlegen konnte, sind die Ergebnisse der Analyse des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Gemeindestraßenlänge aufgrund der angeführten analytischen Unschärfe hinsichtlich der Messung des Grades der Zersiedelung kritisch zu sehen. Da bisherige Literatur zur Thematik die genannte Hypothese deutlich stützt, ist davon auszugehen, dass entweder die angewandte Methode, die verwendete Datengrundlage oder beides in Kombination nur bedingt für derartige Untersuchungen geeignet ist. Entsprechend bedarf es weiterer, vertiefender Untersuchungen zu den Ursachen der festgestellten analytischen Unschärfe und, bei entsprechender Verfügbarkeit, einer neuerlichen Untersuchung mit höher auflösenden Rasterdaten zum Siedlungsraum, um eine fundiertere Aussage über den Einfluss des Zersiedelungsgrades auf die Länge der Gemeindestraßen in den Gemeinden Österreichs treffen zu können.

Dieser Beitrag basiert auf der Bachelorarbeit „Zur Messung des Zusammenhangs zwischen Zersiedelungsgrad und Länge der Gemeindestraßen in den Gemeinden Österreichs“, die im Wintersemester 2020/21, betreut durch Univ.Prof.i.R. Mag.rer.soc.oec. Dr.rer.oec. Wilfried Schönböck, am Forschungsbereich Finanzwissenschaft und Infrastrukturpolitik verfasst wurde.

Quellenverzeichnis

- Abteilung IV/IVVS1 – Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie** (2020): Statistik Straße und Verkehr. URL: <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:8b-9905-fb79-4acf-88cc-ba7ab644019e/Statistik%20Stra%C3%9Fen%20und%20Verkehr2020.pdf> (Oktober 2020).
- Behnisch, Martin/Jaeger, Jochen A. G./Krüger, Tobias** (2018): Welche Vorteile bietet die Quantifizierung der Zersiedelung?. Nachrichten der ARL 48(1): 25–30.
- Braumann, Christoph** (1988): Siedlungsstruktur und Infrastrukturaufwand: Auswirkungen unterschiedlicher Siedlungsstrukturen auf den Aufwand für die kommunale Infrastruktur, gezeigt an ausgewählten Salzburger Gemeinden. Schriftenreihe des Salzburger Institutes für Raumforschung 9. Salzburger Institut für Raumforschung, Salzburg.
- Cervený, Michael/Schweighofer, Martin/Veigl, Andreas** (2011): Ermittlung der „Support Measures“ für den Wohnbau: Zusammenhänge zur Zersiedelung in Österreich. Empfehlungen zur „Ökologisierung“ (Bericht zu Arbeitspaket AP3 des Projekts ZERSiedelt). Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT). URL: <https://www.zersiedelt.at/zersiedelung-studien-oesterreich/AP3-zersiedelt-foerderungen-wohnbau-oekologisieren.pdf> (Oktober 2020).
- Cleff, Thomas** (2015): Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Dallhammer, Erich/Neugebauer, Wolfgang/Gaugitsch, Roland/Fessler, Daniela** (2018): Rahmenbedingungen und Trends der räumlichen Entwicklung. 15. Raumordnungsbericht: Analysen und Berichte zur räumlichen Entwicklung Österreichs 2015-2017/204: 19–51.
- Doubek, Claudia/Hiebl, Ulrike** (2001): Soziale Infrastruktur, Aufgabefeld der Gemeinden: Expertengutachten des Österreichischen Instituts für Raumplanung (ÖIR). Schriftenreihe der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK), 158. Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz, Wien.
- Einig, Klaus/Spangenberg, Martin** (2006): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten- Bilanzierung und Strategieentwicklung: Endbericht. BBR-Online-Publikation 2006/3. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn.
- European Environment Agency** (2017): Copernicus Land Service – Pan-European Component: CORINE Land Cover. URL: https://land.copernicus.eu/user-corner/publications/clc-flyer/at_download/file (Jänner 2021).
- Fellendorf, Martin/Habenstreit, Cornelia** (2019): Standardbeschreibung der Graphenintegrationsplattform. URL: http://www.gip.gv.at/assets/downloads/GIP_Standardbeschreibung_2.3.pdf (Dezember 2020).
- Fina, Stefan** (2013): Indikatoren der Raumentwicklung- Flächeninanspruchnahme und Landschaftszersiedelung. URL: <http://hdl.handle.net/10900/49928> (Dezember 2020).
- Galster, George/Hanson, Royce/Ratcliffe, Michael R./Wolman, Harold/Coleman, Stephen/Freihage, Jason** (2001): Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and measuring an elusive concept. Housing Policy Debate 12(4): 681–717. Fannie Mae Foundation, Washington D.C..
- Geoland.at** (2020a): Intermodales Verkehrsreferenzsystem Österreich (GIP.at) Österreich, D – Lookuptabellen. URL: http://open.gip.gv.at/ogd/D_lookuptabellen.zip (Dezember 2020).
- Geoland.at** (2020b): Intermodales Verkehrsreferenzsystem Österreich (GIP.at) Österreich, B – GIP Network: Basisnetz. URL: http://open.gip.gv.at/ogd/B_gip_network_ogd.zip (Dezember 2020).
- Hezel, Dieter/Höfler, Horst/Kandel, Lutz/Linhardt, Achim** (1984): Siedlungsformen und soziale Kosten: Vergleichende Analyse der sozialen Kosten unterschiedlicher Siedlungsformen. Beiträge zur kommunalen und regionalen Planung 7. Lang, Frankfurt am Main.
- ikp Salzburg GmbH**. (2018): 10 Jahre GIP: Von der Idee zum Erfolgsprojekt. URL: <http://www.gip.gv.at/assets/downloads/10JahreGip.pdf> (Februar 2021). Österreichischer Verein für Verkehrsdateninfrastruktur, Klagenfurt.
- Jaeger, Jochen A. G./Bertiller, René** (2006): Aufgaben und Grenzen von Messgrößen für die Landschaftsstruktur- das Beispiel Zersiedelung. Tanner, Karl M./Bürgi, Matthias/Coch, Thomas (Hrsg.): Landschaftsqualitäten. Haupt, Bern.
- Jaeger, Jochen A. G./Bertiller, René/Schwick, Christian/Cavens, Duncan/Kienast, Felix** (2010a): Urban permeation of landscapes and sprawl per capita: New measures of urban sprawl. Ecological Indicators 10(2): 427–441. Elsevier, Amsterdam.
- Jaeger, Jochen A. G./Bertiller, René/Schwick, Christian/Kienast, Felix** (2010b): Suitability criteria for measures of urban sprawl. Ecological Indicators 10(2): 397–406. Elsevier, Amsterdam.

- Jaeger, Jochen A. G./Schwick, Christian** (2014): Improving the measurement of urban sprawl: Weighted Urban Proliferation (WUP) and its application to Switzerland. *Ecological Indicators* 38: 294–308. Elsevier. Amsterdam.
- Kollarits, Stefan** (2011): GIP — ein Ansatz zur integrierten Modellierung von Verkehrsnetzen. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 48(4): 104–113. Springer. Wiesbaden.
- Schwarz, Jürg/Enzler-Bruderer, Heidi** (2019): Methodenberatung: Datenanalyse mit SPSS. Universität Zürich. URL: https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss.html (Februar 2021).
- Schwarzak, Marco/Behnisch, Martin** (2017): Zersiedelung in Deutschland messen und beschreiben – Anwendung der Schweizer Methode der gewichteten Zersiedelung. Wende, Wolfgang/Walz, Ulrich (Hrsg.): *Die räumliche Wirkung der Landschaftsplanung: Evaluation, Indikatoren und Trends*: 77–96. Springer Spektrum. Wiesbaden.
- Schwick, Christian/Jaeger, Jochen A. G./Hersperger, Anna/Cathomas, Gierina/Muggli, Rudolf** (2018): Zersiedelung messen und begrenzen: Massnahmen und Zielvorgaben für die Schweiz, ihre Kantone und Gemeinden. *Bristol-Schriftenreihe* 57. Haupt. Bern.
- Siedentop, Stefan/Fina, Stefan** (2010): Monitoring urban sprawl in Germany: towards a GIS-based measurement and assessment approach. *Journal of Land Use Science* 5(2): 73–104. Taylor & Francis. London.
- Statistik Austria** (2020): Dauersiedlungsraum. URL: https://www.statistik.at/web_de/klassifikationen/regionale_gliederungen/dauersiedlungsraum/index.html (Jänner 2021).
- Statistik Austria** (2016): Dauersiedlungsraum, Metadaten. URL: https://data.statistik.gv.at/web/meta.jsp?dataset=OGDEXT_DSR_1 (November 2020).
- Statistik Austria** (2011a): Gliederung Österreichs in Gemeinden, Metadaten. URL: https://data.statistik.gv.at/web/meta.jsp?dataset=OGDEXT_GEM_1 (November 2020).
- Statistik Austria** (2011b): Gemeindeergebnisse der Abgestimmten Erwerbsstatistik und Arbeitsstättenzählung 2011, Metadaten. URL: https://data.statistik.gv.at/web/meta.jsp?dataset=OGDEXT_AEST_GEMTAB_1 (November 2020).
- StROG 2010: Steiermärkisches Raumordnungsgesetz 2010**. LGBl. Nr. 49/2010 idF LGBl. Nr. 6/2020.
- Umweltbundesamt GmbH** (2020): Entwicklung des jährlichen Bodenverbrauchs in Österreich. URL: https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/boden/bodenverbrauch_oesterr_2019.pdf (Februar 2021).
- Wetzel, Simeon** (2020): Landscape Metrics Tools. URL: <https://gitlab.com/simeonwetzel/landscape-metrics-tools> (November 2020).
- Wonka, Erich** (2008): Neuabgrenzung des Dauersiedlungsraums. URL: https://www.statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=058172 (Februar 2021).