

# DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.- Ing.)  
der Fakultät Raumplanung  
der Technischen Universität Dortmund



Thema

*Die Steuerung der Siedlungsentwicklung*

—

*Entwicklung und Anwendung von Mess- und  
Evaluationsmethoden zur Analyse von Steuerungsansätzen der  
räumlichen Planung*



**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen  
Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.) der Fakultät  
Raumplanung der Technischen Universität Dortmund

**Thema:**

Die Steuerung der Siedlungsentwicklung –  
Entwicklung und Anwendung von Mess- und Evaluationsmethoden  
zur Analyse von Steuerungsansätzen der räumlichen Planung

**Vorgelegt von**

Sebastian Eichhorn, M.Sc.  
Hagen (Westfalen), Deutschland

**1. Gutachter:** Prof. Dr.-Ing. Stefan Siedentop  
(Technische Universität Dortmund)

**2. Gutachter:** Prof. Dr.-Ing. Christian Diller  
(Justus-Liebig-Universität Gießen)

**Vorsitzender:** Jun.-Prof. Dr. rer. nat. René Westerholt  
(Technische Universität Dortmund)



# Danksagung

Ich möchte die Gelegenheit nutzen, um meine aufrichtige Dankbarkeit auszudrücken an all jene, die mich auf meinem Weg zur Fertigstellung dieser Dissertation unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Stefan Siedentop für seine inhaltliche Unterstützung, konstruktive Kritik und hilfreichen Tipps während des gesamten Entstehungs- und Schreibprozesses. Seine fachliche Expertise und motivierende Art haben mir stets geholfen, nach Vorne zu schauen und das Beste aus meiner Forschung herauszuholen. Ebenfalls möchte ich meinen Mitautorinnen und Mitautoren Christian Gerten, Christian Diller, David Pehlke, Denise Ehrhardt und Mathias Jehling danken, die sich viel Zeit genommen haben, Gedanken und Ideen auszutauschen, Vorschläge zu diskutieren, Korrektur zu lesen und die Dissertationsartikel zu einem guten Ende zu bringen. Ohne ihr Engagement und ihre Expertise wären die einzelnen Artikel und dieses Werk nicht möglich gewesen. Ein herzliches Dankeschön geht auch an meine Kolleginnen am ILS, allen voran Angelika Münter und Kati Volgmann, die mich bei Fragen zu Erhebungs- und Auswertungsmethoden stets unterstützt haben und mit ihren Rückmeldungen maßgeblich dazu beigetragen haben, meine Arbeit zu verbessern und weiterzuentwickeln. Ich möchte mich auch bei meinen ehemaligen Kollegen Martin Schulwitz und Paul Goede bedanken. Sie haben mich insbesondere am Anfang meiner Reise bei inhaltlichen Fragen immer unterstützt.

Meiner Frau Rica möchte ich einen ganz besonderen Dank aussprechen, für ihre Geduld mit mir und meinem Perfektionismus und dafür, dass sie mir immer wieder Zeitfenster zum Arbeiten ermöglicht hat, insbesondere da meine beiden Kinder Lotta und Henri während dieser Dissertation zur Welt gekommen sind. Sie haben dieses Unterfangen nicht leichter, aber im besten Sinne aufregender gemacht. Zuletzt möchte ich allen Freunden, meiner Familie und allen weiteren Personen, die mich auf diesem Weg begleitet und ermutigt haben, meinen tiefsten Dank aussprechen. Eure und Ihre Unterstützung hat mir stets Kraft und Motivation gegeben, diese Arbeit weiter voranzubringen und dieses Ziel zu erreichen.

Sebastian Eichhorn

Dortmund, den 30. März 2025



# Abstract

The ongoing urbanisation and growth of urban areas pose profound challenges for societies worldwide. The phenomenon of land-extensive urban and regional development (*urban sprawl*) is leading to an increase in the use of land for settlements and transport and is affecting social, economic and ecological systems. As a result, the ongoing land take leads to a decline in natural habitats, agricultural land and biodiversity and contributes to increased mobility dependency, rising infrastructure costs and social inequalities. Against the background of complex, sometimes contradictory local ecological, economic and social interests, higher-level spatial planning, and regional planning in particular, is considered an important role in steering sustainable settlement development.

This PhD thesis analyses the effectiveness of regional growth management policies for sustainable land use in Germany and contributes to the limited research on quantitative measurement and evaluation methods in the German context. It is analysed how measurement and evaluation methods can contribute to making the objectives and impacts of regional planning measurable and to supporting the effectiveness and efficiency of regional planning tasks. Methodologically and conceptually, this goal is addressed by means of three empirical federal state and nationwide studies, which gives them special added value in terms of transferability and generalisability compared to local or regional case studies:

- **Effectiveness of regional planning:** A multi-level regression approach is used to analyse the effectiveness of regional growth management policies on the development of residential building land. Both the influence of regional planning regulation and that of interest groups and other contextual factors are analysed.
- **Directing settlement development towards public transport:** On the basis of the concept of Transit-Oriented Development (TOD) and the *Node-Place* approach, the regional growth management policy for directing settlement development towards public transport is analysed. An ex-ante analysis is used to evaluate and classify rail stops according to the TOD dimensions *Destination Accessibility*, *Density*, *Diversity*, *Distance to Transit*, *Demand Management*, *Development Costs* and *Development Potential*. With regard to their suitability for building development, the analysis examines how rail stops can promote integrated settlement and transport development.
- **Prioritising infill development:** With the help of an ex-post measurement and evaluation method, the regional growth management policy of prioritising infill over greenfield development is analysed. Using small-scale, nationwide geodata, residential construction activity in Germany over a period of more than 30 years is quantified and classified and analysed according to spatial trends and socio-demographic, settlement structure and planning factors such as population development and regional planning regulation.

The study on the steering effectiveness of regional planning shows that regional differences play a significant role in land take, which underlines the need for differentiated spatial analyses at several levels. A higher intensity of regional planning regulation can reduce land take, which indicates that stricter steering effectively contributes to saving land. However, political and social factors, such as the interests of first-time property buyers or the dominant political orientation in a municipality, also influence land take and can partially offset these savings. Contextual factors such as population development and the availability of land also have an impact on land take. To summarise, the results show that regional planning is an effective means of limiting land take, but is subject to a complex interplay with local dynamics and interests that can strengthen or weaken its land saving effect.

The results on the direction of settlement development towards public transport show that rail stops with above-average TOD values are mainly found in the highly dense inner-city areas of large cities. In contrast, rail stops with lower TOD values are found in peripheral areas. There is a discrepancy between the availability of developable land and the TOD level: in regions with high housing demand, particularly around rail stops on efficient railway lines, there is hardly any development land available. In contrast, there is greater land potential in areas with lower TOD values and less pressure on the housing market.

The study on the quantification of infill development shows a positive trend, indicating that German cities have succeeded in promoting infill development over time. At the same time, clear differences between urban and rural areas become apparent, with urban and more centralised regions being more successful in directing housing construction activities to existing settlements and already developed areas than the more rural regions. While physical settlement factors such as low building density or high urban dispersion inhibit infill development, a higher level of regional planning regulation can strengthen it.

In addition to analysing existing regional growth management policies, the dissertation shows that methodological and technological innovations in spatial and impact analysis - such as the measurement and evaluation methods developed - can make a decisive contribution to promoting resource-conserving regional development. The dissertation shows how measurement and evaluation methods can support data- and evidence-based spatial planning that links long-term sustainability goals with objective and valid data bases.

# Kurzzusammenfassung

Die fortschreitende Urbanisierung und das Wachstum städtischer Flächen stellen Gesellschaften weltweit vor tiefgreifende Herausforderungen. Das Phänomen der flächenextensiven Stadt- und Regionalentwicklung (*urban sprawl*) führt zur Inanspruchnahme von immer mehr Land für Siedlungs- und Verkehrszwecke und beeinflusst soziale, ökonomische und ökologische Systeme gleichermaßen. Die anhaltende Flächeninanspruchnahme führt dabei zu einem Rückgang natürlicher Lebensräume, landwirtschaftlicher Flächen und der biologischen Vielfalt und trägt zu verstärkter Mobilitätsabhängigkeit, steigenden Infrastrukturkosten und sozialen Ungleichheiten bei. Angesichts komplexer, teils widersprüchlicher lokaler ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Interessen wird der übergeordneten Raumordnung und besonders der Regionalplanung eine wichtige Rolle zur Steuerung einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung beigemessen.

Die vorliegende kumulative Dissertation untersucht die Wirksamkeit regionalplanerischer Steuerungsansätze zur nachhaltigen Flächennutzung in Deutschland und leistet einen Beitrag zum bislang begrenzt erforschten Bereich quantitativer Mess- und Evaluationsmethoden im deutschen Kontext. Es wird analysiert, wie Mess- und Evaluationsmethoden dazu beitragen können, die Zielsetzungen und Wirkungen der Regionalplanung messbar zu machen und die Effektivität und Effizienz bei der Umsetzung regionalplanerischer Aufgaben zu unterstützen. Methodisch-konzeptionell wird diese Zielsetzung anhand von drei empirischen bundesland- und bundesweiten Studien adressiert, was ihnen hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit und Generalisierbarkeit im Vergleich zu lokal oder regional begrenzten Fallstudien einen besonderen Mehrwert verleiht:

- **Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung:** Mithilfe eines Mehrebenen-Regressionsansatzes wird die Wirksamkeit regionalplanerischer Steuerungsansätze auf die Entwicklung von Wohnbauflächen analysiert. Dabei werden sowohl der Einfluss der regionalplanerischen Regulierung als auch der von Interessengruppen und weiteren Kontextfaktoren betrachtet.
- **Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV:** Auf Grundlage des Konzepts des Transit-oriented Development (TOD) und des *Node-Place*-Ansatzes wird der regionalplanerische Steuerungsansatz zur Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV untersucht. Es kommt eine ex-ante Analyse zum Einsatz, mit dem Haltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs nach den TOD-Dimensionen *Destination Accessibility*, *Density*, *Diversity*, *Distance to Transit*, *Demand Management*, *Development Costs* und *Development Potential* hinsichtlich ihrer Eignung für eine bauliche Entwicklung bewertet und klassifiziert werden, um eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsentwicklung zu fördern.
- **Vorrang der Innenentwicklung:** Mit Hilfe einer ex-post Analyse wird der regionalplanerische Steuerungsansatz zum Vorrang der Innen- vor Außenentwicklung untersucht. Anhand kleinräumiger flächendeckender Geodaten wird dabei die Wohnbautätigkeit in Deutschland über einen

Zeitraum von über 30 Jahren nach Innen- und Außenentwicklung klassifiziert und quantifiziert sowie in Bezug auf räumliche Trends und soziodemografische, siedlungsstrukturelle und planerische Einflussfaktoren wie die Bevölkerungsentwicklung oder die regionalplanerische Regulierung tiefergehend analysiert.

Die Studie zur Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung zeigt, dass regionale Unterschiede eine bedeutende Rolle bei der Flächeninanspruchnahme spielen, was die Notwendigkeit differenzierter Analysen auf mehreren Ebenen unterstreicht. Eine höhere Intensität der regionalplanerischen Regulierung kann die Flächeninanspruchnahme verringern, was darauf hindeutet, dass eine striktere Steuerung effektiv zum Flächensparen beiträgt. Lokale politische und gesellschaftliche Faktoren, etwa die Interessen von Erstimmobilienkäufern oder die politische Orientierung in einer Gemeinde, beeinflussen die Flächeninanspruchnahme jedoch ebenfalls und können diese Einsparungen teilweise wieder aufheben. Zudem wirken sich Kontextfaktoren wie die Bevölkerungsentwicklung, die Verfügbarkeit von Land auf die Flächeninanspruchnahme aus. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Regionalplanung ein wirkungsvolles Mittel zur Begrenzung der Flächeninanspruchnahme ist, jedoch in einem komplexen Zusammenspiel mit lokalen Dynamiken und Interessen steht, die ihre Wirkung verstärken oder abschwächen können.

Die Ergebnisse zur Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV zeigen, dass Haltepunkte mit überdurchschnittlich hohen TOD-Werten vor allem in den hochverdichteten innerstädtischen Räumen der Großstädte zu finden sind. In peripheren Räumen treten hingegen Haltepunkte mit niedrigeren TOD-Werten auf. Es besteht daher eine Diskrepanz zwischen der Verfügbarkeit entwickelbarer Flächen und dem TOD-Grad: In Regionen mit hoher Wohnungsnachfrage, insbesondere um Haltepunkte leistungsfähiger Bahnstrecken, sind kaum Entwicklungsflächen verfügbar. Im Gegensatz dazu gibt es in Bereichen mit geringeren TOD-Werten und weniger Druck auf dem Wohnungsmarkt größere Flächenpotenziale.

Die Untersuchung zur Quantifizierung der Innenentwicklung zeigt einen positiven Trend, der darauf hinweist, dass es den deutschen Städten im Laufe der Zeit gelungen ist, die Innenentwicklung zu fördern. Gleichzeitig werden deutliche Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Gebieten sichtbar, wobei städtische und zentralere Regionen erfolgreicher darin sind, Wohnungsbauaktivitäten auf bestehende Siedlungen und bereits erschlossene Gebiete zu lenken als die eher ländlichen Regionen. Während siedlungsstrukturelle Faktoren wie eine geringe Bebauungsdichte oder eine hohe städtische Zersiedlung die Innenentwicklung hemmen, kann durch eine hohe regionalplanerische Regulierung die Innenentwicklung gestärkt werden.

Neben der Analyse bestehender regionalplanerischer Steuerungsansätze zeigt die Dissertation auf, dass methodische und technologische Innovationen in der Raum- und Wirkungsanalyse – wie die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden – entscheidende Beiträge zur Förderung einer ressourcenschonenden Regionalentwicklung leisten können. Die Dissertation zeigt, wie Mess- und Evaluationsmethoden eine daten- und evidenzbasierte Raumplanung unterstützen können, die langfristige Nachhaltigkeitsziele mit objektiven und validen Datengrundlagen verknüpft.

# Eidesstattliche Versicherung

Gemäß § 11 der Promotionsordnung der Fakultät Raumplanung der Technischen Universität Dortmund erkläre ich folgende Punkte:

1. Bei der eingereichten Dissertation zu dem Thema „*Die Steuerung der Siedlungsentwicklung*“ handelt es sich um meine eigenständig erbrachte Leistung.
2. Ich habe nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich keiner unzulässigen Hilfe Dritter bedient. Insbesondere habe ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht.
3. Die Arbeit oder Teile davon habe ich bislang nicht an einer Hochschule des In- oder Auslands als Bestandteil einer Prüfungs- oder Qualifikationsleistung vorgelegt.
4. Die Richtigkeit der vorstehenden Erklärungen bestätige ich.
5. Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt.

Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit erkläre und nichts verschwiegen habe.

---

Ort und Datum

---

Sebastian Eichhorn



# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> . . . . .	<b>i</b>
<b>Abstract</b> . . . . .	<b>iii</b>
<b>Kurzzusammenfassung</b> . . . . .	<b>v</b>
<b>Eidesstattliche Versicherung</b> . . . . .	<b>vii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>xi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> . . . . .	<b>xii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>xiii</b>
<b>I Rahmentext</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	<b>3</b>
1.1 Problemaufriss . . . . .	3
1.2 Forschungsbedarfe und -fragen . . . . .	7
1.3 Aufbau des Rahmentexts . . . . .	11
<b>2 Stand der Forschung</b> . . . . .	<b>13</b>
2.1 Treiber der Flächeninanspruchnahme und Suburbanisierung . . . . .	13
2.2 Regionalplanung im Mehrebenensystem der räumlichen Planung . . . . .	17
2.3 Monitoring und Evaluationen in der Regionalplanung . . . . .	21
2.3.1 Operationalisierung und Evaluation der Regionalplanung . . . . .	23
2.3.2 Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV . . . . .	26
2.3.3 Innenentwicklung . . . . .	30
2.4 Zwischenfazit . . . . .	34
<b>3 Forschungsdesign</b> . . . . .	<b>37</b>
3.1 Forschungs- und Untersuchungsperspektiven . . . . .	37
3.1.1 Artikel 1: Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung . . . . .	37
3.1.2 Artikel 2: Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV . . . . .	39
3.1.3 Artikel 3: Quantifizierung der Innenentwicklung . . . . .	42
3.2 Kriterien zur Bewertung der Mess- und Evaluationsmethoden . . . . .	43

<b>4</b>	<b>Empirische Ergebnisse</b>	<b>45</b>
4.1	Artikel 1	45
4.2	Artikel 2	46
4.3	Artikel 3	47
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>49</b>
5.1	Einordnung der Ergebnisse in den wissenschaftlichen Stand der Forschung	49
5.2	Relevanz für die Grundlagenforschung	53
5.3	Praxisrelevanz der Mess- und Evaluationsmethoden	55
5.4	Grenzen der Arbeit	57
5.5	Verbreitung der Forschungsergebnisse	62
5.6	Weiterer Forschungsbedarf	62
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>65</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>67</b>
<b>II</b>	<b>Publikationen</b>	<b>85</b>
<b>1</b>	<b>From Policies to Outcomes: Multi-Level Analysis of the Influence of Regional Planning on Land Take.</b>	<b>88</b>
<b>2</b>	<b>Bewertung und Klassifizierung von Bahnhaltepunkten in Nordrhein-Westfalen. Ein methodischer Ansatz zur Operationalisierung von Transit-Oriented Development</b>	<b>110</b>
<b>3</b>	<b>Infilling in Germany. Estimating the extent of infilling in German municipalities between 1979 and 2011</b>	<b>130</b>
<b>Anhang</b>		<b>I</b>
A1	Formalia	I
A2	Weitere Artikel mit Bezug zum Thema der Dissertation	II
A2.1	Peer-Review	II
A2.2	Ohne Peer-Review	VI
A3	Vorträge mit Bezug zum Thema der Dissertation	VIII
A3.1	Peer-Review	VIII
A3.2	Ohne Peer-Review	VIII

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Siedlungsentwicklung und ausgewählte Wirkungen der Landbeschaffenheit, Landnutzungsmuster und Dichte . . . . .	4
1.2	Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche . . . . .	5
2.1	Mehrebenensystem der räumlichen Planung . . . . .	18
2.2	Abgrenzung zwischen Ex-ante, formativer und summativer (Ex-Post) Evaluation	21
2.3	Teufelskreis der Autoabhängigkeit . . . . .	27
2.4	Determinaten von Mobilität und Verkehr . . . . .	28
2.5	Arten der Innenentwicklung . . . . .	31
5.1	Kategorisierung weiterer Publikationen im Kontext der kumulativen Dissertation	50

# Tabellenverzeichnis

2.1	Positiv-allokative und negativ-restriktive Steuerungsansätze . . . . .	20
2.2	Funktions-Matrix von Monitoring und Evaluation . . . . .	22
5.1	(potenzielle) Funktionen der entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden . . . . .	57
A.1	Umfang der Dissertationsartikel . . . . .	II

# Abkürzungsverzeichnis

<b>AfD</b>	Alternative für Deutschland
<b>ALKIS</b>	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
<b>ArÖPNV</b>	Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV
<b>ATKIS</b>	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
<b>BauGB</b>	Baugesetzbuch
<b>BauNVO</b>	Baunutzungsverordnung
<b>BREEAM</b>	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
<b>BS</b>	Bodenschutz
<b>CDU</b>	Christlich Demokratische Union
<b>CLC</b>	CORINE Land Cover
<b>DGNB</b>	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
<b>DV</b>	Dichtevorgaben
<b>EE</b>	Eigenentwicklung
<b>EK</b>	Europäische Kommission
<b>EZB</b>	Europäische Zentralbank
<b>FDP</b>	Freie Demokratische Partei
<b>FuE</b>	Freizeit und Erholung
<b>FW</b>	Forstwirtschaft
<b>GFZ</b>	Geschossflächenzahl
<b>GG</b>	Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland
<b>GHSL</b>	Global Human Settlement Layer
<b>GIS</b>	Geoinformationssystem
<b>GRZ</b>	Grundflächenzahl
<b>GrSt</b>	Großräumige Standortsteuerung
<b>GTFS</b>	General Transit Feed Specification
<b>GuOWS</b>	Grund- und Oberflächenwasserschutz
<b>HWS</b>	(vorbeugender) Hochwasserschutz
<b>IC</b>	InterCity
<b>ICE</b>	InterCity Express
<b>KlSt</b>	Kleinräumige Standortsteuerung
<b>LEED</b>	Leadership in Energy and Environmental Design
<b>LISA</b>	Local Indicators of Spatial Association
<b>LUCS</b>	Land Use Change Statistics
<b>LW</b>	Landwirtschaft
<b>MKRO</b>	Ministerkonferenz für Raumordnung
<b>MIV</b>	Motorisierter Individualverkehr

<b>MLR</b>	Multi-Level-Regression
<b>MS</b>	Mengensteuerung
<b>NRW</b>	Nordrhein-Westfalen
<b>NUA</b>	New Urban Agenda
<b>NuL</b>	Natur und Landschaft
<b>OLS</b>	Ordinary least squares
<b>ÖV</b>	Öffentlicher Verkehr
<b>ÖPNV</b>	Öffentlicher Personennahverkehr
<b>OSM</b>	OpenStreetMap
<b>Pkw</b>	Personenkraftwagen
<b>PAFs</b>	Postcode Address Files
<b>RB</b>	Regionalbahn
<b>RE</b>	Regionalexpress
<b>RGZ</b>	Regionaler Grünzug/Grünzäsur
<b>ROG</b>	Raumordnungsgesetz
<b>RPG</b>	Raumplanungsgesetz
<b>SDGs</b>	Sustainable Development Goals
<b>SFS</b>	Sonstiger Freiraumschutz
<b>SKS</b>	(Siedlungs-)Klimaschutz
<b>TOD</b>	Transit-oriented Development
<b>VI</b>	Vorrang der Innenentwicklung
<b>WBGU</b>	Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
<b>zBRW</b>	Zonaler Bodenrichtwert

Teil I

Rahmentext



# Kapitel 1

## Einleitung

### 1.1 Problemaufriss

Die weltweite Verstädterung hält auch im dritten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts unvermindert an (Angel, 2023). Der Anteil der in Städten lebenden Menschen wächst kontinuierlich, und die Ausdehnung städtischer Flächen, einschließlich ihrer Gebäude und Infrastrukturen, übertrifft in vielen Regionen das Bevölkerungswachstum (Angel et al., 2011; Decoville und Schneider, 2015; Marquard et al., 2020). Dieser Prozess, der im internationalen Kontext als *urban sprawl* bezeichnet wird, ist – trotz Fehlen einer einheitlichen Definition (Siedentop und Fina, 2010; Dadashpoor und Shahhossein, 2024) – oft von monofunktionaler Landnutzung, niedrigen Bebauungsdichten und Zersiedlung geprägt und kennzeichnet die Stadtentwicklung sowohl im Globalen Norden als auch im Globalen Süden (Behnisch et al., 2022). Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) spricht in seinem Hauptgutachten von 2016 bereits vom „Jahrhundert der Städte“ (WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, 2016). Während 1950 rd. 30% der Weltbevölkerung in Städten lebten, waren es 2009 bereits 50%. Bis zum Jahr 2050 soll diese Zahl auf knapp 70% ansteigen. Die Anziehungskraft der Städte beruht maßgeblich auf den gegenüber dem Land besseren Bildungs- und Beschäftigungsmöglichkeiten, höheren Löhnen und damit besseren Chancen der sozialen Teilhabe. Demgegenüber stehen vielfältige negative Auswirkungen des flächenextensiven Städtewachstums, die bereits in zahllosen Studien unterschiedlicher wissenschaftlicher Fachrichtungen untersucht wurden (Chetty, 2023; Ewing und Hamidi, 2015; Genovese et al., 2023; Johnson, 2001; European Environment Agency und Swiss Federal Office for the Environment, 2016). In Summe besteht weitgehender Konsens, dass *urban sprawl* insbesondere den Verlust landwirtschaftlicher Flächen, die Fragmentierung von natürlichen Lebensräumen, den Rückgang der biologischen Vielfalt, die Stärkung autoabhängiger Mobilitätssysteme und -regime, hohe öffentliche Infrastrukturkosten und die Zunahme der sozialen Segregation fördert (siehe Abbildung 1.1).

Es verwundert daher nicht, dass das teils unkontrollierte Städtewachstum auch bei politischen Entscheidungsträgern in den letzten Jahrzehnten weltweit große Aufmerksamkeit erfahren und sich in einer Vielzahl an internationalen und nationalen Strategienpapieren niedergeschlagen hat. Auf internationaler Ebene sind es unter anderem die Roadmap to a Resource Efficient Europe aus dem Jahr 2011, die Agenda 2030 mit ihren Sustainable Development Goals (SDGs) aus dem Jahr 2015, die New Urban Agenda (NUA) aus dem Jahr 2016 und die EU Soil Strategy for 2030 aus dem Jahr 2021, die beispielhaft für Strategiepapiere stehen, die sich mit der Thematik politisch und gesellschaftlich, aber auch theoretisch-konzeptionell auseinandersetzen (European Commission, 2011; United Nations, 2017, 2015; European

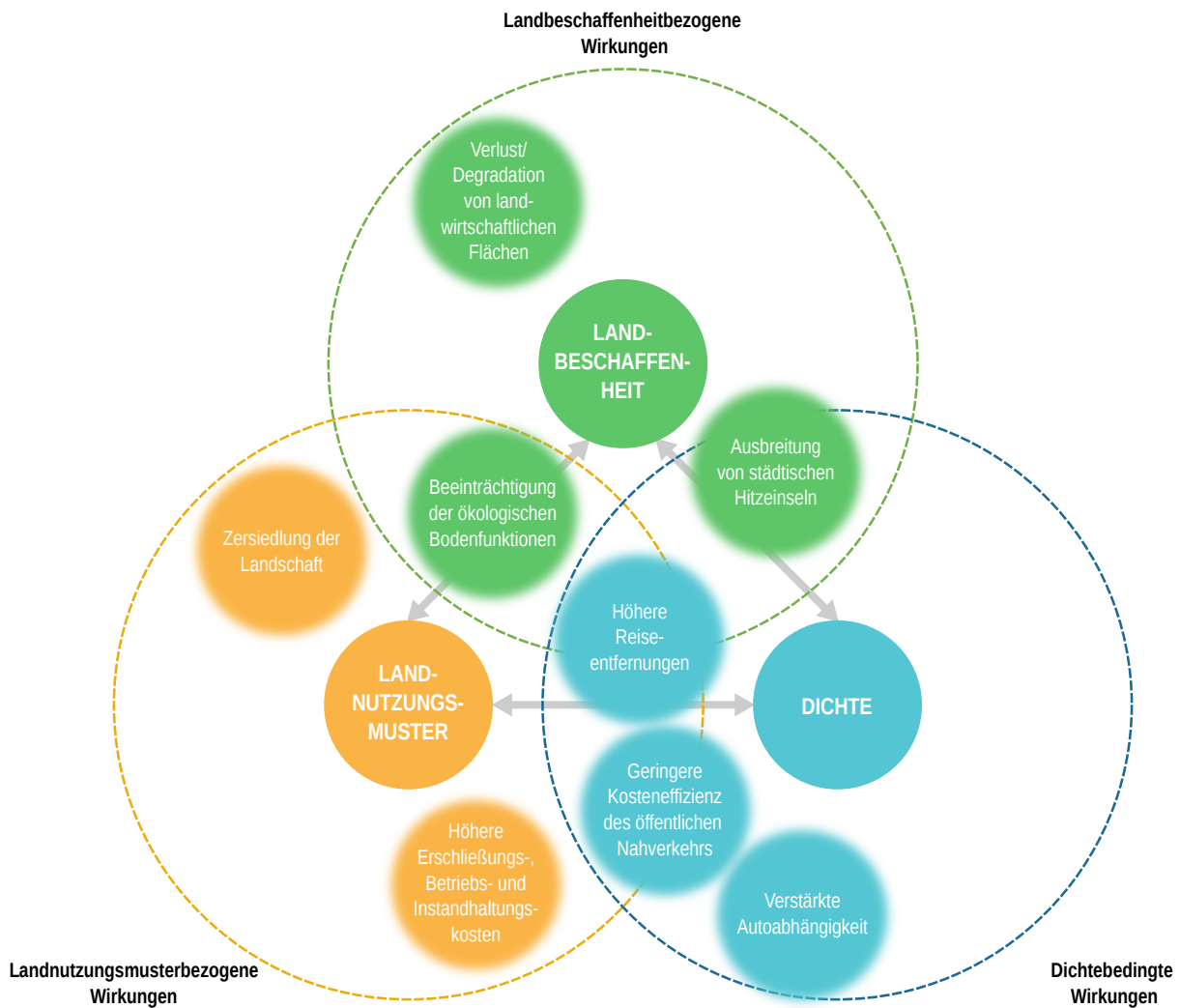


Abbildung 1.1: Siedlungsentwicklung und ausgewählte Wirkungen der Landbeschaffenheit, Landnutzungsmuster und Dichte nach Siedentop und Fina (2010)

Commission, 2021). Auch wenn diese und weitere übergeordnete Strategiepapiere und -prozesse keine unmittelbare rechtliche Bindung für Nationalstaaten entfalten und oft auf einer eher abstrakten Ebene ohne konkreten Umsetzungsbezug verbleiben, wird ihnen durch ihre Signal- bzw. Symbolwirkung ein hoher Stellenwert für die Diffusion von Nachhaltigkeitsthemen in die Gesellschaft beigemessen (Telleria und Garcia-Arias, 2022).

Bereits seit den 1960er Jahren wird in Deutschland über die Begrenzung der Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke diskutiert (Siedentop, 2008). Begriffe wie Landschaftsverbrauch und Zersiedelung fanden früh Eingang in politische Programme, etwa in die *Grüne Charta von Mainau* oder das erste Umweltprogramm der Bundesregierung. Eine grundsätzliche Neuausrichtung im Umgang mit der Siedlungsentwicklung wurde jedoch erst in den frühen 1980er Jahren gefordert, als das Wachstum der Siedlungsflächen zunehmend als Problem für die Entwicklung der Innenstädte angesehen wurde. Gesellschaftliche Sichtbarkeit erlangte das Thema darüber hinaus durch die *Nationale Nachhaltigkeitsstrategie*, in der die Bundesregierung im Jahr 2002 das Ziel formulierte, die Flächenneuanspruchnahme bis 2020 auf 30 Hektar pro Tag zu senken (Die Bundesregierung, 2002). Obwohl sich die Wachstumsrate

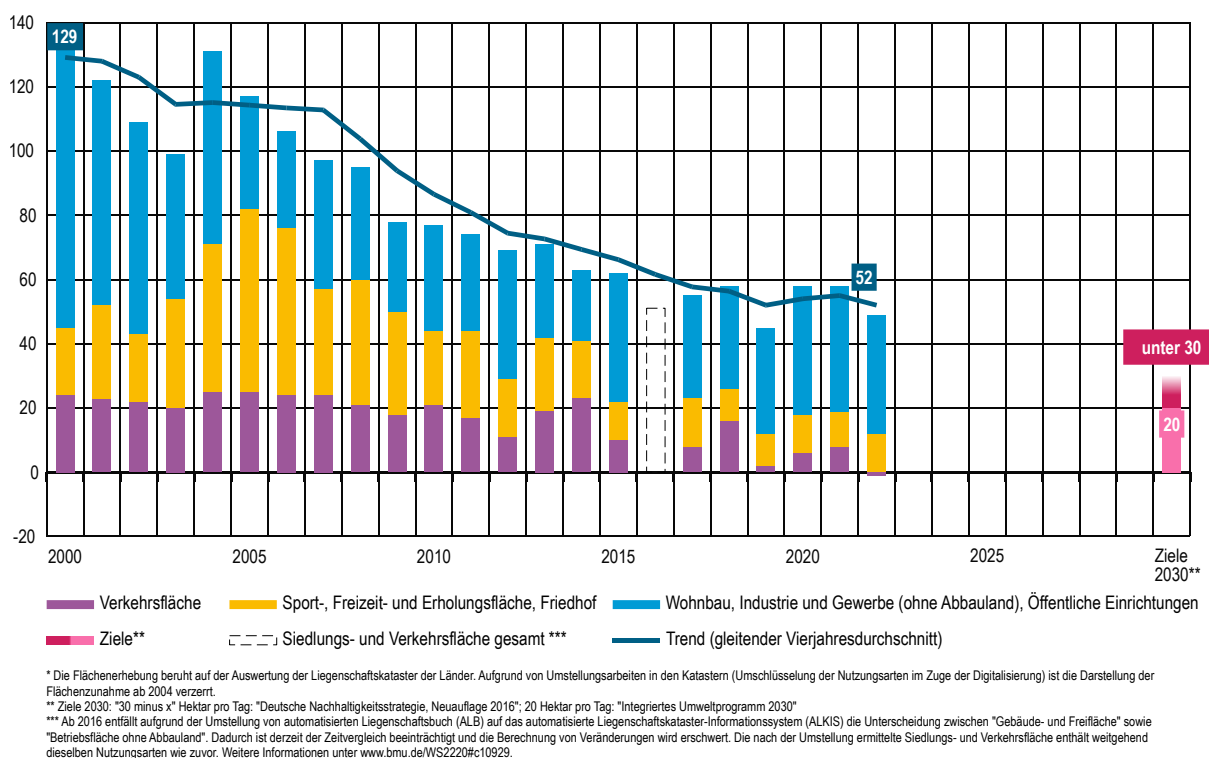


Abbildung 1.2: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche Quelle: Statistisches Bundesamt (2022)

der täglichen Flächenneuanspruchnahme seit 2000 mehr als halbiert hat, haben sich viele Städte, trotz teils stagnierender oder rückläufiger Bevölkerungszahlen, in Bezug auf die Siedlungsfläche dennoch immer weiter ausgedehnt. Im Vier-Jahres-Mittel (2019-2022) lag die tägliche Flächenneuanspruchnahme für Siedlung und Verkehr noch immer bei 52 Hektar pro Tag und damit weit über dem angestrebten Ziel von 30 Hektar (siehe Abbildung 1.2). Nachdem erkannt wurde, dass das Flächensparziel bis 2020 nicht erreicht werden kann, wurde es schließlich mit der Fortschreibung der *Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie* von 2016 auf das Jahr 2030 verschoben. Hierbei wurde das Ziel leicht angepasst und auf eine Begrenzung von unter 30 Hektar festgelegt (Die Bundesregierung, 2016). Die nur geringfügig ambitioniertere Zielsetzung bei gleichzeitiger Verlängerung um zehn Jahre rief teils erhebliche Kritik hervor. Zusätzlich wurden Ziele zur Reduktion des Freiraumverlusts und zur Stabilisierung bzw. Erhöhung der Siedlungsdichte in die Nachhaltigkeitsstrategie aufgenommen. Neben der rein quantitativen Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme wurde damit der Effizienz der Flächennutzung ein größeres Gewicht verliehen. In Übereinstimmung mit der Europäischen Kommission (EK) wurde zudem das Ziel verankert die Flächeninanspruchnahme bis 2050 in Deutschland im Rahmen einer Flächenkreislaufwirtschaft auf Nettonull zu begrenzen (Die Bundesregierung, 2021). In Folge dürfen dann keine weiteren Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke erschlossen werden oder müssen bei Neuausweisung bzw. Neuerschließung an anderer Stelle in gleicher Größe zurückgebaut werden.

Eine bundesweite Analyse für das Jahr 2020 verdeutlicht eindrücklich die Herausforderungen, die mit der Umsetzung dieser politischen Zielsetzungen einhergehen (Krüger et al., 2021). Während die Stadtstaaten aufgrund von Bevölkerungswachstum, Flächenknappheit und verdichteten Wohnformen praktisch keine Freiraumverluste pro Einwohner zu verzeichnen haben, zeigen sowohl die städtischen

als auch die ländlichen Räume der Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Sachsen einen überdurchschnittlichen Rückgang des Freiraums. In Bezug auf die Entwicklung der Siedlungsdichte lässt sich ein ähnliches räumliches Muster beobachten. Es zeigt sich, dass rd. 50% der deutschen Bevölkerung in Gemeinden mit abnehmender Siedlungsdichte lebt. Betroffen hiervon sind insbesondere die kleineren Stadt- und Gemeindetypen, die vor allem in den ländlichen Räumen zu finden sind (z. B. Größere Kleinstadt, Kleine Kleinstadt und Landgemeinde). Im Gegensatz dazu wohnen etwa zwei Drittel der rd. 30% der Bevölkerung, die in Gemeinden mit steigender Siedlungsdichte leben, in Großstädten. Es muss daher festgestellt werden, dass die politischen Zielsetzungen zur Eindämmung der Flächeninanspruchnahme und zur Stabilisierung der Siedlungsdichte vor allem in den städtischen und höher verdichteten Räumen erreicht werden. In den eher ländlich geprägten Räumen sind sie dahingegen bislang ohne nennenswerten Erfolg geblieben (Behnisch et al., 2018).

Ursächlich für die weiterhin hohe Flächeninanspruchnahme, den Anstieg der Wohnfläche pro Kopf und den Rückgang der Siedlungsdichte ist nach Ergebnissen empirischer Studien ein komplexes Zusammenspiel parallel verlaufender soziodemografischer und -ökonomischer Prozesse (Siedentop, 2018). Zu diesen Prozessen gehören der demografische Wandel, die verstärkte Mobilität der Bevölkerung, Tendenzen der Individualisierung sowie ein gestiegener gesellschaftlicher Wohlstand, die zu einem Nebeneinander von Wachstum und Schrumpfung, Verdichtung und Entdichtung sowie Konzentration und Dekonzentration führen. Ergänzend zu diesen eher kleinräumigen und heterogenen Entwicklungsmustern lassen sich in Deutschland zwei übergeordnete, großräumige Trends beobachten, die als weitere Erklärungsansätze für die aktuelle Siedlungsentwicklung herangezogen werden können.

Ersterer betrifft dabei die wirtschaftlich- und demografisch wachsenden Großstädte, die seit über einem Jahrzehnt mit einem massiven Wohnungsmangel und stark steigenden Immobilien- und Mietpreisen konfrontiert sind. Haushalte, die auf der Suche nach geeignetem (bezahlbarem) Wohnraum sind, sehen sich in diesen Regionen zunehmend gezwungen, ins Umland auszuweichen, um die ihrem Lebensabschnitt entsprechenden Wohnpräferenzen zu realisieren (Münter et al., 2021). Während in den Kernstädten weitgehend flächensparend gebaut wird, drückt sich die Nachfrage nach Wohnraum im Umland vor allem im Bau von Ein- und Zweifamilienhäusern aus, was zu einer flächenextensiven Siedlungsentwicklung im suburbanen Raum und einer in absoluten Zahlen besonders hohen Flächenneuinanspruchnahme in den Großstadtreionen führt (Ehrhardt et al., 2022). Hinzu kommt die Niedrigzinspolitik der Europäischen Zentralbank (EZB) und die insgesamt schwächelnden Finanzmärkte der letzten Jahre. Da klassische Anlageformen wie Anleihen oder Bankeinlagen aufgrund der niedrigen Zinsen kaum noch Renditen abgeworfen haben, haben sich (internationale) Finanzinvestoren zunehmend auf renditeträchtige Boden- und Immobilienmärkte konzentriert. Dies gilt besonders für Regionen mit starker wirtschaftlicher Entwicklung und hoher Zuwanderung, wo die Nachfrage nach Bauland und Immobilien hoch ist. Obwohl (flächendeckende) Statistiken zur Verteilung und zu Transaktionen von Landeigentum und Immobilien bislang fehlen, besteht in Wissenschaft und Praxis dennoch Einigkeit darüber, dass das verstärkte Engagement (internationaler) Finanzinvestoren den Wettbewerb um verfügbare Entwicklungsflächen und Immobilien intensiviert hat. Dies hat wiederum die Preisentwicklung beschleunigt und den Druck auf lokale Käufer erhöht, die mit den finanziellen Möglichkeiten großer, national und international agierender Investoren oft nicht mithalten können. Der zweite Entwicklungstrend betrifft die eher ländlichen Regionen mit weniger angespannten Boden- und Wohnungsmärkten und einer stagnierenden bis rückläufigen Bevölkerung. Diese Regionen zeichnen sich durch eine hohe Flächenneuinanspruchnahme pro Kopf aus (Ammann et al., 2021; Eichhorn et al., 2024c). Gründe hierfür werden im anhaltenden ländlichen Wohnideal gesehen, das vor allem durch den Wunsch nach Einfamilienhäusern und niedrigen Be-

bauungsdichten geprägt ist. Darüber hinaus spielen die politischen Ziele der Kommunen eine wichtige Rolle. Gemeinden in ländlichen Regionen fördern oft aktiv den Bau neuer Wohngebiete, um ihre Attraktivität zu steigern und Abwanderung zu verhindern. Diese Entwicklung findet häufig unabhängig vom tatsächlichen Bedarf statt und führt zu einer Ausweitung der Siedlungsfläche, auch wenn die Bevölkerungsentwicklung dies kaum rechtfertigt. Auch in ländlichen Regionen tragen die Interessen privatwirtschaftlicher Akteure zur Flächeninanspruchnahme bei. Entwickler und Investoren sehen diese Räume aufgrund der vergleichsweise niedrigen Bodenpreise und einer weiterhin stabilen Wohnungsnachfrage (z. B. durch eine veränderte Haushaltsstruktur und Wohnflächenpräferenz) als risikoarme Märkte an.

Treibende Kräfte hinter dem Städtewachstum und der fortlaufenden Flächenneuinanspruchnahme sind demnach sowohl auf der Nachfrage- als auch der Angebotsseite zu finden (Siedentop, 2018), die letztlich zu Zielkonflikten bei der Umsetzung einer flächensparenden Siedlungsentwicklung auf der lokalen Ebene führen (Colsaet et al., 2018; Eichhorn et al., 2024c). Kommunen stehen damit vor dem Dilemma zwischen divergierenden Logiken und in Bezug auf die Siedlungsentwicklung sehr unterschiedlichen Vorstellungen abzuwägen. In Anbetracht des 30-Hektar- und Nettonull-Ziels der Bundesregierung sowie bestehenden kommunalen Zielkonflikten lenkt dies den Fokus auf die Steuerungsleistung der Raumordnung, insbesondere der Regionalplanung, deren Kernaufgabe es ist, die „*Flächeninanspruchnahme [...] zu begrenzen*“ (§ 2 Abs. 2 Raumordnungsgesetz (ROG)) und eine nachhaltige Raumentwicklung zu fördern, die die sozialen und wirtschaftlichen Ansprüche an den Raum mit seinen ökologischen Funktionen in Einklang bringt (§ 1 ROG). Hierzu werden unterschiedliche Nutzungsansprüche und Anforderungen an den Raum abgestimmt und auftretende Konflikte zu einem frühen Planungszeitpunkt ausgeglichen (Einig, 2005). Die Vorgaben der Landesplanung, die für ein gesamtes Bundesland gemacht werden, werden von der Regionalplanung für einen Teilraum (Planungsregion) konkretisiert. Die Vorgaben der Regionalplanung wiederum wirken als Rahmen für die Gemeinden und Städte, die nach § 1 Abs. 4 Baugesetzbuch (BauGB) ihre Flächennutzungsplanung (§ 5 BauGB) an die Ziele der Raumordnung anpassen müssen.

## 1.2 Forschungsbedarfe und -fragen

Während die überörtliche Planung und ihre Steuerungswirkung in den USA bereits früh Gegenstand wissenschaftlicher Evaluationen waren (siehe Nelson, 1986, 1999), sind in Europa Studien zur Wirksamkeit der räumlichen Planung auf den Wandel der städtischen Flächennutzung noch ein junges Forschungsfeld. Die Anzahl der hiesigen Studien hat sich in den letzten Jahren zwar erhöht, sie stellen bislang jedoch mehrheitlich Fallstudienanalysen dar (Soria und Valenzuela, 2013; Siedentop, 2015; Gallardo und Martínez-Vega, 2016; Fertner et al., 2017; Pagliarin, 2018; Wahrhusen, 2021; van Rij et al., 2008; Colavitti und Serra, 2019; Kiessling und Pütz, 2021, 2020), deren Übertrag- und Generalisierbarkeit aufgrund der geringen Fallzahl oft begrenzt ist (Yin, 2003). Für Deutschland gibt es – nach aktuellem Wissensstand des Autors – nur eine handvoll flächendeckender quantitativer Studien, in denen die Wechselwirkungen zwischen übergeordneter Planung und Siedlungsentwicklung untersucht wurden (Schmidt et al., 2018; Pehlke et al., 2021; Eichhorn und Pehlke, 2022; Eichhorn et al., 2022b; Zaspel, 2011). Einzelne regionalplanerische Steuerungsansätze sind bislang ebenfalls nur in Ausnahmefällen Gegenstand von wissenschaftlichen Evaluationen gewesen (Schwabedal, 2011; Siedentop et al., 2016).

Vor diesem Hintergrund ergibt sich ein Forschungsbedarf für quantitative Studien zur Analyse der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung und zur Analyse von ausgewählten regionalplanerischen Steuerungsansätzen, die über einzelne Fallstudien hinausgehen. Angesichts der inhaltlichen Breite der

Aufgaben der Regionalplanung ist es sinnvoll, den Evaluationsgegenstand gezielt einzugrenzen (Fischer, 1984). Die kumulative Dissertation fokussiert sich daher auf bestimmte regionalplanerische Teilaspekte bzw. Steuerungsansätze und widmet sich dem Forschungsbedarf durch die Entwicklung und Anwendung von Mess- und Evaluationsmethoden. Die Mess- und Evaluationsmethoden verfolgen dabei drei Forschungs- bzw. Untersuchungsperspektiven, die im weiteren Rahmentext näher erläutert werden und in den drei Dissertationsartikeln Anwendung finden.

- Im ersten Artikel wird die Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf Grundlage eines Mehrebenen-Regressionsansatzes untersucht, mit dem sowohl der Einfluss der Regionalplanung als auch der Einfluss von Interessengruppen sowie lokalen und regionalen Kontextfaktoren auf die Wohnbauflächenentwicklung analysiert wird.
- Der zweite Artikel befasst sich mit dem regionalplanerischen Steuerungsansatz der Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Kern der Studie ist eine ex-ante Analyse, die das Konzept des TOD nutzt und Haltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs bezüglich ihrer Eignung für eine bauliche Entwicklung bewertet und klassifiziert.
- Der dritte Artikel widmet sich dem regionalplanerischen Steuerungsansatz zum Vorrang der Innen- vor Außenentwicklung in Form einer ex-post Analyse. Ziel ist die Entwicklung und Anwendung einer Methode zur quantitativen Abschätzung der Innenentwicklung und die Identifikation relevanter Einflussfaktoren, die die Umsetzung der Innenentwicklung stimulieren oder hemmen.

Während sich die theoretisch-konzeptionelle Ausrichtung des ersten Artikels direkt aus dem Defizit quantitativer Wirkungsanalysen im europäischen und deutschen Kontext ergibt, liegen der Auswahl der regionalplanerischen Steuerungsansätze die folgenden Argumente zu Grunde, die sie zu relevanten Forschungsgegenständen machen:

**Gesellschaftliche Relevanz** Beiden Steuerungsansätzen wird eine hohe gesellschaftliche Relevanz zur Umsetzung der Flächen- und Verkehrswende (z. B. zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und Vermeidung von Verkehr) beigemessen. Dies spiegelt sich unter anderem in den Leitvorstellungen der *Charta von Leipzig 2007* und *2020* wider, die nach dem Leitbild der Europäischen Stadt die Förderung kompakter sowie polyzentrischer Siedlungsstrukturen fordern (Informal Ministerial Meeting on Urban Development and Territorial Cohesion, 2007; Informal Ministerial Meeting on Urban Development and Territorial Cohesion, 2020). Auf nationaler Ebene wird durch die *Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung* der Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) aus dem Jahr 2016 ebenfalls die Bedeutung nachhaltiger, kompakter und gemischt genutzter Siedlungsstrukturen hervorgehoben. Als zentrale Handlungsansätze werden hierbei die Nutzung vorhandener und neuer Instrumente der Innenentwicklung sowie die Konzentration neuer Siedlungsflächen in Zentrumsnähe und entlang von Verkehrskorridoren des ÖPNV angeführt (MKRO – Ministerkonferenz für Raumordnung, 2016). Aktuelle Diskussionen über die Umsetzung der 15-Minuten Stadt als neues planerisches Leitbild unterstreichen den aktuellen Stellenwert des Themas (Gerten und Fina, 2022). Mit Blick auf das langfristige Ziel einer Flächenkreislaufwirtschaft mit einer Netto-Null Flächeninanspruchnahme kann zudem davon ausgegangen werden, dass beide Steuerungsansätze in Zukunft weiter an gesellschaftlicher und politischer Bedeutung gewinnen werden (Eichhorn et al., 2024a).

**Räumliche Entwicklungsmuster der Innenentwicklung** Die Fokussierung der Wohnbautätigkeit auf bestehende Siedlungsflächen ist ein zentrales Planungsprinzip in Deutschland. Seit rund 20 Jahren besteht das Ziel der Bundesregierung darin, die Siedlungsentwicklung im Verhältnis von 3:1 auf bestehende städtische Gebiete auszurichten und die Inanspruchnahme neuer Flächen im Außenbereich zu reduzieren (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2007). Um dieses Ziel zu erreichen, führen Städte und Gemeinden, aber auch Landes- und Regionalplanungsbehörden, mit erheblichem Personal- und Zeitaufwand Register über Brachflächen, Baulücken und Leerstände. Auch die Wissenschaft widmet sich der Erfassung von Innenentwicklungspotenzialen mit Hilfe von breit angelegten Kommunalumfragen und (halb-)automatischen GIS-Tools (Schiller et al., 2018, 2021; Ehrhardt et al., 2023). Während der Ermittlung von Potenzialen für die Innenentwicklung große Aufmerksamkeit geschenkt wird, wird die Überwachung der tatsächlichen Innenentwicklung – trotz des bestehenden nationalen Innenentwicklungsziels – wenig fokussiert. Bis heute erfassen und bewerten nur sehr wenige Gemeinden systematisch und transparent den Anteil der Wohnbautätigkeit, der innerhalb bestehender städtischer Gebiete realisiert wird (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2022). Folglich gibt es bislang kaum gesicherte Erkenntnisse darüber, wie sich die Bautätigkeit in den letzten Jahrzehnten vollzogen hat und wie sie vor dem Hintergrund des nationalen Innenentwicklungsziels zu bewerten ist.

**Integration der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung** Obwohl die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV bereits seit den 1960er Jahren ein bewährter regionalplanerischer Steuerungsansatz ist (Münter und Osterhage, 2018), zeigt sich in der Praxis, dass die Verknüpfung zwischen Regionalplanung und Verkehrsplanung oftmals mangelhaft ist. Eine bundesweite Untersuchung stellt fest, dass es eher ein Nebeneinander von Plänen gibt, als eine kohärente Abstimmung von Themen und Zielen (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), 2007). Dies führt dazu, dass die Entwicklung von Siedlungen nicht ausreichend an den Ausbau und die Qualität des schienengebundenen Regionalverkehrs gekoppelt ist. Insbesondere die Bewertung von Haltepunkten des Regionalverkehrs im Zuge der Regionalplanung bleibt oft auf einfache Kriterien beschränkt. Diese Bewertungsgrundlagen lassen jedoch keine tiefgreifenden Schlüsse darüber zu, wie sich bauliche Entwicklungen in den Einzugsgebieten dieser Haltepunkte optimal gestalten und fördern lassen. Eine systematische und umfassende Untersuchung von Flächenpotenzialen rund um Bahnhöfe und Haltestellen fehlt in Deutschland bis heute weitgehend. Ohne geeignete Mess- und Evaluationsmethoden bleibt es daher schwierig, das volle Potenzial der regionalplanerischen Steuerung zur Integration der Siedlungs- und Verkehrsentwicklung auszuschöpfen.

**Inhaltliche Überschneidungen** Im Rahmen der Debatten um die Flächen- und Verkehrswende werden zwischen Maßnahmen der Innenentwicklung und zur Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV starke inhaltliche Überschneidungen herausgestellt, die sowohl das Flächensparen als auch die nachhaltige Mobilität positiv beeinflussen können. Während im deutschsprachigen Raum unter dem Begriff der doppelten Innenentwicklung in den 1990er und 2000er Jahren noch ausschließlich die bauliche Innenverdichtung mit der Qualifikation bestehender Frei- und Grünflächen zusammengeführt wurde (Haaland, 2015, Gstach und Berding 2016), sieht die dreifache Innenentwicklung als dessen konzeptionelle Weiterentwicklung auch den planerischen Einbezug der Verkehrsflächen bei der Umsetzung von Innenentwicklungsmaßnahmen vor (Schubert et al., 2023). Dies schließt sowohl die Reduzierung von Stellplätzen für Personenkraftwagen (Pkw) als auch die Bereitstellung von Verkehrsträgern des Um-

weltverbundes und weiterer Mobilitätsmaßnahmen mit ein. Entsprechende Überlegungen spiegeln sich dabei nicht nur bei Planungen auf lokaler Ebene wider, sondern finden sich ebenfalls in den Inhalten der Regionalpläne in Deutschland (Eichhorn et al., 2022a). Während die Integration von Siedlung und Verkehr bereits seit den 1980er Jahren durch viele Regionalpläne verfolgt wird, hat die Innenentwicklung aufgrund rechtlicher Novellen vor allem seit den 2000er Jahren an regionalplanerischer Bedeutung gewonnen.

**Planungsrechtliche Grundlagen** Für beide Steuerungsansätze gibt es dezidierte planungsrechtliche Grundlagen, um deren Umsetzung sicherzustellen. In § 2 Abs. 2 Nr. 3 ROG ist vorgegeben, dass die Versorgung mit Dienstleistungen und Infrastrukturen der Daseinsvorsorge, insbesondere die Erreichbarkeit von Einrichtungen und Angeboten der Grundversorgung für alle Bevölkerungsgruppen, zur Sicherung von Chancengerechtigkeit in den Teilräumen in angemessener Weise zu gewährleisten ist. Hierzu sind – im Sinne der Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV – die räumlichen Voraussetzungen für eine nachhaltige Mobilität und ein integriertes Verkehrssystem zu schaffen. In Bezug auf den Vorrang der Innenentwicklung heißt es in § 2 Abs. 2 Nr. 6 Satz 6 ROG, dass die erstmalige Inanspruchnahme von Freiflächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke zu vermindern ist, insbesondere durch die vorrangige Ausschöpfung der Potentiale für die Wiedernutzbarmachung von Flächen, für die Nachverdichtung und für andere Maßnahmen zur Innenentwicklung sowie zur Entwicklung vorhandener Verkehrsflächen. Ferner legt das BauGB im Rahmen des Allgemeinen Städtebaurechts in § 1a Abs. 2 in fast identischem Wortlaut fest, dass die Wiedernutzbarmachung von Flächen und die Nachverdichtung sowie weitere Maßnahmen der Innenentwicklung für einen sparsamen und schonenden Umgang mit Grund und Boden eingesetzt werden sollen und dass Bodenversiegelungen auf das notwendige Maß zu begrenzen sind. Damit soll – wie in § 1 Abs. 5 Satz 3 BauGB verankert – die städtebauliche Entwicklung vorrangig durch Maßnahmen der Innenentwicklung erfolgen. Zusätzlich zu Formulierungen von Planungsrichtlinien sieht die Gesetzgebung seit 2007 den Bebauungsplan für die Innenentwicklung (§ 13a BauGB) vor und gewährt den Kommunen damit Verfahrensvereinfachungen bei der Umsetzung von Maßnahmen der innerstädtischen Entwicklung (Krautzberger und Stürer, 2013; Spannowsky, 2013). Vor dem Hintergrund stark steigender Preise auf den deutschen Boden- und Immobilienmärkten (Ehrhardt et al., 2022), insbesondere in den dynamisch wachsenden Metropolregionen, wurden in den letzten Jahren zudem weitere gesetzliche Änderungen am BauGB und der Baunutzungsverordnung (BauNVO) vorgenommen. Diese zielen zwar vorrangig darauf ab, die Schaffung von (bezahlbarem) Wohnraum zu beschleunigen, stärken durch ihren räumlichen Fokus aber ebenfalls die innerstädtische Entwicklung (u. a. Urbanes Gebiet nach § 6a BauNVO).

Über die hier vorgestellten übergeordneten Forschungsbedarfe hinaus widmet sich die vorliegende Dissertation den folgenden weiterführenden Forschungsfragen, die sich insbesondere auf die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden beziehen. Ihre Beantwortung ergibt sich dabei nicht ausschließlich aus den inhaltlichen Ergebnissen der Dissertationsartikel, sondern auch aus der in diesem Rahmentext geführten übergeordneten Diskussion über die angewendeten Forschungs- und Untersuchungsansätze.

- **Forschungsfrage 1:** Welche Erkenntnisse lassen sich aus den durch die Mess- und Evaluationsmethoden erzielten Ergebnissen ableiten? *Die Frage zielt darauf ab, die Ergebnisse vor dem Hintergrund der Steuerung der Siedlungsentwicklung und der räumlichen Planung und dem aktuellen Stand der Forschung zu diskutieren.*

- **Forschungsfrage 2:** Wie tragen die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden zur Generierung neuer Erkenntnisse in der Grundlagenforschung bei? *Die Frage zielt darauf ab, den Beitrag der Mess- und Evaluationsmethoden zur Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Verständnisses abzuschätzen und zu diskutieren, inwiefern die entwickelten Methoden neue Perspektiven oder Erkenntnisse eröffnen, die über bestehende Ansätze hinausgehen.*
- **Forschungsfrage 3:** Welche Funktionen erbringen die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden und wie lassen sich die gewonnenen Informationen für die Siedlungsentwicklung praktisch nutzbar machen? *Die Frage beschäftigt sich mit den Funktionen, die die Mess- und Evaluationsmethoden erfüllen und wie die generierten Daten und Analysen in die Praxis der Siedlungsentwicklung übertragen werden können. Es geht darum, Wege zu diskutieren und aufzuzeigen, wie Planer und Entscheidungsträger die Ergebnisse zur Optimierung von Planungsprozessen und zur Förderung einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung anwenden können.*
- **Forschungsfrage 4:** Worin bestehen die Limitationen der entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden? *Diese Frage zielt darauf ab, die Schwächen und Grenzen der Methoden kritisch zu beleuchten. Es sollen Aspekte aufgezeigt werden, in denen die Methoden möglicherweise an ihre Grenzen stoßen, sei es aufgrund von Datenverfügbarkeit, methodischen Annahmen oder anderen externen Faktoren, die die Aussagekraft und Anwendbarkeit der Ergebnisse einschränken können.*

### 1.3 Aufbau des Rahmentexts

Um die dargelegten Forschungsbedarfe und -fragen zu adressieren, ist der weitere Rahmentext der kumulativen Dissertation wie folgt aufgebaut: **Kapitel 2** stellt für ein besseres Verständnis der Inhalte der Dissertationsartikel den Stand der Forschung der drei thematischen Schwerpunkte dar. Der Fokus liegt hierbei auf den Treiber der Flächeninanspruchnahme, der Vorstellung des Mehrebenensystems der räumlichen Planung in Deutschland, zentraler Begrifflichkeiten im Bereich Monitoring und Evaluation sowie bisheriger wissenschaftlicher Ergebnisse und der aktuellen methodischen Analyseansätze im Bereich der räumlichen Planung. Darauf aufbauend wird in **Kapitel 3** das übergeordnete Forschungsdesign der Dissertation dargelegt, in dessen Rahmen die drei thematischen Schwerpunkte untersucht werden. Das Ziel des Kapitels ist die gewählten Analyseansätze und Methoden vorzustellen und in den gemeinsamen Rahmen einzuordnen. In **Kapitel 4** werden die Dissertationsartikel vorgestellt. Dabei soll das Kapitel nicht einfach die Inhalte der Artikel eins zu eins reproduzieren, sondern vor allem die Ergebnisse in aller Kürze für den Leser darstellen und nachvollziehbar machen. In **Kapitel 5** erfolgt eine Diskussion der erzielten Ergebnisse und eine Einordnung in den Stand der Forschung sowie eine Reflexion des gewählten Forschungsdesigns einschließlich der damit verbundenen Limitationen und Forschungsbedarfe. **Kapitel 6** enthält abschließende Bemerkungen zu der vorliegenden Arbeit, einschließlich ihres Nutzens für den Leser und der noch bestehenden Forschungslücken, die in den kommenden Jahren vertieft untersucht werden sollten.



## Kapitel 2

# Stand der Forschung

Das Kapitel 2 bietet einen Überblick über die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Diskurse, die für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind. Im Mittelpunkt stehen dabei die Ursachen für die fortlaufende Flächeninanspruchnahme, die Rolle der Regionalplanung im deutschen Planungssystem sowie der aktuelle wissenschaftliche Stand zu Mess- und Evaluationsmethoden in der räumlichen Planung. In Ergänzung zu den Ausführungen in der Einleitung werden im Abschnitt 2.1 auf Grundlage bestehender Theorien zunächst wesentliche Erklärungs- und Einflussfaktoren beleuchtet, die zu einer Ausdehnung der Siedlungsflächen beitragen und zur Suburbanisierung führen. Im darauffolgenden Abschnitt wird die Rolle der Regionalplanung innerhalb des Mehrebenensystems der räumlichen Planung in Deutschland näher betrachtet. Dies dient dazu, die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden vor dem Hintergrund der Zuständigkeiten der Regionalplanung und ihrer Aufgaben nachvollziehen und besser verstehen zu können. Der dritte Abschnitt widmet sich dem Stand der Forschung beim Monitoring und der Evaluation von räumlicher Planung. Ziel dieses Abschnitts ist es zentrale Begrifflichkeiten in diesen Bereichen zu erläutern und voneinander abzugrenzen sowie bisherige methodische Ansätze und Ergebnisse darzulegen. Ausgehend von den in der Einleitung vorgestellten Forschungs- bzw. Untersuchungsperspektiven konzentriert sich der Stand der Forschung dabei auf die Evaluation der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung, die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV und den Vorrang der Innen- vor Außenentwicklung. Im Vordergrund steht die Frage, wie bisherige Studien sich den ausgewählten Themen bzw. Steuerungsansätzen analytisch angenähert haben und welche zentralen Erkenntnisse damit gewonnen werden konnten. Das Kapitel schafft damit die Grundlage für die Analyse der Forschungsbedarfe und -fragen und dient als Rahmen für die in Kapitel 5 geführte Diskussion über die erzielten Ergebnisse, den Mehrwert für die Grundlagenforschung und die Praxis sowie die Limitationen, die mit den angewendeten methodischen Forschungsansätzen und (Geo-)Daten verbunden sind.

### 2.1 Treiber der Flächeninanspruchnahme und Suburbanisierung

Auf die Frage hin, wieso politische Zielsetzungen eine nur unzureichende steuernde Wirkung auf die Siedlungsentwicklung haben, können von Modellen der Handlungs- und Systemtheorie eine Vielzahl an Erklärungs- und Einflussfaktoren herangezogen werden. Die neoklassische Ökonomie (u. a. Bid-Rent Theorie nach Alonso auf Grundlage des Thünen-Modells) erklärt das Städtewachstum beispielsweise durch die Verteilung und die Nutzung von Boden basierend auf der Zahlungsbereitschaft verschiedener rational handelnder Nutzergruppen und dem Erreichen eines Pareto-Optimums als wohlfahrtstheo-

retischen Maßstab (Alonso, 1964; von Thünen, 1990). Nutzergruppen, die von einer zentralen, meist innerstädtischen Lage profitieren (z. B. Einzelhandel, Büros), sind demnach bereit, höhere Preise für Grundstücke zu zahlen, als Nutzergruppen, die auf der Suche nach Grundstücken für weniger renditewürdige Nutzungen (z.B. Wohnen) sind. So entsteht ein Bodenpreisgebirge, bei dem Bodenpreise in der Nähe des Stadtzentrums am höchsten sind und zu den Rändern hin abnehmen. Während die hohen Bodenpreise und die zunehmend geringe Verfügbarkeit von Entwicklungsflächen in zentralen Lagen Druck auf die planungsrechtliche Ausnutzung von Grund und Boden ausüben und zu verdichteter Bebauung führen, kann die Verfügbarkeit von günstigerem Land in den Randgebieten eine suburbane und weniger flächeneffiziente Ausdehnung der Stadt begünstigen.

Die *Flight from blight*-Theorie erklärt in Ergänzung hierzu Suburbanisierungstrends als Ausweichen vor städtischen Abwärtsprozessen (z. B. steigende Kriminalität, Luftverschmutzung) insbesondere von Familien und Personen der Mittelschicht, die über die finanziellen Mittel und Ressourcen verfügen, um in die vermeintlich sichereren Wohngebiete der Vororte mit höherer Lebensqualität zu ziehen (Hortas-Rico, 2015). Da somit vor allem sozioökonomisch Benachteiligte (z. B. Alleinerziehende, Immigranten) in den Städten bzw. in den von sozialen Problemen besonders betroffenen Stadtteilen verbleiben, wirft die Theorie mitunter Gerechtigkeitsfragen auf, die in der neoklassischen Ökonomie ansonsten keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Theoretische Modelle der politischen Ökonomie wiederum stellen die Interessen von Nutzergruppen in den Mittelpunkt ihrer Überlegungen und gehen davon aus, dass Entscheidungen über die Siedlungsentwicklung vielmehr aus einer akteurszentrierten Perspektive zu erklären sind. Fischel's *Homevoter*-Hypothese als ein prominentes Beispiel dieser Denkschule geht davon aus, dass politische Entscheidungen, insbesondere in Gemeinden mit einem hohen Anteil an selbst genutztem Wohneigentum, stark von Hauseigentümern beeinflusst werden. Die Annahme ist, dass die Hauseigentümer Druck auf die Politik ausüben und Entwicklungen blockieren, die aus ihrer Sicht den Wert ihrer Immobilie beeinträchtigen könnten. Die *Homevoter*-Hypothese nimmt daher an, dass lokalen kurz- bis mittelfristigen Herausforderungen auf dem Boden- und Wohnungsmarkt (z. B. Wohnungsmangel, steigende Preise) vor allem durch eine Zonierung mit geringer Dichte begegnet wird, die homogene Wohngebiete schafft und den Präferenzen der Hauseigentümer entspricht (Fischel, 2005). Im Vergleich dazu sieht die *Urban Growth Machine* politische Entscheidungen der Siedlungsentwicklung in erster Linie als ein Ergebnis von einflussreichen Eliten, die sich aus der wirtschaftlichen Beteiligung an verschiedenen Formen des städtischen Wachstums ergeben (Molotch, 2005; Phelps und Wood, 2011). Beide Theorien sind damit eng mit der bodenpolitischen Theorie der Eigentumsrechte verknüpft, die besagt, dass Interessengruppen Gebrauch von Eigentumsrechten machen, um die Nutzung einer knappen Ressource wie Boden nach ihren eigenen Vorstellungen zu beeinflussen (Lubell et al., 2009; Gerber und Bandi Tanner, 2018; Leffers und Wekerle, 2020; Gerber und Debrunner, 2022). Unter der Annahme zunehmender Landknappheit sowie demografischen und wirtschaftlichen Wachstums wird davon ausgegangen, dass Teile der Bevölkerung (z. B. Anwohnerinnen und Anwohner) ihre Eigentumsrechte instrumentalisieren, um eine strengere Flächennutzungspolitik durchzusetzen, während andere Akteure (z. B. der Bausektor) wiederum eine Lockerung der Planungsvorschriften anstreben, um das begrenzte Land zur Erzielung wirtschaftlicher Gewinne zu nutzen (Feiock, 2004; Wassmer, 2008).

Einem ähnlichen Gedanken folgen auch die Rational- und Public-Choice-Theorie, die politisches Verhalten und Entscheidungsprozesse aus einer präferenzgeleiteten Nutzenmaximierung heraus erklären. Die Theorien gehen davon aus, dass der Staat genauso wie der Markt unvollkommene Entscheidungen trifft und daher Marktversagen nicht immer ausgeglichen werden kann (Wiesenthal, 2018). Ein Beispiel

hierfür ist – übertragen auf die Siedlungsentwicklung – beispielsweise die kommunale Angebotsplanung, die dem methodologischen Individualismus nach auf das eigennützige Handeln von politischen Entscheidungsträgern zurückzuführen ist. Politische Entscheidungsträger präferieren demnach eine wachstumsorientierte Bodenpolitik, da sie darüber ihre Wiederwahl tendenziell besser sicherstellen können als mit einer eher verhaltenen Bodenpolitik. Dieser Logik folgend misst die Theorie über die Ökonomisierung von Landnutzungsentscheidungen dem Steuersystem ebenfalls eine stimulierende Wirkung auf das kommunale Kirchturmdenken bei. Da Steuersysteme in westlichen Industriestaaten wachsende Kommunen in der Regel mit höheren Steuereinnahmen und höheren Transferzahlungen (siehe kommunaler Finanzausgleich in Deutschland) belohnen, setzen diese bei lokalen Flächennutzungsentscheidungen Fehlanreize (Wassmer, 2002, 2008). Diese Fehlanreize stellen die Generierung von Steuereinnahmen über die Steigerung des Nutzens für die Bevölkerung (Wassmer, 2002, 2008) und fördern – aufgrund der Nicht-Vermehrbarkeit der Bevölkerung – damit den interkommunalen Wettbewerb um neue Einwohnerinnen und Einwohner durch die Ausweisung von Bauland (Hortas-Rico und Gómez-Antonio, 2020).

In den Planungswissenschaften spielen darüber hinaus planungskulturelle Aspekte und Fragen zur Rolle des Staates bei der Siedlungsentwicklung eine wichtige Rolle. Ersteres lässt sich dabei mit dem *Lock-in*-Konzept verknüpfen, welches unter anderem von Gregory Unruh angewendet wurde, um Pfadabhängigkeiten in der Gesellschaft aufgrund der Nutzung fossiler Brennstoffe zu beschreiben (Unruh, 2000). Übertragen auf die Siedlungsentwicklung lassen sich in Anlehnung an Goldstein et al. (2023) diverse *Lock-in* Situationen herleiten, die sich dämpfend auf den Übergang hin zu ressourcenschonenderen Modellen der Siedlungsentwicklung auswirken können. Aus Platzgründen sollen in Ergänzung zu den bisher genannten Treibern der Flächeninanspruchnahme an dieser Stelle nur der planungskulturelle und institutionelle *Lock-in* exemplarisch aufgeführt werden. Ersterer drückt sich dabei durch die Wahrnehmung von Problemen, Rollen und Aufgaben sowie die von Planern bewährten und erprobten Planungsansätze aus. Er verstärkt demnach die Pfadabhängigkeit in der Siedlungsentwicklung, da neue Planungsansätze als riskant oder nicht im Einklang mit den lokalen Denkweisen, Handlungsmustern und Normen wahrgenommen werden (Breheny, 1997; Downs, 2005). Aktuelle empirische Ergebnisse für Deutschland bestätigen die Wirkmacht von Planungstraditionen bzw. -automatismen: So besteht in ländlichen Räumen noch immer der politische Wunsch, Wohnraum vorrangig in Einfamilienhäusern zu schaffen, um den ländlichen Charakter als Alleinstellungsmerkmal und Anziehungspunkt für bestehende und neue Bewohnerinnen und Bewohner auch in Zukunft zu bewahren (Eichhorn et al., 2024c). Hohe und steigende Kosten für die Bereitstellung und die Instandhaltung der damit benötigten sozialen und technischen Infrastrukturen spielen im Entscheidungsprozess der Gemeinden vielfach keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Der institutionelle *Lock-in* beschreibt dahingegen die über Gesetze und Regularien wirkenden institutionellen Zwänge, die das Handeln staatlicher Institutionen wie Planungsbehörden direkt und die Siedlungsentwicklung indirekt beeinflussen. Die institutionellen Strukturen können als *Lock-in* wirken, da es langfristiger politischer Willensbildungs- und Entscheidungsprozesse bedarf, um neue Gesetze oder alternative Planungsansätze zu verabschieden und zu implementieren. Dies zeigt sich unter anderem in der häufigen Förderung von Einfamilienhausgebieten (Weber et al., 2022) und den damit verbundenen flächenextensiven Siedlungsstrukturen, die nachträglich nur schwer auf neue Bedürfnisse wie verdichtetes Wohnen oder nachhaltige Mobilitätskonzepte angepasst werden können. Etablierte Verhaltensweisen sowie bestehende institutionelle Strukturen tragen demnach zur Herausbildung von Pfadabhängigkeiten bei, die nur schrittweise verändert oder durch spontane und ungeplante distributive Ereignisse aufgebrochen werden können. Dies können auf lokaler Ebene personelle Veränderungen in wichtigen Positionen bzw. Ämtern, aber insbesondere auch auf globaler Ebene Ereignisse mit weit-

reichenden Folgen für die Weltsicherheit oder den Handel sein, wie z. B. die Nuklearkatastrophe von Fukushima von 2011, die Corona Pandemie zwischen 2019 und 2023 oder der Ukraine-Krieg seit 2022.

Diskurse in den Planungswissenschaften deuten ferner darauf hin, dass sich die Machtverhältnisse bei der Siedlungsentwicklung aufgrund knapper öffentlicher Haushalte, der Forderung nach Deregulierung und eines grundlegend veränderten Planungsverständnisses zugunsten des privaten Sektors verschoben haben (Healey, 2006; Hodge und Greve, 2017; Rodríguez-Pose und Storper, 2020). Entwickler und andere private Akteure haben dadurch in der Stadtentwicklung an Bedeutung gewonnen und werden zunehmend als Partner des Staates bei der Bereitstellung von städtischer Infrastruktur und Dienstleistungen akzeptiert (Leffers und Wekerle, 2020; Jehling und Hecht, 2022). Während der öffentliche Sektor früher ein hierarchisches und bürokratisches Regime besaß und stark bei der tatsächlichen Umsetzung von Stadtentwicklungsmaßnahmen involviert war, ist der öffentliche Sektor heute stärker in das Kontextmanagement zu wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Fragen eingebunden und vor allem am Aufbau von kooperativen und kollaborativen Beziehungen zu weiteren Akteuren der Stadtentwicklung interessiert (Wang et al., 2018). Somit können bodenbezogene, privatwirtschaftliche Strategien der Wohlstandsakkumulation und Risikoallokation (Brill, 2022; Paccoud et al., 2022), heute als ein wichtiger Erklärungsfaktor für die städtische Expansion und die Entwicklung von Suburbanisierungsprozessen angesehen werden.

Das Lebenszyklusmodell von Haushalten erklärt das Städtewachstum durch die Betrachtung der Veränderungen in Größe, Zusammensetzung und Bedürfnissen von Haushalten im Laufe der Zeit (Clark, 2013). In der Jugend und im frühen Erwachsenenalter sind Individuen oft noch in Ausbildung oder am Beginn ihrer Karriere, was zu einer hohen Mobilität und einer Präferenz für kleinere, zentral gelegene Wohnungen führt. Junge Erwachsene bevorzugen häufig urbane Gebiete mit gutem Zugang zu Arbeitsplätzen, Bildungseinrichtungen und Freizeitmöglichkeiten. Mit der Familiengründung ändern sich die Wohnbedürfnisse jedoch erheblich. Familien suchen größere Wohnungen oder Einfamilienhäuser in kinderfreundlichen Gegenden mit guter Infrastruktur wie Schulen, Parks und medizinischen Einrichtungen. Dies führt oft zu einer Verlagerung aus den innerstädtischen Gebieten in Vororte oder stadtnahe ländliche Gebiete, was das räumliche Wachstum der Städte vorantreiben kann (Lux et al., 2018; Peter et al., 2022). Wenn die Kinder erwachsen sind und aus dem elterlichen Zuhause ausziehen, stehen viele Eltern vor der Entscheidung, in ihren großen Häusern zu bleiben oder in kleinere Wohnungen umzuziehen. Hierbei begünstigt der Lock-in-Effekt auf dem Wohnungsmarkt das Städtewachstum (Gohl, 2019). Der Lock-in-Effekt beschreibt hierbei die Situation, in der Haushalte aufgrund hoher Umzugskosten oder höherer Kosten für die neue Wohnung weniger mobil sind und daher in ihren aktuellen Wohnungen bleiben, selbst wenn diese nicht mehr optimal zu ihren Bedürfnissen passen. Der damit verbundene Remanenzeffekt verhindert die Umverteilung von Wohnraum und kann das Mismatch zwischen Angebot und Nachfrage verstärken (Neßler und Brokow-Loga, 2020). In Folge werden neue Wohngebiete ausgewiesen, um den Bedarf nach passendem Wohnraum zu decken, was weiter zum Wachstum und zur Ausdehnung von Städten beiträgt.

In Abgrenzung zu den hier vorgestellten Handlungstheorien erklärt sich aus systemtheoretischer Perspektive die unzureichende Verfolgung nationaler Flächensparziele nicht durch den einzelnen Akteur, sondern vor allem durch die Komplexität und die divergierenden Logiken der an der Stadtentwicklung beteiligten gesellschaftlichen Teilsysteme (z. B. Politik, Verwaltung, Wirtschaft). Ausgangspunkt ist dabei die Betrachtung von Städten als soziale und autopoietische Systeme, in denen verschiedene Teilsysteme geschlossen und unabhängig voneinander operieren (Luhmann, 1984; Kirwan und Dobrev, 2022). Die autopoietischen Eigenschaften führen dazu, dass Umweltinformationen aus unterschiedlichen

Logiken und Regeln heraus gefiltert und interpretiert werden, was wiederum zu vielfältigen und teils widersprüchlichen Kommunikations- und Entscheidungsprozessen führen kann. Übertragen auf die diesem Abschnitt zu Grunde liegende Fragestellung kann somit angenommen werden, dass die selbstreferenziellen und logikorientierten Ansätze der gesellschaftlichen Teilsysteme eine effektive Umsetzung von Maßnahmen zum Erreichen der Flächensparziele behindern.

## 2.2 Regionalplanung im Mehrebenensystem der räumlichen Planung

Die Ausführungen in Kapitel 2.1 verdeutlichen, dass die Siedlungsentwicklung unter anderem stark durch Entscheidungen auf kommunaler Ebene beeinflusst wird. Diese Entscheidungen sind zwar in der Regel lokal gut begründet, können jedoch nicht immer als regional optimal betrachtet werden. Wie bereits in der Einleitung beschrieben, wird der Regionalplanung als übergeordnete Planungsinstanz daher die Fähigkeit zugeschrieben, moderierend auf die kommunale Flächennutzung einzuwirken und eine regional abgestimmte sowie flächensparende Siedlungsentwicklung zu fördern. Um diese Einschätzung nachvollziehen zu können, wird im Folgenden die Rolle der Regionalplanung im deutschen Planungssystem näher erläutert und das regionalplanerische Instrumentarium zur Steuerung der Siedlungsentwicklung umrissen.

Unter Raumplanung wird nach Danielzyk und Münter (2018) die öffentliche Aufgabe der fachübergreifenden, querschnittsorientierten und integrativen Planung im Mehrebenensystem der räumlichen Planung verstanden. Der Fokus liegt dabei sowohl auf der rechtsverbindlichen (formellen) als auch auf der persuasiven (informellen) Steuerung und Gestaltung der Raumnutzung durch die Planung. Ziel ist es, unterschiedliche Nutzungsanforderungen an den Raum in einer interdisziplinären und integrierten Weise zu koordinieren und eine nachhaltige räumliche Entwicklung mit gleichwertigen Lebensbedingungen zu fördern. Das Mehrebenensystem der räumlichen Planung besteht in Deutschland dabei aus drei vertikal miteinander verbundenen Planungsebenen (siehe Abbildung 2.1): 1) Bund, 2) Länder und Planungsregionen sowie 3) Kommunen.

Die Planungsebenen besitzen jeweils eigene rechtliche, organisatorische und inhaltliche Zuständigkeiten (Pehlke et al., 2021; Danielzyk und Münter, 2018), wobei Entscheidungen nach dem Prinzip der Subsidiarität möglichst auf der niedrigsten geeigneten Ebene getroffen werden sollen. Die Bundesebene legt die rechtlichen Rahmenbedingungen fest, insbesondere durch das ROG, das Prinzipien für eine nachhaltige räumliche Entwicklung für die gesamte Bundesrepublik definiert und damit die wesentlichen Vorgaben zur übergeordneten Raumentwicklungspolitik festlegt. Die Länderebene nutzt diese Vorgaben, um in ihren jeweiligen Landesentwicklungsplänen oder -programmen konkrete Ziele und Strategien für die räumliche Entwicklung festzulegen (§ 13 ROG). Die Regionalplanung wiederum ist Teil der Landesplanung. Sie koordiniert die Flächennutzung auf regionaler Ebene, um auf die Anforderungen und Potenziale der Teilräume der Bundesländer eingehen zu können. Die kommunale Ebene konzentriert sich auf die vorbereitende und verbindliche Bauleitplanung. Hier entscheiden die Gemeinden, wie Flächen in ihrem Gebiet genutzt werden, wobei die Planung durch das BauGB auf Bundesebene geregelt ist. Das sogenannte Gegenstromprinzip spielt in diesem Mehrebenensystem eine zentrale Rolle. Es beschreibt die wechselseitige Abstimmung zwischen den verschiedenen Planungsebenen. Dabei gibt es zwei grundsätzliche Wirkrichtungen:

- **Top-Down-Ansatz:** Die höheren Planungsebenen (Bund oder Länder) geben den unteren Ebenen Rahmenbedingungen, Leitlinien und Ziele vor, an denen sich die Planung orientieren muss. Diese Vorgaben sind rechtlich bindend und schaffen den allgemeinen Rahmen für die weitere Planung auf regionaler und kommunaler Ebene.
- **Bottom-Up-Ansatz:** Gleichzeitig haben die unteren Ebenen (Kommunen und Regionen) die Möglichkeit und Verpflichtung, ihre lokalen und regionalen Bedürfnisse in die Planungen der höheren Ebenen einzubringen. Somit können kommunale und regionale Planungen auch Entscheidungen auf der höheren Ebene beeinflussen und diese an die spezifischen lokalen Gegebenheiten anpassen.

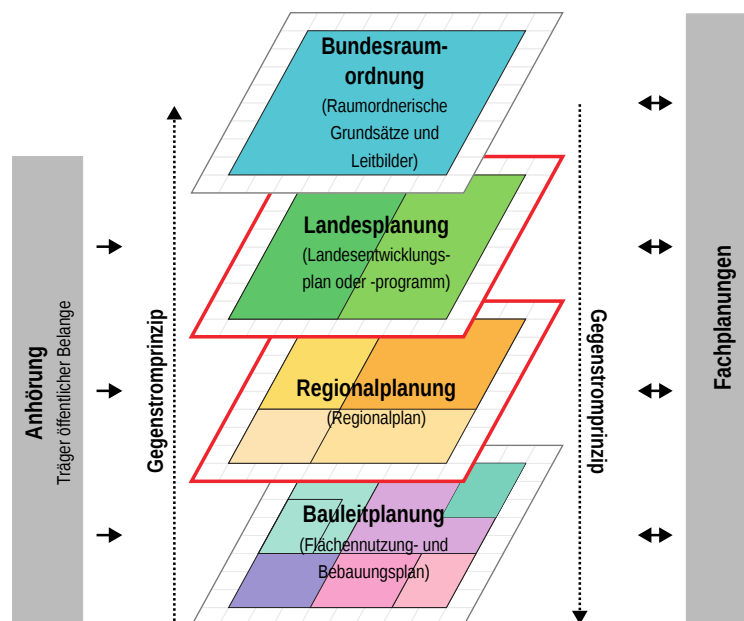


Abbildung 2.1: Mehrebenensystem der räumlichen Planung Quelle: Eigene Darstellung

Ausgehend vom Fokus der vorliegenden kumulativen Dissertation wird im Folgenden näher auf die Arbeits- und Funktionsweise der Regionalplanung und die regionalplanerischen Steuerungsansätze eingegangen. Die Landesplanung und die kommunale Bauleitplanung werden an dieser Stelle nicht weiter vertieft. Zentrales Planungsinstrument zur Erreichung der regionalplanerischen Ziele ist der Regionalplan, mit dem in Form von Texten und Karten die räumliche Entwicklung geordnet und nachhaltig gesichert werden soll. Regionalpläne sind demnach Handlungsmodelle, die auf spezifische Ziele ausgerichtet sind und durch die Bereitstellung von Ressourcen realisiert werden (Hellstem und Wollmann, 2013). Im deutschen Kontext werden die zur Zielerreichung eingesetzten Instrumente – wie in Tabelle 2.1 gezeigt – entsprechend ihres materiellen Steuerungsgehaltes und ihrer basalen Wirkungsmechanismen zu positiv-allokativen und negativ-restriktiven Instrumenten bzw. Steuerungsansätzen zusammengefasst (Einig et al., 2010). Ewing et al. (2022) sprechen im internationalen Kontext sehr plastisch auch vom *inside-* und *outside game*. Sowohl Einig et al. (2010) als auch Ewing et al. (2022) beschreiben damit die Funktionsweisen von Planungsinstrumenten nach ihrem räumlichen Fokus und danach, ob sie das städtische Wachstum auf bestimmte Räume lenken oder die Entwicklung an einem unerwünschten Standort verbieten oder einschränken. Eine Entwicklung ist demnach wünschenswert, wenn zum Beispiel ein Gebiet mit bestehender Infrastruktur und vorhandenen Dienstleistungen reaktiviert und umgenutzt wird. Im

Gegensatz dazu ist eine Entwicklung unerwünscht, wenn sie etwa in einem ökologisch wertvollen Gebiet erfolgen soll und einen besonders schwerwiegenden Eingriff in Natur und Landschaft darstellt. Aus instrumenteller Sicht erhöht die Regionalplanung durch negativ-restriktive Instrumente den Schutzstatus von bestimmten Flächen (vor allem Vorrang- und Vorbehaltsgebiete), um sie vor einer Ausweisung für Bauzwecke in der Bauleitplanung zu schützen (Eichhorn et al., 2021b). Durch positiv-allokative Instrumente (Ziele und Grundsätze) kann die Regionalplanung die Ausweisung von Bauland durch die Gemeinden dahingegen direkt und aktiv steuern und begrenzen (Einig, 2005). Neben dem Einsatz von Vorgaben zur maximalen Anzahl neuer Wohneinheiten in einem bestimmten Zeitraum oder Vorgaben von Dichtewerten soll somit die Siedlungsentwicklung beispielsweise auf die bereits erschlossenen Innenbereiche und/oder auf Haltepunkte des Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV) als wichtige räumliche Orientierungspunkte für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrsentwicklung konzentriert und eine effiziente Flächennutzung sichergestellt werden.

Siedentop et al. (2022) unterteilen Planungsinstrumente ferner nach ihren übergeordneten Steuerungsansätzen und Zielsetzungen und ordnen sie nach 1) Entwicklungsgeschwindigkeit, 2) Lage, und 3) Umfang und Dichte. Dabei fassen sie unter anderem Grüngürtel und Grünzäsuren unter dem Steuerungsansatz der Lage zusammen. Mindestdichteanforderungen und maximale Dichteziele ordnen sie wiederum dem Steuerungsansatz Umfang und Dichte zu. Regionalpläne beschränken sich demnach nicht nur auf ein einzelnes Instrument, sondern bedienen sich an einer Vielzahl an unterschiedlich wirkenden Instrumenten. Regionalpläne bilden im Normalfall somit einen Instrumentenverbund, der sich aus Instrumenten mit unterschiedlichen basalen Wirkungsmechanismen und Zielsetzungen zusammensetzt, die auf eine Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und eine groß- und kleinräumige Steuerung der Siedlungsentwicklung (Allokation) hinwirken. Wie Eichhorn et al. (2022a) zeigen, ist der eingesetzte Instrumentenverbund dabei jedoch nicht starr. So lassen sich beispielsweise die Debatten um die Bedeutung der Innenentwicklung für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung und die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme seit den 1990er Jahren auch im Instrumenteneinsatz der Regionalpläne klar nachzeichnen. Die eingesetzten Instrumente und ihre Ausgestaltung unterliegen somit einem stetigen Wandel, in dem sich insbesondere auch gesellschaftliche Diskurse widerspiegeln (Kiessling und Pütz, 2021). Hinzu kommt, dass das Raumordnungsrecht der konkurrierenden Gesetzgebung unterliegt (Art. 72 Abs. 1 und 3, Art. 74 Abs. 1 Nr. 31 GG). Demzufolge besitzen die Länder die Gesetzgebungskompetenz in diesem Bereich, solange und soweit der Bund nicht durch Gesetz von seiner Kompetenz Gebrauch gemacht hat. Für das Raumordnungsrecht gilt für den Fall, dass der Bund gesetzgeberisch tätig geworden ist, die Besonderheit, dass die Länder gemäß Art. 72 Abs. 3 S. 1 Nr. 4 GG von der bundesgesetzlichen Regelung abweichen dürfen. Die regionalen Planungsbehörden sind, obwohl das ROG und das BauGB einen einheitlichen rechtlichen Rahmen vorgeben, demnach bis zu einem bestimmten Grad frei in ihrer Entscheidung, ob, wie und in welchem Umfang sie diese unterschiedlichen Steuerungsansätze anwenden. Damit haben Regionalpläne, je nach Steuerungsanspruch und regionalen Diskursen, eine unterschiedliche inhaltliche Ausrichtung sowie Regulierungsintensität, um potenziell die lokale Flächennutzungsplanung zu steuern (Knill et al., 2010; Eichhorn et al., 2022a). Da die Flächeninanspruchnahme und der Grad der Siedlungserweiterung in Deutschland sehr unterschiedlich sind, liegt die Frage nahe, ob die Varianz in der räumlichen Entwicklung mit den unterschiedlichen Regulierungsansätzen und -ansprüchen der Regionalplanungsbehörden zusammenhängt oder ob sie sich primär mit gesellschaftlichen, soziodemografischen und -ökonomischen Rahmenbedingungen und Entwicklungen erklären lässt (siehe Kapitel 1.1 und 2.1).

Tabelle 2.1: Positiv-allokative und negativ-restriktive Steuerungsansätze nach Pehlke und Siedentop (2021)

<b>Positiv-allokativer Steuerungsansatz</b>	<b>Materieller Steuerungsgehalt</b>
Mengensteuerung (MS)	Mengenbegrenzung für Siedlungsflächen
Dichtevorgaben (DV)	Dichtevorgaben für die Baulandpolitik der Gemeinden
Vorrang der Innenentwicklung (VI)	Vorrang der Innen- vor der Außenentwicklung
Eigenentwicklung (EE)	Drosselung der Siedlungsentwicklung in bestimmten Gemeinden auf den Bedarf der ortsansässigen Bevölkerung
Kleinräumige Standortsteuerung (KlSt)	Wo soll bzw. darf innerhalb des Gemeindegebiets Siedlungsentwicklung stattfinden
Großräumige Standortsteuerung (GrSt)	Konzentration der Siedlungsentwicklung auf bestimmte Gemeinden
Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV (ArÖPNV)	Siedlungsentwicklung und öffentlicher Verkehr sind aufeinander abzustimmen
<b>Negativ-restriktiver Steuerungsansatz</b>	<b>Materieller Steuerungsgehalt</b>
Regionaler Grünzug/Grünzäsur (RGZ)	Schutz von Freiraum im großräumigen Zusammenhang, zur Gliederung der Siedlungsstruktur und als Ausgleichsräume
Natur und Landschaft (NuL)	Planungsrechtliche Sicherung von Natur und Landschaft
Grund- und Oberflächenwasserschutz (GuOWS)	Planungsrechtliche Sicherung von Grund- und Oberflächenwasser
Landwirtschaft (LW)	Planungsrechtliche Sicherung von landwirtschaftlichen Flächen
Forstwirtschaft (FW)	Planungsrechtliche Sicherung von forstwirtschaftlichen Flächen
Freizeit und Erholung (FuE)	Planungsrechtliche Sicherung von Flächen für Freizeit und Erholung
(Siedlungs-)Klimaschutz (SKS)	Planungsrechtliche Sicherung von Flächen für den (Siedlungs-)Klimaschutz
(vorbeugender) Hochwasserschutz (HWS)	Planungsrechtliche Sicherung von Flächen für den (vorbeugenden) Hochwasserschutz
Bodenschutz (BS)	Sicherung von Böden aufgrund ihrer besonderen ökologischen Funktionen oder ihrer Bedeutung als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte
Sonstiger Freiraumschutz (SFS)	Planungsrechtlicher Sonstiger Freiraumschutz

## 2.3 Monitoring und Evaluationen in der Regionalplanung

In der Regionalplanung erfüllen Monitoringsysteme und Evaluationen unterschiedliche, jedoch komplementäre Funktionen. Monitoring dient der Erfassung und Bereitstellung von Daten und konzentriert sich vor allem auf die Beobachtung von Prozessen und Entwicklungen (Hanusch, 2018). Bei Evaluationen hingegen geht es um die kriteriengeleitete und systematische Analyse und Bewertung von Wirkungen, z. B. bei Maßnahmen und Strategien von Politik und Planung (Rossi et al., 1988). Während Monitoring als kontinuierliche Aufgabe definiert ist, erfolgen Evaluationen in zeitlich abgegrenzten Abständen und werden hinsichtlich ihres Durchführungszeitpunktes in summative, formative und Ex-ante-Evaluationen unterteilt (Scriven, 1966) (siehe Abbildung 2.2). Summative (Ex-post) Evaluationen beurteilen dabei die Ergebnisse einer Maßnahme nach ihrem Abschluss und befassen sich mit bereits eingetretenen Wirkungen durchgeführter Projekte oder bestehender Pläne. Formative Evaluationen begleiten den Umsetzungsprozess und analysieren und bewerten Zwischenergebnisse, die bereits während eines Projekts bzw. einer Maßnahme auftreten. Ex-ante-Evaluationen sind vorwärts gerichtet und schätzen vor der Umsetzung einer Maßnahme die erwarteten Wirkungen (z. B. Abschätzung zukünftiger Wirkungen eines Planentwurfs oder einer baulichen Entwicklung).

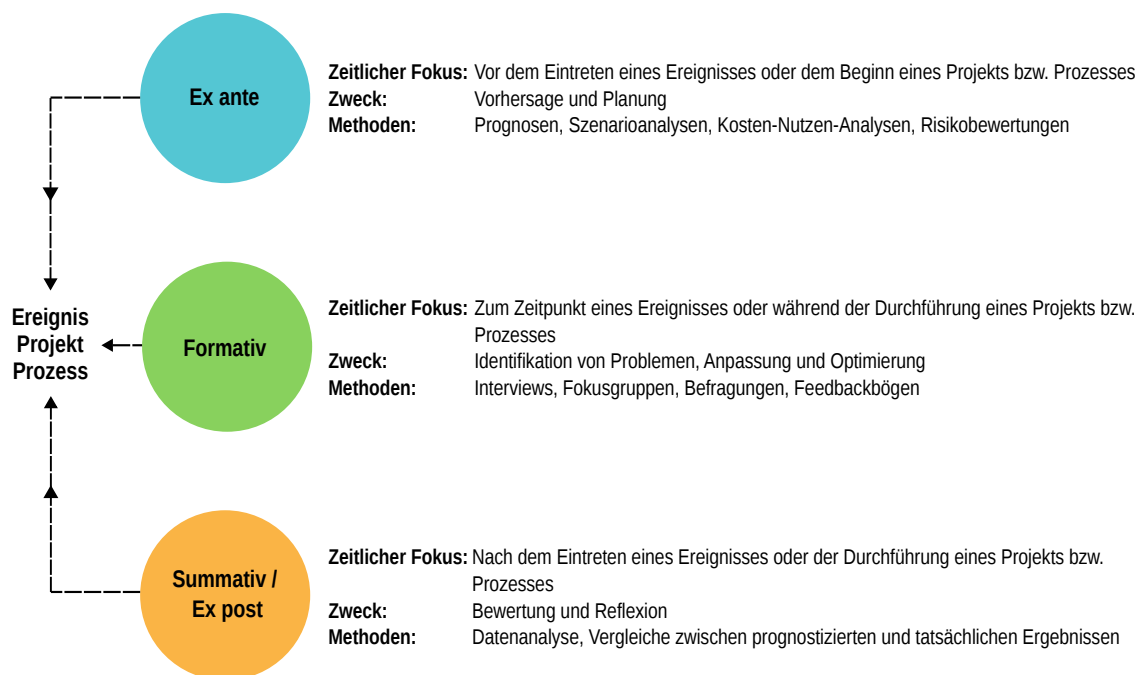


Abbildung 2.2: Abgrenzung zwischen Ex-ante, formativer und summativer (Ex-Post) Evaluation  
Quelle: Eigene Darstellung

Obwohl Monitoring und Evaluation in Wissenschaft und Praxis unterschiedliche Funktionen und zeitliche Perspektiven zugeordnet werden, verfolgen beide Werkzeuge bzw. Ansätze ähnliche Grundziele (siehe Tabelle 2.2). Während die Funktionen in der Wissenschaft in der Regel analytisch getrennt werden, gehen sie in der Praxis zumeist ineinander über und zeigen fließende Übergänge. In der Evaluation geht es beispielsweise darum, umfassende Erkenntnisse über die Effektivität, Effizienz und den Erfolg eines Projekts oder Programms zu gewinnen. Diese Funktion ist in der Regel retrospektiv und bezieht sich auf die langfristige Auswertung der Ergebnisse im Vergleich zu den Zielen und Erwartungen.

Im Vergleich dazu geht es im Monitoring darum, kontinuierlich Daten zu sammeln, um Informationen über den aktuellen Status und Fortschritt von Prozessen oder eines Projekts zu erhalten. Die Informationsfunktion stellt dabei sicher, dass regelmäßig und aktuell relevante Informationen vorliegen. In Bezug auf die Lernfunktion bei Evaluationen geht es unter anderem darum, aus den Ergebnissen zu lernen, was funktioniert hat und was nicht. Der Lernprozess bezieht sich dabei häufig auf eine tiefgehende Analyse und Interpretation der Ergebnisse, mit dem Ziel, Strategien und Ansätze zu verbessern oder weiterzuentwickeln. Die Evaluation hilft dabei, die zugrunde liegenden Annahmen zu hinterfragen und ggf. zu überarbeiten. Auch im Monitoring geht es darum, zu lernen. Dies erfolgt jedoch auf einer eher technischen datengetriebenen Basis und eher in einem operativen Kontext.

Tabelle 2.2: Funktions-Matrix von Monitoring und Evaluation auf Grundlage von Hanusch (2018) und Stockmann (2007)

Funktion	Monitoring	Evaluation
Informations- und Erkenntnisfunktion	X	X
Kontrollfunktion	X	X
Legitimationsfunktion		X
Lernfunktion	X	X
Analysefunktion	X	
Verifizierungsfunktion	X	
Frühwarnfunktion	X	
Transparenzfunktion	X	

Welche Bewertungskriterien letztlich herangezogen werden und wie die Planungsprozesse und deren Ergebnisse zu beurteilen sind, richtet sich unter anderem auch danach, ob die Evaluation nach dem Conformance- oder Performance-Ansatz durchgeführt wird.

- **Conformance-Evaluation:** Diese Art der Evaluation prüft, ob die erzielten Ergebnisse mit den ursprünglich festgelegten Zielen übereinstimmen. Hier liegt der Fokus darauf, inwiefern die Planungsziele eingehalten wurden, also ob der Plan ordnungsgemäß umgesetzt wurde und die erwarteten Ergebnisse erreicht wurden. Diese Evaluation vergleicht im Wesentlichen die Planinhalte mit dem tatsächlichen Resultat, um die Übereinstimmung zwischen Planung und Realität zu messen.
- **Performance-Evaluation:** Bei der Performance-Evaluation liegt der Schwerpunkt auf den erzielten Wirkungen und der Effizienz der umgesetzten Maßnahmen. Sie untersucht, wie gut der Plan tatsächlich zur Lösung der Probleme beigetragen hat, unabhängig davon, ob er genau nach den ursprünglichen Zielen umgesetzt wurde. Hier wird die Effektivität der Maßnahmen bewertet, z. B. ob die geplanten Maßnahmen positive Veränderungen bewirkt haben und ob sie wirtschaftlich und effizient durchgeführt wurden.

Während die Conformance-Evaluation also auf einen strukturierten Vergleich zwischen Zielen und realisierten Ergebnissen abzielt, fokussiert die Performance-Evaluation stärker auf den Nutzen und die indirekten Auswirkungen der Planungsmaßnahmen. Beide Ansätze ergänzen sich und bieten zusammen

eine umfassende Bewertung von Planungs- und Umsetzungsprozessen. Die Wahl und Ausgestaltung einer Evaluationsmethode hängt letztlich davon ab, wer was zu welchem Zweck evaluieren möchte (Rossi und Freeman, 1993; Patton, 1997). Gleichwohl Evaluationen in der Raumforschung und Raumplanung seit den 1970er Jahren insbesondere aufgrund der Forderung nach einem effizienten Einsatz öffentlicher Gelder an Bedeutung gewonnen haben, zeichnet der Stand der Wissenschaft eine eher defizitäre Anwendung von Evaluationen, unter anderem auch bei der Messung der Erreichung regionalplanerischer Ziele (Diller, 2012). Häufig genannte Gründe hierfür sind u. a. der Fokus auf die Darstellung von Erfolgen, mangelnde finanzielle und personelle Ressourcen, ein geringes methodisches Wissen der Anwender (z. B. Planer), Herausforderungen bei der Messung von kausalen Wirkungszusammenhängen sowie abstrakte schwer messbare Zielformulierungen (Diller, 2012; Einig et al., 2010; Wiechmann und Beier, 2004; Eichhorn et al., 2022b). Ausgehend von den Forschungs- bzw. Untersuchungsperspektiven dieser Dissertation soll aufbauend auf den bisherigen Ausführungen im Folgenden der aktuelle Stand der Forschung zu Mess- und Evaluationsmethoden zur Bewertung der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung, zur Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV sowie zum Vorrang der Innen- vor Außenentwicklung vorgestellt werden.

### 2.3.1 Operationalisierung und Evaluation der Regionalplanung

Der Forschungsstand zur Operationalisierung und Evaluation der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung zeigt ein breites methodisches Spektrum, das sowohl geostatistische Modelle als auch qualitative Methoden umfasst. Zu den häufig verwendeten quantitativen Methoden zählen Fixed-Effects-Panel-Modelle, First-Difference-Regressionen und Querschnittsregressionen. Bei den qualitativen Studien kommen vor allem Dokumentenanalysen, Experten- bzw. Stakeholder-Interviews und (standardisierte) Umfragen zum Einsatz (Kiessling und Pütz, 2021, 2020). Da in der vorliegenden Arbeit der Fokus auf quantitativen Mess- und Evaluationsmethoden liegt, wird im Weiteren nicht tiefergehend auf die Konzeptionalisierung und Anwendung der qualitativen Methoden eingegangen. Die quantitative Messung der Steuerungswirksamkeit setzt die Operationalisierung der zu untersuchenden Planung voraus. Ein einfacher Operationalisierungsansatz ist dabei die Verwendung einer Dummy-Variable, um das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Wachstumsmanagements zu kennzeichnen (Anthony, 2004; Yin und Sun, 2007; Wassmer, 2006; Paulsen, 2013, 2014). Obwohl die Methode eine einfache Integration in statistische Modelle ermöglicht, stellt sich dennoch die nicht triviale Frage, ab wann eine Region als Wachstumsmanagementregion eingestuft werden kann und ab wann nicht. Zudem hat die Methode den kritischen Nachteil, dass die Binärbetrachtung die tatsächliche Vielfalt und Intensität der Planungsmaßnahmen nicht abbilden kann. Sie vereinfacht komplexe Planungsrealitäten auf eine Art und Weise, die nicht die Bandbreite der regionalplanerischen Einflüsse erfasst. Ein weiterer Ansatz ist die Messung der Jahre, die ein Wachstumsmanagementprogramm bereits aktiv bzw. rechtsgültig ist (Anthony, 2004; Carruthers, 2002; Yin und Sun, 2007; Wassmer, 2006). Diese Art der Operationalisierung beruht auf der Annahme, dass politische Maßnahmen umso wirksamer sind, je länger sie angewendet werden. Die Frage, ab wann Wachstumsmanagementansätze räumlich wirksam sind, ist jedoch schwierig zu beantworten. Es bleibt unklar, ob Pläne sofort nach ihrer Einführung wirksam werden oder erst nach Jahren der Umsetzung. Die Annahme, ältere Programme bzw. Pläne seien effektiver als jüngere, kann darüber hinaus grundsätzlich hinterfragt werden. So kann ebenfalls argumentiert werden, dass Programme und Pläne mit der Zeit an planerischem Einfluss verlieren, wenn die Grundlagen und festgesetzten Vorgaben nicht mehr sachgerecht auf aktuelle Entwicklungen eingehen (können). Eine differenzierte Betrachtung der regionalplanerischen Steuerung ermöglichen Ansätze, die Wachs-

tumsmanagementprogramme nach verschiedenen Kriterien klassifizieren. Dawkins und Nelson (2003) klassifizierten staatliche Wachstumsprogramme beispielsweise nach ihrer vertikalen, horizontalen und internen Konsistenz. Auf regionaler Ebene entwickelten sie darüber hinaus eine vierstufige Typologie, basierend auf einer Umfrage und einer Plan-Codierungsanalyse. Diese Typologie unterscheidet, ob das Programm das zukünftige städtische Wachstum unterstützt oder einschränkt. Sie differenzierten zudem zwischen starkem und schwachem *urban containment*, basierend auf Flächennutzungsplänen, die unter anderem Aspekte wie Flächenangebot, Bereitstellung von bezahlbarem Wohnraum und Infrastruktur beinhalteten. Eine weitere Klassifikation kommt von Howell-Moroney (2007a), der zwischen schwacher, moderater und starker staatlicher Steuerung unterscheidet. Grundlage hierfür waren unter anderem Vorgaben zur Erstellung eines lokalen Gesamtplans und Kompetenzen der übergeordneten Planung zur Prüfung und Genehmigung von lokalen Plänen. Wie die Beispiele zeigen, hängen die Ergebnisse solcher Klassifikationen stark davon ab, welche Kriterien in den jeweiligen Ansätzen berücksichtigt werden und wie streng die jeweilige Bewertung erfolgt. Da die bestehenden Ansätze zudem verschiedene inhaltliche Schwerpunkte setzen, lassen sich die Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen oft nicht direkt miteinander vergleichen. Neben Klassifizierungsansätzen haben einige Studien komplexere Indizes zur Messung der Restriktivität von Wachstumsmanagementprogrammen entwickelt. Yin und Sun (2007) integrierten beispielsweise in ihrem Index institutionelle und organisatorische Aspekte (z. B. die Zuständigkeiten für Planänderungen und -genehmigungen), während Schmidt et al. (2018) einen Ansatz verwendete, der ausgewählte Steuerungsansätze wie Wohn- und Gewerbeentwicklungskontingente und Daten zum Zentrale-Orte System berücksichtigt. Im Bereich der Wohnbauflächenentwicklung stellt der Index der regionalplanerischen Regulierungsintensität von Pehlke und Siedentop (2021) den für Deutschland bislang umfangreichsten und umfänglichsten Ansatz zur Operationalisierung der Regionalplanung dar. Er umfasst insgesamt sieben positiv-allokative und zehn negativ-restriktive Steuerungsansätze und überführt diese in drei übergeordnete Regulierungsindizes. Der Vorteil solcher Indizes liegt in der Abbildung feiner quantitativer Abstufungen und der Möglichkeit, komplexe Zusammenhänge in einem einzelnen Wert zu aggregieren. Der Nachteil besteht darin, dass die Wahl der einbezogenen Indikatoren und deren Gewichtung stark das Ergebnis beeinflussen kann, was zu einer gewissen Subjektivität führen kann.

Während Studien wie die von Carruthers (2002) und Paulsen (2013, 2014) zeigen, dass strenge Wachstumsmanagementprogramme in Staaten mit durchsetzungsstarken Planungsansätzen die städtische Ausdehnung effektiv begrenzen können, bleibt die Evidenz über die Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung dennoch gemischt. Beispielsweise fand Anthony (2004) in seiner Analyse von 49 US-Bundesstaaten keinen signifikanten Einfluss solcher Programme auf die urbane Landnutzung. Wassmer (2006) stellte zwar fest, dass restriktive regionale Maßnahmen die Größe urbaner Gebiete reduzieren können, jedoch nicht zwangsläufig zu einer Reduktion der städtischen Zersiedelung führen. Ähnlich ambivalente Ergebnisse sind auch in Europa zu beobachten. Pagliarin (2018) zeigt, dass regionale Planungsinstrumente in Städten wie Barcelona und Mailand zwar einen Einfluss auf die Steuerung der urbanen Ausdehnung haben können, dieser jedoch stark vom regionalen und politischen Kontext abhängt. Soria und Valenzuela (2013) stellen für Granada fest, dass die Effektivität regionaler Planungsmaßnahmen oft durch lokale politische Interessen und wirtschaftliche Zwänge gemindert wird. In Madrid fanden Gallardo und Martínez-Vega (2016) heraus, dass trotz der Einführung von Wachstumsmanagementprogrammen die städtische Ausdehnung weiterhin zunahm, was sie insbesondere auf die starke Wohnraumnachfrage und wirtschaftliche Faktoren zurückführen. Kiessling und Pütz (2021) kommen für Fallregionen in der Schweiz und in Deutschland zu dem Schluss, dass für den Erfolg der Raumplanung der lokale Kontext,

unterschiedliche Governance-Kapazitäten und die Qualität der Planungsabsichten entscheidend sind. Ihrer Ansicht nach stellt eine hohe Konformität zwischen regionalen Vorgaben und lokalen Planungen nicht zwangsläufig ein erfolgreiches Planungsergebnis dar. Werden Planungsabsichten nicht ausreichend spezifisch formuliert, so können im Negativfall selbst nicht erwünschte Ergebnisse als Planerfolg interpretiert werden, was im Normalfall nicht im Sinne der Regionalplanungsbehörde sein dürfte. Nach Einig et al. (2010) sind es darüber hinaus insbesondere der rechtliche Status und die Steuerungsmechanismen, die für die Wirksamkeit regionalplanerischer Instrumente entscheidend sind. Eine der wenigen quantitativen Analysen für Deutschland zeigt, dass die meisten raumplanerischen Steuerungsansätze alleine keine statistisch signifikante Wirkung auf die Siedlungsentwicklung haben (Eichhorn et al., 2022b). Die Autoren schließen daraus, dass nicht einzelne Steuerungsansätze, sondern die Anwendung eines geeigneten Instrumentenmixes zu einer effektiven Kontrolle der Siedlungsentwicklung führt. In Ergänzung hierzu stellen Schmidt et al. (2018) heraus, dass Planungsregionen allein nur wenig Einfluss auf die Urbanisierungsraten haben. Aus ihrer Sicht spielen stattdessen das Zentrale-Orte System sowie die geografische Lage im Osten eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der urbanen Raumstruktur.

Übergreifend lässt sich aus dem Stand der Forschung ableiten, dass die Effektivität von Wachstumsmanagementprogrammen und regionalen Planungsmaßnahmen stark von der Durchsetzungsstärke, dem politischen Willen und den spezifischen lokalen und regionalen Rahmenbedingungen abhängt. In einigen Regionen, insbesondere in den USA, zeigen strenge und gut durchgesetzte Planungsmaßnahmen positive Effekte auf die Begrenzung der urbanen Landnutzung. In anderen Fällen, sowohl in den USA als auch in Europa, bleibt der Einfluss solcher Maßnahmen jedoch begrenzt, da ökonomische und politische Faktoren oft stärker wirken als die geplanten Interventionen. Trotz der theoretischen und methodischen Fortschritte in den letzten Jahrzehnten gibt es nach wie vor erhebliche Forschungslücken in der Evaluation von Regionalplänen. Der Stand der Forschung zeigt, dass es noch immer kein standardisiertes Methodendesign und keine einheitlichen Ansätze zur Messung und Bewertung der Planwirkungen gibt (Shefer und Kaess, 1990; Talen, 1996). Eine weitere Forschungslücke betrifft die Integration von hochauflösenden, kleinräumigen Geodaten in die Evaluationsprozesse. Vor allem im deutschen Kontext wurden bei der Messung der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung mit der amtlichen Flächenstatistik und den Daten des CORINE Land Cover (CLC) bislang nur unzureichende Datengrundlagen verwendet (Eichhorn et al., 2022b; Pehlke et al., 2021; Schmidt et al., 2018; Zaspel, 2011). Die Verfügbarkeit und Nutzung solcher Daten sind aber entscheidend für die Anwendung statistischer und geo-statistischer Analyseverfahren, um die Wirkungen von Regionalplänen präzise zu messen. Zudem fehlt es an systematischen Ansätzen, die diese Daten effektiv in die Hypothesenbildung und Wirkungsanalyse einbeziehen. Während qualitative Ansätze bisher dominieren, könnten quantitative Methoden die Synthese der Ergebnisse objektivieren und vergleichbarer machen. Ein weiteres Problem besteht in der engen Fokussierung der unabhängigen Variablen. Diese beschränken sich bislang weitgehend auf siedlungsstrukturelle, sozioökonomische und demografische Faktoren (Schmidt et al., 2018; Weilenmann et al., 2017). Diese Begrenzung schließt andere potenziell relevante Einflussgrößen aus und führt zu einer unvollständigen Analyse der Faktoren, die die Siedlungsentwicklung und die Steuerung der Selbigen beeinflussen (Feiock, 2004; Lubell et al., 2005, 2009). Mit Blick auf die im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten Analysen muss festgestellt werden, dass insbesondere der Einfluss von Interessengruppen auf die Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung in quantitativen Studien bislang weitgehend unberücksichtigt geblieben ist.

### 2.3.2 Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV

Verkehrsinfrastrukturen bilden zentrale Bestandteile moderner Gesellschaften. Sie schaffen durch Straßen und Schienen Verbindungen zwischen Städten und fördern so den Austausch von Menschen, Gütern und Wissen (Saif et al., 2019). Die Bedeutung der Verkehrsinfrastruktur für das Wirtschaftswachstum und der Beitrag einer guten Erreichbarkeit für den gesellschaftlichen Wohlstand werden in der wissenschaftlichen Literatur bereits seit vielen Jahren intensiv diskutiert (Kasraian et al., 2016; Ibraeva et al., 2020). Der fortlaufende Ausbau der Straßenverkehrsinfrastruktur wird häufig mit dynamischen Wechselwirkungen in Verbindung gebracht, darunter Suburbanisierung, die Verlagerung von Arbeitsplätzen an dezentrale Standorte, eine zunehmende Zersiedelung der Landschaft, eine daraus resultierende Nachfrage nach zusätzlicher Verkehrsinfrastruktur sowie eine stärkere Abhängigkeit vom Auto (siehe Abbildung 2.2). Im Gegensatz dazu gelten (neue) Knotenpunkte des öffentlichen Verkehrs als potenzielle Treiber für die Entstehung neuer räumlicher Schwerpunkte oder Subzentren jenseits der etablierten wertschöpfenden Zentren (Koomen et al., 2009; Kasraian et al., 2016; Garcia-López et al., 2017). Damit wird Haltepunkten des ÖPNV das Potenzial zugesprochen, eine nachhaltige Mobilität in Kernstädten, Vororten und ländlichen Gebieten zu fördern und beispielsweise Kohlendioxidemissionen, Luftverschmutzung, Energieverbrauch, Verkehrslärm und Ressourcenverbrauch zu reduzieren (Saif et al., 2019).

Neben technischen Innovationen im Bereich der E-Mobilität (Schwedde et al., 2013; Augenstein, 2015), der intermodalen Vernetzung durch die Digitalisierung (Canzler und Knie, 2016; Altuntaş Vural et al., 2020) oder einer veränderten Preisgestaltung im ÖPNV (Loder et al., 2024) gilt die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf Regionalbahn- und U-Bahnlinien, Straßenbahnen und Busse als ein vielversprechender (regional-)planerischer Steuerungsansatz, um nicht nur den Modal Split vom Motorisierten Individualverkehr (MIV) hin zum ÖPNV positiv zu beeinflussen, sondern auch kompakte und flächensparende Siedlungsstrukturen zu fördern (Ibraeva et al., 2020). Neben der lokalen Ebene, bei der vor allem städtebauliche Aspekte von Relevanz sind, spielt hierbei auch die regionale Ebene eine bedeutende Rolle, da die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV nicht nur punktuell bzw. lokal, sondern innerhalb eines vernetzten Systems mit vielen Bahnhaltepunkten gedacht werden muss (Singh, 2015). Während sich im internationalen Diskurs der Begriff des TOD etabliert hat und ursprünglich von Peter Calthorpe geprägt wurde, werden in Deutschland ähnliche Konzepte bereits seit den 1960er Jahren unter den Stichworten *Punkt-axiale Siedlungsentwicklung* oder *Siedlungsachsen* verfolgt (Münter und Osterhage, 2018). Wie eine aktuelle Auswertung aller rechtsgültigen Regionalpläne zeigt ist die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV in Form von Vorranggebieten mindestens seit den 1980er Jahren (fester) Bestandteil der Regionalplanung (Eichhorn et al., 2022a). Ein Blick in die Vorgaben (Grundsatz oder Ziel) und Planaussagen (z. B. räumliche Definition der Einzugsbereiche, Beschreibung der angestrebten Entwicklung) zeigt jedoch, dass es in Bezug auf die Integration von Siedlung und Verkehr erhebliche Unterschiede bei den Steuerungsansprüchen in Deutschland gibt, die nach Diller und Eichhorn (2021) zum Teil mit unterschiedlichen institutionellen Voraussetzungen einhergehen.

Unter der Annahme, dass Mobilität und Verkehr eng mit den Verkehrsangeboten und der Raumstruktur verknüpft sind (siehe Abbildung 2.3), wird die Auffassung vertreten, dass die Messung des bestehenden Niveaus von TOD eine wesentliche Voraussetzung für die Planung von TOD ist (Singh, 2015). Während sich anfangs im Rahmen des 3-D-Modells nach Bertolini (1996) lediglich auf die Dimensionen *Density*, *Diversity* und *Design* konzentriert wurde, wird in der Mehrheit aktueller Studien – auch aufgrund neuer und offener kleinräumiger Geodaten – mittlerweile das 6-D-Modell unter Berücksichtigung der Dimensionen *Destination Accessibility*, *Distance to Transit* und *Demand Management* operationalisiert und zur Umsetzung des *node-place*-Ansatzes verwendet, mit dem sowohl der Halte-

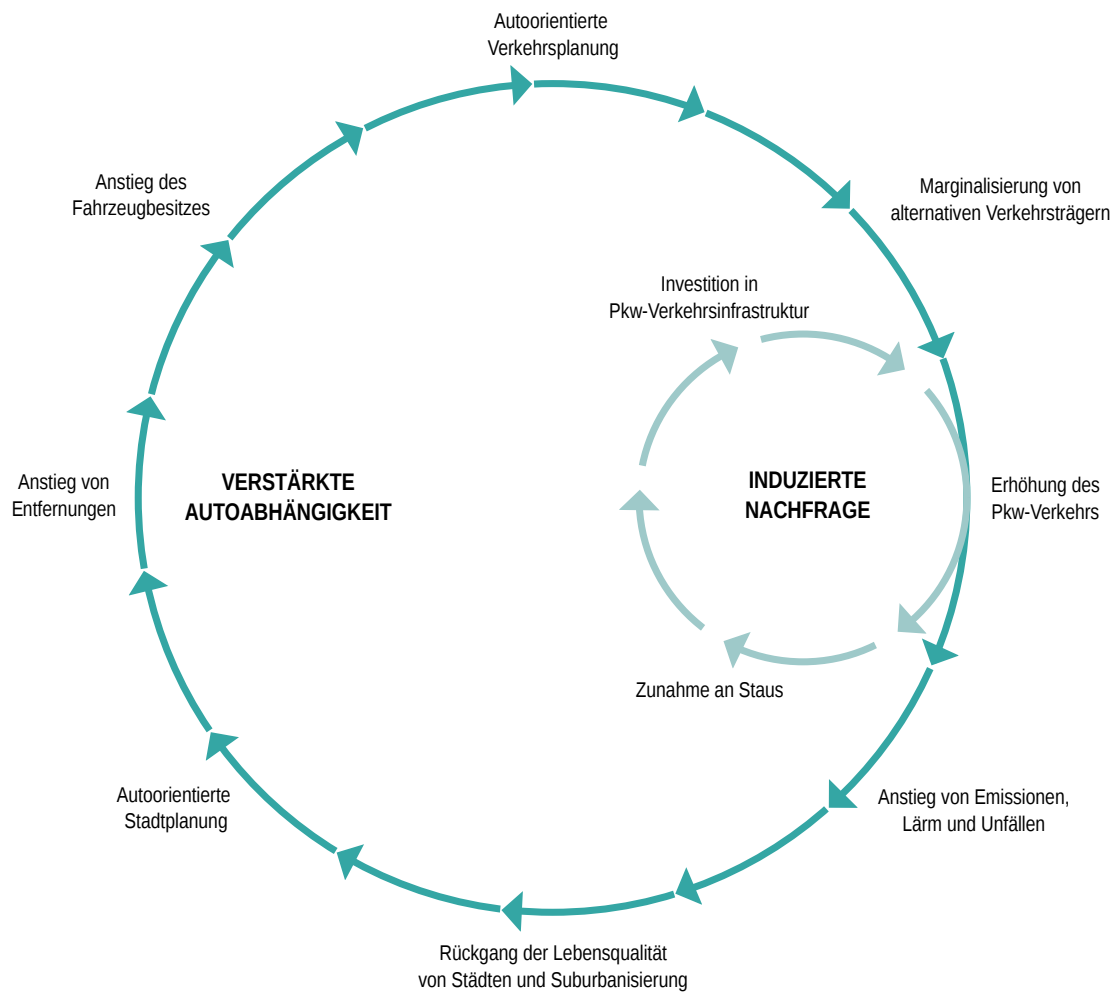


Abbildung 2.3: Teufelskreis der Autoabhängigkeit nach Okeke et al. (2020)

punkt selbst (*node*) als auch sein Umfeld (*place*) beschrieben wird (Bertolini, 1996). Nach Bertolini (1996) bezieht sich ein Knoten dabei auf die Verkehrsfunktion eines bestimmten Haltepunktes innerhalb des Verkehrssystems. Es beschreibt damit, wie gut ein Haltepunkt an das Verkehrssystem angebunden ist, wie viele Menschen dort ein- oder aussteigen, und wie gut der Haltepunkt als Umsteigepunkt zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln funktioniert. Ein *guter* Knoten ist nach Bertolini ein stark frequentierter Verkehrsknotenpunkt mit hoher Konnektivität und Verfügbarkeit verschiedener Transportmittel. Der Einzugsbereich bezieht sich auf die sozial-räumliche und siedlungsstrukturelle Qualität eines Haltepunktes. Es beschreibt die Attraktivität und Nutzbarkeit des Einzugsbereichs für die Menschen, die dort leben, arbeiten, einkaufen oder ihre Freizeit verbringen. Ein hochwertiger Einzugsbereich zeichnet sich durch eine ansprechende Gestaltung, Nutzungsvielfalt, Fußgängerfreundlichkeit und ein breites Angebot an Dienstleistungen und Einrichtungen aus. Nach dem TOD-Konzept ist es wichtig, dass Haltepunkte sowohl eine starke *Node*-Funktion als auch eine hohe *Place*-Qualität aufweisen. Ein Haltepunkt sollte daher nicht nur gut verkehrstechnisch angebunden sein, sondern auch als attraktiver, lebendiger und vielseitig nutzbarer Ort gestaltet werden. Ein Ungleichgewicht, bei dem ein Standort beispielsweise stark verkehrstechnisch angebunden ist (starker *Node*), aber wenig Attraktivität oder Nutzungsmöglichkeiten bietet (schwacher *Place*), widerspricht den grundlegenden Zielen von TOD. Vor diesem Hintergrund

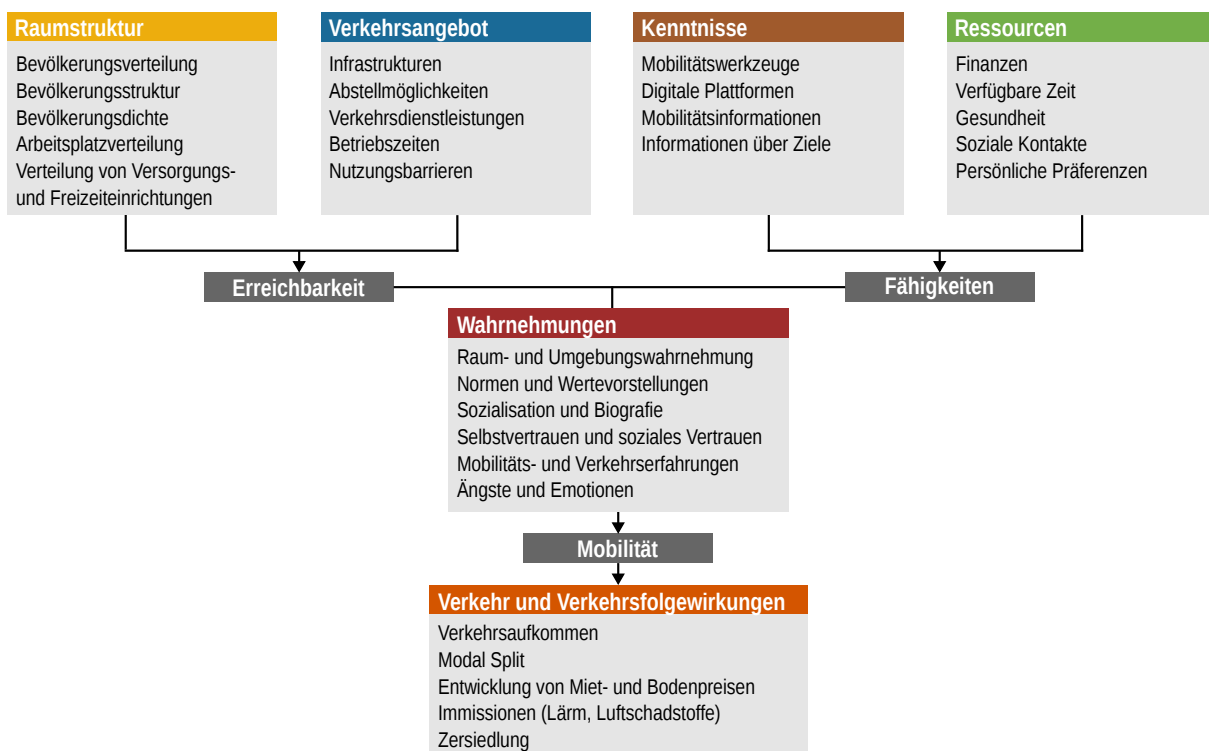


Abbildung 2.4: Determinanten von Mobilität und Verkehr nach Rammert (2024)

zielen viele weltweit verfolgte TOD-Initiativen darauf ab, verdichtete,utzungsgemischte und fußgängerfreundliche Standorte zu entwickeln, die als Nebenzentren zur Entlastung hochverdichteter Kern- und Innenstädte beitragen können (Jamme et al., 2019). Durch die Verbindung von *Node*- und *Place*-Qualitäten bietet TOD einen Kompromiss zwischen der konfliktreichen Nachverdichtung in städtischen Zentren und der flächenintensiven Zersiedelung im Umland.

Je nach Dimension und inhaltlicher Schwerpunktsetzung zeigt der Stand der Forschung ein breites Spektrum an (hochauflösenden) Daten und Indikatoren, die bei der Entwicklung von Mess- und Evaluationsmethoden sowie zur Operationalisierung und zur Messung von TOD und des *node-place*-Ansatzes zum Einsatz kommen. Dies umfasst unter anderem Indikatoren wie die Bevölkerungs- und Arbeitsplatzdichte, den Shannon-Diversitätsindex, die Blockgröße, die Dichte des Straßennetzes, die Anzahl an Kreuzungen, die Berechnung der Zeit oder Entfernung zu wichtigen Zielen sowie das Vorhandensein von Maßnahmen der Verkehrssteuerung und Parkraumbewirtschaftung (Singh et al., 2014; Huang et al., 2018; Reusser et al., 2008; Higgins und Kanaroglou, 2016). Trotz unterschiedlicher räumlicher Kontexte und teils unterschiedlicher inhaltlicher und methodischer Schwerpunkte belegt die Mehrheit empirischer Studien, dass TOD einen positiven Effekt auf das Mobilitätsverhalten von Menschen hat. In Europa werden dabei vor allem Stockholm und Kopenhagen häufig als Vorzeigebispiele für eine Siedlungsentwicklung genannt, die gezielt auf den ÖPNV ausgerichtet ist. In den von Bahnlinien erschlossenen Satellitenstädten rund um Stockholm nutzen etwa die Hälfte der Erwerbstätigen und ein Drittel der Einwohnerinnen und Einwohner öffentliche Verkehrsmittel (Cervero, 1995). Diese verstärkte Nutzung wird vor allem durch die Nähe zu Verkehrsknotenpunkten und die räumliche Verknüpfung von Wohn- und Arbeitsorten gefördert (Pan et al., 2017). Auch in den USA finden TOD-Konzepte seit langem Beachtung als Strategie zur Eindämmung von *urban sprawl* (Meyer et al., 1965; Cervero, 1984; Calthorpe, 1993;

Cervero, 1998). Wie Cervero und Arrington (2008) für Washington, D.C. und Portland zeigen konnten wird auch hier das Auto in TOD-Wohnbauprojekten weniger genutzt, insbesondere wenn sie in der Nähe zu den jeweiligen Bahnhaltepunkten liegen, gut ins Verkehrsnetz eingebunden sind, die Erreichbarkeit zu Fuß oder per Bus gegeben und die Parkplatzverfügbarkeit reduziert ist (Nasri und Zhang, 2014; Chatman, 2013; Park et al., 2018). In suburbanen Lagen sind bei gleichen Rahmenbedingungen die Effekte hingegen schwächer ausgeprägt (Cervero und Arrington, 2008). Die Siedlungs- und Beschäftigtenentwicklung wird nach aktuellem Stand der Forschung ebenfalls von TOD beeinflusst. Verdichtungen und Zuzüge treten insbesondere im Nahbereich von TOD-Stationen auf, was nach Loo et al. (2017) und Kim et al. (2016a) die städtebauliche Entwicklung begünstigt. Die Entwicklung kann dabei ebenfalls zu einem Anstieg der Immobilienpreise führen, der in den meisten Fällen durch die Nähe zu Bahnhöfen und die regionale Netz-Einbindung verstärkt wird (Bartholomew und Ewing, 2011; Kay et al., 2014). Allerdings kann es aufgrund von Lärm etc. in Einzelfällen auch zu Preisrückgängen im direkten Einzugsbereich von Stationen kommen (Bowes und Ihlanfeldt, 2001). Die sozialstrukturellen Auswirkungen von TOD zeigen im Vergleich zum Mobilitätsverhalten deutlich gemischtere Ergebnisse. Einige Studien belegen Gentrifizierungsprozesse, die zu einem Anstieg gebildeter und einkommensstarker Haushalte und zu einer Verdrängung einkommensschwächerer Bevölkerungsgruppen geführt haben (Miguel Padeiro und da Costa, 2019; Apell, 2015), während andere Studien keine signifikanten Veränderungen in der sozialen Zusammensetzung nachweisen konnten (Dong, 2017).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei der Operationalisierung von TOD und der technischen Umsetzung von Mess- und Evaluationsmethoden zunehmend hochauflösende Geodaten und differenzierte Indikatoren zur Bewertung von TOD-Standorten genutzt werden. Zentrale Konzepte wie das 6-D-Modell ermöglichen dabei eine präzise Analyse der Wechselwirkungen zwischen Verkehrsangeboten und Raumstruktur. Besonders der *Node-Place*-Ansatz, der sowohl die Verkehrsanbindung (*Node*) als auch die Qualität des Umfelds (*Place*) eines Haltepunkts berücksichtigt, wird zur Bewertung von TOD angewendet. Der Stand der Forschung zeigt, dass TOD-Analysen im asiatischen Raum im Vergleich zu Europa und Deutschland in den letzten Jahren eine deutlich höhere Verbreitung erfahren haben. In vielen asiatischen Ländern wird TOD als eine zentrale Antwort auf die drängenden Probleme wie *urban sprawl*, Verkehrsstau und Luftverschmutzung betrachtet. Im Gegensatz dazu gibt es in Europa und Deutschland häufig Widerstände gegen TOD, vor allem aufgrund von Bedenken hinsichtlich Gentrifizierung, Eigentumsfragen und der langsamen Umsetzung von Infrastrukturprojekten. Zudem ist der Fokus in vielen europäischen Städten weiterhin stärker auf den Individualverkehr ausgerichtet, was die Entwicklung von TOD-Initiativen erschwert. Hinzu kommt, dass die Urbanisierung in vielen asiatischen Ländern, insbesondere in China und Indien, in den letzten Jahrzehnten deutlich schneller vorangeschritten ist. Regierungen in diesen Ländern üben eine zentrale Kontrolle über die Stadtentwicklung aus, was die Umsetzung von TOD-Strategien erleichtert und beschleunigt. In Europa ist die Urbanisierung langsamer und komplexer verlaufen. Historisch gewachsene Städte stellen eine größere Herausforderung dar, wenn es darum geht, TOD-Konzepte in bestehende Siedlungsstrukturen zu integrieren. Zudem sind die Planungs- und Entscheidungsprozesse in Europa stärker fragmentiert, was eine zügige Umsetzung von TOD-Initiativen mitunter erschwert. Trotz der Fortschritte in der Forschung und erfolgreichen Implementierungen von TOD besteht weiterhin ein Mangel an standardisierten, umfassenden Mess- und Evaluationsmethoden, die sowohl die Verkehrs- als auch die städtebaulichen Aspekte von TOD gleichwertig berücksichtigen. Es fehlt an konsistenten Indikatoren und Methodologien zur flächendeckenden Operationalisierung von TOD, die verschiedene geografische, soziale und wirtschaftliche Kontexte abbilden können. Mit Blick auf Deutschland zeigt sich, dass die Integration von TOD in den Planungsprozessen der verschiedenen

Ebenen der Stadt- und Verkehrsplanung noch unzureichend ist, was eine stärkere interdisziplinäre Zusammenarbeit erfordert.

### 2.3.3 Innenentwicklung

Innenentwicklung konzentriert sich auf die Nutzung und Weiterentwicklung bestehender Siedlungen bzw. Siedlungsstrukturen. In vielen westlichen Ländern ist sie ein zentrales Element der Stadt- und Regionalplanung und basiert auf Konzepten und Theorien wie *new urbanism*, *smart growth*, *compact city*, *urban densification* oder *urban intensification* (Jacobs, 1961; Williams, 1999; for the New Urbanism, 2000; Reeds, 2011; Teller, 2021; Anabtawi, 2023). Ziel der Innenentwicklung ist es, das Wachstum auf der grünen Wiese zu minimieren und gleichzeitig kompakte Siedlungsstrukturen zu schaffen. Die Vorteile der Innenentwicklung sind dabei - ausgehend von unterschiedlichen empirischen Studien - vielfältig und reichen von einer höheren Nutzung von Verkehrsmitteln des Umweltverbands über einen geringeren Energieverbrauch pro Kopf bis hin zu einer höheren Kosten-Nutzen-Effizienz bei städtischen Infrastrukturen sowie einer gesteigerten (wirtschaftlichen) Produktivität und einem geringeren Druck auf ökologisch wertvolle Gebiete im Außenbereich (Renne et al., 2016; Ewing et al., 2016; Kim et al., 2018; Ko und Radke, 2014; Mashhoodi, 2018; Carruthers und Ulfarsson, 2003; Edwards und Xiao, 2009; Ciccone, 2002; Fallah et al., 2011; Barbosa et al., 2010).

Während in der Planungspraxis weitgehend Konsens darüber besteht, dass die Innenentwicklung sowohl das Schließen von Baulücken als auch das (Wieder-)Nutzbarmachen von un-, unter- oder minder genutzten Grundstücken einschließt (Schiller et al., 2021) und Neu- und Ersatzbaumaßnahmen sowie Baumaßnahmen am Gebäudebestand umfasst (siehe Abbildung 2.4), ist sie im Planungsrecht oft mehr ein abstrakter als ein streng definierter juristischer Begriff. Gesetze wie das BauGB, das Schweizer Raumplanungsgesetz (RPG), der französische Code de l'urbanisme oder das niederländische Omgevingswet betonen zwar ihre Bedeutung für eine ressourcenschonende Siedlungsentwicklung, bieten jedoch keine präzisen rechtlichen Definitionen (Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, 2019; Deutscher Bundestag, 2024; L'Assemblée nationale et le Sénat, 2021; Staten-Generaal, 2024). Stattdessen konzentrieren sie sich auf die Ziele, die mit der Innenentwicklung erreicht werden sollen sowie auf die Instrumente, die zur Umsetzung zur Verfügung stehen. Das Fehlen einer klaren rechtlichen Definition ermöglicht eine flexible Anwendung, die auf lokale Gegebenheiten angepasst werden kann, es führt aber auch dazu, dass ihre Messbarkeit regional und national aufgrund fehlender einheitlicher Abgrenzungskriterien stark eingeschränkt wird und Bauvorhaben hinsichtlich ihrer Genehmigung nicht selten eine juristische Prüfung durchlaufen müssen. Definitive Grenzfälle ergeben sich beispielsweise bei Entwicklungen am Siedlungsrand oder bei der Revitalisierung und Umnutzung schlecht integrierter Areale, wie größere und kleinere Konversions- und Brachflächen (z. B. ehemalige Militäranlagen) oder der Bebauung von städtischen Frei- und Grünflächen, die ansonsten wichtige ökologische und soziale Funktionen für die ansässige Bevölkerung erfüllen würden.

Obwohl die Innenentwicklung mittlerweile ein fester Bestandteil moderner Stadtplanung ist, muss darauf hingewiesen werden, dass sie weder wissenschaftlich noch politisch unumstritten ist (Berghauser Pont et al., 2021). Dies liegt nicht zuletzt daran, dass mit ihrer Umsetzung nicht nur positive, sondern auch negative Auswirkungen verbunden sein können. Empirische Studien deuten darauf hin, dass mit höheren Dichten auch Fragen der Verkehrsbelastung und Verkehrssicherheit an Bedeutung gewinnen (Iwata und Managi, 2016). Im Umweltbereich kann die Bebauung und Versiegelung bestehender Grün- und Freiflächen die städtische Wärmeinselwirkung verstärken (Balázs et al., 2009), die Regenwasserversickerung verringern (Kim et al., 2016b; Trudeau und Richardson, 2016) und somit die Hochwasser-

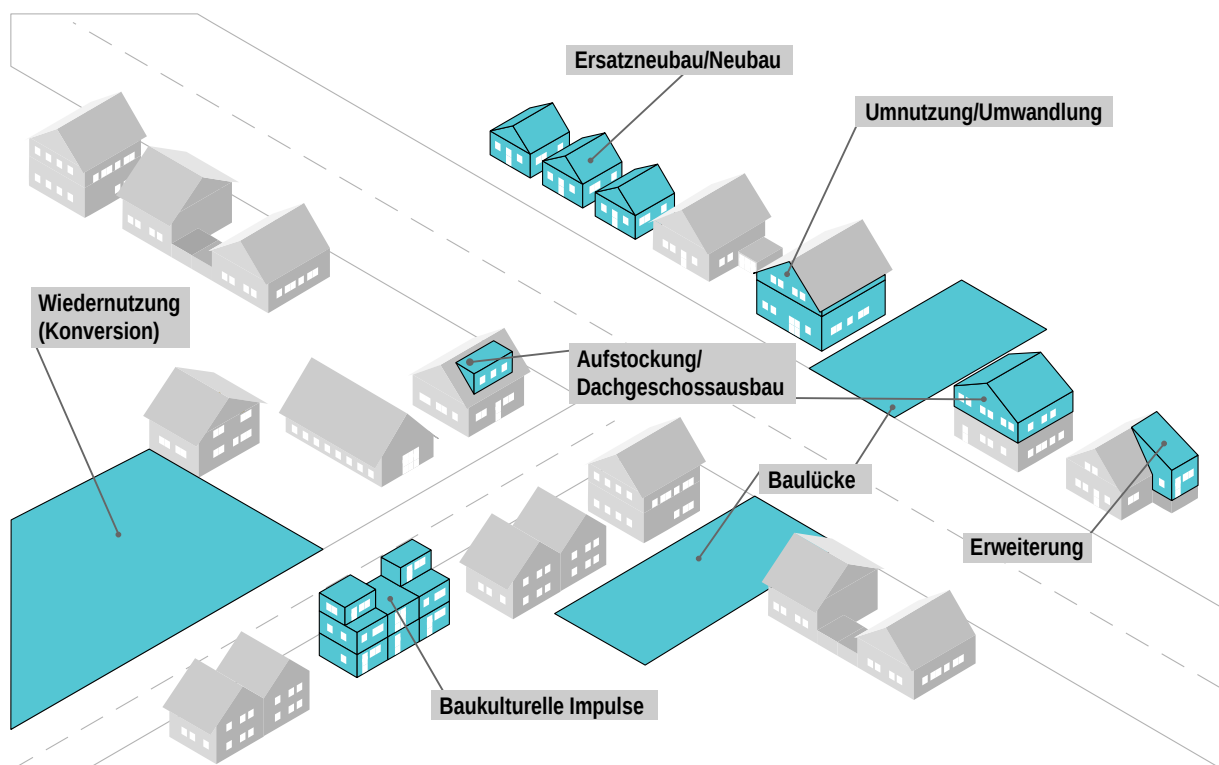


Abbildung 2.5: Arten der Innenentwicklung Quelle: Eigene Darstellung

und Klimawandelvorsorge beeinträchtigen. Neben den ökologischen Auswirkungen birgt die Innenentwicklung zudem soziale Herausforderungen. Hohe Bodenpreise und die damit einhergehenden hohen Baukosten können beispielsweise den Zugang zu (bezahlbarem) Wohnraum erschweren, Gentrifizierungsprozesse fördern und Verdrängungsprozesse bei einkommensschwächeren Bevölkerungsgruppen begünstigen (Pendall und Carruthers, 2003). Höhere Bebauungsdichten und ein Rückgang innerstädtischer Grün- und Freiflächen können in dicht besiedelten Gebieten darüber hinaus klimatische (z. B. häufigere Tropennächte) und gesundheitliche (z. B. erhöhte Hitzebelastung) Missstände, insbesondere für junge und ältere Menschen verschärfen (Clark et al., 2011). Auch Lärm und Dichtestress können zunehmen, was wiederum negative Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Bevölkerung haben kann.

Mit dem Bedeutungsgewinn der Innenentwicklung als planerisches Leitbild seit den 1990er Jahren lässt sich eine steigende Anzahl an wissenschaftlichen Studien beobachten, die sich mit Hilfe geostatistischer Methoden dezidiert mit der Erfassung der Innenentwicklung befassen. Die verschiedenen Mess- und Evaluationsmethoden basieren dabei unter anderem auf raumbezogenen Zensus-, Vektor- oder Fernerkundungsdaten, die sich je nach Land und Datenverfügbarkeit unterscheiden, jedoch durch ihre hochauflösenden Informationen zu Wohnbau- und Nutzungsänderungen eine gemeinsame Grundlage aufweisen. Für Analysen in England nutzen beispielsweise Bibby et al. (2020) Daten der Postcode Address Files (PAFs) der Royal Mail sowie Daten der Land Use Change Statistics (LUCS), um die Wohnbautätigkeit kleinräumig nach *hard* und *soft densification* zu differenzieren. Für die Niederlande greifen Claassens et al. (2020) wiederum auf katastergenaue Daten in einem 100x100m Raster sowie auf offizielle Landnutzungsdaten aus dem Jahr 2000 zurück. Neben der Differenzierung zwischen Innen- und Außenentwicklung ermöglicht ihnen dieses Vorgehen die Wohnbautätigkeit weitergehend nach *brownfield redevelopment*, *greyfield redevelopment*, *residential densification*, und *urban greenfield*

*development* zu klassifizieren. Ähnlich hierzu führen Broitman und Koomen (2015) eine GIS-basierte Analyse durch, um mit Wohnungsdaten und aggregierten Landnutzungsdaten, beide mit einer Auflösung von 100x100m, Veränderungen in der Bebauungsdichte zu untersuchen. Anhand des Münsterlands in Nordrhein-Westfalen (NRW) entwickeln und testen Ehrhardt et al. (2023) einen halbautomatisierten GIS-Prozess, der mit Hilfe von kleinräumigen topographischen Landnutzungsdaten, Flurstücken und Hausumringen Baulücken identifiziert. Im Rahmen einer international vergleichenden Studie untersuchten Götze und Jehling (2023) sowohl in der Schweiz als auch in den Niederlanden städtische Transformationen, indem sie Daten auf Wohneinheitsebene verwendeten. Eichhorn und Siedentop (2022) kombinieren für ihre Analyse der Innenentwicklung am Fallbeispiel des Bundeslandes NRW die fernerkundlichen Daten des Global Human Settlement Layer (GHSL) mit Zensus-Daten auf einem 100x100m Raster.

Trotz der sehr unterschiedlichen Datengrundlagen und Messmethoden kommen die Studien mehrheitlich zu dem Ergebnis, dass Innenentwicklung bzw. Nachverdichtung kein marginaler Prozess, sondern ein in Umfang und räumlicher Verteilung variierendes konstitutives Element der Siedlungsentwicklung ist (Bibby et al., 2020; Broitman und Koomen, 2020, 2015; Eichhorn und Siedentop, 2022; Mustafa et al., 2018; Götze und Jehling, 2023; Claassens et al., 2020). Laut der Studie von Bibby et al. (2020) entstanden in England zwischen 2001 und 2011 beispielsweise drei von fünf zusätzlichen Wohnungen innerhalb bestehender städtischer Gebiete. Dabei resultierten drei Viertel dieser Wohnungen aus Neubauten, während ein Viertel aus der Umwandlung und Aufteilung bestehender Gebäude hervorging. Die Studie zeigt weiter, dass Entwicklungen auf kleinen Grundstücken durch Einzelpersonen einen signifikanten Anteil an neuen Wohnungen und 28,5% aller neuen Wohnungen in städtischen Gebieten ausmachten. Die Studie von Broitman und Koomen (2015) bestätigt diese Ergebnisse und zeigt für die Niederlande, dass zwischen 2000 und 2010 49% der neuen Wohneinheiten in bestehende städtische Flächen, 38% in neue Wohngebiete und 13% in verstreute Entwicklungsgebiete außerhalb zusammenhängender Wohngebiete integriert wurden. Im Rahmen einer quasi Nachfolgerstudie konnten Claassens et al. (2020) auch für einen sieben Jahre längeren Untersuchungszeitraum von 2000 bis 2017 ähnliche räumliche Muster in der Wohnbautätigkeit beobachten. Damit lässt sich für die Niederlande für fast zwei Jahrzehnte ein signifikanter Trend hin zur Innenentwicklung attestieren, der nach den Ergebnissen der beiden Studien jedoch nur geringfügig zum Anstieg der Bebauungsdichte beitragen konnte – was vor allem für eine sukzessive und kleinteilige Anpassung des Wohnungsbestandes spricht. Ehrhardt et al. (2023) dokumentieren anhand ihrer neu entwickelten Messmethode ebenfalls eine Reduktion ungenutzter Grundstücke in allen Gemeindetypen ihrer Fallregion. Die höchsten Reduktionsraten fanden sich dabei in den stärker urbanisierten (mittel-)großen Städten sowie in den zentralen Städten der ländlichen Regionen. Hervorzuheben ist das Ergebnis, dass im Untersuchungszeitraum in kleinen Städten und Landgemeinden eine nicht unerhebliche Anzahl an neuen ungenutzten Grundstücken identifiziert werden konnte. So kam es in diesen Räumen in Summe zu einem Nettozuwachs von 6,5% bzw. 7,6% an neuen Baulücken. Nach den Ergebnissen von Eichhorn und Siedentop (2022) zeigen sich ebenfalls signifikante Unterschiede in der Bedeutung der Innenentwicklung in NRW. Besonders auffällig ist die hohe Relevanz der Innenentwicklung in der Region Rhein-Ruhr, wo in vielen Kommunen über 80% der neuen Wohneinheiten auf bestehende Siedlungsstrukturen entfallen. Im Gegensatz dazu zeigt sich in ländlichen Gebieten wie Südwestfalen oder dem Münsterland ein deutlich geringerer Anteil an Innenentwicklung, der nur etwa 40% erreicht. Zusätzlich weisen die Ergebnisse darauf hin, dass ein höherer Anteil der Innenentwicklung mit einem geringeren Wachstum der bebauten Fläche und einer höheren Siedlungsdichte korreliert.

Die empirischen Ergebnisse deuten daraufhin, dass in den letzten zwei Jahrzehnten ein nicht unerheblicher Anteil der Wohnbautätigkeit in Europa als Innenentwicklung bzw. Nachverdichtung realisiert

werden konnte. Die erfolgreiche Umsetzung von Innenentwicklungsmaßnahmen hängt jedoch von einem komplexen Zusammenspiel räumlicher, ökonomischer, soziodemografischer und sozialer Faktoren ab, die im Folgenden in aller Kürze dargelegt werden sollen. Wohnbauprojekte sind mit hohen Investitionen verbunden. Die Rentabilität ist daher eine zentrale Determinante dafür, ob eine Innenentwicklungsmaßnahme durchgeführt oder nicht. Die Rentabilität wird dabei von Faktoren wie der Lage der Baugrundstücke, der Attraktivität und dem Image des Wohnumfeldes (z. B. aufgrund der Anbindung an den ÖPNV und die nahräumliche Versorgung), den planungsrechtlichen Vorgaben sowie den Kosten für notwendige Sanierungs- oder Entsorgungsmaßnahmen stark beeinflusst (Sousa, 2000; Steinacker, 2003). Während zentrale Lagen beispielsweise die Attraktivität für potenzielle Mieter und Käufer erhöhen können, können hohe Baukosten, insbesondere bei der Sanierung von Altbauten oder der Entwicklung von Brachflächen, die Rentabilität erheblich einschränken. Stellt sich in Folge dessen eine Situation ein, in der die Kosten voraussichtlich höher sind als der Nutzen, kann davon ausgegangen werden, dass privatwirtschaftliche Wohnbauunternehmen das Investitionsrisiko eines solchen Projekts – so erstrebenswert es aus ökologischer Sicht auch sein mag – kaum tragen werden. In einer Vielzahl an Studien konnte darüber hinaus aufgezeigt werden, dass die Umsetzung von Innenentwicklungsmaßnahmen ebenfalls von der Eigentümerstruktur und der Verkaufsbereitschaft der Eigentümerinnen und Eigentümer beeinflusst wird (Götze und Jehling, 2023). Mag das Interesse eines Investors oder Projektentwicklers noch so hoch sein, ein Grundstück baulich zu entwickeln, so sind sie letztlich von der Bereitschaft der Grundstückseigentümer abhängig, ihre Flächen für Bauvorhaben zur Verfügung zu stellen. Wieso Grundstückseigentümer sich gegen einen Verkauf entscheiden, hängt wiederum von sehr unterschiedlichen Gründen ab wie z. B. stabilen Erträgen aus der bestehenden Nutzung, familiären Planungen oder eine Überforderung beim Entscheidungsprozess (Reiß-Schmidt, 2018). Die finanziellen Rahmenbedingungen, wie Niedrigzinsen und steigende Immobilienpreise, haben in den letzten Jahren die Grundstücksspekulation zudem begünstigt. Für viele Eigentümerinnen und Eigentümer erschien es lukrativ und risikofrei, Grundstücke ungenutzt liegen zu lassen, da gegenüber der Geldanlage auf den Finanzmärkten höhere Renditen erzielt werden konnten (Paccoud et al., 2022). Ein weiterer Faktor sind die planungsrechtlichen Rahmenbedingungen wie Bauordnungen und Bebauungspläne, die maßgeblich bestimmen, welche Nutzungen in einem Gebiet möglich sind und welche Anforderungen an die Bebauung gestellt werden. Diese Vorschriften dienen dazu, eine geordnete städtebauliche Entwicklung sicherzustellen und Konflikte zwischen verschiedenen Nutzungen bereits vor dem Bau aufzulösen. Sie können jedoch auch zu langwierigen und bürokratischen Baugenehmigungsverfahren führen und Investoren und Projektentwickler finanziell zusätzlich belasten, wenn bestimmte städtebauliche Qualitätsmerkmale (z. B. Energiestandards, Grünflächenanteil, maximale Bebauungsdichte, Maßnahmen der Hochwasservorsorge) zu erfüllen sind. Aufgrund geringerer Renditeerwartungen kann dies mitunter dazu führen, dass bestimmte Entwicklungsflächen für Investoren und Projektentwickler – trotz günstiger Ausgangsbedingungen – wenig bzw. nicht attraktiv sind (Eichhorn et al., 2024c). Die Akzeptanz der ansässigen Bevölkerung ist eine weitere entscheidende Voraussetzung für den Erfolg von Innenentwicklungsmaßnahmen (Wicki und Kaufmann, 2022). Bedenken der Anwohnerinnen und Anwohner hinsichtlich einer möglichen Erhöhung der Belastung durch Lärm, Verkehr oder Schattenwurf können sich negativ auf die Einstellung gegenüber geplanter Wohnbauprojekte auswirken. Zudem können Ängste vor einer Veränderung des sozialen Gefüges oder einer Verdrängung bestehender Bewohnerinnen und Bewohner bestehen, was die Akzeptanz gegenüber Innenentwicklungsmaßnahmen zusätzlich beeinträchtigen kann.

Im deutschen Kontext gibt es bereits sehr vielversprechende methodische Ansätze, um Innenentwicklungspotenziale zu erfassen (Ehrhardt et al., 2023; Kohleber und Trinemeier, 2018). Input-Daten aus dem

Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationenssystem (ATKIS) oder dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) haben sich in unterschiedlichen Kontexten als geeignet erwiesen, um Grundstücke nach ihrer tatsächlichen Nutzung und ihren räumlichen Eigenschaften (z. B. Größe, Form, Lage) zu beschreiben und so unbebaute oder untergenutzte Grundstücke zu identifizieren. Aufgrund der unterschiedlichen, teils sehr umfangreichen und komplexen Geodaten ist die Erfassung jedoch sehr rechenintensiv und bislang auf ausgewählte Raumeinheiten bzw. Fallregionen beschränkt. Studien zur systematischen und vor allem flächendeckenden Erfassung der Innenentwicklung gibt es im Vergleich dazu bislang kaum. Der wachsende Wohnraummangel, insbesondere in den dynamisch wachsenden Großstadtreionen (siehe Kapitel 1.1), hat einen dringenden Bedarf an effektiven Wegen der Wohnraumschaffung hervorgebracht (Mitschang, 2019). Es kann durchaus angenommen werden, dass neben der eher zurückhaltenden Evaluationskultur in Deutschland (Diller et al., 2021) dies ein zentraler Grund dafür ist, warum in den letzten Jahren der Entwicklung von Tools zur (halb-)automatischen Erfassung von Innenentwicklungspotenzialen sowohl in der Praxis als auch in der Wissenschaft deutlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt wurde als der Ex-Post-Evaluation der Innenentwicklung. Demnach gibt es – trotz der bestehenden nationalen Flächenspar- und Innenentwicklungsziele – kaum oder lediglich auf einzelne Teilräume bezogene robuste Informationen darüber, wie sich die Wohnbautätigkeit in den letzten Jahrzehnten räumlich bzw. zwischen Innen- und Außenentwicklung vollzogen hat.

## 2.4 Zwischenfazit

Die Forschung zur Steuerung der Siedlungsentwicklung zeigt, dass Mess- und Evaluationsmethoden in den Bereichen der Regionalplanung, der Innenentwicklung und der Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV weit verbreitet sind. *Remote Sensing* und offene amtliche (Geo-)Daten – wie Fahrplanauskünfte, Gebäudefootprints und Flächennutzungsdaten – ermöglichen dabei zunehmend eine präzisere, validere und aktuellere Datenerhebung und -auswertung. Diese Entwicklungen schaffen neue Perspektiven, um kleinräumige Entwicklungstrends zu erfassen und zu analysieren. Dadurch können sowohl die Steuerungswirksamkeit der übergeordneten Planung als auch die Effekte von TOD-Strategien und Innenentwicklungsmaßnahmen differenzierter bewertet werden. Dennoch zeigt der Vergleich mit Ländern wie den USA oder Asien, dass es in Deutschland weiterhin eine vergleichsweise geringe Anzahl empirischer Studien gibt, die diese Potenziale vollständig ausschöpfen. Die Bereitstellung offener amtlicher Daten befindet sich in Deutschland erst in einer frühen Entwicklungsphase. Dies erschwert die Nutzung moderner Analysetools und die Entwicklung innovativer Messmethoden im Vergleich zu Ländern mit stärker etablierten *Open Data* Initiativen. Die geringe Verfügbarkeit konsistenter und standardisierter Daten hat dazu geführt, dass empirische Studien zur Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung, zur Bewertung von Bahnhaltepunkten und zur Erfassung von Innenentwicklungsmaßnahmen nur in begrenztem Umfang durchgeführt wurden. Es fehlen methodische Ansätze, die verschiedene Datentypen integrieren und kombinieren und für großräumige sowie kleinräumige Analysen nutzbar machen.

- **Erhöhte Präzision und Aktualität:** Höher aufgelöste *Remote Sensing* Daten und offene Geodaten ermöglichen eine präzisere Erfassung kleinräumiger Trends, wie z. B. die Veränderungen in der Flächennutzung oder die Dichte der Bebauung. Für die Bewertung von Innenentwicklungsmaßnahmen oder Bahnhaltepunkten könnten diese Daten genutzt werden, um Maßnahmen zu bewerten und Trends frühzeitig zu erkennen.

- **Validität durch Datengrundlagen:** Die Verfügbarkeit amtlicher Daten als offene Geodaten, wie Gebäudefootprints oder Flächennutzungspläne, verbessert die Validität von Modellen, die räumliche und planerische Zusammenhänge untersuchen. Diese können in integrativen Ansätzen genutzt werden, um regionale und lokale Entwicklungsprozesse besser zu verstehen.
- **Neue methodische Ansätze:** *Remote Sensing* bietet eine vielversprechende Alternative, um Messmethoden weiterzuentwickeln. Beispielsweise könnten Bodenversiegelung, Vegetationsverlust oder urbane Verdichtung aus Satellitendaten extrahiert und in die Evaluation von Regionalplänen und Innenentwicklungsmaßnahmen integriert werden.
- **Potential für Standardisierung und Praxisintegration:** Eine gestärkte Open Data Infrastruktur könnte zur Entwicklung standardisierter Indikatoren beitragen, die sich auf die Bewertung von Steuerungsansätzen wie TOD oder Innenentwicklung anwenden lassen. Diese Indikatoren könnten Planern und Entscheidungsträgern helfen, Maßnahmen besser zu kommunizieren und anzupassen.

Die Entwicklung von Mess- und Evaluationsmethoden, die diese Potenziale stärker ausschöpfen, ist daher von zentraler Bedeutung. Die vorliegende Dissertation möchte dazu beitragen, indem sie Ansätze zur Analyse und Bewertung der Steuerungswirksamkeit regionalplanerischer Steuerungsansätze entwickelt. Die Weiterentwicklung solcher Messmethoden und deren Anwendung in der Praxis könnte dabei nicht nur zur Verbesserung der Steuerung der Siedlungsentwicklung beitragen, sondern auch eine nachhaltigere und präzisere Umsetzung von Raumplanungszielen ermöglichen.



# Kapitel 3

## Forschungsdesign

### 3.1 Forschungs- und Untersuchungsperspektiven

Die vorliegende kumulative Dissertation widmet sich den in der Einleitung identifizierten und vorgestellten Forschungsbedarfen auf Grundlage von drei Forschungs- bzw. Untersuchungsperspektiven. Basierend auf zentralen Begrifflichkeiten der Evaluationsforschung kommen in den drei wissenschaftlichen Fachartikeln Ex-post- und Ex-ante-Evaluationen zum Einsatz (siehe Kapitel 2.3). Die kumulative Dissertation befasst sich demnach sowohl mit der Abschätzung und Beurteilung von bereits eingetretenen als auch zukünftigen Maßnahmen und Wirkungen (siehe Abbildung 2.2). Der Auswahl der angewendeten Untersuchungsansätze liegen maßgeblich die Erkenntnisse aus dem Stand der Forschung zu Grunde, durch die die entsprechenden Forschungsbedarfe und Forschungslücken herausgearbeitet werden konnten und für die ein signifikanter wissenschaftlicher Beitrag durch die kumulative Dissertation erbracht werden kann. Methodisch lassen sich die Dissertationsartikel durchgehend der quantitativen Forschung zuordnen. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf systematischen und datengetriebenen Analysen, wobei die Verwendung von räumlichen Daten von herausragender Bedeutung ist.

#### 3.1.1 Artikel 1: Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung

Der Artikel „From policies to outcomes: multi-level analysis of the influence of regional planning on land take“ zielt darauf ab, die Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme unter Berücksichtigung relevanter lokaler und regionaler Einflussfaktoren zu analysieren. Insgesamt widmet sich die Studie drei zentralen Forschungsfragen:

- **Forschungsfrage 1:** Führt eine strengere Regulierung durch regionale Planung zu geringerem Flächenverbrauch?
- **Forschungsfrage 2:** Wie beeinflussen lokale Interessengruppen den Flächenverbrauch?
- **Forschungsfrage 3:** Welchen Einfluss haben lokale Interessengruppen auf den Flächenverbrauch im Rahmen der regionalen Planungsregulierung?

#### Messmethode und Untersuchungsraum

Zur Beantwortung der Forschungsfragen kombiniert die Studie geostatistische Analysemethoden mit kleinräumigen Geodaten und Informationen zur regionalplanerischen Regulierung. Dieser methodische

Ansatz ermöglicht eine differenzierte räumliche Analyse der Siedlungsentwicklung und der Faktoren, die die Siedlungsentwicklung beeinflussen. Theoretisch basiert die Untersuchung auf Annahmen der *Home-voter-Hypothese*, der *Urban Growth Machine* und der Theorie der Eigentumsrechte (siehe Kapitel 2.1). Diese Theorien liefern nützliche Perspektiven für das Verständnis der Interaktionen zwischen Planung, gesellschaftlichen Interessengruppen und kommunalen und regionalen Rahmenbedingungen.

Die Datengrundlagen umfassen Geodaten mit landesweiter Abdeckung und detaillierten Informationen zu Landnutzungsänderungen auf Mikroebene sowie spezifische Indikatoren zur regionalplanerischen Regulierung und zu Interessengruppen und Kontextfaktoren. Die zentral untersuchte abhängige Variable ist die Veränderung der als Wohn- und Mischgebiete ausgewiesenen Flächen, die die Auswirkungen regionalplanerischer Regulierung auf die Siedlungsentwicklung abbildet. Diese Daten wurden durch einen Change-Detection-Ansatz erfasst, der räumliche Veränderungen zwischen Landnutzungsklassen auf Mikroebene misst und damit eine quantitative Analyse der Steuerungswirksamkeit regionaler Bodenpolitik unter Berücksichtigung sehr detaillierter Eingangsdaten ermöglicht (Jehling et al., 2016; Schorcht et al., 2016).

Zur Einbeziehung der regionalplanerischen Regulierung in die Regressionsmodelle wird der Index der regionalplanerischen Regulierungsintensität von Pehlke und Siedentop (2021) herangezogen, der zentrale Steuerungsansätze quantifiziert, die von Regionalplanungsbehörden für ihre jeweilige Planungsregion vorgegeben werden (siehe Tabelle 2.1). Dazu gehören die Mengensteuerung, Dichtevorgaben, der Vorrang der Innenentwicklung, die Eigenentwicklung, klein- und großräumige Standortsteuerung sowie die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV. Die unabhängigen Variablen umfassen Daten, die Interessengruppen und kontextuelle Faktoren auf Ebene der Verbandsgemeinden und der Planungsregionen operationalisieren, wie etwa den Einfluss von Wohneigentümern (als Proxy der *Home-voter-Hypothese*) gemessen am Anteil der Einfamilienhäuser in einer Kommune, die in Deutschland zu rund 80% selbst genutzt werden (Deschermeier et al., 2020). Der Anteil der 25- bis 30-Jährigen, eine relevante Altersgruppe für den Erwerb von Einfamilienhäusern, wird ebenfalls berücksichtigt, um den Effekt potenzieller Erstkäufer auf die Flächeninanspruchnahme zu untersuchen. Politische Einstellungen werden anhand der Bundestagswahlergebnisse 2009, 2013 und 2017 gemessen, wobei der durchschnittliche Stimmenanteil für die Parteien Christlich Demokratische Union (CDU), Freie Demokratische Partei (FDP), Alternative für Deutschland (AfD) als Proxy für das politische Umfeld einer Kommune dient.

Zur Bewertung des Einflusses kontextueller Umweltmerkmale wird die pro Kopf verfügbare Freifläche einer Gemeinde verwendet. Der Grad der Urbanisierung wird anhand der Wohnungsdichte erfasst, berechnet als Verhältnis von Wohneinheiten zu Wohn- und Mischgebietsflächen. Zur Einschätzung der Bezahlbarkeit von Wohnraum wird ein Maß verwendet, das Einkommen und durchschnittliche Hauspreise kombiniert. Zusätzlich wird der zentralörtliche Status einer Gemeinde (Mittel- oder Oberzentrum) als Einflussfaktor auf die Flächeninanspruchnahme mittels einer Dummy-Variable modelliert.

Als Fallstudie dient Deutschland. Deutschland bietet sich als Fallstudie an, da das Land sowohl eine hohe räumliche Datenverfügbarkeit als auch detaillierte Informationen zur Regionalplanung aufweist. Zudem ermöglichen die föderale Struktur und die Vielfalt an regionalen Planungsansätzen eine differenzierte Analyse der Einflüsse regionaler Steuerungsmechanismen auf die lokale Flächeninanspruchnahme.

## Analyseansatz

Zur Verarbeitung der oben angeführten Daten kommt im Rahmen der Mess- und Evaluationsmethode ein Mehrebenen-Regressionsansatz, auch Multi-Level-Regression (MLR) genannt, zum Einsatz. Eine MLR ist eine statistische Methode, die es ermöglicht, hierarchisch strukturierte Daten zu analysieren, bei denen

Beobachtungen auf mehreren Ebenen verschachtelt sind (Snijders und Bosker, 2011). Bei der Regionalplanung, die mit ihrem Regionalplan und ihren darin enthaltenen Festlegungen die lokale Bauleitplanung adressiert, bietet sich diese Methode demnach besonders an. Die MLR erlaubt es, die Abhängigkeiten und Interaktionen zwischen diesen Ebenen zu modellieren und dabei sowohl den Einfluss der übergeordneten Planungsinstanzen als auch die lokalen Besonderheiten zu berücksichtigen. Das Standardmodell der MLR lässt sich dabei folgendermaßen formalisieren:

$$y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_{ij} + u_j + \epsilon_{ij}$$

Hierbei bezeichnet  $y_{ij}$  den Wert der abhängigen Variable (z. B. Siedlungsentwicklung) für die  $i$ -te Beobachtung in der  $j$ -ten Gruppe (z. B. Gemeinde in einer bestimmten Planungsregion). Die unabhängige Variable  $x_{ij}$  kann eine spezifische Einflussgröße darstellen, wie etwa die Bevölkerungsentwicklung. Der Term  $u_j$  ist der Zufallsinterzept für die  $j$ -te Gruppe, der den Gruppenunterschied auf der höheren Ebene berücksichtigt. Schließlich repräsentiert  $\epsilon_{ij}$  den Residualfehler auf der Beobachtungsebene. Ein entscheidender Vorteil der MLR ist die Möglichkeit, Kontexteffekte zu berücksichtigen. Diese Effekte lassen sich im Modell durch die Einbindung von Gruppenspezifischen Interzepten darstellen:

$$u_j \sim \mathcal{N}(0, \sigma_u^2)$$

Dieser Ausdruck besagt, dass die Zufallseffekte  $u_j$  auf der höheren Ebene  $j$  normalverteilt sind, mit einem Mittelwert von 0 und einer Varianz  $\sigma_u^2$ . In der Regionalplanung bedeutet dies beispielsweise, dass die Entwicklungsdynamik einer Gemeinde im Kontext der übergeordneten regionalen Rahmenbedingungen analysiert werden muss. Die Siedlungsentwicklung kann innerhalb einer Region stark variieren, etwa aufgrund unterschiedlicher sozioökonomischer Bedingungen, geografischer Merkmale oder soziodemografischer Entwicklungen. Diese Heterogenität führt zu einer natürlichen Gruppierung (Clustering) der Daten, die von der MLR explizit berücksichtigt wird. Wenn wir beispielsweise den Einfluss eines regionalen Steuerungsinstruments  $z_j$  auf die Siedlungsentwicklung modellieren wollen, kann dies als fester Effekt in eine MLR hinzugefügt werden:

$$\beta_0 = \gamma_0 + \gamma_1 z_j + v_j$$

In dieser Formel beschreibt  $\gamma_1 z_j$  den festen Effekt des regionalen Instruments  $z_j$ , während  $v_j$  eine weitere Zufallskomponente darstellt, die die Varianz auf der regionalen Ebene berücksichtigt. Die MLR erlaubt somit eine Unterscheidung zwischen den Einflüssen innerhalb und zwischen den Gruppen, was zu verlässlicheren Schätzungen der Steuerungswirksamkeit führt.

### 3.1.2 Artikel 2: Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV

Der Artikel „Bewertung und Klassifizierung von Bahnhaltepunkten in Nordrhein-Westfalen. Ein methodischer Ansatz zur Operationalisierung von "Transit-Oriented-Development"“ hat das Ziel, Bahnhaltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs zu bewerten und zu klassifizieren, um deren Eignung für eine am ÖPNV ausgerichtete Siedlungsentwicklung zu bestimmen. Im Zentrum der Studie stehen die folgenden drei Zielstellungen:

- **Zielstellung 1:** Entwicklung eines methodischen Ansatzes zur Operationalisierung von TOD

- **Zielstellung 2:** Explorative Anwendung der Methode zur Bewertung und Klassifizierung von Bahnhaltepunkte anhand einer bundeslandweiten Fallstudie
- **Zielstellung 3:** Ableitung von Empfehlungen für Stadtplaner und Entscheidungsträger zur Förderung einer integrierten Siedlungs- und Verkehrsentwicklung

### Messmethode und Untersuchungsraum

Um die Zielstellungen zu adressieren, werden kleinräumige Geodaten im Rahmen einer GIS-Analyse verarbeitet. Der *Node-Place*-Ansatz nach Bertolini (1996) stellt den theoretisch-konzeptionellen Rahmen des Dissertationsartikels dar. Die Bewertung und Klassifizierung der Bahnhaltepunkte erfolgt somit sowohl anhand von Eigenschaften der Haltepunkte als auch ihrer fußläufigen Einzugsbereiche. Im Rahmen der Studie schließen Haltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs alle Haltepunkte ein, die entweder von einem Regionalexpress (RE), einer Regionalbahn (RB), einer S-Bahn, einem InterCity (IC) oder InterCity Express (ICE) angefahren werden. Während eine Vielzahl an bestehenden Studien die Einzugsbereiche der Haltepunkte über konzentrische Ringe mit unterschiedlichen Radii abgrenzt (Greene et al., 2017; Loo et al., 2017; Liang et al., 2020) werden im Rahmen des Dissertationsartikels die Einzugsbereiche als Isochrone mit einer maximalen Gehzeit von 15 Minuten um die Haltepunkte definiert. Vom originären 6-D-Modell des TOD (siehe Kapitel 2.3.2) konnten die fünf Dimensionen *Destination Accessibility*, *Density*, *Diversity*, *Distance to Transit* und *Demand Management* operationalisiert werden (Knowles et al., 2020). Die Dimension *Design* blieb aufgrund unzureichender flächendeckender Datengrundlagen zum Zeitpunkt der Studie unberücksichtigt. Das 6-D-Modell wird jedoch um die Dimensionen *Development Costs* und *Development Potential* erweitert.

- *Destination Accessibility* wird durch die Taktfrequenz im Regional- (RE, RB, S-Bahn) und Fernverkehr (IC, ICE), das Umsteigepotenzial im Einzugsbereich (U-Bahn-, Tram- und Bushaltepunkte) sowie das regionale Bevölkerungspotenzial ermittelt.
- Für die Dimension *Density* wird die Siedlungsdichte anhand der kleinräumigen Bevölkerungsdaten aus dem Zensus-Grid 2011 und den ATKIS-Flächennutzungsklassen Wohn- und Mischnutzung berechnet.
- Die Dimension *Diversity* wird zum einen mit Hilfe des Shannon-Index auf Basis der ATKIS-Flächennutzungsklassen berechnet (Spellerberg und Fedor, 2003). In Anlehnung an den Walkscore® wird die Nutzungsmischung zum anderen über die nahräumliche Versorgung bzw. fußläufige Erreichbarkeit von unterschiedlichen Einrichtungen der Daseinsvorsorge (z. B. Restaurants, Apotheken) abgebildet (Hall und Ram, 2018).
- Die Dimension *Distance to Transit* wird über die Länge des Fußwegenetzes im Einzugsbereich der Haltepunkte ermittelt.
- Zur Messung der Dimension *Demand Management* werden die Verfügbarkeit von Parkplatzflächen und das Vorhandensein von Park+Ride-Angeboten in einem Radius von 200m um die Bahnhaltepunkte erfasst.
- Die Operationalisierung der Dimension *Development Costs* erfolgt durch die Berechnung eines flächengewichteten durchschnittlichen zonalen Bodenrichtwerts (zBRW).

- Für die Dimension *Development Potential* werden nicht-baulich geprägte potenzielle Entwicklungsflächen identifiziert, wobei Gewässer, Waldflächen, Flächen mit einer Hangneigung von über 15° sowie kleinere Flächen mit weniger als 1.000 m<sup>2</sup> und solche mit ungeeignetem Flächenzuschnitt ausgeschlossen.

Als Untersuchungsraum für die Studie dient das Bundesland NRW, in dem insgesamt 747 Haltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs bewertet und klassifiziert werden. Zur Messung und Operationalisierung von TOD bietet sich NRW aus mehreren Gründen an. Mit einer Bevölkerungsdichte von 525,7 Einwohnern pro km<sup>2</sup> und einer bereits hohen Flächennutzung für Siedlung und Verkehr steht NRW vor der Aufgabe, die begrenzten Flächenressourcen effizient zu nutzen und das städtische Wachstum nachhaltig zu gestalten. Ein zentraler Aspekt der Lebensqualität und der ökologischen Nachhaltigkeit in dicht besiedelten Gebieten wie NRW ist die enge Verbindung von Wohn-, Arbeits- und Mobilitätsstrukturen. Im Rahmen der Studie kann daher exemplarisch untersucht werden, welchen Beitrag TOD leisten kann, um den steigenden Mobilitätsbedarf nachhaltig zu steuern und gleichzeitig dem Flächenmangel und der Wohnungsnachfrage zu begegnen.

### Analyseansatz

Zur Klassifizierung der Bahnhofpunkte wird eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt. Dabei werden die operationalisierten TOD-Dimensionen und ermittelten Daten zunächst z-standardisiert, um eine Vergleichbarkeit und Gleichgewichtung der verschiedenen Dimensionen innerhalb der Clusteranalyse sicherzustellen. Die Z-Standardisierung berechnet für jede Variable  $x$  den z-standardisierten Wert  $z$  folgendermaßen:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

wobei  $z_{ij}$  der z-standardisierte Wert des Datenpunktes  $i$  in der Dimension  $j$  ist,  $x_{ij}$  der Originalwert des Datenpunktes  $i$  in der Dimension  $j$ ,  $\bar{x}_j$  der Mittelwert der Dimension  $j$  und  $s_j$  die Standardabweichung der Dimension  $j$  ist. Durch diese Standardisierung wird eine einheitliche Skala für alle Dimensionen mit einem Mittelwert von 0 und einer Standardabweichung von 1 ermittelt. Anschließend wird eine Distanzmatrix zur Messung der Ähnlichkeit zwischen den Bahnhofpunkten berechnet. Hierzu wird die euklidische Distanz verwendet:

$$d(i, k) = \sum_{j=1}^p (z_{ij} - z_{kj})^2$$

wobei  $d(i, k)$  die Distanz zwischen den Punkten  $i$  und  $k$  ist,  $p$  die Anzahl der Dimensionen (Variablen) und  $z_{ij}$  und  $z_{kj}$  die z-standardisierten Werte der Punkte  $i$  und  $k$  in Dimension  $j$  sind. Zur Clusterbildung wird die Ward-Fusionierungsmethode angewandt. Diese Methode minimiert die Varianz innerhalb der Cluster, indem sie bei jedem Schritt diejenigen Cluster zusammenführt, deren Fusion die geringste Zunahme der Gesamtvarianz verursacht. Hierbei wird das Kriterium der Varianzminimierung verwendet:

$$D(A, B) = \frac{n_A \cdot n_B}{n_A + n_B} \cdot \|\mu_A - \mu_B\|^2$$

wobei  $n_A$  und  $n_B$  die Größen der Cluster  $A$  und  $B$  und  $\|\mu_A - \mu_B\|$  die euklidische Distanz zwischen den Clusterzentren  $\mu_A$  und  $\mu_B$  ist. Diese Vorgehensweise maximiert die Differenz zwischen den Clusterzentren und ermöglicht eine präzise und sinnvolle Typisierung der untersuchten Bahnhaltdepunkte.

### 3.1.3 Artikel 3: Quantifizierung der Innenentwicklung

Der Artikel „Infilling in Germany. Estimating the extent of infilling in German municipalities between 1979 and 2011“ hat das Ziel, die Innenentwicklung in Deutschland retrospektive abzuschätzen und mögliche Einflussfaktoren auf deren Umfang zu identifizieren. Die theoretische Grundlage der Arbeit bilden Überlegungen von Theorien bzw. Konzepten wie dem *New Urbanism* und *Smart Growth*, die der gezielten Innenentwicklung in urbanen Gebieten eine bedeutende Rolle in der Umsetzung einer ressourcenschonenden Siedlungsentwicklung beimessen. Im Zentrum der Studie stehen die folgenden vier Forschungsfragen:

- **Forschungsfrage 1:** Wie hoch ist der Anteil der Innenentwicklung und welche räumlichen Muster sind in Deutschland zwischen 1979 und 2011 zu beobachten?
- **Forschungsfrage 2:** Gibt es systematische Unterschiede bei der Innenentwicklung zwischen städtischen und ländlichen Räumen?
- **Forschungsfrage 3:** Inwieweit prägen Ein- oder Mehrfamilienhäuser die Innen- und Außenentwicklung?
- **Forschungsfrage 4:** Welche Faktoren beeinflussen die Innenentwicklung in den Städten und Gemeinden?

#### Messmethode und Untersuchungsraum

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wird eine GIS-Analyse verwendet, mit der die Wohnbautätigkeit nach vier diskreten Lagetypen (Innenbereich, innerer Siedlungsrand, äußerer Siedlungsrand und Außenbereich) und zwei Gebäudetypen (Einfamilien- und Mehrfamilienhaus) unterschieden werden kann. Zentrale Datengrundlagen bilden der GHSL und die kleinräumigen Daten des Zensus-Grid 2011 (Corbane et al., 2019; Statistisches Bundesamt, 2024). Der GHSL ermöglicht es, weltweit bebaute und unbebaute Flächen in verschiedenen Zeiträumen (1975, 1990, 2000, 2014) mit einer Auflösung von  $\sim 38\text{m}$  zu unterscheiden. Die Zensusdaten enthalten flächendeckend für Deutschland in  $100\text{x}100\text{m}$  Gitterzellen detaillierte Informationen zu Wohngebäuden, Wohnungen sowie Gebäudetypen und Baujahr. Die Messmethode bestimmt den Anteil der Innenentwicklung, indem sie prüft, ob die Zentroide der  $100\text{x}100\text{m}$  Gitterzellen mit neu gebauten Wohneinheiten innerhalb oder außerhalb der in den GHSL-Daten erfassten bebauten Flächen liegen. Für die Untersuchungszeiträume 1979-1990, 1991-2000 und 2001-2011 werden die bebauten Flächen aus dem GHSL der Jahre 1975, 1990 und 2000 damit zur Annäherung von Wohnbauprojekten nach § 30 und § 34 BauGB verwendet.

Deutschland wird für die Studie als Fallbeispiel gewählt, da es als dicht besiedeltes Land mit einer intensiven Flächennutzung und vielfältigen urbanen Strukturen repräsentativ für die Herausforderungen und Potenziale einer ressourcenschonenden Innenentwicklung steht. Zudem verfolgt Deutschland das Ziel die Flächeninanspruchnahme mit Hilfe einer verstärkten Innenentwicklung zu reduzieren, was das Land zu einem relevanten Anwendungsbeispiel zur Messung und Analyse der Innenentwicklung macht.

Die Ergebnisse können vor diesem Hintergrund nicht nur die Effekte deutscher Stadt- und Regionalentwicklungspolitik evaluieren, sondern auch wertvolle Erkenntnisse für andere Länder liefern, die ähnliche Herausforderungen bei der nachhaltigen Steuerung des Siedlungswachstums bewältigen müssen.

### Analyseansatz

Neben der deskriptiven Auswertung und kartographischen Darstellung der Innenentwicklungsanteile auf Ebene der Verbandsgemeinden wird mithilfe des Anselin Local Moran's I eine räumliche Clusteranalyse durchgeführt, um statistisch signifikante Cluster mit hohen (Hotspots) oder niedrigen (Coldspots) Anteilen der Innenentwicklung für die einzelnen Untersuchungszeiträume zu identifizieren. Der lokale Moran's I lässt sich dabei folgendermaßen formalisieren:

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

wobei  $I_i$  der lokale Moran's I-Wert für die Einheit  $i$  ist (z. B. eine Gemeinde). Der Term  $z_i$  bezeichnet den standardisierten Wert der beobachteten Variablen für die Einheit  $i$ , berechnet als  $z_i = x_i - \bar{x}$ , wobei  $x_i$  der Wert für Einheit  $i$  und  $\bar{x}$  der Mittelwert über alle Einheiten ist. Der Faktor  $w_{ij}$  ist der räumliche Gewichtungsfaktor zwischen den Einheiten  $i$  und  $j$ , der die Nachbarschaftsstruktur definiert (z. B.  $w_{ij} = 1$  für benachbarte Einheiten und  $w_{ij} = 0$  für nicht benachbarte Einheiten). Schließlich ist  $z_j$  der standardisierte Wert der beobachteten Variablen für die Nachbareinheit  $j$ .

Ergänzend zu den GIS-Analysen wird eine OLS-Regression durchgeführt, um den Anteil der Innenentwicklung auf Ebene der Verbandsgemeinden mit Hilfe unterschiedlicher Kontextvariablen zu erklären. Dabei dient der über die GIS-Analyse ermittelte Anteil der Innenentwicklung als abhängige Variable. Als erklärende unabhängige Variablen werden der Anteil der bebauten Fläche, die städtische Zersiedelung, die Wohnungsdichte sowie die Bevölkerungsentwicklung und die regionalplanerische Regulierungsintensität verwendet. Die OLS-Regression lässt sich folgendermaßen formalisieren:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \epsilon_i$$

wobei  $y_i$  die abhängige Variable (Anteil der Innenentwicklung) für die Einheit  $i$  ist,  $\beta_0$  der Achsenabschnitt,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  die Regressionskoeffizienten der unabhängigen Variablen  $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}$  darstellen und  $\epsilon_i$  den Fehlerterm für Einheit  $i$  bezeichnet. Die OLS-Regression beschränkt sich im Vergleich zur deskriptiven Analyse ausschließlich auf die Zeiträume 1991-2000 und 2011-2011. Grund hierfür ist das Fehlen von Daten mehrerer unabhängiger Variablen auf Ebene der Verbandsgemeinden für den Untersuchungszeitraum 1979-1990.

## 3.2 Kriterien zur Bewertung der Mess- und Evaluationsmethoden

In Anlehnung an die Ausführungen zum Monitoring und zur Evaluation in Kapitel 2.3 werden im Folgenden Kriterien definiert, mit denen im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgezeigt werden soll, welche Funktionen die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden in Bezug auf die Planungspraxis erfüllen. Da sich die Mess- und Evaluationsmethoden dabei explizit an der Schnittstelle zwischen Monitoring und Evaluation verorten lassen, basieren diese Kriterien auf einer kombinierten Matrix, die die Funktionen von Monitoring und Evaluation zusammenführt (siehe Tabelle 2.2). Für die Bewertung der Mess- und

Evaluationsmethoden ergeben sich darauf aufbauend die folgenden übergeordneten Kriterien, die die Diskussion zur Praxisrelevanz der Mess- und Evaluationsmethoden und der Ergebnisse leiten sollen:

- **Informations- und Erkenntnisgewinn:** Dieses Kriterium umfasst die systematische Erhebung und Bereitstellung von Daten und Erkenntnissen zur Unterstützung von Planungsentscheidungen. Mess- und Evaluationsmethoden, die dieses Kriterium erfüllen, ermöglichen ein fundiertes Verständnis der Ausgangssituation. Sie liefern eine Wissensgrundlage für Entscheidungen und unterstützen die Priorisierung von Maßnahmen basierend auf belastbaren Informationen.
- **Analyse und Verifikation:** Dieses Kriterium umfasst die tiefgehende Untersuchung von Zusammenhängen sowie die Überprüfung von Annahmen und Ergebnissen. Mess- und Evaluationsmethoden, die dieses Kriterium erfüllen, helfen, Ursache-Wirkungs-Beziehungen besser zu verstehen und gezielte Maßnahmen zu entwickeln. Sie verifizieren Daten und Ergebnisse, um Planungsprozesse belastbar zu gestalten, und identifizieren Schwachstellen und Optimierungspotenziale in bestehenden Planungen.
- **Kontrolle und Legitimation:** Dieses Kriterium umfasst die Überprüfung der Zielerreichung sowie die Legitimation von Maßnahmen gegenüber den relevanten Akteuren. Mess- und Evaluationsmethoden, die dieses Kriterium erfüllen, stellen sicher, dass gesetzte Ziele erreicht werden und Ressourcen effizient eingesetzt sind. Sie fördern Vertrauen und Transparenz in Planungsprozessen durch objektive Nachweise und unterstützen die Nachvollziehbarkeit und Legitimation von Entscheidungen gegenüber der Öffentlichkeit und politischen Gremien.
- **Adaptive Steuerung und Frühwarnsysteme:** Dieses Kriterium umfasst die frühzeitige Erkennung von Risiken und Chancen zur Sicherung der Zielerreichung. Mess- und Evaluationsmethoden, die dieses Kriterium erfüllen, unterstützen proaktives Handeln durch die Identifikation von Trends und Abweichungen. Sie reduzieren potenzielle Schäden durch rechtzeitige Interventionen und stärken die Anpassungsfähigkeit und Nachhaltigkeit von Planungsprozessen.
- **Transparenz und Kommunikation:** Dieses Kriterium umfasst die Nachvollziehbarkeit von Prozessen und Ergebnissen sowie den Austausch zwischen Akteuren. Mess- und Evaluationsmethoden, die dieses Kriterium erfüllen, erhöhen das Vertrauen in die Planungsarbeit durch klare und offene Kommunikation. Sie erleichtern die Zusammenarbeit und Abstimmung zwischen unterschiedlichen Akteuren und schaffen Akzeptanz und Unterstützung durch eine verständliche Darstellung der Ergebnisse.
- **Lernen und Weiterentwicklung:** Dieses Kriterium umfasst die iterative Verbesserung von Planungsprozessen und Instrumenten durch die Rückkopplung von Ergebnissen und Erkenntnissen. Mess- und Evaluationsmethoden, die dieses Kriterium erfüllen, fördern die Reflexion und kontinuierliche Anpassung von Strategien und Maßnahmen. Sie schaffen eine Kultur des Lernens und der Innovation innerhalb von Planungsinstitutionen und stärken die Resilienz durch die Fähigkeit, auf Veränderungen und neue Herausforderungen flexibel zu reagieren.

Die entwickelten Kriterien verbinden die Funktionen von Monitoring und Evaluation und spiegeln deren Mehrwert für die Planungspraxis wider. Sie schaffen einen integrativen Ansatz, der sowohl die Kontrolle und Analyse als auch das Lernen und die Kommunikation stärkt. Diese Kriterien bilden eine belastbare Grundlage, um die Relevanz der entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden für eine praxisorientierte Regionalplanung zu bewerten und zu kontextualisieren.

# Kapitel 4

## Empirische Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die zentralen Ergebnisse der drei Dissertationsartikel vorgestellt. Für detailliertere Ausführungen wird auf die jeweiligen Artikel verwiesen, die sich in ihrer veröffentlichten Form in Teil II des Rahmentexts befinden.

### 4.1 Artikel 1

*Der folgende Abschnitt fasst die wichtigsten Ergebnisse des Zeitschriftenartikels „From policies to outcomes: multi-level analysis of the influence of regional planning on land take“ zusammen, der in der Fachzeitschrift *European Planning Studies* im Jahr 2024 veröffentlicht wurde. Die vollständige Fassung findet sich in Teil II des Rahmentextes.*

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass ein signifikanter Teil der Variabilität in der Flächeninanspruchnahme zwischen den Planungsregionen liegt (46%), was die Notwendigkeit eines mehrstufigen Analyseansatzes unterstreicht. Die regionalplanerische Regulierungsintensität hat einen statistisch signifikanten und dämpfenden Effekt auf die Flächeninanspruchnahme. Jeder zusätzliche Indexpunkt in der regulatorischen Intensität führt zu einer Abnahme des Flächenverbrauchs um 0,06 Prozentpunkte, was die Hypothese unterstützt, dass eine strengere Regulierung mit einer geringeren Flächeninanspruchnahme einhergeht. Interessengruppen wie Erstimmobilienerwerber und der Anteil konservativer Wähler in einer Gemeinde haben einen statistisch signifikanten positiven Einfluss auf die Flächeninanspruchnahme. Dies zeigt, dass lokale politische und soziale Dynamiken die Flächeninanspruchnahme beeinflussen. Die Hypothese, dass ein höherer Anteil von Eigenheimbesitzern die Flächeninanspruchnahme reduziert, kann im Rahmen der vorliegenden Studie für Deutschland nicht bestätigt werden. Unter den Kontextfaktoren zeigen Bevölkerungsentwicklung, Verfügbarkeit von Land, die Bezahlbarkeit von Wohnraum und die Bedeutung Zentraler Orte statistische Signifikanz. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Regionalplanung in der Lage ist, die Flächeninanspruchnahme zu beeinflussen, jedoch in komplexen Wechselwirkungen mit lokalen Dynamiken und Interessengruppen steht und lokale Interessen und soziale Dynamiken die Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme teils verstärken oder abschwächen.

## 4.2 Artikel 2

Der folgende Abschnitt fasst die wichtigsten Ergebnisse des Zeitschriftenartikels „Bewertung und Klassifizierung von Bahnhaltspunkten in Nordrhein-Westfalen. Ein methodischer Ansatz zur Operationalisierung von "Transit-Oriented-Development"“ zusammen, der in der Fachzeitschrift *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning* im Jahr 2021 veröffentlicht wurde. Die vollständige Fassung findet sich in Teil II des Rahmentextes.

Es zeigt sich eine hohe Varianz zwischen den untersuchten Bahnhaltspunkten, insbesondere in den Dimensionen *Density*, *Distance to Transit* und *Development Costs*. Die Korrelationen zwischen den TOD-Dimensionen weisen mittelstarke bis starke Zusammenhänge auf, insbesondere zwischen *Destination Accessibility*, *Density*, *Diversity*, *Distance to Transit* und *Development Costs*. *Demand Management* korreliert nur schwach mit den anderen Dimensionen, während *Development Potential* eine negative Korrelation zu den anderen Dimensionen zeigt. Die im Artikel durchgeführte Clusteranalyse identifiziert fünf Cluster von Bahnhaltspunkten mit unterschiedlichen Merkmalen.

- Cluster 1 (n=17): Überdurchschnittliche Werte in allen Dimensionen, besonders hohe *Development Costs* und niedrige *Development Potential*.
- Cluster 2 (n=233): Überwiegend überdurchschnittliche Werte, aber niedrigere *Development Costs* als Cluster 1.
- Cluster 3 (n=26): Leicht überdurchschnittliche Werte, hervorgehoben durch *Demand Management*.
- Cluster 4 (n=229): Unterdurchschnittliche Werte, nur *Diversity* und *Demand Management* sind leicht überdurchschnittlich.
- Cluster 5 (n=242): Deutlich unterdurchschnittliche Werte in fast allen Dimensionen außer *Development Potential*.

Geografisch zeigt sich ein Stadt-Land-Gefälle. Cluster 1-Haltspunkte befinden sich in innerstädtischen Lagen von Münster, Bonn und Köln. Cluster 2 umfasst weniger zentrale Haltspunkte dieser Städte und solche in anderen Kernstädten und deren Umland. Cluster 3 liegt häufig an größeren Einzelhandels-, Gewerbe- oder Industriestandorten. Cluster 4 und 5 sind vorrangig im peripheren Raum und an kleinen Haltspunkten zwischen größeren Verkehrsknotenpunkten zu finden. Den Ergebnissen der Analyse nach eignen sich die Haltspunkte der Cluster 1 und 2 besonders gut für eine schienenverkehrsorientierte Siedlungsentwicklung. Diese Standorte zeichnen sich durch eine hohe Angebotsqualität, urbane Dichte, gute Versorgung im nahen Umfeld und eine gemischte Nutzung sowie ein gut ausgebautes Fußwegenetz aus. Allerdings sind diese Gebiete bereits weitgehend entwickelt, was bedeutet, dass größere Siedlungsprojekte dort kaum noch möglich sind. Stattdessen könnten Maßnahmen der Innenentwicklung und Nachverdichtung, wie die Entwicklung von Brachflächen, das Schließen von Baulücken oder die Aufstockung bestehender Gebäude, sinnvoll sein. Für größere Siedlungsentwicklungen bieten die Haltspunkte der Cluster 3, 4 und 5 mehr Potenzial, da dort größere zusammenhängende Flächen verfügbar sind. Diese Standorte haben jedoch eine geringere Angebotsqualität, sodass begleitende verkehrliche und städtebauliche Maßnahmen erforderlich wären, um diese Orte funktional und attraktiv zu machen. Beispielsweise könnten Taktverbesserungen im Regionalverkehr oder die Erweiterung von Einrichtungen der Daseinsvorsorge dazu beitragen, die Lebensqualität in diesen Gebieten zu erhöhen. Ein weiterer

wichtiger Aspekt bei der Entwicklung dieser Standorte ist die wirtschaftliche Tragfähigkeit. Besonders in peripheren Räumen muss sorgfältig abgewogen werden, ob die Erschließungs- und Betriebskosten im Verhältnis zur potenziellen Nutzung und zu den möglichen Einnahmen stehen. Oftmals gibt es in diesen Regionen viele verfügbare Flächen, aber nur eine geringe Nachfrage nach Bauland, was die Wirtschaftlichkeit von Bauprojekten beeinträchtigen kann.

### 4.3 Artikel 3

*Der folgende Abschnitt fasst die wichtigsten Ergebnisse des Zeitschriftenartikels „Infilling in Germany. Estimating the extent of infilling in German municipalities between 1979 and 2011“ zusammen, der in der Fachzeitschrift Landscape and Urban Planning im Jahr 2023 veröffentlicht wurde. Die vollständige Fassung findet sich in Teil II des Rahmentextes.*

Die Studie zeigt, dass von 9.409.547 neu errichteten Wohneinheiten in Deutschland zwischen 1979 und 2011 5.365.696, also rund 57%, als Innenentwicklung realisiert wurden. Während der Anteil an Neubauten auf der grünen Wiese von 27% in den Jahren 1979 bis 1990 auf etwa 9% zwischen 2001 und 2011 gesunken ist, ist der Anteil an Innenentwicklung im selben Zeitraum von 19% auf etwa 30% angestiegen. Trotz dieses positiven Trends wird das Innenentwicklungsziel, ein Verhältnis von 3:1 zwischen Innen- und Außenentwicklung zu erreichen, in keinem der Untersuchungszeiträume erfüllt. Die räumliche Verteilung der Innenentwicklung zeigt signifikante Unterschiede. Höhere Anteile finden sich in stark urbanisierten Regionen wie dem Rhein-Ruhr-Gebiet und der Region Stuttgart. Ländliche Gebiete, insbesondere in Niedersachsen und Bayern, weisen dagegen geringere Anteile an Innenentwicklung auf. Besonders auffällig sind die niedrigen Anteile in den Jahren 1979 bis 1990, ebenfalls in Niedersachsen und Bayern. Die Hot- und Coldspot-Analyse der Local Indicators of Spatial Association (LISA) bestätigt die allgemeinen Trends und verdeutlicht den Unterschied im Anteil der Innenentwicklung zwischen städtischen und ländlichen Räumen. Statistisch signifikant hohe Anteile der Innenentwicklung finden sich in Regionen wie dem Rhein-Ruhr-Korridor in NRW Innenentwicklung zwischen 65,7% und 78,8%. Diese Cluster zeigen eine hohe räumlich-zeitliche Stabilität, da sie in allen untersuchten Zeiträumen durchgängig hohe Innenentwicklungsanteile aufweisen. Coldspots, also Regionen mit besonders niedrigen Innenentwicklungsanteilen, konzentrieren sich vor allem auf Niedersachsen, Sachsen und Bayern. In diesen Gemeinden liegt der Anteil der Innenentwicklung lediglich zwischen 11,2% und 27,4%. Im Gegensatz zu den Hotspots treten Coldspots seltener auf, und ihre räumliche Ausdehnung variiert stark zwischen den Untersuchungszeiträumen.

Zwischen 1979 und 2000 dominieren Einfamilienhäuser die Wohnbauaktivität in ländlichen Gebieten mit Anteilen über 50%. In Metropolen und regionalen Zentren liegt der Anteil der Einfamilienhäuser lediglich bei 25% bis 30%. Ab dem Zeitraum von 2001 bis 2011 verschwindet der Unterschied zwischen städtischen und ländlichen Gebieten hinsichtlich der Bauweise weitgehend, da der Anteil von Mehrfamilienhäusern in urbanen Regionen stark zurückgeht. Zusätzlich zeigt die Analyse, dass ein höherer Anteil an bebautem Gebiet tendenziell mit einer Zunahme der Innenentwicklung korreliert. Ein Anstieg des Bebauungsanteils um einen Prozentpunkt führt zu einem Anstieg der Innenentwicklung um 1,12 bis 1,15 Prozentpunkte. Die Zersiedlung und Bevölkerungsentwicklung haben hingegen einen negativen Einfluss auf die Innenentwicklung: Eine Erhöhung der Zersiedlung oder der Bevölkerung reduziert den Anteil der Innenentwicklung. Im Gegensatz dazu fördert eine höhere planerische Intensität der regionalen Planung die Innenentwicklung. Insgesamt zeigt die Studie einen positiven Trend bei der Innenentwicklung, doch

das angestrebte Verhältnis zwischen Innen- und Außenentwicklung wird größtenteils nicht erreicht. Die Ergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit zusätzlicher Maßnahmen, um die Innenentwicklungsziele langfristig zu realisieren.

# Kapitel 5

## Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die zentralen Ergebnisse der Arbeit reflektiert und in einen breiteren wissenschaftlichen sowie praxisorientierten Kontext eingeordnet (siehe Kapitel 2). Dabei werden die gewonnenen Ergebnisse zunächst mit Ergebnissen bestehender Studien verglichen, gefolgt von Ausführungen zur Relevanz der Ergebnisse der Mess- und Evaluationsmethoden für die Grundlagenforschung sowie einer Bewertung der potenziellen praktischen Implikationen. Anschließend werden die methodischen und inhaltlichen Grenzen der Arbeit aufgezeigt, die die Interpretation und Verallgemeinerung der Ergebnisse beeinflussen bzw. einschränken können. Zudem wird die Verbreitung der Forschungsergebnisse thematisiert, um aufzuzeigen, wie diese in relevante Diskurse und Anwendungsfelder eingebracht werden konnten. Das Kapitel schließt mit der Darstellung weiterer Forschungsbedarfe, die auf Grundlage der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit weiterer Untersuchungen bedürfen.

Im Rahmen der Dissertation sind weitere begutachtete und nicht-begutachtete Artikel entstanden, die einen konkreten inhaltlichen Bezug zu den thematischen Schwerpunkten der Dissertation haben und die Ergebnisse der Dissertationsartikel methodisch-konzeptionell und inhaltlich unterstützen bzw. ergänzen (siehe Abbildung 5.1). Neben Abbildung 5.1 findet sich eine Liste dieser Artikel inklusive der Kurzzusammenfassungen in Teil II des Rahmentexts. Es wird an passenden Stellen auf diese weiteren Artikel verwiesen, um die Ergebnisse der Dissertationsartikel zu vertiefen und zu stützen.

### 5.1 Einordnung der Ergebnisse in den wissenschaftlichen Stand der Forschung

***Forschungsfrage 1:** Welche Erkenntnisse lassen sich aus den durch die Mess- und Evaluationsmethoden erzielten Ergebnissen ableiten?*

Die Ergebnisse zur Wirksamkeit regionaler Planungsregulationen und deren Einfluss auf die Flächeninanspruchnahme lassen sich in Bezug auf verschiedene Aspekte mit anderen wissenschaftlichen Studien zu Wachstumspolitiken und zur Landnutzungsregulierung vergleichen. Der dämpfende Effekt einer höheren regulatorischen Intensität, wie er in der vorliegenden Untersuchung festgestellt wurde, zeigt Parallelen zu bestehenden Studien, die der übergeordneten Planung eine wirksame Steuerung der Siedlungsentwicklung attestieren, vorausgesetzt, sie verfügt über ein Mindestmaß an regulatorischem Anspruch und wird über die betroffenen Planungsebenen konsistent umgesetzt (Howell-Moroney, 2007b; Carruthers, 2002; Wassmer, 2006; Schmidt et al., 2018; Eichhorn et al., 2022b; Paulsen, 2014). In Über-

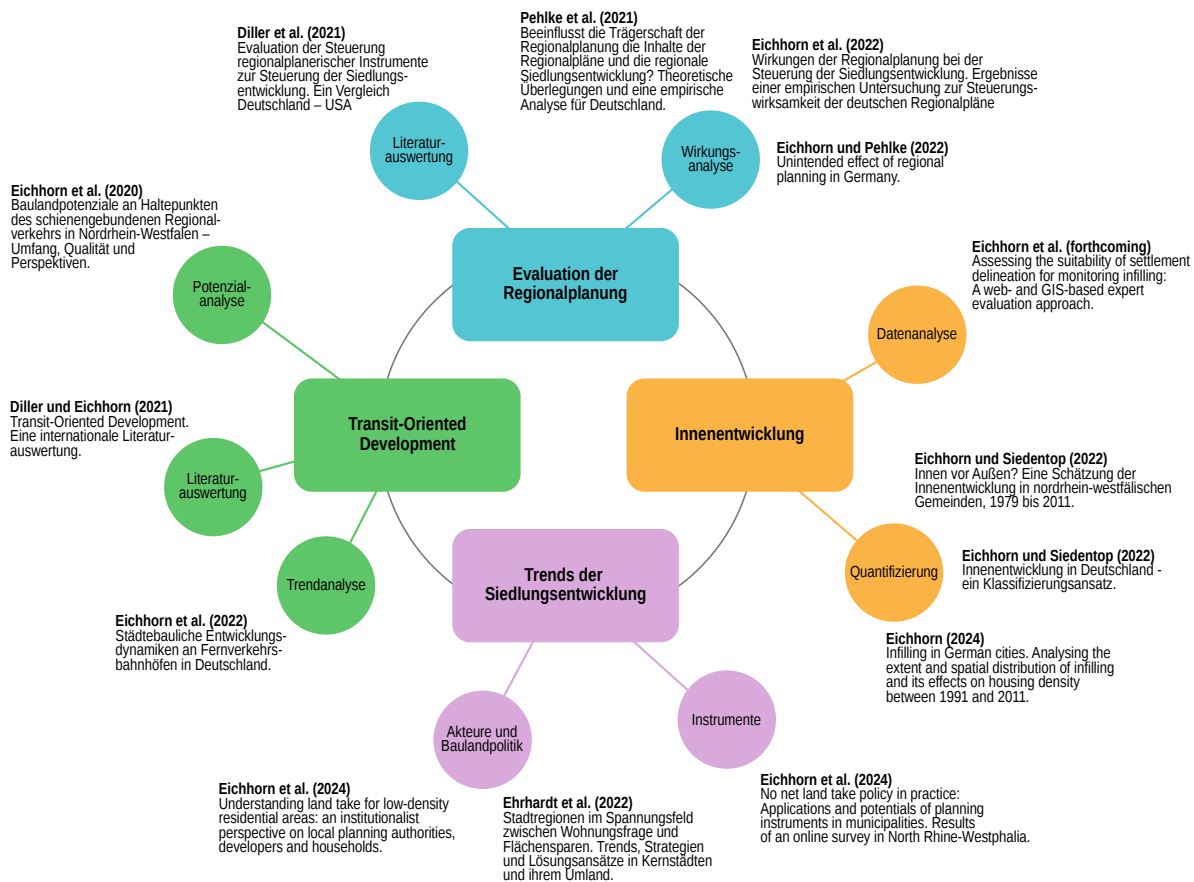


Abbildung 5.1: Kategorisierung weiterer Publikationen im Kontext der kumulativen Dissertation

einstimmung mit Schmidt et al. (2018) kann – trotz der statistisch signifikanten dämpfenden Wirkung der regionalplanerischen Intensität – hierbei jedoch nur von einem marginalen Effekt gesprochen werden. Nach aktuellem Forschungsstand lassen sich die Gründe hierfür unter anderem in der begrenzten Durchsetzungsfähigkeit der Planungsträger finden, die auf knappe finanzielle und personelle Ressourcen sowie unterschiedliche institutionelle Kompetenzen bei der Umsetzung zurückzuführen ist. Nach Pehlke et al. (2021) scheinen Trägerschaftsmodelle der Regionalplanung, die eng in Verwaltungshierarchien eingebunden sind, effektiver bei der Umsetzung planerischer Vorgaben zu sein als Modelle, die losgelöst von bestehenden Verwaltungsstrukturen agieren. Regionale Trägerschaftsmodelle haben hierbei zwar Vorteile in der Integration von formeller und informeller Planung, zeigen jedoch Schwächen bei der konkreten Durchsetzung. Zudem ist das Flächensparen nicht die alleinige Aufgabe der Regionalplanung. Vielmehr liegt der Fokus regionalplanerischen Handelns auf der Bewältigung von Flächennutzungskonflikten, wobei ökologische, ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigt werden. Der geringe statistische Effekt könnte diese Tatsache widerspiegeln. Die Beobachtung, dass die Effektivität der Regulierung durch lokale Kovariaten wie Interessen von Hauseigentümerinnen und Hauseigentümern oder einem eher konservativen politischen Umfeld abgeschwächt wird, stimmt mitunter mit Erkenntnissen von Lubell et al. (2009) überein, die die Rolle lokaler Interessengruppen durch politische und wirtschaftliche Einflussnahme bei Abwägungs- und Entscheidungsprozessen hervorheben. Insbesondere die Identifikation von Wohneigentum als Faktor, der in Deutschland tendenziell zu einer Erhöhung der Flächeninanspruchnahme

me führt, weicht von der *Homevoter*-Hypothese (Fischel, 2005) ab, welche eine gegenteilige Wirkung – die Begrenzung weiterer Entwicklungen – postuliert. Dieses Ergebnis könnte durch spezifische deutsche Rahmenbedingungen erklärt werden, wie etwa den hohen Druck auf den Wohnungsmärkten oder die Präferenz für Einfamilienhäuser mit niedrigeren Dichten, die auch in Eichhorn et al. (2024c) als zentrale Treiber für eine extensive Flächennutzung identifiziert wurden. Ein weiterer zentraler Punkt ist die beobachtete Suburbanisierungstendenz trotz Bemühungen der Regionalplanung, die Siedlungsentwicklung auf Zentrale Orte zu konzentrieren. Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu Studien wie Dawkins und Nelson (2003), die im US-amerikanischen Kontext eine stärkere Effektivität von Wachstumsmanagementprogrammen in der urbanen Verdichtung nachweisen. Dies könnte auf institutionelle Unterschiede zwischen den USA und Deutschland zurückzuführen sein, insbesondere auf die dezentrale Entscheidungsstruktur im deutschen Planungssystem, die einschränkend auf die Durchsetzung regionaler Ziele wirken kann (Colsaet et al., 2018). Ähnlich zu Colsaet et al. (2018) zeigen die Ergebnisse, dass das Bevölkerungswachstum und der Zugang zu Freiflächen signifikante Treiber der Siedlungsentwicklung sein können. Während jedoch Colsaet et al. (2018) das Bevölkerungswachstum als schwachen Einflussfaktor beschreibt, belegen die vorliegenden Ergebnisse eine deutliche Korrelation zwischen wachsender Bevölkerung und der Flächeninanspruchnahme. Die Wirkung von Freiflächen als Anreiz für eine zusätzliche Siedlungsentwicklung korrespondiert mit den Beobachtungen von Lubell et al. (2009), die Regionen mit hohem Freiflächenangebot als besonders anfällig für expansives Wachstum identifizieren. Grundsätzlich muss auf Grundlage der Ergebnisse von einem signifikanten Einfluss lokaler Interessengruppen sowie soziodemografischer, sozioökonomischer und siedlungsstruktureller Rahmenbedingungen auf die regionalplanerische Steuerungsleistung ausgegangen werden. Wie in Kapitel 2 dargestellt stimmt dies mit Ergebnissen bestehender qualitativer Fallstudienanalysen überein, die wirtschaftlichen und politischen Faktoren sowie der Nachfrage nach Wohnraum eine bedeutende Rolle in Bezug auf die Steuerungswirkung der Regionalplanung beimessen (Pagliarin, 2018; Gallardo und Martínez-Vega, 2016; Kiessling und Pütz, 2021).

Die Ergebnisse zur Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV lassen sich ebenfalls in Bezug auf unterschiedliche Aspekte mit anderen wissenschaftlichen Studien zu „Transit-Oriented Development“ vergleichen. Die hohe Varianz zwischen den Bahnhofpunkten, insbesondere in den TOD-Dimensionen *Density* und *Distance to Transit*, zeigt Ähnlichkeiten zu den Ergebnissen von Huang et al. (2018) und Singh et al. (2014). Diese Studien demonstrieren ebenfalls eine deutliche funktionale Variation in den untersuchten TOD-Knotenpunkten. Diese Unterschiede in den Haltepunkten spiegeln eine hierarchische Struktur der Stationen wider, bei der urbane Wohngebiete und Vorstadtgebiete um einen urbanen Kerntypus gruppiert sind. Besonders Haltepunkte mit überdurchschnittlichen Werten in mehreren TOD-Dimensionen, wie sie in der vorliegenden Studie identifiziert wurden, entsprechen den städtischen Kernstationen, die typischerweise eine hohe Dichte, eine gemischte Landnutzung und eine gute Anbindung an den ÖPNV aufweisen – Merkmale, die auch in den Studien von Huang et al. (2018) und Higgins und Kanaroglou (2016) als günstig für TOD identifiziert wurden. Das beobachtete Stadt-Land-Gefälle in der Verteilung der Haltepunkte korreliert mit den Ergebnissen von Reusser et al. (2008) für die Schweiz, der unterschiedliche Bahnhofstypen unterscheidet, wie Pendlerbahnhöfe in städtischen Gebieten sowie Vorstadt- oder ländliche Bahnhöfe. Die geografische Differenzierung der Haltepunkte in der vorliegenden Studie, bei der zentrale Cluster vor allem in urbanen Bereichen und periphere Cluster in weniger dicht besiedelten Gebieten liegen, spiegelt die unterschiedlichen Anforderungen und Potenziale wider, die auch von Reusser et al. (2008) beschrieben werden. Die Analyse, dass Haltepunkte mit hoher Angebotsqualität und urbaner Dichte besonders für eine schienenverkehrsorientierte Siedlungsentwicklung

geeignet sind, stimmt mit den Erkenntnissen von Reusser et al. (2008) überein, der in diesem Kontext die Bedeutung multifunktionaler Bahnhöfe betont, die sowohl für Pendler- als auch Nicht-Pendler-Nutzer von Bedeutung sind. Zudem zeigt die Studie, dass Cluster mit bereits hohem TOD-Niveau eher durch Innenentwicklung und Nachverdichtung weiterentwickelt werden müssen, während periphere Cluster, die mehr Entwicklungspotential aufweisen, zusätzliche städtebauliche und verkehrliche Maßnahmen benötigen, um ihre Funktionalität und Attraktivität in Bezug auf ein erfolgreiches TOD zu steigern. Dies stimmt mit den Empfehlungen von Higgins und Kanaroglou (2016) überein, wo Verbesserungspotentiale auf Mikroebene, wie etwa eine bessere Fußgängeranbindung, zur Nutzung des TOD-Potentials identifiziert werden. Die Feststellung, dass bei städtebaulichen und verkehrlichen Maßnahmen in peripheren Clustern besonders die wirtschaftliche Tragfähigkeit berücksichtigt werden muss – um Erschließungs- und Betriebskosten in Relation zu der potenziellen Nutzung und den potenziellen Einnahmen zu setzen – entspricht den Herausforderungen, die auch in Reusser et al. (2008) angesprochen werden, vor allem bei Regionen mit geringerer Nachfrage und saisonalen Schwankungen. Es wird hervorgehoben, dass Bahnhöfe in weniger nachgefragten Gebieten zusätzliche Infrastruktur- und Dienstleistungsanpassungen benötigen, was auch in der vorliegenden Studie als kritisch für die Entwicklungspotentiale in peripheren Gebieten identifiziert werden konnte.

Die Ergebnisse zur Quantifizierung der Innenentwicklung zeigen, dass der Anteil der Innenentwicklung in Deutschland zwischen 1979 und 2011 angestiegen ist und sich seit den 1990er Jahren auf einem Verhältnis von fast 2:1 stabilisiert hat. Das bedeutet, dass doppelt so viele Wohnungen in bestehenden Siedlungsgebieten wie am Stadtrand oder im Außenbereich entstanden sind. Im Durchschnitt wurden 65 von 100 Wohnungen, die in den 1990er und 2000er Jahren gebaut wurden, durch Innenentwicklung realisiert. Dies bestätigt Ergebnisse von Mustafa et al. (2018), die die Verschiebung von Expansion zu Innenentwicklung bzw. Nachverdichtung auch für Belgien aufzeigen konnten. Die vorliegende Studie legt signifikante regionale Unterschiede in der Innenentwicklung offen, wobei stark urbanisierte Regionen deutlich höhere Anteile an Innenentwicklung aufweisen. Diese Beobachtungen stimmen unter anderem mit Ergebnissen von Bibby et al. (2020) überein, die ebenfalls eine starke Konzentration der Innenentwicklung in städtischen Gebieten beschreiben, vor allem im suburbanen Raum, aber auch in den städtischen Zentren. Die *Hotspot*- und *Coldspot*-Analysen der vorliegenden Studie, die zeitstabile hohe Innenentwicklungsanteile in urbanisierten Regionen und niedrige in ländlichen Gebieten feststellen, sind vergleichbar mit Ergebnissen von Claassens et al. (2020), die eine zunehmende Innenentwicklung innerhalb von Städten dokumentieren, während die Bedeutung der Wohnbautätigkeit außerhalb der Städte gesunken ist. Ein möglicher Erklärungsansatz liegt darin, dass in urbanisierten Gebieten aufgrund angespannter Wohnungsmärkte und einem Mangel an Entwicklungsflächen im Außenbereich innerstädtische Entwicklungspotenziale häufiger systematisch analysiert und genutzt werden (müssen) (Eichhorn et al., 2024a). Im Gegensatz dazu findet in ländlichen Räumen eine solche systematische Erfassung der Innenentwicklungspotenziale deutlich seltener statt (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2022). Hinzu kommt, dass es dort in der breiten Masse an integrativen Konzepten mangelt, die die Umsetzung von Innenentwicklungsmaßnahmen gezielt mit anderen Bereichen wie Klimaanpassung und Verkehrsplanung verknüpfen (Eichhorn et al., 2024a). So bleibt das flächensparende Bauen in diesen Räumen weiterhin eine zentrale Herausforderung, die von Seiten des Bundes und der Länder verstärkt aufgegriffen werden sollte. Die Ergebnisse von Götze und Jehling (2023) deuten daraufhin, dass es einen positiven Effekt einer aktiven Baulandpolitik auf Nachverdichtungsprojekte gibt. In der vorliegenden Studie zeigt sich ebenfalls ein statistisch signifikanter positiver Zusammenhang zwischen regionalplanerischer Regulierung und der Umsetzung von Maßnahmen zur Innenentwicklung. Dies lässt darauf

schließen, dass eine gezielte Regionalplanung eine unterstützende Rolle bei der Förderung von Innenentwicklungsprojekten spielen kann. Gleichzeitig muss die Analyse zum Einfluss regionalplanerischer Steuerung auf die Innenentwicklung als ein erster empirischer Ansatz bewertet werden. Die Verwendung des Index zur regionalplanerischen Regulierungsintensität bietet zwar wichtige Einblicke in Bezug auf den Steuerungsanspruch der Regionalplanungsbehörden, stößt jedoch bei der Ermittlung kausaler Zusammenhänge auf methodische und konzeptionelle Grenzen. So lässt sich nicht direkt nachvollziehen, welche Steuerungsmechanismen den räumlichen Entwicklungstrends zugrunde liegen. Der negative Einfluss von Zersiedlung und Bevölkerungswachstum auf die Innenentwicklung passt zu den Ergebnissen von Mustafa et al. (2018), die ebenfalls auf die Bedeutung von lokalen Faktoren hinweisen, die hemmend auf die Innenentwicklung wirken können.

## 5.2 Relevanz für die Grundlagenforschung

***Forschungsfrage 2:** Wie tragen die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden zur Generierung neuer Erkenntnisse in der Grundlagenforschung bei?*

Bei der Evaluation der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung lässt sich aus Sicht der Grundlagenforschung insbesondere die Anwendung der MLR hervorheben. Im Vergleich zu einfachen Querschnittsregressionen, so wie sie in anderen Studien bereits vielfach zum Einsatz gekommen sind (Eichhorn et al., 2022b; Schmidt et al., 2018; Pehlke et al., 2021), kann damit die hierarchische Struktur bestehend aus Regionalplanung und Gemeinden in den Daten deutlich besser abgebildet werden. Dies führt zu robusteren statistischen Ergebnissen, was wiederum das Ableiten von korrekten Schlussfolgerungen ermöglicht. Bei der Messung der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung wurden im deutschen Kontext und im Rahmen einer bundesweiten Analyse erstmalig Variablen verwendet, um gegenüber relevanten Interessengruppen zu kontrollieren. Unter Berücksichtigung der Funktionsweise der Regionalplanung und der Bedeutung von Interessengruppen bei der Umsetzung regionalplanerischer Ziele (Oliveira und Hersperger, 2018), stellt dies – trotz Unschärfen bei der Operationalisierung – eine notwendige Erweiterung bestehender statistischer Modelle dar. In Bezug auf die abhängige Variable konnte ebenfalls ein wichtiger Schritt gemacht, um die Ergebnisse zu verbessern. Mit den hochauflösenden Daten zur Veränderung der Wohn- und Mischflächen wurden für Deutschland erstmalig Geodaten verwendet, die explizit die räumlichen Prozesse abbilden, die durch die in der regionalplanerischen Regulierungsintensität enthaltenen Steuerungsansätze adressiert werden. Im Vergleich zu Studien, die mit Daten aus dem CLC oder der amtlichen Flächenstatistik gearbeitet haben (Schmidt et al., 2018; Eichhorn et al., 2022b; Eichhorn und Pehlke, 2022), lassen sich die Regulierungsintensität und die räumlichen Prozesse damit deutlich besser verknüpfen und kausale Wirkungszusammenhänge klarer herausarbeiten.

Die Mess- und Evaluationsmethode zur Bewertung und Klassifizierung von Haltepunkten des schienegebundenen Regionalverkehrs basiert auf der Operationalisierung des 6-D-Modells und des *Node-Place*-Ansatzes. Aus Perspektive der Grundlagenforschung lässt sich dabei insbesondere die Integration der TOD-Dimensionen *Development Costs* und *Development Potential* herausstellen, die in Ergänzung zum originären 6-D-Modell die wichtigen Aspekte der Kosten und der potenziellen Entwicklungsflächen in die Bewertung von TOD integrieren. Eine der Studie vorgelagerte Literaturlauswertung zeigt, dass entsprechende Aspekte zum Zeitpunkt der empirischen Arbeiten lediglich von einer weiteren Studie berücksichtigt wurden. Darüber hinaus lassen sich – insbesondere vor dem Hintergrund der Open

Data-Infrastruktur in Deutschland zum Zeitpunkt der Studie – die verwendeten kleinräumigen Geodaten aus dem ATKIS® Basis-DLM, die Bodenrichtwerte aus BORIS.NRW sowie die GTFS-Fahrplandaten (General Transit Feed Specification) zur Umsetzung des *Node-Place*-Ansatzes als innovativ ansehen. Unter Berücksichtigung dieser Daten stellt die entwickelte Mess- und Evaluationsmethode, die mehrere TOD-Dimensionen operationalisiert und zu einem umfassenden TOD-Indexwert zusammenführt, eine relevante (Weiter-)Entwicklung im deutschen Kontext dar. So konnten mit der entwickelten Mess- und Evaluationsmethode im Rahmen der durchgeführten Studie sowohl die Knotenfunktion der Haltepunkte im Verkehrsnetz als auch deren Umfeld hinsichtlich ihrer Siedlungsstruktur und Verkehrsinfrastruktur detailliert analysiert und bewertet werden.

Die in Kapitel 2.3.3 vorgestellte Mess- und Evaluationsmethode zur Quantifizierung der Innenentwicklung misst die Innenentwicklung anhand des GHSL als Proxy für bereits entwickelte städtische Gebiete sowie der Wohnbautätigkeit auf Ebene von 100x100m Gitterzellen. Durch die Kombination der beiden Datensätze kann die Wohnbautätigkeit flächendeckend nach vier diskreten Lagetypen (Innenbereich, innerer Siedlungsrand, äußerer Siedlungsrand und Außenbereich) und zwei Gebäudetypen (z. B. Einfamilien- oder Mehrfamilienhaus) differenziert werden (Eichhorn et al., 2024a). Die entwickelte Mess- und Evaluationsmethode bietet aus Sicht des Autors aufgrund des hohen Detaillierungsgrads sowie der nationalen Abdeckung und Vergleichbarkeit daher wichtige Erkenntnisse für die Grundlagenforschung und liefert erstmalig Ergebnisse darüber, wie sich die Wohnbautätigkeit räumlich und über 30 Jahre hinweg in Deutschland vollzogen hat. Vor dem Hintergrund der nationalen Flächensparziele und des Innenentwicklungsziels können die vier Lagetypen dabei als negative oder positive Entwicklungen bewertet und zur Abschätzung der Zielerreichung für eine flächensparende und effiziente Siedlungsentwicklung herangezogen werden. So konnte im Rahmen einer Vorstudie für das Bundesland NRW sowohl ein starker negativer sowie ein starker positiver Zusammenhang zwischen dem Anteil der Innenentwicklung und dem Wachstum der bebauten Fläche sowie der Entwicklung der Siedlungsdichte ermittelt werden (Eichhorn und Siedentop, 2022). Im Vergleich zu bestehenden Studien, die sich ausschließlich anhand von Landnutzungsdaten (z. B. *remote sensing*, *nightlight data*) mit der Erfassung von räumlichen Entwicklungsprozessen befassen, bieten der hier vorgestellte Ansatz und die hochauflösenden, multi-temporalen Daten eine erheblich genauere Abschätzung räumlicher Entwicklungsprozesse, da nicht nur zwei-, sondern auch dreidimensionale Informationen (z. B. Anzahl der Wohneinheiten, Gebäudetypen) verarbeitet werden. Während Raumanalysen anhand von zweidimensionalen Landnutzungsdaten die räumlichen Prozesse in der Regel mit Hilfe von Lagekriterien wie *infill development*, *edge expansion* oder *leap frog* beschreiben (Novotný et al., 2022; Li et al., 2013; Gerten et al., 2019), können durch die Einbindung von kleinräumigen Daten zur Wohnbautätigkeit Siedlungsflächen, die in Lage und Umfang identisch sind, differenziert bewertet werden. Ein weiterer zentraler Aspekt der Studie ist die Identifizierung relevanter siedlungsstruktureller, soziodemografischer und regionalplanerischer Einflussfaktoren, die den Prozess der Innenentwicklung beeinflussen können. Über die deskriptiven Analysen hinaus trägt die Studie somit dazu bei, die Innenentwicklung und im Umkehrschluss die Außenentwicklung auf Grundlage von vergleichbaren quantitativen Daten besser zu verstehen. Aus technischer Sicht liegt ein Vorteil der Methode in der Anwendung einfacher, aber expliziter räumlicher Überlagerungsanalysen, die die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse auch für fachfremde Personen erhöhen können. Der GIS-Ansatz ermöglicht es, räumliche Muster und Entwicklungstrends auf einfache Weise abzubilden, was die Darstellung komplexer räumlicher Zusammenhänge erleichtert (Eichhorn et al., 2024a). Die räumlichen Überlagerungsanalysen können zudem problemlos auf andere, noch genauere oder in anderen Ländern verfügbare Geodaten übertragen werden. Dies eröffnet Möglichkeiten für weiterfüh-

rende Analysen bzw. Forschungen, um die Dynamiken der Innenentwicklung in anderen Ländern oder für andere Zeiträume noch genauer zu untersuchen. Insgesamt leistet die Mess- und Evaluationsmethode einen wertvollen Beitrag zur Grundlagenforschung, indem sie nicht nur die Innenentwicklung erstmalig flächendeckend für Deutschland abschätzt, sondern auch die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Einflussgrößen beleuchtet und so Wissen über große regionale Entwicklungstrends zulässt.

### 5.3 Praxisrelevanz der Mess- und Evaluationsmethoden

**Forschungsfrage 3:** *Welche Funktionen erbringen die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden und wie lassen sich die gewonnenen Informationen für die Siedlungsentwicklung praktisch nutzbar machen?*

Projekte der Regionalplanung und -entwicklung sind wie auch andere Projekte auf valide und robuste Datengrundlagen angewiesen. In diesen Bereichen dienen Daten insbesondere dazu, die Planung und Politik bei ihren Abwägungs- und Entscheidungsprozessen zu unterstützen. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurden für drei Forschungsschwerpunkte Methoden entwickelt und angewendet, die eben solche Daten liefern können. Im Folgenden soll dargestellt werden, welchen Mehrwert die Methoden und Ergebnisse für die Planungspraxis bringen können. Die Einschätzung darüber erfolgt auf Grundlage der Bewertungskriterien aus Kapitel 3.2, die sich aus den gemeinsamen Funktionen von Monitoring und Evaluation ergeben (Hanusch, 2018; Stockmann, 2007): 1) Informations- und Erkenntnisgewinn, 2) Analyse und Verifikation, 3) Kontrolle und Legitimation, 4) Adaptive Steuerung und Frühwarnsysteme, 5) Transparenz und Kommunikation und 6) Lernen und Weiterentwicklung.

Eine Übersicht über die Funktionen, die die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden potenziell bieten können, liefert Tabelle 5.1. Wie die Tabelle dabei zeigt ergibt sich aus allen drei Mess- und Evaluationsmethoden ein Mehrwert im Bereich des Informations- und Erkenntnisgewinns. Für relevante Bereiche der Regionalplanung und -entwicklung generieren die Mess- und Evaluationsmethoden Informationen und Datengrundlagen, die für unterschiedliche praktische Anwendungen genutzt werden können. Ein besonderer Mehrwert ergibt sich dabei insbesondere durch die Ergebnisse, die durch die Bewertung und Klassifizierung der Haltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs generiert werden können. Auf Basis der Analyseergebnisse konnten fünf interpretierbare Cluster von TOD-Haltepunkten gebildet werden. Jedes TOD-Cluster hat dabei gemeinsame Merkmale wie Dichte, Landnutzung, Erreichbarkeit und Verkehrsnetz, sodass die Cluster dafür genutzt werden können, um zukünftige Anpassungserfordernisse und Entwicklungspotenziale besser zu erkennen (z. B. kann Gentrifizierung ein Problem in den Einzugsbereichen städtischer TOD-Haltepunkte sein, es muss aber kein Problem in suburbanen Räumen sein) – sowohl für ganze Cluster als auch für einzelne Haltepunkte innerhalb eines Clusters (Zemp et al., 2011). Die gemeinsamen Merkmale eines Clusters erleichtern es demnach politischen Entscheidungsträgern und beteiligten Akteuren, gemeinsame Strategien zu entwickeln, um Einzugsbereiche zu überplanen und/oder Anpassungen an spezifischen TOD-Dimensionen vorzunehmen und so ihre *node* und *place*-Funktionen im Rahmen der Regionalplanung und im Kontext einer nachhaltigen Regionalentwicklung zielgerichtet weiterzuentwickeln (Reusser et al., 2008). In Bezug auf die fünf identifizierten Cluster zeigt sich, dass es an Bahnhofshaltepunkten mit starken funktionalen Verflechtungen zu den Kernstädten noch immer erhebliche Entwicklungspotenziale gibt. So können die Ergebnisse aus regionalplanerischer Sicht beispielsweise dafür genutzt werden, um potenzielle Wohnbauprojekte zeitlich zu priorisieren sowie hinsichtlich ihrer Bedeutung zur Integration von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung und zur Entlastung der angespannten Wohnungsmärkte in den Kernstädten lokal und regional zu steuern.

Entsprechende Informationen sind besonders wertvoll bei der Planung neuer Siedlungsgebiete und der Erschließung von Flächen, da sie das zukünftige Entwicklungspotenzial bereits im Vorfeld über kommunale Grenzen hinaus umfangreich bewerten. In Bezug auf die Kriterien Analyse und Verifikation sowie Kontrolle und Legitimation können vor allem die Ergebnisse der Mess- und Evaluationsmethoden aus Artikel 1 und Artikel 3 genutzt werden. Als ex-post Mess- und Evaluationsmethoden ermöglichen diese Ergebnisse, Ursache-Wirkungs-Beziehungen besser zu verstehen und die Erreichung der aufgestellten Ziele – wie den Vorrang der Innenentwicklung oder die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme – rückwirkend zu bewerten. Dabei kann analysiert werden, welche politischen oder planerischen Maßnahmen, etwa die Förderung von Nachverdichtung oder die Bodenpolitik, tatsächlich zur Innenentwicklung beigetragen haben. Diese Ergebnisse liefern nicht nur eine wertvolle Grundlage für Entscheidungen über künftige Planungsstrategien und Förderprogramme, sondern können auch genutzt werden, um Bürgerinnen und Bürgern sowie Interessengruppen die Wirksamkeit der Maßnahmen zur Innenentwicklung transparent darzustellen. Dies ist bei den Ergebnissen von ex-ante Analysen – aufgrund ihrer zeitlichen Perspektive – nicht möglich bzw. nicht vorgesehen. Da alle drei Mess- und Evaluationsmethoden anhand umfangreicher Eingangsdaten Ergebnisse generieren und damit neues Wissen schaffen, bieten sie das Potenzial Transparenz und Kommunikation für die Planung und in Planungsprozessen zu erhöhen. Dies betrifft sowohl die ex-post Analysen, die vergangene (räumliche) Prozesse aufbereiten und nachvollziehbar machen als auch Ergebnisse von ex-ante Analysen, die Abwägungs- und Entscheidungsprozesse anhand objektiver und valider Daten unterstützen können. Entsprechende Informationen können auch dafür genutzt werden, um zwischen unterschiedlichen Planungsbereichen und gesellschaftlichen Teilsystemen zu vermitteln und über Sektoren hinweg für bestimmte Themen zu sensibilisieren. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt kann dies ein zentraler Hebel sein, um auf eine effektivere Umsetzung der Flächensparziele hinzuwirken. Als Frühwarnsystem eignet sich am ehesten die Mess- und Evaluationsmethode zur Quantifizierung der Innenentwicklung. Die Ergebnisse können genutzt werden, um räumliche Fehlentwicklungen zu identifizieren und mögliche Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Hierbei muss jedoch auf die in der Studie verwendeten Datengrundlagen verwiesen werden, die aufgrund ihrer unregelmäßigen und langen Erhebungsintervalle keine zeitnahe Prüfung und Bewertung zulassen. Soll die Mess- und Evaluationsmethode tatsächlich als Frühwarnsystem eingesetzt werden, müssten Daten verwendet werden, die für ein mögliches planerisches und politisches Gegensteuern deutlich regelmäßiger, z. B. mindestens ein Mal im Jahr, aktualisiert werden (z. B. amtliche Daten aus dem ATKIS® oder ALKIS®). Lernprozesse lassen sich durch die Ergebnisse aller drei Mess- und Evaluationsmethoden anstoßen. So können die Ergebnisse bzw. Erkenntnisse genutzt werden, um iterative Lernprozesse zu unterstützen, die aus einer statischen eine dynamische und aus einer linearen eine zyklische Betrachtungsweise von räumlichen Entwicklungsprozessen macht.

Tabelle 5.1: (potenzielle) Funktionen der entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden

<b>Funktion</b>	<b>Artikel 1</b>	<b>Artikel 2</b>	<b>Artikel 3</b>
Informations- und Erkenntnisgewinn	X	X	X
Analyse und Verifikation	X		X
Kontrolle und Legitimation	X	X	X
Adaptive Steuerung und Frühwarnsysteme		(X)	X
Transparenz und Kommunikation	X	X	X
Lernen und Weiterentwicklung	X	(X)	X

## 5.4 Grenzen der Arbeit

### *Forschungsfrage 4: Worin bestehen die Limitationen der entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden?*

Die Nutzung quantitativer Methoden ermöglicht es, umfangreiche Datensätze zu verarbeiten und statistisch auszuwerten. Der große Mehrwert quantitativer Methoden liegt damit vor allem in der Darstellung von größeren Trends und Korrelationen sowie in der Vergleich- und Generalisierbarkeit von Ergebnissen über einzelne Fallstudien hinaus. Quantitative Methoden sind jedoch weniger geeignet, wenn es darum geht, Einblick in tiefergehende kausale Wirkungszusammenhänge oder individuelle Entscheidungsprozesse zu bekommen, z. B. warum bestimmte Entwicklungen stattfinden oder wie Akteure ihre Entscheidungen beispielsweise im Kontext von Regionalplanung und -entwicklung treffen. Qualitative Methoden, wie Interviews mit Planerinnen und Planern, Einwohnerinnen und Einwohnern oder Politikerinnen und Politikern, können helfen, die Motivationen, Hindernisse und Strategien besser zu verstehen, die hinter quantifizierten Daten stehen. Diese zusätzlichen Einblicke hätten bei der Analyse der räumlichen Entwicklungsprozesse im Rahmen der vorliegenden Dissertation wertvolle Hinweise auf kausale Wechselwirkungen liefern können. Sie konnten im Rahmen des inhaltlich breit aufgestellten Forschungsdesigns jedoch nicht umgesetzt werden. Im Rahmen der quantitativen Studien erfolgte die Kontextualisierung der Ergebnisse daher vorrangig anhand von Sekundärliteratur. Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, bieten die verwendeten Daten sowie die entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden an unterschiedlichen Punkten sinnvolle Weiterentwicklungen bestehender Forschungs- bzw. Studiendesigns. Dennoch weisen auch diese spezifische Limitationen auf, die bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen sind. Diese sollen in den folgenden drei Abschnitten in aller Kürze dargestellt werden.

### **Limitationen bei der Messung der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung**

**Regionale Unterschiede in der Flächenerfassung:** Eine erste Einschränkung betrifft regionale Unterschiede bei der Aktualität der verwendeten Daten zu den Wohn- und Mischflächen aus dem ATKIS® Basis-DLM. Während in einigen Bundesländern das Datenalter zwei Jahre und weniger beträgt, gibt es Bundesländer respektive Regionen, wo die Daten drei bis fünf Jahre oder sogar sechs bis zehn Jahre alt sind (Meinel et al., 2020, 2015). Daher spiegeln Veränderungen in der Flächennutzung in den Untersuchungseinheiten und im Untersuchungszeitraum unterschiedliche Erfassungszeitpunkte

wider, was zu nur bedingt vergleichbaren Flächeninanspruchnahmen führen kann. Ein statistischer Zusammenhang zwischen Regulierungsintensität und geringer Flächeninanspruchnahme könnte demnach allein auf unterschiedliche Aktualisierungszyklen sowie regionale Unterschiede bei den Grundaktualitäten der Daten zurückzuführen sein.

**Informationen zu planungsrechtlichen Vorgaben und Einfluss von Interessengruppen:** In Bezug auf die Untersuchung des Einflusses von Interessengruppen auf die Siedlungsentwicklung zeigt sich eine weitere Limitation der Daten aus dem ATKIS® Basis-DLM. Sie enthalten keine Angaben zu wichtigen planungsrechtlichen Parametern wie der Grund- (GRZ) oder Geschossflächenzahl (GFZ) sowie der Art der Wohnbauflächenentwicklung (z. B. Ein- oder Mehrfamilienhausgebiete). Die abhängige Variable eignet sich demnach nur bedingt, um die Effizienz und Nachhaltigkeit der Flächennutzung zu bewerten sowie das Verhalten von Interessengruppen auf die bauliche Entwicklung zu verstehen. So lässt sich aus den Regressionsergebnissen nicht direkt ableiten bzw. nachvollziehen, warum positive oder negative Koeffizienten von den Regressionsmodellen geschätzt werden. Nach der *Home-voter*-Hypothese von Fischel etwa stellen sich Anwohnerinnen und Anwohner besonders dann gegen Neubauvorhaben, wenn negative Effekte auf ihr Wohnumfeld befürchtet werden (Fischel, 2005). Betrachtet man beispielsweise zwei annähernd gleiche Gemeinden, von denen eine nur gering verdichtete Wohngebiete und die andere nur höher verdichtete Wohnbauprojekte plant, ist zu erwarten, dass die Eigentümerinnen und Eigentümer in der zweiten Gemeinde negativer auf die Neubauvorhaben reagieren und eher versuchen diese zu blockieren. Dies könnte dazu führen, dass die Flächeninanspruchnahme in dieser Gemeinde tatsächlich geringer ausfällt. Alternativ könnten die Wohnbauvorhaben jedoch auch so angepasst werden, dass sie – abweichend von der ursprünglichen Planung – mit geringerer Bebauungsdichte umgesetzt werden. Solche Detailauswertungen und Individualrückschlüsse sind jedoch bei flächendeckenden Analysen und aufgrund der verwendeten abhängigen Variable nicht möglich.

**Alter und (Teil-)Fortschreibungen der Regionalpläne:** Die Analyse stützt sich auf die Regulierungsintensität der im Jahr 2009 rechtsgültigen Regionalpläne, um die Entwicklung der Flächen für Wohn- und Mischnutzung von 2009 bis 2019 zu untersuchen. Da viele Regionalpläne über Jahre un- oder nur marginal verändert gültig bleiben (Eichhorn et al., 2022a), können ihre ursprünglichen Zielsetzungen an Relevanz verlieren oder den aktuellen regionalplanerischen Anforderungen nicht mehr entsprechen. Inwiefern alte Regionalpläne an Steuerungswirksamkeit verlieren, wurde im Rahmen der Studie jedoch nicht untersucht. Planänderungen und Teilfortschreibungen, die zwischen 2009 und 2019 vorgenommen wurden, sind ebenfalls nicht in die Analyse einbezogen worden, obwohl solche Anpassungen oft auf veränderte Bedarfe oder neue planerische Ziele reagieren. Der Ausschluss späterer Änderungen und Fortschreibungen wurde primär aus drei Gründen vorgenommen:

- **Komplexität der Datenerhebung:** Die systematische Erfassung und Integration aller zwischen 2009 und 2019 vorgenommenen Planänderungen und Teilfortschreibungen hätte einen erheblichen Mehraufwand bedeutet. Dies war im Rahmen der Arbeit nicht leistbar.
- **Zeitliche Verzögerung von Wirkungen:** Planänderungen und Fortschreibungen entfalten ihre Wirkung oft nicht sofort. Da die Analyse einen Zeitraum von zehn Jahren umfasst, wäre es methodisch schwierig gewesen, kurzfristige Effekte neuer Planungen von den langfristigen Wirkungen der ursprünglichen Regionalpläne zu trennen. Dadurch hätte sich das Risiko von Verzerrungen in der Bewertung erhöht.

- **Fokus auf langfristige Steuerungswirkung:** Die Untersuchung konzentriert sich auf die grundsätzliche Steuerungswirksamkeit der ursprünglichen planerischen Zielsetzungen. Teilfortschreibungen und Planänderungen reagieren meist auf spezifische Entwicklungen oder veränderte Bedürfnisse, was den langfristigen Charakter der Analyse hätte aufweichen können. Durch den Fokus auf die ursprünglichen Pläne bleibt die Analyse klar auf die grundsätzliche und überregionale Planungsintention gerichtet.

**Index zur regionalplanerischen Regulierungsintensität:** Die Regulierungsintensität, die im Rahmen der MLR die potenzielle Steuerungswirkung der Regionalplanung auf die kommunale Bauleitplanung abbilden soll, weist methodisch-konzeptionelle Einschränkungen auf. Der Indikator basiert auf quantitativen Planinhaltsanalysen und spiegelt lediglich den Regionalplan als *Output* mit seinen spezifischen Inhalten wider (Pehlke und Siedentop, 2021). Wichtige institutionelle Rahmenbedingungen (*Input*) und Verhandlungsprozesse (*Prozess*), die bei der Erstellung von Regionalplänen eine Rolle spielen, werden durch diesen Index nicht erfasst (Diller, 2012). Fragen nach dem „Wie“ und „Warum“ der Planinhalte entziehen sich daher der empirischen Analyse der Studie. Da der tatsächliche Planvollzug, einschließlich der Verhandlungsverfahren im Zuge der Bauleitplangenehmigung, in einer flächendeckenden quantitativen Analyse nicht erfasst werden kann, wurde im Rahmen der MLR der *Output* direkt mit dem *Outcome*, d. h. der tatsächlichen Wohnbauflächenentwicklung, verknüpft. Dieses Verfahren ist praktikabel und wurde bereits in vielen anderen Studien angewendet (Paulsen, 2013, 2014; Schmidt et al., 2018; Krehl et al., 2016; Anthony, 2004; Dawkins und Nelson, 2003; Wassmer, 2006; Carruthers, 2002; Nelson, 1999), lässt jedoch kausale Wirkmechanismen im *Throughput* – wie sie insbesondere in qualitativen Einzelfallstudien analysiert werden können (Kiessling und Pütz, 2021) – unberücksichtigt. Selbst bei statistisch signifikanten Ergebnissen kann daher nur mit Unsicherheit nachvollzogen werden, ob Abweichungen zwischen *Output* und *Outcome* auf die regionalplanerische Regulierungsintensität, eine unzureichende Umsetzung des Plans, ungenaue Planvorgaben, geführte Aushandlungsprozesse oder weitere unberücksichtigte Einflussfaktoren zurückzuführen sind. Zweifel der Implementationsforschung an der Verlässlichkeit von Plänen und politischen Programmen als Grundlage für Aussagen über deren tatsächliche Wirkungen bleiben damit – wie auch in anderen quantitativen Studien zuvor – bestehen (Fürst, 2000). Gleichwohl der Index auf Ebene der Planungsregionen sehr differenziert die regionalplanerische Regulierungsintensität abbilden kann, erfasst er jedoch nicht wie die Festlegungen die einzelnen Gemeinden adressiert und welche unterschiedlichen Auswirkungen oder planerischen Implikationen sich dadurch für die Siedlungsentwicklung in den einzelnen Gemeinden ergibt. Eine pauschale Bewertung, dass das regionalplanerische Ziel der Reduzierung der Flächeninanspruchnahme in bestimmten Gemeinden erfolgreicher ist als in anderen, ist daher nicht zwingend gegeben. Vielmehr muss diese Bewertung im Kontext der spezifischen Festlegungen für jede einzelne Gemeinde erfolgen, was jedoch auch den Erhebungsaufwand signifikant erhöhen würde.

### **Limitationen bei der Bewertung und Klassifizierung von Haltepunkten des schienengebundenen Regionalverkehrs hinsichtlich TOD**

**Innenentwicklungs- und Nachverdichtungspotenziale:** Die Daten aus dem ATKIS® Basis-DLM sind eine wichtige Grundlage, um im Rahmen der Studie die Siedlungsstruktur um die Bahnhofsteypunkte zu untersuchen. Die ATKIS®-Daten stellen die Flächennutzung jedoch rein flächenhaft dar. Somit bleiben Nachverdichtungspotenziale wie Baulücken oder unter- und mindergenutzte Grundstücke

in bereits erschlossenen Gebieten in der Analyse weitgehend unberücksichtigt. Dies führt zu einer Unterschätzung der Potenziale, vorhandene städtische Flächen für eine TOD-Entwicklung zu mobilisieren und für eine effizientere Flächenentwicklung zu nutzen.

**Stillgelegte und neue Bahnhaltepunkte:** Die Analyse bezieht sich ausschließlich auf bestehende Haltepunkte des ÖPNV. Stillgelegte Haltepunkte oder potenzielle neue Haltepunkte werden nicht berücksichtigt, was die Analyse auf den Status quo beschränkt. Eine Einbeziehung potenzieller zukünftiger Haltepunkte könnte wichtige Erkenntnisse liefern, wo sich durch den Ausbau des ÖPNV zusätzliche Verdichtungs- oder Entwicklungspotenziale ergeben könnten. Besonders im Hinblick auf langfristige städtebauliche und verkehrsplanerische Strategien kann eine dynamische Betrachtung sinnvoll sein, um zukünftige Entwicklungen abseits bestehender Haltepunkte in die Analyse einzubeziehen.

**Städtebauliche Qualität und Perceived walkability:** Die Analyse betrachtet lediglich quantitative Indikatoren wie die Dichte der Bebauung oder die Nähe zu Verkehrsknotenpunkten. Qualitative Faktoren wie die Gestaltung öffentlicher Räume, soziale Integration, Barrierefreiheit, die Einbettung in die Umgebung und die ästhetische Qualität des Städtebaus werden nicht berücksichtigt. Studien zeigen, dass subjektive Faktoren wie Sicherheit, Ästhetik und Komfort die wahrgenommene Erreichbarkeit jedoch erheblich beeinflussen und oft stärker auf das Mobilitätsverhalten wirken als objektiv messbare Faktoren (Vos et al., 2023). Das ausschließliche Augenmerk auf objektiv messbare Faktoren stellt demnach eine Limitation der vorliegenden Studie dar.

### Limitationen bei der Messung der Innenentwicklung

**Quantitative Messung der Innenentwicklung:** Die Analyse der Innenentwicklung erfolgt rein quantitativ. Dies bedeutet, dass im Rahmen der GIS-Analyse zwar eine flächendeckende und zahlenmäßige Abschätzung der Innenentwicklung vollzogen werden kann, der individuelle Umgang mit kritischen Einzelaspekten von Innenentwicklungsmaßnahmen wie die soziale Verträglichkeit (z. B. Bezahlbarkeit) oder die städtebauliche Qualität (z. B. Architektur, Stadtbild, öffentliche Räume) wird jedoch nicht einbezogen. So können etwa Wohngebäude entstehen, die zwar quantitativ den Zielen der Innenentwicklung entsprechen, aber qualitativ Defizite aufweisen, wie mangelnde Erreichbarkeit, fehlende Grünflächen oder hohe Mietpreise. Im Vergleich zu sehr detaillierten Zertifizierungsmethoden wie Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) und Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) (Ferreira et al., 2023) eignet sich die Mess- und Evaluationsmethode daher nicht, um lokale Planungen differenziert nach Nachhaltigkeits- und Qualitätsaspekten wie Umweltfreundlichkeit, Energieeffizienz, Ressourcenschonung und Lebensqualität zu bewerten.

**Räumliche und zeitliche Variation in der Auflösung:** Mit einer räumlichen Auflösung von etwa 38 m ist der GHSL in der Lage sehr genau Siedlungskörper zu erfassen und darzustellen. Problematisch ist dennoch die Abgrenzung der Siedlungskörper an den Siedlungsrändern. Hier entstehen durch die Rasterdarstellung der Daten und die begrenzte Auflösung Ungenauigkeiten, die sich in Form von Treppeneffekten zeigen und lineare oder kleinere bauliche Strukturen wie Straßen und einzelne Häuser verzerrt darstellen. Die Klassifizierung der Wohnbautätigkeit nach Innen- und Außenentwicklung ist in diesen Grenzbereichen demnach stärker von Unsicherheiten betroffen. Wie Eichhorn et al.

(ming) am Fallbeispiel des Regierungsbezirks Düsseldorf zeigen, sind die mit dem GHSL ermittelten Innenentwicklungsanteile dennoch vergleichbar mit Anteilen anderer (amtlicher) Siedlungsabgrenzungen und grundsätzlich geeignet, um regionale und nationale Entwicklungstrends abzubilden. Eine weitere Einschränkung betrifft die Genauigkeit der GHSL-Daten, die je nach Aufnahmezeitpunkt der Satellitenbilder variiert. Jüngere Bilder sind präziser, während ältere Aufnahmen eine geringere Auflösung aufweisen. Bei Längsschnittanalysen – so wie sie im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführt wurden – kann dies zu Verzerrungen führen, da Siedlungen in ihrem Umfang auf älteren Satellitenbildern möglicherweise unterschätzt werden und so räumliche Veränderungsprozesse im Zeitverlauf lediglich aufgrund von unterschiedlichen Datenqualitäten beobachtet werden (Eichhorn, 2023). Dies betrifft insbesondere kleinere Siedlungen in ländlichen Gebieten, deren unregelmäßige Bebauung weniger akkurat erfasst wird. In Folge können insbesondere diese Räume von einer systematischen Untererfassung der Innenentwicklung betroffen sein.

**Automatische Siedlungserkennung:** Ein weiteres Problem ergibt sich durch die automatische Klassifikation von bebauten und unbebauten Flächen beim GHSL. Eingesetzte Algorithmen zur automatischen Klassifikation von Fernerkundungsdaten sind nicht fehlerfrei (Liu et al., 2020; Sandler und Rashford, 2018). Dies führt dazu, dass gelegentlich Nicht-Siedlungsflächen fälschlicherweise als Siedlungen klassifiziert werden und umgekehrt. Die im Rahmen der Studie untersuchten neu gebauten Wohneinheiten können demnach von Fehlklassifikationen betroffen sein, was in Folge zu Ungenauigkeiten bei der Abschätzung der Innenentwicklung führen kann. Wie hoch dieser Fehler ist, konnte im Rahmen der flächendeckenden Analyse nicht quantifiziert werden.

**Kontextinformationen der Flächennutzung:** Der GHSL-Datensatz enthält lediglich Informationen zu bebauten und unbebauten Flächen, ohne zwischen verschiedenen Flächennutzungen zu unterscheiden. So lässt sich mit dem GHSL kaum untersuchen, ob durch Innenentwicklungsmaßnahmen bereits bebauter Gebiete verdichtet oder Brach-, Frei- oder Grünflächen neu bebaut wurden. Solche zusätzlichen Daten wären jedoch wichtig für eine tiefere Analyse der Innenentwicklung, insbesondere um soziale, städtebauliche und ökologische Auswirkungen von Verdichtungsmaßnahmen zu bewerten.

**Erfassung der Wohnbautätigkeit:** Der verwendete Zensus 2011 stellt einen statischen Datensatz dar. Das heißt, dass im Rahmen der Analyse ausschließlich Gebäude bzw. Wohneinheiten berücksichtigt werden konnten, die zum Zeitpunkt der Zensus-Befragung existierten. Die Wohnbautätigkeit, die im Zuge von Bau und Abriss vor 2011 stattfand, wird mit dem Zensus demnach nicht erfasst. Hinzu kommt, dass im Datensatz nicht alle Wohngebäude bzw. Wohneinheiten ein Baujahr besitzen. Die entsprechenden Gebäude und Wohneinheiten konnten so in der Analyse nicht berücksichtigt werden, da für diese das Jahr der Baufertigstellung nicht ermittelt werden konnte. Insgesamt muss daher davon ausgegangen werden, dass die Wohnbautätigkeit und die städtebauliche Dynamik in den Untersuchungszeiträumen tendenziell unterschätzt wird. Da sich der Anteil der betroffenen Gebäude und Wohneinheiten jedoch auf einem geringen bis moderaten Niveau bewegt, bleibt die Annahme gerechtfertigt, dass die generellen räumlichen Entwicklungstrends der Innenentwicklung dennoch valide abgebildet werden können.

## 5.5 Verbreitung der Forschungsergebnisse

Die Verbreitung der in der vorliegenden Arbeit berichteten Ergebnisse erfolgte im Wesentlichen durch Zeitschriftenartikel und Konferenzpräsentationen. Diese Verbreitungsstrategie ermöglichte es, Fachleute, Forscher, Studierende und die breite Öffentlichkeit zu erreichen, das Interesse an dem Thema zu wecken und wertvolle Rückmeldungen von verschiedenen Zielgruppen zu den Mess- und Evaluationsmethoden zu erhalten, die schließlich zur Verbesserung des Inhalts der Arbeit beitrugen. Darüber hinaus boten die Konferenzen eine Plattform für den direkten Austausch mit anderen Forschenden, was nicht nur die Relevanz und Aktualität der behandelten Themen stärkte, sondern auch neue Kooperationen ermöglichte. Besonders wertvoll waren die Diskussionen und Anregungen von Expertinnen und Experten auf diesen Veranstaltungen, die halfen, methodische Aspekte zu verfeinern und Perspektiven aus anderen Disziplinen zu integrieren. Insgesamt trug die Verbreitungsstrategie dazu bei, die Ergebnisse dieser Arbeit stärker in der wissenschaftlichen Community zu verankern und wertvolle Impulse für zukünftige Forschungsfragen und -projekte zu sammeln. Die Artikel und Präsentationen sind in Teil II des Rahmentextes aufgeführt.

## 5.6 Weiterer Forschungsbedarf

Es bestehen mehrere relevante Forschungsbedarfe, die sich aus den in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnissen und dargestellten Limitationen ergeben. Diese Anforderungen an weitere Forschung lassen sich in verschiedenen Bereichen und Perspektiven konkretisieren und sollen im Folgenden dargestellt werden.

Die vorliegende Dissertation konzentriert sich bei der Analyse der Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf den Bereich Wohnen. Zwar ist diese Fokussierung aufgrund der absolut größten Bedeutung für die Flächeninanspruchnahme gerechtfertigt, doch tragen auch andere Flächennutzungen wie Einzelhandel, Gewerbe, Industrie, Freizeit, Erholung und Verkehr erheblich zur Gesamtflächeninanspruchnahme bei. Dies ist insbesondere deshalb relevant, da das 30-Hektar-Ziel auch diese Flächennutzungen mit einschließt (Beckmann und Dosch, 2018). Während die systematische (wissenschaftliche) Analyse der Steuerung solcher Flächennutzungen bislang unterrepräsentiert ist, könnten vergleichbare Untersuchungen eine sinnvolle inhaltlich-konzeptionelle Ergänzung zu der hier vorliegenden sein, um die Flächeninanspruchnahme insgesamt besser zu verstehen und langfristig effektiv zu steuern. Aufgrund der unterschiedlichen Marktmechanismen, Akteure und Steuerungsinstrumente in den verschiedenen Nutzungsbereichen erfordert die Untersuchung der Flächensteuerung jedoch eigenständige Mess- und Evaluationsmethoden mit spezifischen theoretisch-konzeptionellen Zugängen (Jehling et al., 2021; Zaspel, 2011). Die vorliegende Analyse beschränkt sich zudem auf die Veränderung der Wohn- und Mischflächen bzw. das Wachstum oder die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme im Bereich Wohnen. Weitere relevante Dimensionen der Siedlungsentwicklung werden nicht betrachtet (Siedentop und Fina, 2010). Aussagen zur Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung auf diese Dimensionen lassen sich demnach nicht ableiten. Unter Berücksichtigung bestehender Festlegungen im ROG und bestehender nationaler Zielsetzungen (Die Bundesregierung, 2021) sind der Einfluss der Regionalplanung auf die Veränderung der Siedlungsdichte, die Entwicklung von neuen Siedlungsflächen an Knotenpunkten des ÖPNV sowie die Eindämmung städtischer Zersiedlung oder die Wohnraumschaffung ebenfalls Aspekte, die von wissenschaftlicher und gesellschaftlicher Relevanz sind. So hat die Regionalplanung nicht nur die Aufgabe auf eine Reduzierung bzw. Minimierung der Flächeninanspruchnahme hinzuwirken (§ 2 ROG), sondern auch das Ziel, spezifische lokale Wohnraumbedarfe bei der Regionalentwicklung

zu berücksichtigen und potenzielle Wohnbauflächen zu identifizieren und vorzuhalten. Angesichts der aktuellen Entwicklungen (seit 2010) auf vielen deutschen Wohnungsmärkten (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2020) mag es nicht überraschen, dass die Regionalplanungsbehörden in den letzten Jahren aller Voraussicht eher darauf hingewirkt haben, die lokale Nachfrage nach Bauland zu befriedigen, als sie zu begrenzen. Über siedlungsstrukturelle und (eher) ökologische Aspekte der regionalplanerischen Steuerung hinaus fehlt es an (quantitativen) Studien, die sich mit den (direkten und indirekten) ökonomischen und sozialen Effekten einer restriktiven Bodenpolitik befassen. Ein erster empirischer Vorstoß wurde unter anderem von Eichhorn und Pehlke (2022) vorgenommen, die die Effekte einer strengen regionalplanerischen Regulierung auf die Wohnbautätigkeit sowie die Boden- und Mietpreise in den deutschen Arbeitsmarktregionen untersucht haben. Angesichts des Ziels, die Flächeninanspruchnahme bis 2050 auf Nettonull zu senken, wird es zunehmend wichtig, diese Effekte besser zu verstehen, um eine sozial gerechte Flächenkreislaufwirtschaft sicherzustellen und Akzeptanz für eine Bodenpolitik zu schaffen, die sich zukünftig deutlich stärker mit Fragen der Flächeneffizienz und dem Rückbau von ungenutzten und redundant gewordenen Siedlungs- und Verkehrsflächen beschäftigen muss. Ein zentraler Forschungsbedarf liegt in der methodischen Weiterentwicklung zur Integration und Messung des *Throughputs* in quantitativen Studiendesigns, um nicht nur *Output* (Regionalpläne) und *Outcome* (tatsächliche Siedlungsentwicklung), sondern auch die Prozesse zwischen Planung und Umsetzung systematisch und quantitativ zu untersuchen. Der *Throughput* könnte dabei operationalisiert werden, um unter anderem Governance-, Entscheidungs- und Beteiligungsprozesse sowie Verfahrenstransparenz oder Konfliktbewältigung für statistische Verfahren nutzbar zu machen. Hierbei sind unter anderem Indikatoren zur Dauer des Planungsprozesses (Die Zeit, die von der Planung bis zur endgültigen Verabschiedung eines Regionalplans vergeht), zur Anzahl der beteiligten Akteure (Wie viele Akteure am Planungsprozess beteiligt sind, gemessen durch die Anzahl der öffentlichen Anhörungen, Konsultationen oder Stellungnahmen), zur Verfahrenstransparenz (Metriken zur Offenlegung von Planungsinformationen, z. B. die Anzahl veröffentlichter Berichte, Protokolle oder Online-Konsultationen) oder zur Konfliktdichte (Anzahl und Intensität von Streitpunkten oder rechtlichen Auseinandersetzungen) denkbar. Die Dissertation zeigt, dass die Wirksamkeit der Regionalplanung von lokalen Faktoren und Interessengruppen beeinflusst wird. Wie in Kapitel 5.4 dargestellt gibt es Forschungsbedarf bei der Operationalisierung von Interessengruppen, um besser zu verstehen, wie regionalplanerische Vorgaben beeinflusst werden und wie regionale Planungsprozesse verbessert werden können. Eine zentrale Herausforderung liegt in der Entwicklung quantitativer Forschungsdesigns, die es ermöglichen, die Rolle unterschiedlicher Akteure systematisch zu untersuchen. Dazu gehört die präzise Operationalisierung der Akteure, einschließlich ihrer Positionen, Einstellungen und Einflussstrategien, um deren Wirkungsmechanismen innerhalb regionalplanerischer Prozesse zu analysieren. Solche Ansätze könnten es erlauben, den Grad der Einflussnahme von Interessengruppen zu messen und ihre Bedeutung für die Umsetzung planerischer Vorgaben empirisch zu bewerten. Dies würde nicht nur ein besseres Verständnis der Dynamiken zwischen regionalen und lokalen Akteuren schaffen, sondern auch konkrete Ansatzpunkte zur Verbesserung der Governance-Strukturen und der Effizienz regionalplanerischer Steuerung liefern. Empirische Ansätze bieten vielversprechende Möglichkeiten, diesen Forschungsbedarf zu adressieren. Beispielsweise könnten standardisierte Befragungen von regionalen und lokalen Akteuren dazu genutzt werden, deren Einstellungen, Interessen und Wahrnehmungen regionalplanerischer Vorgaben systematisch zu erfassen. Sozialwissenschaftliche Netzwerkanalysen könnten Einblicke in die Beziehungsgeflechte und die Machtverhältnisse zwischen den beteiligten Akteuren liefern. Ein weiteres potenzielles Werkzeug wären Experimentelle Designs oder Planspiele, die simulieren, wie unterschiedliche

Interessengruppen Entscheidungen beeinflussen. Solche Ansätze könnten nicht nur die Mechanismen der Einflussnahme besser sichtbar machen, sondern auch mögliche Optimierungen im Planungsprozess identifizieren. In Bezug auf die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den schienengebundenen Regionalverkehr sollten in Zukunft verstärkt auch Innen- und Nachverdichtungspotenziale in Mess- und Evaluationsmethoden abgebildet werden. Der Einsatz von Gebäudedaten (z. B. *building footprints*) führt zwar zu rechenintensiveren räumlichen Analysen, es ermöglicht jedoch auch die deutlich genauere Erfassung von Potenzialen im Wohnungs- bzw. Gebäudebestand. Die Innenentwicklung wurde anhand von Wohneinheiten in 100x100m Gitterzellen geschätzt. Diese Methode erlaubt eine auf regionaler Ebene robuste Abschätzung der Innenentwicklungsanteile, führt jedoch durch die geringe Auflösung zu Ungenauigkeiten und Fehlklassifikationen, besonders an den Siedlungsrändern. Zukünftig wäre es daher wünschenswert, offene Geodaten zu Gebäuden und Wohneinheiten verfügbar zu machen, um die Messung der Innenentwicklung zu vereinfachen und deutlich zu verbessern. Kombiniert mit Daten aus dem ATKIS® oder ALKIS® könnten so auch unterschiedliche Typen der Innenentwicklung kleinräumig analysiert werden (Claassens et al., 2020; Götze und Jehling, 2023; Götze et al., 2024). Dies wäre nicht zuletzt eine wichtige Grundvoraussetzung, um den Einfluss der Innenentwicklung auf Leitbilder wie die Doppelte Innenentwicklung zu untersuchen und mit der Erhaltung, Weiterentwicklung und Qualifizierung des urbanen Grüns zu verbinden (Gstach und Berding, 2016; Thorne et al., 2017; Koch et al., 2018; Eichhorn et al., 2021b).

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Arbeit, dass die Analyse regionalplanerischer Steuerungsansätze eine hohe Komplexität aufweist und sich auf vielfältige Weise durchführen lässt. Die Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung ergibt sich vor allem aus dem Zusammenspiel verschiedener Ansätze, die sich gegenseitig ergänzen und in ihrer Wirksamkeit beeinflussen. Um die Steuerungsleistungen der Regionalplanung künftig noch präziser bewerten zu können, ist die Entwicklung integrierter Mess- und Evaluationsmethoden von zentraler Bedeutung. Eine umfassende Messung und Bewertung der Steuerungsansätze erfordert daher nicht nur die Berücksichtigung ihrer individuellen Wirkungen, sondern auch das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Maßnahmen und deren gemeinsamer Einfluss auf die Siedlungs- und Flächenentwicklung. Hierzu sind kontinuierlich verfügbare und valide (Geo-)Daten essenziell, die eine präzise und zeitgemäße Analyse ermöglichen. Gleichzeitig bedarf es einer grundsätzlichen Einigung über die anzuwendenden Bewertungskriterien, um die Ergebnisse der regionalplanerischen Steuerung nachvollziehbar und vergleichbar zu gestalten. Die Sicherstellung dieser Voraussetzungen sowie die kontinuierliche Weiterentwicklung methodischer Ansätze zur ganzheitlichen Evaluation der Regionalplanung sind entscheidende Forschungsfelder, um die Zielsetzungen einer nachhaltigen Flächenkreislaufwirtschaft und einer sozialgerechten Raumentwicklung effektiv zu unterstützen.

# Kapitel 6

## Fazit

Es wurde viel Wert darauf gelegt, dass die hier gewählten Themenschwerpunkte und Untersuchungsansätze ein schlüssiges Gesamtkonzept bzw. eine schlüssige wissenschaftliche Gesamtarbeit ergeben. Ohne jeden Zweifel hätte es viele weitere inhaltliche, konzeptionelle und methodische Zugänge für die Arbeit gegeben. Letztlich spiegelt sich in der finalen inhaltlichen, theoretisch-konzeptionellen und methodischen Ausgestaltung der vorliegenden kumulativen Dissertation das Zusammenspiel aus Forschungsinteresse und -praxis wider und muss – auch in Abgrenzung zu anderen Dissertationen – als ein interaktiver Prozess gesehen werden, in dessen Verlauf immer wieder neue Forschungserkenntnisse eingeflossen sind, die das methodische Vorgehen und letztlich die Ergebnisse beeinflusst haben.

Die zentrale Fragestellung der Arbeit, wie die Regionalplanung zur Steuerung der Siedlungsentwicklung beitragen kann, wurde aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet, wobei drei Forschungsansätze im Vordergrund standen: die Steuerungswirksamkeit der Regionalplanung, die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf den ÖPNV und der Vorrang der Innen- vor Außennentwicklung. Die Ergebnisse zeigen, dass die Steuerung der Siedlungsentwicklung bezogen auf die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch die Regionalplanung grundsätzlich wirksam ist, jedoch stark von lokalen Faktoren und Interessen beteiligter Akteure beeinflusst wird. Die Ergebnisse der TOD-Analyse verdeutlichen, dass insbesondere in urbanen Räumen Bahnhaltepunkte mit überdurchschnittlich hohen TOD-Werten vorzufinden sind. Dies unterstreicht das Potenzial bestehende Bahnhaltepunkte zur Intergration von Siedlungs- und Verkehrsentwicklung zu nutzen und eine ressourcenschonende und nachhaltige Siedlungsentwicklung zu fördern. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse eine deutliche Diskrepanz zwischen der Verfügbarkeit von Bauland und den operationalisierten TOD-Dimensionen: Während in Gebieten mit hoher Nachfrage – besonders in der Nähe leistungsfähiger Bahnhaltepunkte – wenig bebaubares Land zur Verfügung steht, gibt es in Regionen mit niedrigeren TOD-Werten oft größere Flächenpotenziale. In Bezug auf den Vorrang der Innen- vor der Außenentwicklung zeigen die Ergebnisse, dass deutsche Städte in den letzten Jahrzehnten Fortschritte bei der Umsetzung einer nach Innen gerichteten Wohnbautätigkeit gemacht haben. Es wird jedoch deutlich, dass es große Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Räumen gibt. Während in städtischen und zentraleren Regionen die Innenentwicklung ein konstitutives Element der Siedlungsentwicklung darstellt, bleiben in ländlicheren Gebieten gering verdichtete Wohnungsbauvorhaben auf der grünen Wiese die dominante Form der Wohnraumschaffung.

Methodisch leistet die Arbeit wichtige Beiträge zur Weiterentwicklung der räumlichen Analyse. Die Entwicklung und Anwendung neuer Mess- und Evaluationsmethoden, wie die MLR oder die Quantifizierung der Innenentwicklung, zeigen, dass solche Ansätze helfen können, komplexe räumliche Wechselwirkungen besser zu verstehen und für die Planung nutzbar zu machen. Dies eröffnet neue Möglichkei-

ten für die Praxis der Siedlungsentwicklung, indem durch fundierte Datenanalysen gezielt Maßnahmen entwickelt und umgesetzt werden können, die eine nachhaltige Siedlungs- und Verkehrsplanung unterstützen. Die in der kumulativen Dissertation verwendeten Forschungs- und Untersuchungsperspektiven bieten dabei nicht nur eine differenzierte Analyse der Siedlungsentwicklung und ihrer Einflussfaktoren, sondern ergänzen sich in ihren methodisch-konzeptionellen Zugängen, indem sie auf unterschiedlichen Zeithorizonten basieren. Während die *ex ante* Analyse zukünftige Potenziale und Risiken aufzeigt, stellt die *ex post* Analyse eine Rückschau auf bisherige Entwicklungen dar. Die Programmevaluation ermöglicht schließlich eine ganzheitliche Betrachtung der Wirksamkeit der Regionalplanung. Durch die Integration dieser Ergebnisse werden synergetische Effekte sichtbar, die zu einem tieferen Verständnis der komplexen Wechselwirkungen in der Siedlungsentwicklung führen und wertvolle Erkenntnisse für die zukünftige Praxis liefern. Die kumulative Dissertation zeigt jedoch auch, dass mit dem Einsatz der entwickelten Mess- und Evaluationsmethoden Grenzen verbunden sind. So bleiben trotz der umfangreichen Ergebnisse Fragen offen, die in der Zukunft untersucht werden sollten, wie etwa der Umgang mit Interessenkonflikten zwischen unterschiedlichen Akteuren oder die Herausforderungen, die durch den Mangel an verfügbarem Bauland in stark nachgefragten Räumen entstehen. Weitere Forschungsarbeiten sollten sich verstärkt mit der Frage beschäftigen, wie die Regionalplanung auch in solchen Gebieten eine aktive Steuerungsrolle einnehmen kann und wie Ansätze, etwa zur Mobilisierung und Wiedernutzbarmachung von Bauland, entwickelt werden können. Die vorliegende Dissertation zeigt, dass eine kohärente, datenbasierte Steuerung durch die Regionalplanung maßgeblich dazu beitragen kann, diese Herausforderungen zu bewältigen und eine nachhaltige Regionalentwicklung zu fördern.

# Literaturverzeichnis

- Alonso, W. (1964). *Location and land use: Toward a general theory of land rent*. Harvard Univ. Press, Cambridge/Massachusetts, 2. auflage 1968. Auflage.
- Altuntaş Vural, C., Roso, V., Árni Halldórsson, Ståhle, G., und Yaruta, M. (2020). Can digitalization mitigate barriers to intermodal transport? An exploratory study. *Research in Transportation Business & Management*, 37.
- Ammann, I., Brack, N., Claßen, G., Degener, E., Duvernet, C., Franke, J., Lihs, V., Neußer, W., Nielsen, J., Oettgen, N., Rein, S., Schmidt, C. F., Schürt, A., Waltersbacher, M., und Zander, C. (2021). Wohnungs- und Immobilienmärkte in Deutschland 2020.
- Anabtawi, S. (2023). Towards a Better Understanding of Compact Cities. *Journal of Planning Literature*, 38(4):531–547.
- Angel, S. (2023). Urban expansion: theory, evidence and practice. *2632-6655*, 4(1):124–138.
- Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., Blei, A., und Potere, D. (2011). The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050. *Progress in Planning*, 75(2):53–107.
- Anthony, J. (2004). Do State Growth Management Regulations Reduce Sprawl? *Urban Affairs Review*, 39(3):376–397.
- Apell, S. (2015). *Evaluating The Unintended Impacts Of Socio-economic And Demographic Shifts In Transit Served Neighborhoods On Mode Choice And Equity*. Dissertation, University of Texas at Arlington.
- Augenstein, K. (2015). Analysing the potential for sustainable e-mobility – The case of Germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 14:101–115.
- Balázs, B., Unger, J., Gál, T., Sümeghy, Z., Geiger, J., und Szegedi, S. (2009). Simulation of the mean urban heat island using 2D surface parameters: empirical modelling, verification and extension. *Meteorological Applications*, 16(3):275–287.
- Barbosa, A. M., Fontaneto, D., Marini, L., und Pautasso, M. (2010). Is the human population a large-scale indicator of the species richness of ground beetles? *Animal Conservation*, 13(5):432–441.
- Bartholomew, K. und Ewing, R. (2011). Hedonic Price Effects of Pedestrian- and Transit-Oriented Development. *Journal of Planning Literature*, 26(1):18–34.

- Beckmann, G. und Dosch, F. (2018). Das Siedlungsflächenmonitoring des Bundes zwischen Anspruch und Praxis. *Stadtforschung und Statistik: Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker*, 31(2):13–22.
- Behnisch, M., Kretschmer, O., und Meinel, G., Herausgeber (2018). *Flächeninanspruchnahme in Deutschland: Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung*. Springer Spektrum, Berlin.
- Behnisch, M., Krüger, T., und Jaeger, J. A. G. (2022). Rapid rise in urban sprawl: Global hotspots and trends since 1990. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1(11):1–30.
- Berghauer Pont, M., Haupt, P., Berg, P., Alstäde, V., und Heyman, A. (2021). Systematic review and comparison of densification effects and planning motivations. *Buildings and Cities*, 2(1):378–401.
- Bertolini, L. (1996). Nodes and places: complexities of railway station redevelopment. *European Planning Studies*, 4(3):331–345.
- Bibby, P., Henneberry, J., und Halleux, J.-M. (2020). Under the radar? ‘Soft’ residential densification in England, 2001–2011. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(1):102–118.
- Bowes, D. R. und Ihlanfeldt, K. R. (2001). Identifying the Impacts of Rail Transit Stations on Residential Property Values. *Journal of Urban Economics*, 50(1):1–25.
- Breheny, M. (1997). Urban compaction: feasible and acceptable? *Cities*, 14(4):209–217.
- Brill, F. (2022). Governing investors and developers: Analysing the role of risk allocation in urban development. *Urban Studies*, 59(7):1499–1517.
- Broitman, D. und Koomen, E. (2015). Residential density change: Densification and urban expansion. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54:32–46.
- Broitman, D. und Koomen, E. (2020). The attraction of urban cores: Densification in Dutch city centres: Densification in Dutch city centres. *Urban Studies*, 57(9):1920–1939.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2022). Bauland- und Innenentwicklungspotenziale in deutschen Städten und Gemeinden.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2020). Immobilienpreisentwicklungen - Übertreibungen oder Normalität?
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2007). Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (2007). Festlegungen zum Verkehr in Regionalplänen. Hinweise für die Raumordnungspraxis.
- Calthorpe, P. (1993). *The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream*. Princeton Architectural Press, New York.

- Canzler, W. und Knie, A. (2016). Mobility in the age of digital modernity: why the private car is losing its significance, intermodal transport is winning and why digitalisation is the key. *Applied Mobilities*, 1(1):56–67.
- Carruthers, J. I. (2002). The Impacts of State Growth Management Programmes: A Comparative Analysis. *Urban Studies*, 39(11):1959–1982.
- Carruthers, J. I. und Ulfarsson, G. F. (2003). Urban Sprawl and the Cost of Public Services. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(4):503–522.
- Cervero, R. (1984). Journal Report: Light Rail Transit and Urban Development. *Journal of the American Planning Association*, 50(2):133–147.
- Cervero, R. (1995). Sustainable new towns: Stockholm’s rail-served satellites. *Cities*, 12(1):41–51.
- Cervero, R. (1998). *The Transit Metropolis: A Global Inquiry*. Island Press.
- Cervero, R. und Arrington, G. (2008). Vehicle Trip Reduction Impacts of Transit-Oriented Housing. *Journal of Public Transportation*, 11(3):1–17.
- Chatman, D. G. (2013). Does TOD Need the T? *Journal of the American Planning Association*, 79(1):17–31.
- Chetry, V. (2023). A Critical Review of Urban Sprawl Studies. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 7(28):1–13.
- Ciccone, A. (2002). Agglomeration effects in Europe. *European Economic Review*, 46(2):213–227.
- Claassens, J., Koomen, E., und Rouwendal, J. (2020). Urban density and spatial planning: The unforeseen impacts of Dutch devolution. *PLOS ONE*, 15(10):1–20.
- Clark, L. P., Millet, D. B., und Marshall, J. D. (2011). Air Quality and Urban Form in U.S. Urban Areas: Evidence from Regulatory Monitors. *Environmental Science & Technology*, 45(16):7028–7035.
- Clark, W. A. V. (2013). Life course events and residential change: Unpacking age effects on the probability of moving. *Journal of Population Research*, 30(4):319–334.
- Colavitti, A. M. und Serra, S. (2019). The Role Of Regulation In The Land-Take Control. The Italian Case Of The Metropolitan City Of Cagliari. *Land Use Policy*, 83:270–281.
- Colsaet, A., Laurans, Y., und Levrel, H. (2018). What drives land take and urban land expansion? A systematic review. *Land Use Policy*, 79:339–349.
- Corbane, C., Pesaresi, M., Kemper, T., Politis, P., Florczyk, A. J., Syrris, V., Melchiorri, M., Sabo, F., und Soille, P. (2019). Automated global delineation of human settlements from 40 years of Landsat satellite data archives. *Big Earth Data*, 3(2):140–169.
- Dadashpoor, H. und Shahhossein, G. (2024). Defining urban sprawl: A systematic review of 130 definitions. *Habitat International*, 146:103039.

- Danielzyk, R. und Münter, A. (2018). Spatial Planning. In ARL - Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft, Herausgeber, *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*, Seiten 1931–1942. ARL - Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft.
- Dawkins, C. J. und Nelson, A. C. (2003). State Growth Management Programs and Central-City Revitalization. *Journal of the American Planning Association*, 69(4):381–396.
- Decoville, A. und Schneider, M. (2015). Can the 2050 zero land take objective of the EU be reliably monitored? A comparative study. *Journal of Land Use Science*, 11(3):1–19.
- Deschermeier, P., Fuchs, J., Iwanow, I., und Wilke, C. B., Herausgeber (2020). *Zur Relevanz von Bevölkerungsvorausberechnungen für Arbeitsmarkt-, Bildungs- und Regionalpolitik*, Band 372 in *IAB-Bibliothek*. WBV Media, Bielefeld.
- Die Bundesregierung (2002). Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Perspektiven für Deutschland.
- Die Bundesregierung (2016). Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Neuauflage 2016.
- Die Bundesregierung (2021). Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie - Weiterentwicklung 2021.
- Diller, C., Eichhorn, S., und Pehlke, D. (2021). Evaluation der Steuerung regionalplanerischer Instrumente zur Steuerung der Siedlungsentwicklung. In Henn, S., Zimmermann, T., und Braunschweig, B., Herausgeber, *Stadtregionales Flächenmanagement*, Seiten 1–21. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Diller, C. (2012). Evaluation der regionalen Raumordnungsplanung - Praxis, Forschung, Perspektiven. *0303-2493*, (1/2):1–15.
- Diller, C. und Eichhorn, S. (2021). Transit-Oriented Development : An International Literature Review. *pnd - rethinking planning*, (2):164–185.
- Dong, H. (2017). Rail-transit-induced gentrification and the affordability paradox of TOD. *Journal of Transport Geography*, 63:1–10.
- Downs, A. (2005). Smart Growth: Why We Discuss It More than We Do It. *Journal of the American Planning Association*, 71(4):367–378.
- Edwards, M. M. und Xiao, Y. (2009). Annexation, Local Government Spending, and the Complicating Role of Density. *Urban Affairs Review*, 45(2):147–165.
- Ehrhardt, D., Behnisch, M., Jehling, M., und Michaeli, M. (2023). Mapping soft densification: a geospatial approach for identifying residential infill potentials. *Buildings and Cities*, 4(1):193–211.
- Ehrhardt, D., Eichhorn, S., Behnisch, M., Jehling, M., Münter, A., Schünemann, C., und Siedentop, S. (2022). Stadtregionen im Spannungsfeld zwischen Wohnungsfrage und Flächensparen. Trends, Strategien und Lösungsansätze in Kernstädten und ihrem Umland. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 80(5):522–541.
- Eichhorn, S. (2023). Infilling in Germany. Estimating the extent of infilling in German municipalities between 1979 and 2011. *Landscape and Urban Planning*, 240:1–16.

- Eichhorn, S., Adam, B., Schürholt, K., Jansen, H., Kötter, T., Terfrüchte, T., Eichfuss, S., Rohde, N., Wilberz, J., und Stielike, J. M. (2024a). No net land take policy in practice: Applications and potentials of planning instruments in municipalities. Results of an online survey in North Rhine-Westphalia. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 82(1):68–84.
- Eichhorn, S., Diller, C., und Pehlke, D. (2022a). Die Entwicklung der Regulierungsintensität der deutschen Regionalpläne von 1985 bis 2017. Ein empirischer Beitrag zur Diskussion um den Bedeutungsverlust der Raumordnung. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, Seiten 207–224.
- Eichhorn, S., Diller, C., und Pehlke, D. (2022b). Wirkungen der Regionalplanung bei der Steuerung der Siedlungsentwicklung. In Henn, S., Zimmermann, T., und Braunschweig, B., Herausgeber, *Stadtregionales Flächenmanagement*, Seiten 1–30. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Eichhorn, S., Ehrhardt, D., und Jehling, M. (2024b). From policies to outcomes: multi-level analysis of the influence of regional planning on land take. *European Planning Studies*, 0(0):1–21.
- Eichhorn, S., Ehrhardt, D., Münter, A., Behnisch, M., und Jehling, M. (2024c). Understanding land take by low-density residential areas: An institutionalist perspective on local planning authorities, developers and households. *Land Use Policy*, 143:1–11.
- Eichhorn, S., Gerten, C., und Diller, C. (2021a). Bewertung und Klassifizierung von Bahnhaltepunkten in Nordrhein-Westfalen. Ein methodischer Ansatz zur Operationalisierung von „Transit-Oriented Development“. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 79(1):21–38.
- Eichhorn, S., Harig, O., Hecht, R., und Siedentop, S. (forthcoming). Assessing the suitability of settlement delineation for monitoring infilling: A web- and GIS-based expert evaluation approach. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 0(0):1–21.
- Eichhorn, S. und Pehlke, D. (2022). Unintended effects of regional planning in Germany. *Growth and Change*, 53(2):933–950.
- Eichhorn, S., Rusche, K., und Weith, T. (2021b). Integrative governance processes towards sustainable spatial development – solving conflicts between urban infill development and climate change adaptation. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(12):2233–2256.
- Eichhorn, S. und Siedentop, S. (2022). Innen vor Außen? Eine Schätzung der Innenentwicklung in nordrhein-westfälischen Gemeinden, 1979 bis 2011. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 80:640–658.
- Einig, K. (2005). Regulierung des Siedlungsflächenwachstums als Herausforderung des Raumordnungsrechts. *disP - The Planning Review*, 41(160):48–57.
- Einig, K., Jonas, A., und Zaspel, B. (2010). Evaluation von Regionalplänen – ein theoriebasierter Ansatz zur Analyse von Instrumenten zur Steuerung der Siedlungsentwicklung. In *REAL CORP 2010, Cities for everyone: liveable, healthy, prosperous, proceedings of 15th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society*,, Seiten 265 – 276.
- European Commission (2011). Roadmap to a Resource Efficient Europe.

- European Commission (2021). EU Soil Strategy for 2030: Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate.
- European Environment Agency und Swiss Federal Office for the Environment, Herausgeber (2016). *Urban sprawl in Europe: Joint EEA-FOEN report*, Band 11/2016 in *EEA report*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Ewing, R., Hajrasouliha, A., Neckerman, K. M., Purciel-Hill, M., und Greene, W. (2016). Streetscape Features Related to Pedestrian Activity. *Journal of Planning Education and Research*, 36(1):5–15.
- Ewing, R. und Hamidi, S. (2015). Compactness versus Sprawl. *Journal of Planning Literature*, 30(4):413–432.
- Ewing, R., Lyons, T., Siddiq, F., Sabouri, S., Kiani, F., Hamidi, S., Choi, D.-a., und Ameli, H. (2022). Growth Management Effectiveness: A Literature Review. *Journal of Planning Literature*, 37(3):433–451.
- Fallah, B. N., Partridge, M. D., und Olfert, M. R. (2011). Urban sprawl and productivity: Evidence from US metropolitan areas. *Papers in Regional Science*, 90(3):451–472.
- Feiock, R. C. (2004). Politics, Institutions and Local Land-use Regulation. *Urban Studies*, 41(2):363–375.
- Ferreira, A., Pinheiro, M. D., de Brito, J., und Mateus, R. (2023). A critical analysis of LEED, BREEAM and DGNB as sustainability assessment methods for retail buildings. *Journal of Building Engineering*, 66:105825.
- Fertner, C., Jørgensen, G., Sick Nielsen, T. A., und Bernhard Nilsson, K. S. (2017). Urban sprawl and growth management – drivers, impacts and responses in selected European and US cities. *Future Cities and Environment*, 2:1–13.
- Fischel, W. A. (2005). Politics In A Dynamic View Of Land-Use Regulations: Of Interest Groups And Homevoters. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 31(4):397–403.
- Fischer, K. (1984). Evaluierung in kleinen Schritten. Vorschläge für vereinfachte Erfolgskontrollen und Wirkungsanalysen auf Ebene der Regional- und Bauleitplanung. In ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Herausgeber, *Wirkungsanalysen und Erfolgskontrolle in der Raumordnung. Forschungs- und Sitzungsberichte*, Seiten 291–318. ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.
- for the New Urbanism, C. (2000). Charter of the New Urbanism. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 20(4):339–341.
- Fürst, D. (2000). Kann man die Wirkung der Raumplanung messen? In *Wirkungsforschung zum Recht II*, Seiten 107–118. Hermann Hill and Hagen Hof, Baden-Baden.
- Gallardo, M. und Martínez-Vega, J. (2016). Three decades of land-use changes in the region of Madrid and how they relate to territorial planning. *European Planning Studies*, 24(5):1016–1033.
- García-López, M.-A., Hémet, C., und Viladecans-Marsal, E. (2017). Next train to the polycentric city: The effect of railroads on subcenter formation. *Regional Science and Urban Economics*, 67:50–63.

- Genovese, D., Candiloro, S., D'Anna, A., Dettori, M., Restivo, V., Amodio, E., und Casuccio, A. (2023). Urban sprawl and health: a review of the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 18(8):083004.
- Gerber, J.-D. und Bandi Tanner, M. (2018). The role of Alpine development regimes in the development of second homes: Preliminary lessons from Switzerland. *Land Use Policy*, 77:859–870.
- Gerber, J.-D. und Debrunner, G. (2022). Planning with power. Implementing urban densification policies in Zurich, Switzerland. *Land Use Policy*, 123:1–13.
- Gerten, C. und Fina, S. (2022). Scrutinizing the buzzwords in the mobility transition: The 15-minute-city, the one-hour metropolis, and the vicious cycle of car dependency. *vol. 16. Measuring the City: The Power of Urban Metrics (MIT Press)*.
- Gerten, C., Fina, S., und Rusche, K. (2019). The Sprawling Planet: Simplifying the Measurement of Global Urbanization Trends. *Frontiers in Environmental Science*, 7:1–20.
- Gohl, N. (2019). House prices and spatial mobility: Lock-in effects on the German rental market. In *Beiträge zur Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik 2019: 30 Jahre Mauerfall - Demokratie und Marktwirtschaft*, Nummer F02-V2 in Beiträge zur Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik 2019: 30 Jahre Mauerfall - Demokratie und Marktwirtschaft - Session: Applied Microeconomics - Housing, Kiel, Hamburg. ZBW - Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft.
- Goldstein, J. E., Neimark, B., Garvey, B., und Phelps, J. (2023). Unlocking “lock-in” and path dependency: A review across disciplines and socio-environmental contexts. *World Development*, 161:1–15.
- Greene, M., Mora, R. I., Figueroa, C., Waintrub, N., und de D. Ortúzar, J. (2017). Towards a sustainable city: Applying urban renewal incentives according to the social and urban characteristics of the area. *Habitat International*, 68:15–23.
- Gstach, D. und Berding, U. (2016). Doppelte Innenentwicklung: zur Wiederentdeckung eines alten Prinzips unter erschwerten Bedingungen. *Informationen zur Raumentwicklung (IzR)*, (6):661–673.
- Götze, V., Bouwmeester, J. A., und Jehling, M. (2024). For whom do we densify? Explaining income variation across densification projects in the region of Utrecht, the Netherlands. *Urban Studies*, 61(7):1273–1290.
- Götze, V. und Jehling, M. (2023). Comparing types and patterns: A context-oriented approach to densification in Switzerland and the Netherlands. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(6):1645–1659.
- Hall, C. M. und Ram, Y. (2018). Walk score® and its potential contribution to the study of active transport and walkability: A critical and systematic review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 61:310–324.
- Hansch, M. (2018). Monitoring. In – Akademie für Raumforschung und Landesplanung, A., Herausgeber, *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*, Seiten 1563–1575. ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.

- Healey, P. (2006). *Collaborative planning: Shaping places in fragmented societies*. Planning - environment - cities. Palgrave Macmillan, New York, 2nd ed.. Auflage.
- Hellstem, G. M. und Wollmann, H. (2013). *Handbuch zur Evaluierungsforschung: Band 1*, Band 35. Springer-Verlag.
- Higgins, C. D. und Kanaroglou, P. S. (2016). A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region. *Journal of Transport Geography*, 52:61–72.
- Hodge, G. A. und Greve, C. (2017). On Public–Private Partnership Performance. *Public Works Management & Policy*, 22(1):55–78.
- Hortas-Rico, M. (2015). Sprawl, Blight, and the Role of Urban Containment Policies: Evidence from U.S. Cities. *Journal of Regional Science*, 55(2):298–323.
- Hortas-Rico, M. und Gómez-Antonio, M. (2020). Expansionary zoning and the strategic behaviour of local governments. *Regional Studies*, 54(3):388–402.
- Howell-Moroney, M. (2007a). Studying the Effects of the Intensity of US State Growth Management Approaches on Land Development Outcomes. *Urban Studies*, 44(11):2163–2178.
- Howell-Moroney, M. (2007b). Studying the Effects of the Intensity of US State Growth Management Approaches on Land Development Outcomes. *Urban Studies*, 44(11):2163–2178.
- Huang, R., Grigolon, A., Madureira, M., und Brussel, M. (2018). Measuring transit-oriented development (TOD) network complementarity based on TOD node typology. *Journal of Transport and Land Use*, 11(1):15–23.
- Ibraeva, A., de Almeida Correia, G. H., Silva, C., und Antunes, A. P. (2020). Transit-oriented development: A review of research achievements and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132:110–130.
- Informal Ministerial Meeting on Urban Development and Territorial Cohesion (2020). New Leipzig Charter- The transformative power of cities for the common good.
- Informal Ministerial Meeting on Urban Development and Territorial Cohesion (2007). Leipzig Charter on Sustainable European Cities.
- Iwata, K. und Managi, S. (2016). Can land use regulations and taxes help mitigate vehicular CO2 emissions? An empirical study of Japanese cities. *Urban Policy and Research*, 34(4):356–372.
- Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. Vintage Books ed. Vintage Books.
- Jamme, H.-T., Rodriguez, J., Bahl, D., und Banerjee, T. (2019). A Twenty-Five-Year Biography of the TOD Concept: From Design to Policy, Planning, and Implementation. *Journal of Planning Education and Research*, 39(4):409–428.
- Jehling, M. und Hecht, R. (2022). Do land policies make a difference? A data-driven approach to trace effects on urban form in France and Germany. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 49(1):114–130.

- Jehling, M., Hecht, R., und Herold, H. (2016). Assessing urban containment policies within a suburban context : An approach to enable a regional perspective. *Land use policy*, 77:846–858.
- Jehling, M., Krehl, A., und Krüger, T. (2021). The more the merrier? Questioning the role of new commercial and industrial locations for employment growth in German city regions. *Land Use Policy*, 109:1–15.
- Johnson, M. P. (2001). Environmental Impacts of Urban Sprawl: A Survey of the Literature and Proposed Research Agenda. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 33(4):717–735.
- Kasraian, D., Maat, K., Stead, D., und van Wee, B. (2016). Long-term impacts of transport infrastructure networks on land-use change: an international review of empirical studies. *Transport Reviews*, 36(6):772–792.
- Kay, A. I., Noland, R. B., und DiPetrillo, S. (2014). Residential property valuations near transit stations with transit-oriented development. *Journal of Transport Geography*, 39:131–140.
- Kiessling, N. und Pütz, M. (2020). Assessing the regional governance capacities of spatial planning: the case of the canton of Zurich. *Regional Studies, Regional Science*, 7(1):183–205.
- Kiessling, N. und Pütz, M. (2021). Assessing Spatial Planning Outcomes – A Novel Framework Based on Conformance and Governance Capacities. *Planning Theory & Practice*, 22(3):414–432.
- Kim, D., Ahn, Y., Choi, S., und Kim, K. (2016a). Sustainable Mobility: Longitudinal Analysis of Built Environment on Transit Ridership. *Sustainability*, 8(10):1–14.
- Kim, D., Park, J., und Hong, A. (2018). The Role of Destination’s Built Environment on Nonmotorized Travel Behavior: A Case of Long Beach, California. *Journal of Planning Education and Research*, 38(2):152–166.
- Kim, H. W., Li, M.-H., Kim, J.-H., und Jaber, F. (2016b). Examining the Impact of Suburbanization on Surface Runoff using the SWAT. *International Journal of Environmental Research*, 10(3):379–390.
- Kirwan, C. G. und Dobrev, S. V. (2022). Cities as Convergent Autopoietic Systems. In Pardalos, P. M., Rassia, S. T., und Tsokas, A., Herausgeber, *Artificial Intelligence, Machine Learning, and Optimization Tools for Smart Cities: Designing for Sustainability*, Seiten 1–26. Springer International Publishing, Cham.
- Knill, C., Schulze, K., und Tosun, J. (2010). Politikwandel und seine Messung in der vergleichenden Staatstätigkeitsforschung: Konzeptionelle Probleme und mögliche Alternativen. *Politische Vierteljahresschrift*, 51(3):409–432.
- Knowles, R. D., Ferbrache, F., und Nikitas, A. (2020). Transport’s historical, contemporary and future role in shaping urban development: Re-evaluating transit oriented development. *Cities*, 99:1–28.
- Ko, Y. und Radke, J. D. (2014). The Effect of Urban Form and Residential Cooling Energy Use in Sacramento, California. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(4):573–593.
- Koch, F., Bilke, L., Helbig, C., und Schlink, U. (2018). Compact or cool? The impact of brownfield redevelopment on inner-city micro climate. *Sustainable Cities and Society*, 38:31–41.

- Kohleber, E. und Trinemeier, C. (2018). Regionale Siedlungsentwicklung der Metropolregion Rhein-Neckar: Aufbau und die Nutzung des "Raum + Monitor" und seine Bedeutung für die kommunale Siedlungsentwicklung. *Stadtforschung und Statistik : Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker*, 31(2):46–50.
- Koomen, E., Rietveld, P., und Bacao, F. (2009). The Third Dimension in Urban Geography: The Urban-Volume Approach. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(6):1008–1025.
- Krautzberger, M. und Stier, B. (2013). BauGB-Novelle 2013: Gesetz zur Stärkung der Innenentwicklung in den Städten und Gemeinden und weiteren Fortentwicklung des Städtebaurechts. *DVBl. - Das Deutsche Verwaltungsblatt*, 128(13/2013):805–872.
- Krehl, A., Siedentop, S., Taubenböck, H., und Wurm, M. (2016). A Comprehensive View on Urban Spatial Structure: Urban Density Patterns of German City Regions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(6):1–21.
- Krüger, T., Schorch, M., und Meinel, G. (2021). Zur Entwicklung der Flächenneuanspruchnahme in Deutschland. In *Flächennutzungsmonitoring XIII: Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools*, Band 79 in *IÖR Schriften*, Seiten 171–187. Rhombos-Verlag, Berlin.
- Leffers, D. und Wekerle, G. R. (2020). Land developers as institutional and postpolitical actors: Sites of power in land use policy and planning. *Environment and Planning A*, 52(2):318–336.
- Li, C., Li, J., und Wu, J. (2013). Quantifying the speed, growth modes, and landscape pattern changes of urbanization: a hierarchical patch dynamics approach. *Landscape Ecology*, 28(10):1875–1888.
- Liang, Y., Du, M., Wang, X., und Xu, X. (2020). Planning for urban life: A new approach of sustainable land use plan based on transit-oriented development. *Evaluation and Program Planning*, 80:101811.
- Liu, F., Wang, S., Xu, Y., Ying, Q., Yang, F., und Qin, Y. (2020). Accuracy assessment of Global Human Settlement Layer (GHSL) built-up products over China. *PLOS ONE*, 15(5):1–17.
- Loder, A., Cantner, F., Adenaw, L., Nachtigall, N., Ziegler, D., Gotzler, F., Siewert, M. B., Wurster, S., Goerg, S., Lienkamp, M., und Bogenberger, K. (2024). Observing Germany's nationwide public transport fare policy experiment "9-Euro-Ticket" – Empirical findings from a panel study. *Case Studies on Transport Policy*, 15:1–20.
- Loo, B. P., Cheng, A. H., und Nichols, S. L. (2017). Transit-oriented development on greenfield versus infill sites: Some lessons from Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 167:37–48.
- Lubell, M., Feiock, R. C., und de La Cruz, E. E. R. (2009). Local Institutions and the Politics of Urban Growth. *American Journal of Political Science*, 53(3):649–665.
- Lubell, M., Feiock, R. C., und Ramirez, E. (2005). Political Institutions and Conservation by Local Governments. *Urban Affairs Review*, 40(6):706–729.
- Luhmann, N. (1984). *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Suhrkamp Verlag, Frankfurt.
- Lux, M., Samec, T., Bartos, V., Sunega, P., Palguta, J., Boumová, I., und Kázmér, L. (2018). Who actually decides? Parental influence on the housing tenure choice of their children. *Urban Studies*, 55(2):406–426.

- Marquard, E., Bartke, S., Gifreu i Font, J., Humer, A., Jonkman, A., Jürgenson, E., Marot, N., Poelmans, L., Repe, B., Rybski, R., Schröter-Schlaack, C., Sobocká, J., Tophøj Sørensen, M., Vejchodská, E., Yiannakou, A., und Bovet, J. (2020). Land Consumption and Land Take: Enhancing Conceptual Clarity for Evaluating Spatial Governance in the EU Context. *Sustainability*, 12(19):1–21.
- Mashhoodi, B. (2018). Spatial dynamics of household energy consumption and local drivers in Randstad, Netherlands. *Applied Geography*, 91:123–130.
- Meinel, G., Henger, R., Krüger, T., Schmidt, T., und Schorcht, M. (2020). Wer treibt die Flächeninanspruchnahme? Ein Planvergleich und deren Flächenwirkung. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 78(3):233–248.
- Meinel, G., Krüger, T., Hennersdorf, J., Schorcht, M., Förster, J., und Schumacher, U. (2015). *Flächennutzungsentwicklung in Deutschland – Erkenntnisse aus dem IÖR-Monitor*, Seiten 51–58. Gotthard Meinel and Ulrich Schumacher and Martin Behnisch and Tobias Krüger, Berlin.
- Meyer, J. R., Kain, J. F., und Wohl, M. (1965). *The Urban Transportation Problem*. Harvard University Press, Cambridge, MA and London, England.
- Miguel Padeiro, A. L. und da Costa, N. M. (2019). Transit-oriented development and gentrification: a systematic review. *Transport Reviews*, 39(6):733–754.
- Mitschang, S., Herausgeber (2019). *Schaffung von Bauland: In Gebieten nach § 34 BauGB und durch Bauleitpläne nach den §§ 13, 13a und b BauGB : Fach- und Rechtsfragen zu Anwendungsbereich, Verfahren sowie zur gegenseitigen Abgrenzung*, Band 37 in *Berliner Schriften zur Stadt- und Regionalplanung*. Nomos, Baden-Baden, 1. Auflage.
- MKRO – Ministerkonferenz für Raumordnung (2016). Leitbilder und Handlungsstrategien für die Raumentwicklung in Deutschland.
- Molotch, H. (2005). The City as a Growth Machine: Toward a Political Economy of Place. In Kleniewski, N., Herausgeber, *Cities and society*, Blackwell readers in sociology, Seiten 15–27. Blackwell Pub, Malden.
- Münter, A. und Osterhage, F. (2018). Konzepte der Raumordnung. In – Akademie für Raumforschung und Landesplanung, A., Herausgeber, *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*, Seiten 1183–1195. ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.
- Münter, A., Toppel, C., und Albrecht, J. (2021). Vom „Abrutschen am Bodenpreisgebirge“ – Der Einfluss finanzieller Aspekte auf Wohnstandortentscheidungen in Stadtregionen. In Henn, S., Zimmermann, T., und Braunschweig, B., Herausgeber, *Stadtregionales Flächenmanagement*, Seiten 1–24. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Mustafa, A., van Rompaey, A., Cools, M., Saadi, I., und Teller, J. (2018). Addressing the determinants of built-up expansion and densification processes at the regional scale. *Urban Studies*, 55(15):3279–3298.
- Nasri, A. und Zhang, L. (2014). The analysis of transit-oriented development (TOD) in Washington, D.C. and Baltimore metropolitan areas. *Transport Policy*, 32:172–179.

- Nelson, A. C. (1986). Using Land Markets to Evaluate Urban Containment Programs. *Journal of the American Planning Association*, 52(2):156–171.
- Nelson, A. C. (1999). Comparing states with and without growth management Analysis based on indicators with policy implications. *Land Use Policy*, 16(2):121–127.
- Neßler, M. und Brokow-Loga, A. (2020). Eine Frage der Flächengerechtigkeit! Kommentar zu Lisa Vollmer und Boris Michel „Wohnen in der Klimakrise. Die Wohnungsfrage als ökologische Frage“. *suburban*, 8(1/2):183–192.
- Novotný, J., Chakraborty, S., und Maity, I. (2022). Urban expansion of the 43 worlds' largest megacities: A search for unified macro-patterns. *Habitat International*, 129:102676.
- Okeke, F. O., Okosun, A. E., Udeh, C. A., und Okekeogbu, C. J. (2020). Cities for People: The Dependency & Impact of Automobile in the Life of City Dwellers. *European Journal of Sustainable Development*, 9(3):157–178.
- Oliveira, E. und Hersperger, A. M. (2018). Governance arrangements, funding mechanisms and power configurations in current practices of strategic spatial plan implementation. *Land Use Policy*, 76:623–633.
- Paccoud, A., Hesse, M., Becker, T., und Górczyńska, M. (2022). Land and the housing affordability crisis: landowner and developer strategies in Luxembourg's facilitative planning context. *Housing Studies*, 37(10):1782–1799.
- Pagliarin, S. (2018). Linking processes and patterns: Spatial planning, governance and urban sprawl in the Barcelona and Milan metropolitan regions. *Urban Studies*, 55(16):3650–3668.
- Pan, H., Li, J., Shen, Q., und Shi, C. (2017). What determines rail transit passenger volume? Implications for transit oriented development planning. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57:52–63.
- Park, K., Ewing, R., Scheer, B. C., und Khan, S. S. A. (2018). Travel Behavior in TODs vs. Non-TODs: Using Cluster Analysis and Propensity Score Matching. *Transportation Research Record*, 2672(6):31–39.
- Patton, M. (1997). *Utilization-Focused Evaluation: The New Century Text*. SAGE Publications.
- Paulsen, K. (2013). The Effects of Growth Management on the Spatial Extent of Urban Development, Revisited. *Land Economics*, 89(2):193–210.
- Paulsen, K. (2014). Geography, policy or market? New evidence on the measurement and causes of sprawl (and infill) in US metropolitan regions. *Urban Studies*, 51(12):2629–2645.
- Pehlke, D., Diller, C., und Eichhorn, S. (2021). Beeinflusst die Trägerschaft der Regionalplanung die Inhalte der Regionalpläne und die regionale Siedlungsentwicklung? Theoretische Überlegungen und eine empirische Analyse für Deutschland. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 79(5):484–500.

- Pehlke, D. und Siedentop, S. (2021). Die Regulierungsintensität der regionalen Planung zur Steuerung der Wohnsiedlungsentwicklung – Eine Planinhaltsanalyse der deutschen Raumordnungspläne und der schweizerischen kantonalen Richtpläne.
- Pendall, R. und Carruthers, J. I. (2003). Does density exacerbate income segregation? Evidence from U.S. metropolitan areas, 1980 to 2000. *Housing Policy Debate*, 14(4):541–589.
- Peter, H., Toppel, C., und Steinführer, A. (2022). *Wohnstandortentscheidungen in einer wohnbiographischen Perspektive: Eine explorative Studie in ländlichen und großstädtischen Kontexten*, Band 93 in *Thünen-Report*. Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut, Braunschweig.
- Phelps, N. A. und Wood, A. M. (2011). The New Post-suburban Politics? *Urban Studies*, 48(12):2591–2610.
- Rammert, A. (2024). *Mobilität statt Verkehr: Theoretische Grundlagen*, Seiten 5–48. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- Reeds, J. (2011). *Smart Growth: From Sprawl to Sustainability*. Berlin Technologie Hub Eco Pack Series. Green Books.
- Reiß-Schmidt, S. (2018). Innenentwicklung. In *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*, Seiten 995–1000. ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.
- Renne, J. L., Hamidi, S., und Ewing, R. (2016). Transit commuting, the network accessibility effect, and the built environment in station areas across the United States. *Research in Transportation Economics*, 60:35–43.
- Reusser, D. E., Loukopoulos, P., Stauffacher, M., und Scholz, R. W. (2008). Classifying railway stations for sustainable transitions – balancing node and place functions. *Journal of Transport Geography*, 16(3):191–202.
- Rodríguez-Pose, A. und Storper, M. (2020). Housing, urban growth and inequalities: The limits to deregulation and upzoning in reducing economic and spatial inequality. *Urban Studies*, 57(2):223–248.
- Rossi, P. und Freeman, H. (1993). *Evaluation: A Systematic Approach*. SAGE Publications.
- Rossi, P., Freeman, H., und Hofmann, G. (1988). *Programm-Evaluation: Einführung in die Methoden angewandter Sozialforschung*. Enke-Sozialwissenschaften. Enke.
- Saif, M. A., Zefreh, M. M., und Torok, A. (2019). Public Transport Accessibility: A Literature Review. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 47(1):36–43.
- Sandler, A. M. und Rashford, B. S. (2018). Misclassification error in satellite imagery data: Implications for empirical land-use models. *Land Use Policy*, 75:530–537.
- Schiller, G., Blum, A., Hecht, R., Oertel, H., Ferber, U., und Meinel, G. (2021). Urban infill development potential in Germany: comparing survey and GIS data. *Buildings and Cities*, 2(1):36–54.

- Schiller, G., Blum, A., und Oertel, H. (2018). Die Relevanz kleiner Gemeinden und kleinteiliger Flächen für die Innenentwicklung. Ein quantitatives Monitoring am Beispiel Deutschlands. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 76(5):461–471.
- Schmidt, S., Siedentop, S., und Fina, S. (2018). How effective are regions in determining urban spatial patterns? Evidence from Germany. *Journal of Urban Affairs*, 40(5):639–656.
- Schorcht, M., Krüger, T., und Meinel, G. (2016). Measuring Land Take: Usability of National Topographic Databases as Input for Land Use Change Analysis: A Case Study from Germany. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(8):1–20.
- Schubert, S., Eckert, K., Dross, M., Michalski, D., Preu, T., und Schröder, A. (2023). Dreifache Innenentwicklung - Definition, Aufgaben und Chancen für eine umweltorientierte Stadtentwicklung. Ergebnisse aus dem Forschungsfeld urbaner Umweltschutz und dem Forschungsprojekt „Neues Europäisches Bauhaus weiterdenken – AdNEB“.
- Schwabedal, F. J. (2011). Das regionalplanerische Instrument Eigenentwicklung Ein systematischer Vergleich der Festlegungen in den Raumordnungsprogrammen Niedersachsens. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 69(1):17–28.
- Schwedes, O., Kettner, S., und Tiedtke, B. (2013). E-mobility in Germany: White hope for a sustainable development or Fig leaf for particular interests? *Environmental Science & Policy*, 30:72–80. SI: Environmental and Developmental Discourses: Technical knowledge, discursive spaces and politics.
- Scriven, M. (1966). *The Methodology of Evaluation*. Nummer 110 in Publication 110 des Social Science Education Consortium. University of Colorado, Boulder.
- Shefer, D. und Kaess, L. (1990). Evaluation methods in urban and regional planning: theory and practice. *Town Planning Review*, 61(1):75–88.
- Siedentop, S. (2008). 2.1 Siedlungspolitischer Kontext des 30-Hektar-Ziels. In Köck, W., Bizer, K., Hansjürgens, B., Einig, K., und Siedentop, S., Herausgeber, *Handelbare Flächenausweisungsrechte*, Seiten 21–35. Nomos.
- Siedentop, S. (2015). Ursachen, Ausprägungen und Wirkungen der globalen Urbanisierung – ein Überblick. In *Globale Urbanisierung*, Seiten 11–21. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Siedentop, S. (2018). Ursachen der Flächeninanspruchnahme in Deutschland – eine Zwischenbilanz. In Behnisch, M., Kretschmer, O., und Meinel, G., Herausgeber, *Flächeninanspruchnahme in Deutschland*, Seiten 45–55. Springer Spektrum, Berlin.
- Siedentop, S. und Fina, S. (2010). Monitoring urban sprawl in Germany: towards a GIS-based measurement and assessment approach. *Journal of Land Use Science*, 5(2):73–104.
- Siedentop, S., Fina, S., und Krehl, A. (2016). Greenbelts in Germany’s regional plans—An effective growth management policy? *Landscape and Urban Planning*, 145:71–82.
- Siedentop, S., Schmidt, S., und Dunlop, A. (2022). Managing Urban Growth – an Overview of the Literature. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 80(6):659–677.

- Singh, Y. J. (2015). *Measuring transit - oriented development (TOD) at regional and local scales : a planning support tool*. Dissertation, University of Twente.
- Singh, Y. J., Fard, P., Zuidgeest, M., Brussel, M., und van Maarseveen, M. (2014). Measuring transit oriented development: a spatial multi criteria assessment approach for the City Region Arnhem and Nijmegen. *Journal of Transport Geography*, 35:130–143.
- Snijders, T. A. B. und Bosker, R. J. (2011). *Multilevel Analysis. An Introduction to Basic and Advanced Multilevel Modeling*. SAGE Publications, London, Thousand Oaks.
- Soria, J. A. und Valenzuela, L. M. (2013). A Method for the Evaluation of Metropolitan Planning: Application to the Context in Spain. *European Planning Studies*, 21(6):944–966.
- Sousa, C. D. (2000). Brownfield Redevelopment versus Greenfield Development: A Private Sector Perspective on the Costs and Risks Associated with Brownfield Redevelopment in the Greater Toronto Area. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(6):831–853.
- Spannowsky, W. (2013). Stärkung der Innenentwicklung und Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. *UPR - Umwelt- und Planungsrecht*, 33(6):201–2017.
- Spellerberg, I. F. und Fedor, P. J. (2003). A tribute to Claude Shannon (1916–2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the ‘Shannon–Wiener’ Index. *Global Ecology and Biogeography*, 12(3):177–179.
- Statistisches Bundesamt (2022). Flächennutzung: Flächenindikator "Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche".
- Statistisches Bundesamt (2024). Zensus 2011.
- Steinacker, A. (2003). Infill Development And Affordable Housing. *Urban Affairs Review*, 38(4):492–509.
- Stockmann, R. (2007). *Handbuch zur Evaluation: Eine praktische Handlungsanleitung*. Waxmann Verlag GmbH.
- Talen, E. (1996). After the Plans: Methods to Evaluate the Implementation Success of Plans. *Journal of Planning Education and Research*, 16(2):79–91.
- Teller, J. (2021). Regulating urban densification: what factors should be used? *Buildings and Cities*, 2(1):302–317.
- Telleria, J. und Garcia-Arias, J. (2022). The fantasmatic narrative of ‘sustainable development’. A political analysis of the 2030 Global Development Agenda. *Environment and Planning C: Politics and Space*, 40(1):241–259.
- Thorne, J. H., Santos, M. J., Bjorkman, J., Soong, O., Ikegami, M., Seo, C., und Hannah, L. (2017). Does infill outperform climate-adaptive growth policies in meeting sustainable urbanization goals? A scenario-based study in California, USA. *Landscape and Urban Planning*, 157:483–492.

- Trudeau, M. und Richardson, M. (2016). Empirical assessment of effects of urbanization on event flow hydrology in watersheds of Canada's Great Lakes-St Lawrence basin. *Journal of Hydrology*, 541:1456–1474.
- United Nations (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.
- United Nations (2017). New Urban Agenda.
- Unruh, G. C. (2000). Understanding carbon lock-in. *Energy Policy*, 28(12):817–830.
- van Rij, E., Dekkers, J., und Koomen, E. (2008). Analysing The Success Of Open Space Preservation In The Netherlands: The Midden–Delfland Case. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*, 99(1):115–124.
- von Thünen, J. H. (1990). *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*. De Gruyter, Berlin, Boston.
- Vos, J. D., Lättman, K., van der Vlugt, A.-L., Welsch, J., und Otsuka, N. (2023). Determinants and effects of perceived walkability: a literature review, conceptual model and research agenda. *Transport Reviews*, 43(2):303–324.
- Wahrhusen, N. (2021). *Governance einer flächensparenden Siedlungsentwicklung durch die Regionalplanung: Eine Analyse in städtisch und ländlich geprägten Regionen*. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern.
- Wang, H., Xiong, W., Wu, G., und Zhu, D. (2018). Public–private partnership in Public Administration discipline: a literature review. *Public Management Review*, 20(2):293–316.
- Wassmer, R. W. (2002). Fiscalisation of Land Use, Urban Growth Boundaries and Non-central Retail Sprawl in the Western United States. *Urban Studies*, 39(8):1307–1327.
- Wassmer, R. W. (2006). The Influence of Local Urban Containment Policies and Statewide Growth Management on the Size of United States Urban Areas\*. *Journal of Regional Science*, 46(1):25–65.
- Wassmer, R. W. (2008). Causes of Urban Sprawl in the United States: Auto Reliance as Compared to Natural Evolution, Flight from Blight and Local Revenue Reliance. *Journal of Policy Analysis and Management*, 27(3):536–555.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2016). Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte.
- Weber, I., Deschermeier, P., und Vaché, M. (2022). Evaluierung des Baukindergeldes (No. 05/2022; BBSR-Online-Publikationen).
- Weilenmann, B., Seidl, I., und Schulz, T. (2017). The socio-economic determinants of urban sprawl between 1980 and 2010 in Switzerland. *Landscape and Urban Planning*, 157:468–482.
- Wicki, M. und Kaufmann, D. (2022). Accepting and resisting densification: The importance of project-related factors and the contextualizing role of neighbourhoods. *Landscape and Urban Planning*, 220:1–11.

- Wiechmann, T. und Beier, M. (2004). Evaluationen in der Regionalentwicklung: Eine vernachlässigte Herausforderung für die Raumplanung. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 62(6):387–396.
- Wiesenthal, H. (2018). *Methodologischer Individualismus als Akteurtheorie (1993/96)*, Seiten 57–82. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- Williams, K. (1999). Urban intensification policies in England: problems and contradictions. *Land Use Policy*, 16(3):167–178.
- Yin, M. und Sun, J. (2007). The Impacts of State Growth Management Programs on Urban Sprawl in the 1990S. *Journal of Urban Affairs*, 29(2):149–179.
- Yin, R. (2003). *Case Study Research: Design and Methods*. Applied Social Research Methods. SAGE Publications.
- Zaspel, B. (2011). *Regionale Gewerbeflächenpolitik : Eine Wirkungsabschätzung regionalplanerischer Instrumente*. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Zemp, S., Stauffacher, M., Lang, D. J., und Scholz, R. W. (2011). Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters! *Journal of Transport Geography*, 19(4):670–679.



**Teil II**




**Publikationen**



## Artikel 1: Eckdaten und Autorenbeiträge

<b>Referenz</b>	Eichhorn, S., Ehrhardt, D., und Jehling, M. (2024b). From policies to outcomes: multi-level analysis of the influence of regional planning on land take. <i>European Planning Studies</i> , 0(0):1–21
<b>Beiträge</b>	Der Artikel ist in Co-Autorenschaft entstanden und wurde in einem Peer-Review-Verfahren (double-blind) begutachtet. Der Verfasser ist <i>corresponding author</i> (Erstautorenschaft) und zeichnet sich für die Darlegung des theoretischen Hintergrundes, das methodische Vorgehen sowie die Durchführung der MLR, die Diskussion der Ergebnisse und das Fazit verantwortlich. Den Co-Autoren oblag die Aufbereitung der Daten zur Wohn- und Mischnutzung sowie die kritische Reflexion des Manuskripts.
<b>Historie</b>	Eingereicht: 3 April 2024 Akzeptiert: 23 September 2024 Veröffentlicht: 27 September 2024

# From policies to outcomes: multi-level analysis of the influence of regional planning on land take

Sebastian Eichhorn <sup>a,b</sup>, Denise Ehrhardt <sup>b</sup> and Mathias Jehling <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Department of Mobilities and Space, ILS – Research Institute for Regional and Urban Development, Dortmund, Germany; <sup>b</sup>Research Area Spatial Information and Modelling, Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development (IOER), Dresden, Germany

## ABSTRACT

Urban expansion poses significant challenges to sustainability and undermines efforts for efficient spatial development. This study examines the relationship between regional planning regulations, interest groups and contextual factors affecting residential land take in Germany. The study employs a multi-level regression approach, analysing 4032 municipalities nested in 91 planning regions and utilizes a nationwide dataset on changes in residential and mixed land use. The overall goal of the study is to examine the effect of regional planning regulations and local interest groups, within varying contextual factors, on residential land take. Results show a dampening effect of regional regulatory intensity on residential land take at the local level. However, the effect becomes non-significant when considering local and regional covariates, revealing that regional planning alone may not be sufficient to reduce residential land take effectively. Findings underscore the complexity of regional planning and the importance of understanding its impacts on the local and regional level. As this study focuses on residential land take, further research is required to analyse the effectiveness of regional planning in managing land uses like trade, industry and infrastructure, concentrating urban development in central places, promoting transit-oriented development and supporting higher residential densities.

## ARTICLE HISTORY



Received 03 April 2024  
Revised 23 September 2024  
Accepted 27 September 2024


## KEYWORDS

Regional planning; residential land take; multi-level regression; interest groups; local and regional contextual factors

## 1. Introduction

Worldwide, we are seeing increasing land use for housing, commerce, industry and infrastructures. Correspondingly, cities are expanding into the surroundings at the expense of agricultural land, cultural landscapes and forests (Behnisch, Krüger, and Jaeger 2022). The result is a decline in (semi-)natural areas and a fragmentation of open spaces. The sprawling cities lead to degeneration and loss of ecological soil functions, fragmentation

**CONTACT** Sebastian Eichhorn  sebastian.eichhorn@ils-forschung.de  Department of Mobilities and Space, ILS – Research Institute for Regional and Urban Development, Brüderweg 22-24, 44135, Dortmund, Germany Research Area Spatial Information and Modelling, Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development (IOER), Weberplatz 1, 01217 Dresden, Germany

 Supplemental data for this article can be accessed online at <https://doi.org/10.1080/09654313.2024.2412216>.

© 2024 The Author(s). Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group  
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. The terms on which this article has been published allow the posting of the Accepted Manuscript in a repository by the author(s) or with their consent.

of habitats and higher costs for operation and maintenance of technical infrastructures (Bovet, Reese, and Köck 2018).

Regional planning is considered key in steering urban expansion towards more sustainable spatial outcomes by providing a supra-local framework for regulating land use, guiding infrastructure development and promoting efficient use of land (Albrechts, Healey, and Kunzmann 2003; Smas and Schmitt 2021). Summarized under terms such as growth management, smart growth or urban containment, regional planning authorities apply land-use planning regulations, zoning policies, development incentives and financial mechanisms to coordinate spatial development and balance local and regional development interests in terms of speed, location, density, quality and cost (Ewing et al. 2022; Siedentop, Schmidt, and Dunlop 2022).

However, existing studies – particularly from the USA (Anthony 2004; Glaeser and Gyourko 2018; Hsieh and Moretti 2019; Paulsen 2013, 2014; Wassmer 2006; Yin and Sun 2007), but increasingly also from Europe (Eichhorn, Diller, and Pehlke 2022b; Fertner et al. 2017; Gallardo and Martínez-Vega 2016; Kiessling and Pütz 2020; Pagliarin 2018; Schmidt, Siedentop, and Fina 2018; Siedentop, Fina, and Krehl 2016; Soria and Valenzuela 2013) – indicate that the steering direction of regional planning is not necessarily straightforward and that the steering effect is rather limited or at least linked to certain preconditions. Howell-Moroney (2007), for example, concludes for nine US growth management states that a significant reduction in land take or an increase in density only occurs above a certain level of regulation. He emphasizes strict procedures and enforcement mechanisms for the review of local plans as well as strong auxiliary policies to limit growth. Complementing this, Pehlke, Diller, and Eichhorn (2021) stress for Germany that not only the intensity of regulation itself, but also the direct control over enforcement mechanisms – coming from different institutional settings – influences the effectiveness of formal regional planning policies in steering urban expansion. Based on panel data of 293 metropolitan statistical areas (MSA), Dawkins and Nelson (2003) highlight the vertical coherence of regional planning policies to control spatial development. In agreement with Wassmer (2006) and Carruthers (2002), they stress that the effectiveness of governing urban expansion is particularly high when goals at different administrative levels build on each other and enforcement mechanisms are coherently aligned. Utilizing cross-sectional regressions for 96 German planning regions, findings by Eichhorn, Diller, and Pehlke (2022b) suggest that dampening land take – held constant against factors such as population and employment trends – is less due to the use of individual planning instruments, but rather the result of an effective mix of instruments coherently applied by relevant actors.

According to Feiock, Tavares, and Lubell (2008) and Feiock (2004), however, it must be assumed that settlement structures as well as interest groups also stimulate or dampen the implementation and effectiveness of regional growth management policies. In the context of the joint development and implementation of regional plans by municipalities, as it is the case in Germany and other European countries (Oliveira and Hersperger 2018), this is likely because municipalities generally endeavour to ensure the most favourable framework for their own future spatial development (Einig 2003). As municipalities act through their democratically elected political bodies (Danielczyk and Münter 2018), their positioning and actions might be influenced by local interest groups who, in turn, want to see their own interests protected. Both Oliveira and Hersperger (2018) and Eichhorn et al. (2024)

confirm this based on case studies in Germany, Spain, the UK, Denmark, Austria and Finland showing that regional and local land use planning is highly influenced by negotiations between private interest groups and public authorities.

In the field of urban expansion, Fischel's homevoter hypothesis (2005) and the urban growth machine (Molotch 2005; Phelps and Wood 2011) are well-known theoretical frameworks. The homevoter hypothesis assumes that political decisions, especially in municipalities with a high share of owner-occupied housing, are strongly influenced by homeowners who block further development that could affect the value of their properties. In contrast, the urban growth machine sees political decisions primarily as a result of influential regimes arising from economic participation in various forms of urban growth (Gerber and Bandi Tanner 2018; Gerber and Debrunner 2022; Leffers and Wekerle 2020). Both frameworks are linked to the property rights theory in land policy. As Lubell, Feiock, and de La Cruz (2009) argue, interest groups make use of property rights to influence the use of a scarce resource such as land. Assuming increasing land scarcity as well as demographic and economic growth, the theory assumes that parts of the population (e.g. local residents) instrumentalize their property rights to enforce stricter land-use policies, while other actors (e.g. construction industry) seek a relaxation of planning regulations to use the limited land to generate economic profits (Feiock 2004; Wassmer 2008). In addition, Jeongho (2015) and Tavares (2023) stress that decision-making processes are also influenced by the political convictions of political majorities, the (political) competitive situation within a municipality and a region as well as the individual career intentions, ideological attitudes and policy inclinations of the decision-makers. Against this theoretical background, spatial strategies and guidelines for urban expansion from regional planning are interpreted and utilized differently by municipal actors. One can assume that – within the design and regulatory intensity of regional planning and existing settlement structures – interest groups will strive for either urban growth or its limitation.

The present study builds on this assumption and empirically analyses the interaction between regional planning regulation, residential land take and local interest groups using a multi-level regression approach. The multi-level regression approach helps us overcome the methodological limitations of earlier studies that analysed policy outcomes in regional planning by examining urban land expansion and the factors influencing it at the regional level. In applying regional averages (Eichhorn, Diller, and Pehlke 2022b; Nelson 1999; Paulsen 2014; Pehlke, Diller, and Eichhorn 2021; Schmidt, Siedentop, and Fina 2018), these studies do not capture local framework conditions and development dynamics, which are substantial for implementing regional planning policies and thus their effectiveness. Moreover, traditional regression techniques treat the units of analysis as independent observations. In hierarchical data structures, as in the case of municipalities and regional planning, observations, however, are not independent of each other. If such hierarchical structures are ignored, the standard error of the regression coefficients is underestimated, leading to an overestimation of statistical significance. Standard errors for the coefficients of second-order predictor variables are particularly biased. In doing so, we complement existing analytical approaches and contribute to analysing the steering effects of regional planning on residential land take (Anthony 2004; Carruthers 2002; Harris 2022; Yin and Sun 2007). Our study is guided by three research questions:

- (1) Does stronger regulation by regional planning have a dampening effect on residential land take?
- (2) How do local interest groups affect residential land take under local and regional contextual factors?
- (3) What effect do local interest groups have on residential land take in the context of regional planning regulation and local and regional contextual factors?

We analyse these research questions by applying the multi-level regression approach to Germany as our case study and examine the change in residential and mixed-use areas (in the following residential land take). Due to its federal governance structure with state, regional and highly independent municipal levels, Germany is a suitable case study for analysing the effectiveness of regional planning through the interaction of regional regulation and local land use planning.

The remainder of the paper is structured as follows: Section 2 provides an explanation of the German planning system and the role of regional planning in managing land take. In Section 3, we present our methodology, including our theoretical model, data sources and our estimation strategy. Section 4 presents the results of our research. Section 5 engages in a discussion of these results, while also acknowledging the limitations of our methodology. Finally, we close the article in Section 6 with conclusions and a description of the need for further research.

## 2. Regional growth management in the German planning system

The management of urban and regional development has traditionally been one of the core tasks of regional planning in Germany. Its main goal is to promote sustainable spatial development by coordinating and regulating current and future land uses and, in the interests of the common good, balancing the social and economic demands on land with its ecological functions (Einig 2005b; Mahaim 2014). Specifications of regional planning serve as a framework for the two-tier land use planning on the local level. According to Section 1 (4) of the German Building Code (*Baugesetzbuch*, BauGB), municipalities must adapt their local land use planning to the objectives of regional planning (Section 5 BauGB). If a municipality's planning deviate from these objectives and cannot be sufficiently modified, a formal deviation procedure (*Zielabweichungsverfahren*) can be carried out in accordance with Section 6 (2) ROG. Public bodies and persons under private law are entitled to apply for such a procedure. At the same time, regional planning must take appropriate account of the concerns of the public and public authorities when defining regional development requirements (mutual feedback principle, *Gegenstromprinzip*) (Diller 2012; Jehling, Schorcht, and Hartmann 2020). Therefore, all relevant actors are given the opportunity to submit suggestions and concerns to the regional planning authority during the plan preparation and plan amendment process in accordance with Section 10 ROG. As described in Section 1, regional planning and its relationship to local land use planning is thus strongly influenced by local interests and interest groups, which in turn can stimulate or inhibit the steering effectiveness of regional planning concerning settlement development.

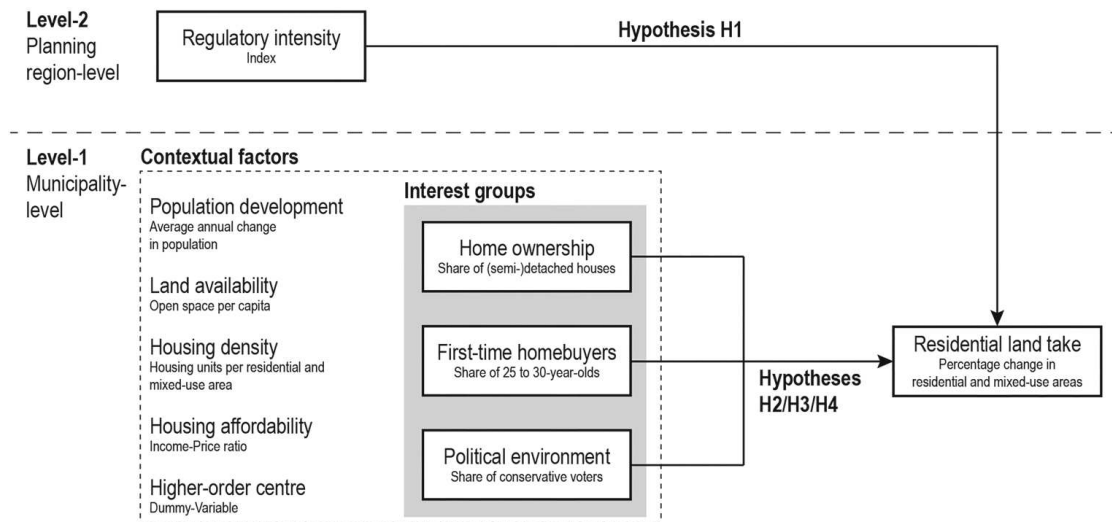
Tasks for regional planning include the reduction of land take, the concentration of urban growth in central places (*Zentrale Orte-Konzept*), the protection of open space and the avoidance of fragmentation of landscapes and forests (§ 2 Federal Regional Planning Act, *Raumordnungsgesetz*, ROG). The major planning instrument is the regional plan, which is intended to organize and guarantee a sustainable spatial development by means of positive and negative planning policies in form of texts and maps (Schmidt, Siedentop, and Fina 2018). Through negative planning policies, regional planning increases the protection status of certain areas to shield them from being designated for construction purposes in local land use planning. Through positive planning policies (objectives and principles), regional planning can directly and actively control and limit the designation of building land by municipalities (Siedentop, Schmidt, and Dunlop 2022). Objectives are legally binding for planning decisions and must be considered by all authorities at the municipal level when implementing spatially effective measures. Principles are general guidelines for the development, organization and protection of land and are part of the weighting of interests in subsequent decision processes (Siedentop and Egermann, 2009). Although the ROG and BauGB give a distinct legal framework, regional planning authorities – as part of the federally organized spatial planning system – are largely free to decide whether, how and to what extent they apply these different policies. Thus, regional plans have different regulatory intensities to potentially steer local land use planning (Knill, Schulze, and Tosun 2010) as empirically shown by Eichhorn, Diller, and Pehlke (2022a). Since land take and the degree of urban expansion differ considerably across Germany, we hypothesize that the variance in spatial development is related on the one hand to the varying regulatory claims made by the regional planning authorities and on the other hand to the municipalities' implementation of these regulatory claims, taking into account the preferences of local interest groups and further local conditions (Eichhorn et al. 2024).

### 3. Methodology

#### 3.1. Theoretical model and hypotheses

Based on the theories presented, the national legal planning context and a literature review on possible covariates, we develop a theoretical model to analyse the effectiveness of regional planning to steer residential land take, taking into account local and regional contextual factors as proxies for local interest groups and preferences for growth management (see Figure 1). By translating this theoretical framework into an appropriate specification of a multi-level model, we are able to empirically estimate the impact of relevant factors at the level of municipalities and planning regions on residential land take (Hofmann and Gavin 1998). In the following, we describe the variables included in our theoretical model, justify their selection and hypothesize their possible effects.

**Regulatory intensity (Level-2):** At the regional level, a number of studies have already shown that increased regulation leads to reduced land take (Eichhorn, Diller, and Pehlke 2022b; Howell-Moroney 2007). In the context of the present study, it is therefore reasonable to assume that this effect can also be observed at the municipal level. This



**Figure 1.** Theoretical model: Multi-level processes of land take.

phenomenon might be a result of the stricter local requirements regarding the quantity and distribution of building land set by the regional planning authorities. In contrast, municipalities in planning regions with less regulatory intensity are subject to fewer restrictions and controls on land use. This relaxation can lead to a greater tendency to utilize land, as there may be fewer obstacles or strict guidelines for land development.

**Hypothesis 1:** Municipalities in planning regions with a higher regulatory intensity have a lower residential land take than municipalities in planning regions with a lower regulatory intensity.

**Home ownership (Level-1, Interest groups):** Homeowners have a direct financial investment in their properties. Therefore, homeowners may resist increased land take to prevent developments that could negatively impact property values (Foster and Warren 2022; Teresa 2022). This perception may prompt homeowners to engage in public meetings or discussions with local authorities to advocate for zoning regulations and policies that influence the type and amount of development allowed (Paek, Yoon, and Shah 2005). City councillors, aiming for re-election, may cater to the needs and preferences of these influential voting blocs by opposing housing developments that homeowners disfavour (Fang, Stewart, and Tyndall 2023).

**Hypothesis 2:** In municipalities with a higher share of home ownership, residential land take is lower than in municipalities with a lower share.

**First-time homebuyers (Level-1, Interest groups):** Young adults are frequently characterized by a significant number of first-time homebuyers (Lux et al. 2018; Peter, Toppel, and Steinführer 2022). As individuals within this demographic group enter the real estate market, their demand for housing and land is likely to rise, because they seek to accommodate their changing needs (e. g. starting a family), such as larger homes.

**Hypothesis 3:** In municipalities with a higher share of first-time homebuyers, residential land take is higher than in municipalities with a lower share.

**Political environment (Level-1, Interest groups):** Conservative political ideas often emphasize free-market principles and limited government intervention. In the context of municipalities, conservative parties are generally associated with pro-development policies that encourage economic growth, including land development (Feiock, Tavares, and Lubell 2008).

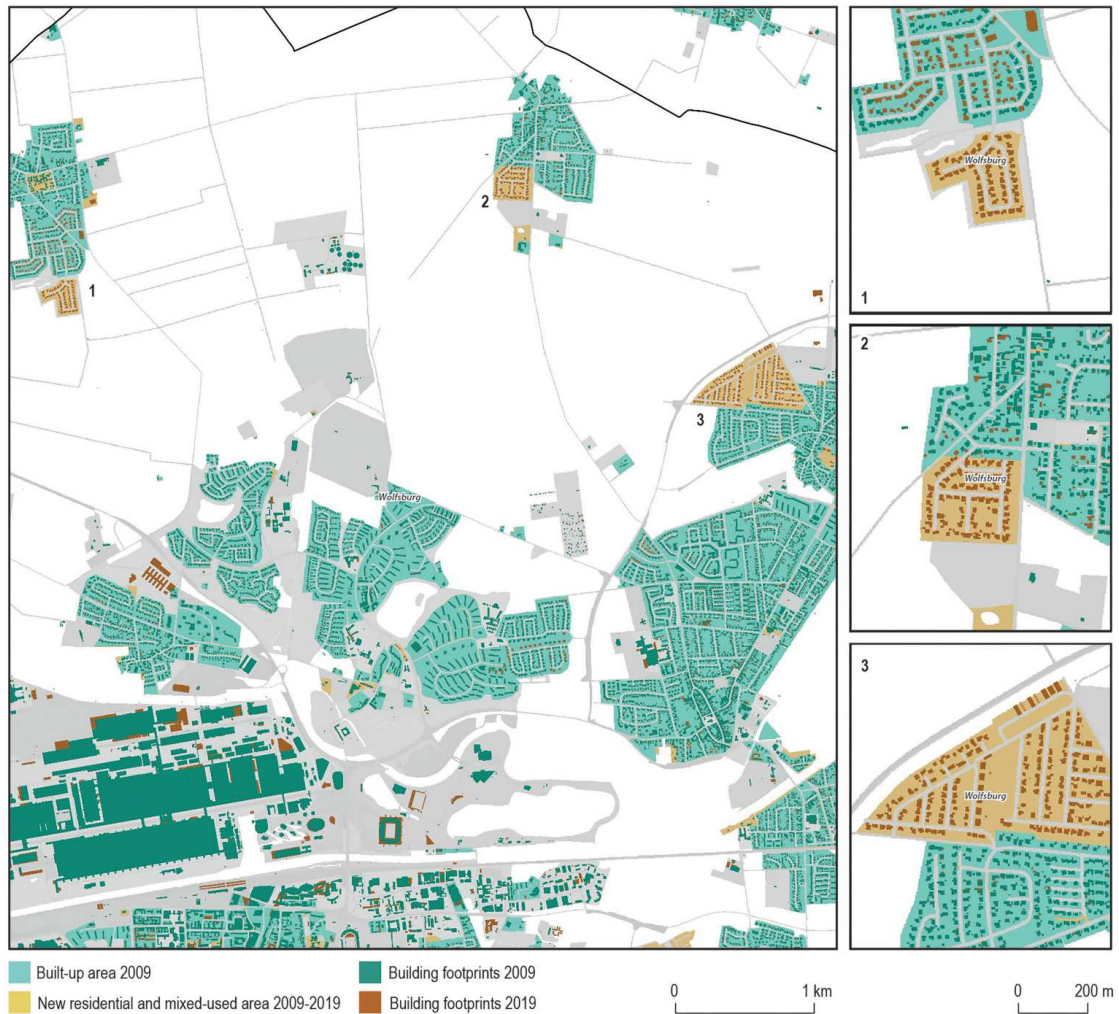
**Hypothesis 4:** In municipalities with a higher share of conservative voters, residential land take is higher than in municipalities with a lower share.

As described in the introduction, property rights theory assumes that interest group preferences for growth management are influenced by local and regional contextual factors such as increasing scarcity of land, population pressure, urbanization and strained infrastructure. Based on this, we integrate population development, availability of open space, housing density, housing affordability and the higher-order centre status of municipalities as variables in our theoretical model. As people need places to live, it is likely that growth rates of population lead to an increased demand for residential areas. Therefore, population growth is considered as an indicator for the pressure on the housing market and as a main trigger for an increasing residential land take (Colsaet, Laurans, and Levrel 2018). Open spaces, such as parks and green areas, contribute significantly to the quality of life in a municipality (Balikçi, Giezen, and Arundel 2022). A scarcity of and limited access to open spaces may raise environmental concerns among residents, leading to a desire for conservation and protection of existing green areas. As density increases, the demand for land rises, potentially leading to heightened competition and scarcity. This, in turn, impacts preferences for growth management, as individuals and developers vie for limited space, influencing land-use policies and regulations. Additionally, higher housing density can strain local infrastructure and services, prompting adjustments in land-use policies to manage these pressures effectively. Rising housing prices indicate increased demand and limited supply, leading to affordability challenges. In response to the financial stress experienced by residents due to a high income-price ratio, proponents of pro-development policies argue that increased construction activity and housing supply helps to reduce pressure on the land and housing market, potentially driving higher residential land take. A central goal of regional planning is to concentrate residential development in central places, where the social and technical infrastructure are available, and to reduce land take beyond what is needed in non-central places. Therefore, higher-order centres regularly receive more building land than non-higher-order centres. At the same time, development interests have an economic incentive to build where land values are high and the access to job markets and other economic opportunities is available. As higher-order centres generally represent these places, we expect to see stronger development in these larger, more populous cities.

## 3.2. Variables

### 3.2.1. Dependent variable

To assess the effect of regional planning on residential land take, we use the change in areas designated for residential and mixed uses as a dependent variable (see Figure 2). The variable shows land use change in the period from 2009 to 2019



**Figure 2.** Measuring change in residential and mixed-use land based on topographic data following Schorcht, Krüger, and Meinel (2016).

(see for the spatial distribution Figure A in the Supplementary material). Both aspects result in two significant improvements over previous studies that used the same regulatory intensity index (see Section 3.2.2) to analyse the influence of regional planning on settlement development (Eichhorn, Diller, and Pehlke 2022b; Pehlke, Diller, and Eichhorn 2021). Firstly, we utilize a dependent variable that accurately reflects the spatial process targeted by the operationalized planning. Secondly, we are able to assess the impact of regional planning regulation on residential land take over an adequate study period. Due to data limitations, earlier studies could only examine periods preceding the measurement of regulation, leading to methodological uncertainties.

The data is derived from a change detection approach, which is applied to topographic data (Schorcht, Krüger, and Meinel 2016). It allows to discriminate different land uses and the respective changes between land-use classes on micro-level but national coverage. Hence, residential land take can be identified and applied to an assessment of land policies (Jehling, Hecht, and Herold 2018). Our study makes use of the change in residential and mixed-use land aggregated on the

municipal level. Relative to pre-existing residential and mixed-use land, we calculate a relative change variable that is then used to assess the effectiveness of regional planning to steer residential land take.

### 3.2.2. Independent variables

**Regulatory intensity (Level-2):** To examine the effect of regional planning on residential land take on the basis of multi-level regression models, we use an index conceptualizing and operationalizing the planning policies used by the regional planning authorities within their regional plans. The index is compiled on the basis of the legally binding regional and state development plans valid in 2009 (Eichhorn, Diller, and Pehlke 2022b) and includes all positive planning policies relevant to the management of residential development (see Table 1). Based on a consistent assessment scheme (Eichhorn, Diller, and Pehlke 2022a), the index attributes a standardized score to all German planning regions, representing the gradients of regulatory intensity of regional planning and their potential regulatory strength to steer local land-use planning (see for the spatial distribution Figure B in the Supplementary material). With a point value from 0 to 40 (normalized 0–100), the index is considered as a continuous variable in our regression models.

**Home ownership (Level-1, Interest groups):** As around 80% of (semi-)detached houses in Germany are owner-occupied (Deschermeier and Henger 2020), we use the share of (semi-)detached houses in the total housing stock as our proxy for home ownership.

**First-time homebuyers (Level-1, Interest groups):** In Germany, the average age for property formation is around 40 years (BBSR 2019). To control whether this demographic group has a stimulating effect on residential land take, we use the share of the 25- to 30-year-olds in the total population to model the demographic group that is most likely to form property for the first time within our study period.

**Political environment (Level-1, Interest groups):** As a proxy for the political environment of a municipality, we use the results of the German federal elections in 2009, 2013 and 2017. Considering predominantly conservative parties, we calculate the average share of eligible voters who have chosen either the Christian Democratic Union (CDU), the Free Democratic Party (FDP) or the Alternative for Germany (AfD) across all three elections.

**Table 1.** Major planning policies and their general modes of operation.

Positive planning policy	Description
Quantitative regulation	Quantitative limitations of new urban development in municipalities
Minimum density requirements	Specifications of density values for new urban development
Brownfield re-development	Concentration of new urban development on derelict lands
Small-scale location regulation	Concentration of new urban development in areas or districts within a municipality, where infrastructure and services are already available
Large-scale location regulation	Concentration of new urban development in municipalities that have regional significance due to infrastructure and services
Restriction of development in non-central places	Limitation of new urban development in designated municipalities ( <i>Eigenentwicklung</i> )
Concentration of development near public transport	Concentration of new urban development near public transport
Index of positive regulatory intensity	Sum of positive planning policies used

**Land availability (Level-1, Contextual factors):** We use the per capita supply of open space per municipality (agricultural land, forest and wooded areas, uncultivated soil, extraction and dumping areas, as well as water surfaces) as a proxy for estimating the effect of environmental characteristics on pro- respectively anti-development policies.

**Housing density (Level-1, Contextual factors):** As a proxy for urbanization, we use housing density. We calculate this variable by dividing the number of housing units by the residential and mixed-use areas per municipality.

**Housing affordability (Level-1, Contextual factors):** For our modelling, we calculate housing affordability as a function of income and average offer prices for houses standardized to 0–100. Since prices per year can be strongly influenced by individual sales cases (e.g. due to the size and location of plots or the equipment of buildings), we calculate an average price value over our entire study period that is less subject to price fluctuations. The basis of income is the net income of private households. This includes earned income as well as pensions, unemployment benefit, transfer payments, child benefit, rental, leasing and capital income.

**Higher-order centres (Level-1, Contextual factors):** To test whether the status of a municipality as a higher-order centre has an effect on residential land take, we use a dummy variable that distinguishes between municipalities with (*Ober-* and *Mittelzentrum*) and without this status.

A description of the variables and data sources is given in Table A in the Supplementary material.

### 3.3. Estimation strategy

Because the data of our study has a two-level hierarchical structure, hypotheses are tested by multi-level models using the restricted maximum-likelihood (REML) estimation method. Multi-level modelling allows to react to hierarchical relationships in nature or society and decompose the variances of the study variables into within-group and between-group components (Harris 2022). For our analysis, we use a ‘bottom-up’ strategy. Therefore, we first estimate an ‘empty’ model without predictors, where only the intercepts vary between the macro units. We use this model to estimate the intraclass correlation (ICC), i.e. the total variance in residential land take resulting from differences between planning regions.

Based on this, we estimate a model with our index of regulatory intensity to investigate its unconditional relationship with residential land take. A look at different classes of regulatory intensity shows a negative correlation with residential development (Figure C Supplementary material). We then replace the index with our level-1 predictors in a third model. By estimating this model, we determine how strong the effect of our level-1 predictors on Y is, if the two-level structure is considered. Our final model includes the level-1 and level-2 variables. All level-1 variables are group-mean centred. Our level-2 variable is grand-mean centred. As the random effects assumption does not hold, all models also include the grand-mean centred group means of our level-1 variables (Antonakis, Bastardo, and Rönkkö 2021). Due to convergence issues, our models are estimated exclusively as random intercept.

Before running our models, we adjust the dataset due to missing values. First, we remove all municipalities without population. Second, the index on regulatory intensity

has missing values, as not all planning regions had a legally valid regional plan in 2009. These planning regions and the municipalities they contain are removed from our dataset. Third, we have some missing values in other level-1 predictors. These municipalities must also be removed. To obtain robust estimates, at least 100 clusters with 5–10 level-1 cases each are recommended (Hox and McNeish 2020; Maas and Hox 2005; Snijders and Boske 2011). Therefore, we exclude all planning regions that have fewer than 10 municipalities. After data cleaning, we can perform our multi-level models for 4032 municipalities nested in 91 planning regions. The final dataset has an average of 43.9 municipalities per planning region (see Table B in the Supplementary material). Since it is not realistic that residential and mixed-use land decreased during the study period and is most likely due to statistical artefacts (Schorcht, Krüger, and Meinel 2016), we set all negative changes to 0. This affects 277 municipalities. Table 2 gives some descriptive statistics of our final dataset.

We check the validity of our models by performing econometric tests. We calculate variance inflation factors (VIFs) to test for potential issues of multicollinearity. All VIFs are well below 10 (see Table C in the Supplementary material). Thus, issues of multicollinearity are highly unlikely. We use histograms and scatter plots to check visually whether our residuals at level-1 and level-2 meet the requirements for homoscedasticity and normal distribution (see Figures D to G in the Supplementary material). Both assumptions seem to be violated. Although multi-level model estimates are usually robust to violations of these assumptions (Schielzeth et al. 2020), we also run robust and bootstrapping models testing for differences in confidence intervals and standard errors. The results of these models can be found in Table D and Table F in the Supplementary material. The Software R (Version 2022.07.02, Built 576) and the *lme4* library are used to calculate the regular multi-level models. The library *robustlmm* (Version 3.2-2) is used to estimate the robust models. Residual bootstrapping with 5000 resamples is performed with the library *lmresampler* (Version 0.2.4) based on the regular multi-level models.

## 4. Results

Table 3 shows the results of our multi-level regression models. The first model (column 1) fitted is the empty model without any predictors. The model represents the

**Table 2.** Descriptive statistics of the dependent and independent variables by category.

Variable	<i>N</i>	Mean	SD	Median	Min	Max
Residential land take	4032	7.52	0.94	6.60	0.00	46.02
<b>Level-2: Planning region-level</b>						
Regional regulatory intensity	91	37.65	27.91	30.00	0.00	100.00
<b>Level-1: Interest groups</b>						
Home ownership	4032	66.33	16.89	70.09	10.33	94.78
First-time homebuyers	4032	5.28	0.79	5.24	2.28	10.75
Political environment	4032	57.55	7.41	57.60	34.33	81.30
<b>Level-1: Contextual factors</b>						
Population development	4032	0.08	0.64	0.11	−1.84	2.57
Land availability	4032	7.81	7.54	5.95	0.03	152.70
Housing affordability	4032	25.18	13.39	22.70	0.00	100.00
Higher-order centre						
Yes = 1	1004 (24.9%)					
No = 0	3028 (75.1%)					

**Table 3.** Results of the multi-level regression models.

Predictors	(1)		(2)		(3)		(4)	
	Estimates	std. Error	Estimates	std. Error	Estimates	std. Error	Estimates	std. Error
(Intercept)	7.45***	0.42	7.41***	0.38	7.58***	0.35	7.55***	0.35
<b>Level-2: Planning region-level</b>								
Regulatory intensity <sup>cgm</sup>			-0.06***	0.02			-0.02	0.02
<b>Level-1/Level-2: Interest groups</b>								
First-time homebuyers <sup>cwc</sup>					0.39***	0.10	0.39***	0.10
First-time homebuyers <sup>cgm gm</sup>					1.91	1.09	1.73	1.09
Home ownership <sup>cwc</sup>					0.07***	0.01	0.07***	0.01
Home ownership <sup>cgm gm</sup>					-0.14*	0.06	-0.12	0.06
Political environment <sup>cwc</sup>					0.09***	0.01	0.09***	0.01
Political environment <sup>cgm gm</sup>					0.12	0.09	0.10	0.09
<b>Level-1/Level-2: Contextual factors</b>								
Population development <sup>cwc</sup>					1.60***	0.18	1.68***	0.18
Population development <sup>cgm gm</sup>					-0.45	1.40	-1.59	1.54
Land availability <sup>cwc</sup>					0.10***	0.01	0.11***	0.01
Land availability <sup>cgm gm</sup>					0.30**	0.10	0.25*	0.11
Housing density <sup>cwc</sup>					0.01	0.02	0.02	0.02
Housing density <sup>cgm gm</sup>					-0.21	0.12	-0.19	0.14
Housing affordability <sup>cwc</sup>					-0.02*	0.01	-0.03*	0.01
Housing affordability <sup>cgm gm</sup>					-0.08	0.07	0.01	0.08
Higher-order centre <sup>dummy</sup>					-0.44*	0.19	-0.38*	0.19
<b>Random Effects</b>								
$\sigma^2$	18.14		18.15		15.81		15.81	
$\tau_{00}$	15.24		12.75		9.19		9.02	
ICC	0.46		0.41		0.37		0.36	
N	91		91		91		91	
Observations	4032		4032		4032		4032	
Marginal R <sup>2</sup> / Conditional R <sup>2</sup>	0.000 / 0.457		0.095 / 0.469		0.256 / 0.529		0.274 / 0.538	
Deviance	23436.742		23420.560		22835.623		22833.153	
log-Likelihood	-11718.324		-11713.567		-11446.326		-11448.362	

Notes: (1) Unconditional, (2) level-2 predictor of interest, (3) level-1 predictors only, (4) level-1 and level-2 predictors. Coefficients are expected change in mean of land take for unit change in predictor.

<sup>cgm</sup>grand-mean centred, <sup>cwc</sup>group-mean centred, <sup>cgm gm</sup>grand-mean centred group mean, <sup>dummy</sup>Dummy-Variable

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

unexplained variation in residential land take considering the two-level structure in our data. It shows that the variance in residential land take between planning regions is 18.14 and 15.24 within planning regions. The variance in residential land take within planning regions is thus smaller than between planning regions. The adjusted ICC is 0.46, meaning that 46% of the variance in residential land take represents a variance between planning regions. Therefore, the multi-level analysis is appropriate.

In column 2, we see that the unconditional effect of regulatory intensity on residential land take is statistically significant and damping. The coefficient indicates that – bearing in mind that residential land take is measured as a percentage change – one additional index point in the regulatory intensity corresponds to a decrease of 0.06 percentage points in residential land take. This finding supports hypothesis H1. Both the share of first-time homebuyers and the share of conservative voters in a municipality have a statistically significant positive effect on residential land take. Consequently, Model 3 (column 3) supports our hypotheses H3 and H4. This also applies, if we control for regulatory intensity. Regarding hypothesis H2, Models 3 and 4 estimate, all else being equal, a statistically significant positive effect of home ownership on residential land take. Therefore, Hypothesis H2 cannot be confirmed. The regulatory intensity loses significance when controlling against the interest groups and local and regional contextual factors variables.

A look at the between-effects of our interest groups variables shows that first-time homebuyers and the political environment have the same signs as their level-1 counterparts. However, they are not statistically significant. While a higher share of owner-occupied houses in a municipality increases residential land take, the average residential land take within a planning region decreases with an increase in average home ownership within a planning region. Among our local and regional contextual factors variables, population development, land availability, housing affordability and higher-order centre status show statistical significance.

Our models exhibit varying degrees of fit, as indicated by the Marginal and Conditional  $R^2$ . The Marginal  $R^2$  increases from 0.095 to 0.274. The Conditional  $R^2$  increases from 0.457 to 0.538 across the models. The deviance decreases from 23,436.742 to 22,833.153, and the log-likelihood improved from  $-11,718.324$  to  $-11,448.362$ , indicating better model fit over successive models.

## 5. Discussion

In the following, we contextualize our results within the framework of previous studies, highlighting both consistencies and divergences. Additionally, we address the methodological limitations of our approach, acknowledging factors such as the measurement of regulatory intensity and the complexities of linking planning outputs to development outcomes.

### 5.1. On the influence of regional planning on residential land take

The results show that the intensity of regional regulation, considering the hierarchical structure in our data, has a statistically significant dampening effect on residential land take. Our study thus confirms the results of existing research that also utilize the index

of regulatory intensity, indicating that stricter regulation can more effectively steer settlement development (Eichhorn, Diller, and Pehlke 2022b; Pehlke, Diller, and Eichhorn 2021). However, it must be noted that the statistical significance of regulatory intensity diminishes when local covariates are included. This might be explained, on the one hand, by the mutual feedback principle of the German planning system, which requires the consideration of local needs by regional planning (see Section 2). On the other hand, it can be attributed to the goals outlined in the ROG and the planning policies included in the regulatory intensity (see Section 3.2.2). Regional planning is not solely focused on land conservation (§ 2 ROG) but also aims to address specific local housing demand and direct potential building land towards central places with good infrastructure. Following Kiessling and Pütz (2020), different regional governance capacities can lead to certain goals being better realized than others. Given the crisis-like developments in many German housing markets during our study period (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2020), it seems possible that regional planning authorities have tended to satisfy local demand for building land rather than limiting it. As has been shown for Germany and other European countries, it can also be assumed that the economic and financial crisis in Europe has further increased the interference of economic interests in current planning practice and thus reduced the steering capacities of regional planning (Eichhorn et al. 2024; Oliveira and Hersperger 2018). For political reasons, objectives in regional planning are also often formulated in a vague and imprecise manner. In addition to differences in regional governance capacities, this can further complicate the consistent implementation of planning instruments and objectives in practice (Eichhorn, Diller, and Pehlke 2022b). Contrary to common criticism, our results indicate that regional planning does not seem to inherently act as a development restraint (Einig 2005a). According to our findings, research questions 1 and 2 can be answered as follows: There is both a dampening effect of regional planning on residential land take and an effect of local interest groups on the effectiveness of regional planning to steer residential land take.

In addition to examining the impact of regulatory intensity on residential land take, our analysis incorporated control variables related to interest groups and local and regional contextual factors, factors known to influence the spatial development (Feiock 2004; Feiock, Tavares, and Lubell 2008; Lubell, Feiock, and de La Cruz 2009). Among the three interest group variables explored in our study, the first-time homebuyers and the political environment demonstrated the anticipated positive correlation with residential land take. Regarding first-time homebuyers, the very low interest rates in our study period need consideration as this contributes to a scenario where even young individuals with limited equity capital could secure financing for home construction from banks. This situation, combined with the possibility of better realizing one's own housing ideas in a new house than in an existing property, could represent a strong incentive for this demographic group to build new.

Our results show that home ownership stimulates residential land take in municipalities. This finding is somewhat surprising, as empirical studies show that a blockade of further land development – as predicted by Fischel's homevoter hypothesis – is also a relevant phenomenon in Germany (Martin, Arnold, and Freier 2015). One explanation could be that it is rare for an entire housing project to be completely rejected due to criticism of the local population. Instead, plans are usually revised, often with regard to

specifications on housing density and building types. Against this background, home ownership might not necessarily lead to less residential land take, but rather to lower densities, which in turn may stimulate residential land take and urban sprawl (Ehrhardt et al. 2022). Another explanation could be that rising prices and the lack of affordable housing in recent years have made the population more aware of the need to create new housing, weakening the predictive power of the homevoter hypothesis (Stahl 2017). Moreover, findings by Eichhorn et al. (2024) suggest that in low-density municipalities, the demand for (semi-)detached houses, the political will expressed through supply planning (e.g. zoning), as well as private-sector considerations of project developers and investors also play a significant role in the reproduction of land-extensive forms of housing. Although not all variables have the anticipated effect, statistically significant coefficients let us confirm research question 3.

In regard to our local and regional contextual factors variables, open space per capita has a stimulating effect on residential land take. In line with Lubell, Feiock, and de La Cruz (2009), this finding can be explained, on the one hand, by individuals that might be drawn to regions with abundant open spaces, perceiving them as areas with a better quality of life and recreational opportunities. On the other hand, existing residents may engage less strictly against new construction activity as there is enough open space left. As land is taken up even under shrinking trends, various studies conclude that population growth is a weak explanatory factor for settlement development (Colsaet, Laurans, and Levrel 2018). Our results do not support this. Based on our theoretical model, there is some evidence that, overall, local authorities, property developers and landowners are more likely to be encouraged to develop land due to increasing demand, rather than blocking development. Based on the statistically significant negative regression coefficient of our dummy variable for higher-order centres, regional planning was not able to concentrate urban development on these centres between 2009 and 2019. In line with Osterhage (2018) and Ehrhardt et al. (2022), this finding might point to ongoing suburbanization processes, which are reinforced by a scarcity of potential building land and high land and housing prices pushing households in the hinterland to meet their housing demand.

As our results demonstrate, our multi-level regression approach captures the hierarchical structure of the planning system, accurately reflecting the influence of different levels of governance. It reveals the impact of local development dynamics and interest groups, which might otherwise be obscured by regional averages in more simplistic models. By providing a detailed and more nuanced understanding of the interaction between local and regional factors, this approach offers valuable insights into the effectiveness of regional planning to steer residential development, which in turn can be used to support future planning processes.

## **5.2. Methodological limitations**

While our study provides valuable insights, it is crucial to acknowledge and scrutinize its limitations. Although the measurement of residential development at municipal level is appropriate, especially in the context of the regulatory intensity used, it neglects factors such as spatial distribution and housing density in new construction areas. Consequently, regions with identical residential land take may manifest significant differences in

residential land take per capita and, thus, sustainable urban development (Jehling, Hecht, and Herold 2018). The regulatory intensity, designed to reflect the potential steering effect of regional planning on local land use planning, comes with its own set of limitations. Notably, it does not include the negotiation processes in which regional plans are developed (Diller 2012). Although reaching consensus between relevant actors is an important task of regional planning and is used to coordinate actors' interests and development intentions even before the plan is implemented, the index – as it reflects the outcome of the negotiations – cannot be used to understand how the regulatory intensity was achieved. Additionally, directly linking the output (regional plan with its regulatory intensity) with the outcome (actual residential development) complicates the identification of whether discrepancies between output and outcome stem from inadequate plan implementation or insufficient planning specifications (Diller 2012).

## 6. Conclusion

The presented study delves into the relationship between regional planning regulations, local interest groups and local and regional contextual factors to explain residential land take in Germany. Analysing 4032 municipalities nested in 91 planning regions, the study examined three pivotal questions on residential land take within the two-tier governance structure of regional and local land-use planning in Germany. The findings show a dampening effect of regulatory intensity on residential land take and indicate that stricter regulation can steer settlement development more effectively. These results are consistent with findings of other studies. However, the damping effect diminishes when considering local covariates, indicating that regional planning is not per se able to reduce residential land take. Reasons for this may include that regional planning is not solely focussed on saving land, that there are divergent local development interests or that there are regional and local implementation deficits.

In our view, regional planning can nevertheless play an important role in achieving sustainable and efficient spatial outcomes by providing a legally binding framework and coordinating land requirements and needs with all relevant actors in advance of specific development projects. If implemented consistently, i.e. taking into account robust demand forecasts, it can reduce excessive zoning in shrinking cities or municipalities and provide the necessary land for housing construction in growing regions. In this way, the particular interests of municipalities and cities can be overcome and a needs-based allocation of residential areas at the regional level can be ensured, taking into account supra-local objectives.

In light of our findings, we see a need for further research, when it comes to analysing the local and regional distribution of urban expansion. In our view, it would be beneficial to examine the effectiveness of regional planning in concentrating urban development in central places, as well as in promoting transit-oriented development and higher housing densities along growth corridors (Howell-Moroney 2007; Paulsen 2014; Schmidt, Siedentop, and Fina 2018). Further, other land uses beyond residential land use should be looked at. Trade, commerce and industry constitute a significant share of land take and remain relatively understudied. Here, we see potential to adapt the proposed approach through an appropriate theoretical framework which accounts for the governance of land take by these uses (Jehling, Krehl, and Krüger 2021). In addition, it remains a

research gap in the operationalization of interest groups and planning processes in quantitative analyses. In this respect, the present study should primarily be seen as a first step towards a better understanding of the influence of local interest groups on the effectiveness of regional planning in steering land take, which asks for further specification with alternative variables. Comparative research across national contexts could be highly valuable in this regard.

## Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

## ORCID

Sebastian Eichhorn  <http://orcid.org/0000-0003-3825-0614>

Denise Ehrhardt  <http://orcid.org/0000-0001-7949-4557>

Mathias Jehling  <http://orcid.org/0000-0002-7498-3607>

## References

- Albrechts, L., P. Healey, and K. Kunzmann. 2003. "Strategic Spatial Planning and Regional Governance in Europe." *Journal of the American Planning Association* 69 (2): 113–129. doi:10.1080/01944360308976301.
- Anthony, J. 2004. "Do State Growth Management Regulations Reduce Sprawl?" *Urban Affairs Review* 39 (3): 376–397. doi:10.1177/1078087403257798.
- Antonakis, J., N. Bastardo, and M. Rönkkö. 2021. "On Ignoring the Random Effects Assumption in Multilevel Models: Review, Critique, and Recommendations." *Organizational Research Methods* 24 (2): 443–483. doi:10.1177/1094428119877457
- Balikçi, S., M. Giezen, and R. Arundel. 2022. "The Paradox of Planning the Compact and Green City: Analyzing Land-use Change in Amsterdam and Brussels." *Journal of Environmental Planning and Management* 65 (13): 2387–2411. doi:10.1080/09640568.2021.1971069.
- Behnisch, M., T. Krüger, and J. Jaeger. 2022. "Rapid Rise in Urban Sprawl: Global Hotspots and Trends Since 1990." *PLOS Sustain Transform* 1 (11): e0000034. doi:10.1371/journal.pstr.0000034.
- Bovet, J., M. Reese, and W. Köck. 2018. "Taming Expansive Land Use Dynamics – Sustainable Land Use Regulation and Urban Sprawl in a Comparative Perspective." *Land Use Policy* 77: 837–845. doi:10.1016/j.landusepol.2017.03.024.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). 2019. *Faktencheck zur Wohneigentumsbildung: Ergebnisse der Befragung zur Wohneigentumsbildung in Deutschland 2012 bis 2017* (ger). Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Online-Ressource.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR). 2020. *Immobilienpreisentwicklungen - Übertreibungen oder Normalität?* (ger). Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Online-Ressource.
- Carruthers, J. 2002. "The Impacts of State Growth Management Programmes: A Comparative Analysis." *Urban Studies (Edinburgh, Scotland)* 39 (11): 1959–1982. doi:10.1080/0042098022000011317.
- Colsaet, A., Y. Laurans, and H. Levrel. 2018. "What Drives Land Take and Urban Land Expansion? A Systematic Review." *Land Use Policy* 79: 339–349. doi:10.1016/j.landusepol.2018.08.017.
- Danielzyk, R., and A. Münter. 2018. *Spatial Planning*. Accessed 11 April 2023. [https://www.arl-international.com/sites/default/files/dictionary/2021-09/spatial\\_planning\\_raumplanung.pdf](https://www.arl-international.com/sites/default/files/dictionary/2021-09/spatial_planning_raumplanung.pdf).

- Dawkins, C., and A. Nelson. 2003. "State Growth Management Programs and Central-City Revitalization." *Journal of the American Planning Association* 69 (4): 381–396. doi:10.1080/01944360308976326.
- Deschermeier, P., and R. Henger. 2020. "Wie Viel Wohnfläche Benötigen wir? Vergangene und Zukünftige Trends Beim Wohnflächenkonsum: Empirische Evidenz und Stochastische Prognose bis 2030 (ger)." In *Zur Relevanz von Bevölkerungsvorausberechnungen für Arbeitsmarkt-, Bildungs- und Regionalpolitik*, edited by P. Deschermeier, J. Fuchs, I. Iwanow, and C. B. Wilke, 178–201. Bielefeld: WBV.
- Diller, C. 2012. "Evaluation der regionalen Raumordnungsplanung - Praxis, Forschung, Perspektiven (ger)." *Informationen zur Raumentwicklung (IzR)* 1/2: 1–15.
- Ehrhardt, D., S. Eichhorn, M. Behnisch, M. Jehling, A. Münter, C. Schünemann, and S. Siedentop. 2022. "Stadtregionen im Spannungsfeld zwischen Wohnungsfrage und Flächensparen. Trends, Strategien und Lösungsansätze in Kernstädten und ihrem Umland (ger)." *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning* 80 (5): 522–541. doi:10.14512/rur.216.
- Eichhorn, S., C. Diller, and D. Pehlke. 2022a. "Die Entwicklung der Regulierungsintensität der deutschen Regionalpläne von 1985 bis 2017." Ein empirischer Beitrag zur Diskussion um den Bedeutungsverlust der Raumordnung (ger). *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*.
- Eichhorn, S., C. Diller, and D. Pehlke. 2022b. "Wirkungen der Regionalplanung bei der Steuerung der Siedlungsentwicklung (ger)." In *Stadtregionales Flächenmanagement*, edited by S. Henn, T. Zimmermann, and B. Braunschweig, 1–30. Berlin: Springer Spektrum.
- Eichhorn, S., D. Ehrhardt, A. Münter, and M. Jehling. 2024. "Understanding Land Take by Low-Density Residential Areas: An Institutionalist Perspective on Local Planning Authorities, Developers and Households." *Land Use Policy* 143: 1–11. doi:10.1016/j.landusepol.2024.107198.
- Einig, K. 2003. "Positive Koordination in der Regionalplanung: Transaktionskosten des Planentwurfs in Verhandlungssystemen (ger)." *Informationen zur Raumentwicklung (IzR)* 8/9: 479–503.
- Einig, K. 2005a. "Integration des Marktmechanismus in die Regionalplanung (ger)." *Informationen zur Raumentwicklung (IzR)* 4/5: 281–295.
- Einig, K. 2005b. "Regulierung des Siedlungsflächenwachstums als Herausforderung des Raumordnungsrechts (ger)." *disP - The Planning Review* 41 (160): 48–57. doi:10.1080/02513625.2005.10556906.
- Ewing, R., T. Lyons, F. Siddiq, S. Sabouri, F. Kiani, S. Hamidi, D. Choi, and H. Ameli. 2022. "Growth Management Effectiveness: A Literature Review." *Journal of Planning Literature* 37 (3): 433–451. doi:10.1177/08854122221077457.
- Fang, L., N. Stewart, and J. Tyndall. 2023. "Homeowner Politics and Housing Supply." *Journal of Urban Economics* 138: 103608. doi:10.1016/j.jue.2023.103608.
- Feiock, R. 2004. "Politics, Institutions and Local Land-Use Regulation." *Urban Studies (Edinburgh, Scotland)* 41 (2): 363–375. doi:10.1080/0042098032000165299.
- Feiock, R., A. Tavares, and M. Lubell. 2008. "Policy Instrument Choices for Growth Management and Land Use Regulation." *Policy Studies Journal* 36 (3): 461–480. doi:10.1111/j.1541-0072.2008.00277.x.
- Fertner, C., G. Jørgensen, T. Sick Nielsen, and K. Bernhard Nilsson. 2017. "Urban Sprawl and Growth Management – Drivers, Impacts and Responses in Selected European and US Cities." *Future Cities and Environment* 2: 9. doi:10.1186/s40984-016-0022-2.
- Fischel, W. 2005. "Politics In A Dynamic View Of Land-Use Regulations: Of Interest Groups And Homevoters (En;en)." *Journal of Real Estate Finance and Economics* 31 (4): 397–403. doi:10.1007/s11146-005-3289-x.
- Foster, D., and J. Warren. 2022. "The NIMBY Problem." *Journal of Theoretical Politics* 34 (1): 145–172. doi:10.1177/09516298211044852.
- Gallardo, M., and J. Martínez-Vega. 2016. "Three Decades of Land-Use Changes in the Region of Madrid and how They Relate to Territorial Planning." *European Planning Studies* 24 (5): 1016–1033. doi:10.1080/09654313.2016.1139059.

- Gerber, J., and M. Bandi Tanner. 2018. "The Role of Alpine Development Regimes in the Development of Second Homes: Preliminary Lessons from Switzerland." *Land Use Policy* 77: 859–870. doi:10.1016/j.landusepol.2017.09.017.
- Gerber, J., and G. Debrunner. 2022. "Planning with Power. Implementing Urban Densification Policies in Zurich, Switzerland." *Land Use Policy* 123: 106400. doi:10.1016/j.landusepol.2022.106400.
- Glaeser, E., and J. Gyourko. 2018. "The Economic Implications of Housing Supply." *Journal of Economic Perspectives* 32 (1): 3–30. doi:10.1257/jep.32.1.3.
- Harris, R. 2022. "Multilevel Models." In *Handbook of Spatial Analysis in the Social Sciences*, edited by S. J. Rey, and R. S. Franklin, 173–186. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Hofmann, D., and M. Gavin. 1998. "Centering Decisions in Hierarchical Linear Models: Implications for Research in Organizations." *Journal of Management* 24 (5): 623–641. doi:10.1177/014920639802400504.
- Howell-Moroney, M. 2007. "Studying the Effects of the Intensity of US State Growth Management Approaches on Land Development Outcomes." *Urban Studies (Edinburgh, Scotland)* 44 (11): 2163–2178. doi:10.1080/00420980701518958.
- Hox, J., and D. McNeish. 2020. "Small Samples in Multilevel Modeling." In *Small Sample Size Solutions*, edited by R. van de Schoot, and M. Miočević, 215–225. London: Routledge.
- Hsieh, C., and E. Moretti. 2019. "Housing Constraints and Spatial Misallocation." *American Economic Journal: Macroeconomics* 11 (2): 1–39. doi:10.1257/mac.20170388.
- Jehling, M., R. Hecht, and H. Herold. 2018. "Assessing Urban Containment Policies Within a Suburban Context—An Approach to Enable a Regional Perspective." *Land Use Policy* 77: 846–858. doi:10.1016/j.landusepol.2016.10.031.
- Jehling, M., A. Krehl, and T. Krüger. 2021. "The More the Merrier? Questioning the Role of New Commercial and Industrial Locations for Employment Growth in German City Regions." *Land Use Policy* 109: 105653. doi:10.1016/j.landusepol.2021.105653.
- Jehling, M., M. Schorcht, and T. Hartmann. 2020. "Densification in Suburban Germany: Approaching Policy and Space Through Concepts of Justice." *Town Planning Review* 91 (3): 217–237. doi:10.3828/tpr.2020.13.
- Jeongho, L. 2015. "Interest Groups, County Characteristics, and Local Growth Management Policy Instruments." *KJPS* 30 (3): 41–61. doi:10.52372/kjps30303.
- Kiessling, N., and M. Pütz. 2020. "Assessing the Regional Governance Capacities of Spatial Planning: The Case of the Canton of Zurich. Regional Studies." *Regional Science* 7 (1): 183–205. doi:10.1080/21681376.2020.1776631.
- Knill, C., K. Schulze, and J. Tosun. 2010. "Politikwandel und seine Messung in der vergleichenden Staatstätigkeitsforschung: Konzeptionelle Probleme und mögliche Alternativen (ger)." *Politische Vierteljahresschrift* 51 (3): 409–432. doi:10.1007/s11615-010-0022-z.
- Leffers, D., and G. Wekerle. 2020. "Land Developers as Institutional and Postpolitical Actors: Sites of Power in Land Use Policy and Planning." *Environment and Planning A* 52 (2): 318–336. doi:10.1177/0308518X19856628.
- Lubell, M., R. Feiock, and E. de La Cruz. 2009. "Local Institutions and the Politics of Urban Growth." *American Journal of Political Science* 53 (3): 649–665. doi:10.1111/j.1540-5907.2009.00392.x.
- Lux, M., T. Samec, V. Bartos, P. Sunega, J. Palguta, I. Boumová, and L. Kázmér. 2018. "Who Actually Decides? Parental Influence on the Housing Tenure Choice of Their Children." *Urban Studies (Edinburgh, Scotland)* 55 (2): 406–426. doi:10.1177/0042098016646665.
- Maas, C., and J. Hox. 2005. "Sufficient Sample Sizes for Multilevel Modeling (en)." *Methodology* 1 (3): 86–92. doi:10.1027/1614-2241.1.3.86.
- Mahaim, R. 2014. "Steuerung der Siedlungsentwicklung im kantonalen Richtplan: Stand der Dinge und Perspektiven im Lichte des revidierten RPG." RAUM & UMWELT 1. VLP-ASPAN, Bern.
- Martin, T., F. Arnold, and R. Freier. 2015. *(Not) in my Backyard? The Impact of Citizen Initiatives on Housing Supply in Germany (eng)*. Louvain-la-Neuve: European Regional Science Association (ERSA). Accessed 14 March 2024. <https://www.econstor.eu/handle/10419/124639>
- Molotch, H. 2005. "The City as a Growth Machine: Toward a Political Economy of Place." In *Cities and Society*, edited by N. Kleniewski, 15–27. Malden, MA: Blackwell Pub.

- Nelson, A. 1999. "Comparing States with and Without Growth Management Analysis Based on Indicators with Policy Implications." *Land Use Policy* 16 (2): 121–127. doi:10.1016/S0264-8377(99)00009-5.
- Oliveira, E., and A. Hersperger. 2018. "Governance Arrangements, Funding Mechanisms and Power Configurations in Current Practices of Strategic Spatial Plan Implementation." *Land Use Policy* 76: 623–633. doi:10.1016/j.landusepol.2018.02.042.
- Osterhage, F. 2018. "The End of Reurbanisation? Phases of Concentration and Deconcentration in Migratory Movements in North Rhine-Westphalia (en)." *Comparative Population Studies* 43: 131–115. doi:10.12765/CPoS-2018-10.
- Paek, H., S. Yoon, and D. Shah. 2005. "Local News, Social Integration, and Community Participation: Hierarchical Linear Modeling of Contextual and Cross-Level Effects." *Journalism & Mass Communication Quarterly* 82 (3): 587–606. doi:10.1177/107769900508200307.
- Pagliarin, S. 2018. "Linking Processes and Patterns: Spatial Planning, Governance and Urban Sprawl in the Barcelona and Milan Metropolitan Regions." *Urban Studies (Edinburgh, Scotland)* 55 (16): 3650–3668. doi:10.1177/0042098017743668.
- Paulsen, K. 2013. "The Effects of Growth Management on the Spatial Extent of Urban Development, Revisited." *Land Economics* 89 (2): 193–210. doi:10.3368/le.89.2.193.
- Paulsen, K. 2014. "Geography, Policy or Market? New Evidence on the Measurement and Causes of Sprawl (and Infill) in US Metropolitan Regions." *Urban Studies (Edinburgh, Scotland)* 51 (12): 2629–2645. doi:10.1177/0042098013512874.
- Pehlke, D., C. Diller, and S. Eichhorn. 2021. "Beeinflusst die Trägerschaft der Regionalplanung die Inhalte der Regionalpläne und die regionale Siedlungsentwicklung? Theoretische Überlegungen und eine empirische Analyse für Deutschland (ger)." *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning* 79 (5): 484–500. doi:10.14512/rur.74.
- Peter, H., C. Tippel, and A. Steinführer. 2022. *Wohnstandortentscheidungen in einer wohnbiographischen Perspektive: Eine explorative Studie in ländlichen und großstädtischen Kontexten (ger)*. Braunschweig: Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut. 1152 pp.
- Phelps, N., and A. Wood. 2011. "The New Post-Suburban Politics?" *Urban Studies (Edinburgh, Scotland)* 48 (12): 2591–2610. doi:10.1177/0042098011411944.
- Schielzeth, H., N. Dingemans, S. Nakagawa, D. Westneat, H. Allogue, C. Teplitsky, D. Réale, N. Dochtermann, L. Garamszegi, and Y. Araya-Ajoy. 2020. "Robustness of Linear Mixed-Effects Models to Violations of Distributional Assumptions." *Methods in Ecology and Evolution / British Ecological Society* 11 (9): 1141–1152. doi:10.1111/2041-210X.13434.
- Schmidt, S., S. Siedentop, and S. Fina. 2018. "How Effective are Regions in Determining Urban Spatial Patterns? Evidence from Germany." *Journal of Urban Affairs* 40 (5): 639–656. doi:10.1080/07352166.2017.1360741.
- Schorcht, M., T. Krüger, and G. Meinel. 2016. "Measuring Land Take: Usability of National Topographic Databases as Input for Land Use Change Analysis: A Case Study from Germany." *IJGI* 5 (8): 134. doi:10.3390/ijgi5080134.
- Siedentop, S., M. Egermann, eds. 2009. "Freiraumschutz und Freiraumentwicklung durch Raumordnungsplanung: Bilanz, aktuelle Herausforderungen und methodisch-instrumentelle Perspektiven (ger)." Hannover: Verlag der ARL.
- Siedentop, S., S. Fina, and A. Krehl. 2016. "Greenbelts in Germany's Regional Plans—An Effective Growth Management Policy?" *Landscape and Urban Planning* 145: 71–82. doi:10.1016/j.landurbplan.2015.09.002.
- Siedentop, S., S. Schmidt, and A. Dunlop. 2022. "Managing Urban Growth – An Overview of the Literature." *Raumforschung Und Raumordnung* 80 (6): 659–677. doi:10.14512/rur.1653.
- Smas, L., and P. Schmitt. 2021. "Positioning Regional Planning Across Europe." *Regional Studies* 55 (5): 778–790. doi:10.1080/00343404.2020.1782879.
- Snijders, T., and R. Boske. 2011. *Multilevel Analysis*. London: SAGE Publications.
- Soria, J., and L. Valenzuela. 2013. "A Method for the Evaluation of Metropolitan Planning: Application to the Context in Spain." *European Planning Studies* 21 (6): 944–966. doi:10.1080/09654313.2012.722935.

- Stahl, K. 2017. “‘Yes in My Backyard’: Can a New Pro-Housing Movement Overcome the Power of NIMBYs?” *Zoning & Planning Law Report* 41 (3): 1–16.
- Tavares, A. 2023. “Land Use Management: Local Institutions and the Power to Shape.” In *Chapter 10: Gender and Representation in Local Politics*, edited by E. M. Hlynsdóttir, 297–311. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Teresa, B. 2022. “Planners’ Alchemy Achieved? How NIMBY and YIMBY Reproduce the Housing Question.” *International Journal of Urban and Regional Research* 46 (2): 307–311. doi:[10.1111/1468-2427.13065](https://doi.org/10.1111/1468-2427.13065).
- Wassmer, R. 2006. “The Influence of Local Urban Containment Policies and Statewide Growth Management on the Size of United States Urban Areas\*.” *Journal of Regional Science* 46 (1): 25–65. doi:[10.1111/j.0022-4146.2006.00432.x](https://doi.org/10.1111/j.0022-4146.2006.00432.x).
- Wassmer, R. 2008. “Causes of Urban Sprawl in the United States: Auto Reliance as Compared to Natural Evolution, Flight from Blight and Local Revenue Reliance.” *Journal of Policy Analysis and Management* 27 (3): 536–555. doi:[10.1002/pam.20355](https://doi.org/10.1002/pam.20355).
- Yin, M., and J. Sun. 2007. “The Impacts of State Growth Management Programs on Urban Sprawl in the 1990S.” *Journal of Urban Affairs* 29 (2): 149–179. doi:[10.1111/j.1467-9906.2007.00332.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9906.2007.00332.x).

## Artikel 2: Eckdaten und Autorenbeiträge

<b>Referenz</b>	Eichhorn, S., Gerten, C., und Diller, C. (2021a). Bewertung und Klassifizierung von Bahnhaltdepunkten in Nordrhein-Westfalen. Ein methodischer Ansatz zur Operationalisierung von „Transit-Oriented Development“. <i>Raumforschung und Raumordnung / Spatial Research and Planning</i> , 79(1):21–38
<b>Beiträge</b>	Der Artikel ist in Co-Autorenschaft entstanden und wurde in einem Peer-Review-Verfahren (double-blind) begutachtet. Der Verfasser ist <i>corresponding author</i> (Erstautorenschaft) und zeichnet sich für die Darlegung des methodischen Vorgehens, die Durchführung der Clusteranalyse sowie die Diskussion der Ergebnisse und das Fazit verantwortlich. Den Co-Autoren oblag die Darlegung des theoretischen Hintergrundes sowie die Aufbereitung unterschiedlicher Daten zur Operationalisierung des 6-D-Modells.
<b>Historie</b>	Eingereicht: 9 Juli 2020 Akzeptiert: 22 Dezember 2020 Veröffentlicht: 8 Februar 2021

# Bewertung und Klassifizierung von Bahnhofpunkten in Nordrhein-Westfalen. Ein methodischer Ansatz zur Operationalisierung von „Transit-Oriented Development“

Sebastian Eichhorn  ■ Christian Gerten  ■ Christian Diller

Eingegangen: 9. Juli 2020 ■ Angenommen: 22. Dezember 2020 ■ Online veröffentlicht: 8. Februar 2021

## Zusammenfassung

Mit dem Konzept des *Transit-Oriented Development* (TOD) wird das Ziel verfolgt, neue Wohn- und Gewerbenutzungen an regional integrierten Standorten zu entwickeln, die den zukünftigen Bewohnerinnen und Bewohnern sowie den Beschäftigten eine gute lokale Infrastrukturausstattung, abwechslungsreiche öffentliche Räume sowie attraktive Mobilitätsalternativen zur Nutzung des eigenen Kraftfahrzeugs anbieten. In diesem Beitrag wird eine zur Operationalisierung von *Transit-Oriented Development* entwickelte Methodik vorgestellt und zur Bewertung und Klassifizierung von 747 nordrhein-westfälischen Bahnhofpunkten angewandt. Mithilfe der operationalisierten TOD-Dimensionen können für Nordrhein-Westfalen fünf Cluster gebildet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Cluster mit überdurchschnittlich hohen TOD-Werten in den Dimensionen *Destination Accessibility*, *Density* und *Diversity* vorwiegend im Rhein-Ruhr-Raum sowie in den solitären Städten des Landes finden lassen. In den peripheren Räumen treten hauptsächlich die Cluster mit geringeren TOD-Werten auf. Die Ergebnisse weisen darauf hin,

dass es eine Diskrepanz zwischen der Verfügbarkeit von potenziell entwickelbaren Flächen und dem TOD-Grad gibt. Im Umfeld der Haltepunkte der hochleistungsfähigen Bahnstrecken in Regionen mit hoher Wohnungsnachfrage stehen kaum Flächenpotenziale zur Verfügung. Große Flächenpotenziale gibt es hingegen an den Haltepunkten mit geringen TOD-Werten und einem geringeren Druck auf dem Wohnungsmarkt. Die Cluster ermöglichen es, spezifische Handlungsempfehlungen für die Stadtplanung und politische Entscheidungen zu formulieren, um eine erfolgreiche Implementation von *Transit-Oriented Development* zu unterstützen.

**Schlüsselwörter:** Transit-oriented development ■ Operationalisierung ■ Klassifizierung ■ Siedlungsentwicklung ■ Verkehrsentwicklung ■ Nordrhein-Westfalen

## Evaluating and classifying railway stations in North Rhine-Westphalia. A methodological approach to operationalise Transit-Oriented Development

### Abstract

The concept of Transit-Oriented Development (TOD) aims to develop new residential and commercial areas in regionally integrated sites that provide future residents and employees with good local infrastructure, diversified public spaces and attractive mobility alternatives so that they do not have to use their own car. This paper presents a methodology for the operationalisation of Transit-Oriented Development and applies it to evaluate and cluster of 747 railway stations in North Rhine-Westphalia, Germany. Using the operationalised TOD dimensions, five interpretable clusters can be defined for North Rhine-Westphalia. The results show that the clusters


✉ **Sebastian Eichhorn**, ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung, Brüderweg 22–24, 44135 Dortmund, Deutschland

sebastian.eichhorn@ils-forschung.de

✉ **Christian Gerten**, ILS – Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung, Brüderweg 22–24, 44135 Dortmund, Deutschland

christian.gerten@ils-forschung.de

✉ **Prof. Dr. Christian Diller**, Institut für Geographie, Bereich Raumplanung und Stadtgeographie, Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstraße 1, 35390 Gießen, Deutschland  
Christian.Diller@geogr.uni-giessen.de

 © 2021 Eichhorn; licensee oekom verlag. This Open Access article is published under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International Licence.

with above-average TOD values in the dimensions destination accessibility, density and diversity can be found mainly in the Rhine-Ruhr region and in the solitary cities of North Rhine-Westphalia. In the peripheral areas, primarily clusters with lower TOD values occur. The findings indicate that there is a discrepancy between the availability of potentially developable building land and the degree of Transit-Oriented Development. In the surroundings of the railway stations of the high-capacity railway lines in regions with high demand for housing, there is barely any potential building land available. The majority of potential building land is located at railway stations with below-average TOD values and less pressure on the housing market. The clusters make it possible to formulate specific recommendations for action for urban planners and political decision makers in order to support a successful implementation of Transit-Oriented Development.

**Keywords:** Transit-oriented development ■ Operationalisation ■ Classification ■ Settlement development ■ Transport development ■ North Rhine-Westphalia

## 1 Einleitung

Die Siedlungsentwicklung im Außenbereich von Städten und Gemeinden gehört zu den wesentlichen Treibern einer nach wie vor hohen Flächenneuinanspruchnahme in Deutschland (vgl. Behnisch/Kretschmer/Meinel 2018). Dieser Trend wird dabei sowohl von Prozessen der Reurbanisierung, also des relativen Bedeutungsgewinns der Kernstädte, als auch vom Wachstum des engeren oder erweiterten Umlandes der Kernstädte getrieben (Osterhage 2018).

Zum einen führt Reurbanisierung in vielen Städten zu angespannten Immobilienmärkten mit steigenden Boden- und Mietpreisen. Die Schaffung von bezahlbarem Wohnraum wird dadurch schwerer, da notwendige Entwicklungsflächen fehlen. Das Wohnen in den Kernstädten ist somit häufig nur noch für Spitzenverdiener möglich und Menschen mit geringerem Einkommen werden in das (auch weiter entfernte) Umland abgedrängt. Zum anderen ist die Nachfrage nach Bauland für Ein- und Zweifamilienhäuser im Grünen weiterhin hoch (Dechent/Wagner 2020: 49 ff.). Selbst dort, wo in den Innenstädten noch ausreichend Wohnraum vorhanden wäre, reagieren Kommunen mit der Ausweisung von neuem Bauland, um dieser Nachfrage nachzukommen.

Beide Faktoren begünstigen eine Verlagerung der Siedlungsentwicklung in die Außenbereiche und eine voranschreitende Zersiedelung der Landschaft. Wenn dabei zudem monofunktionale Siedlungsstrukturen (z. B. Ein- und Zweifamilienhausgebiete) abseits bestehender Zentren entstehen, führt dies zu einer weiteren strukturellen Pkw-Ab-

hängigkeit des suburbanen Raums, die sich in einem erhöhten Verkehrsaufkommen niederschlägt (Beckmann/Dosch 2018: 21 f.). Zunehmende räumlich-funktionale Verflechtungen tragen bei zu höheren CO<sup>2</sup>-Emissionen des Verkehrs, dem Verlust von Biodiversität und natürlichen Lebensräumen sowie der Störung des Landschaftsbildes und höheren Infrastrukturkosten (Fina 2018: 111 f.).

*Transit-Oriented Development* (TOD) ist ein Konzept, das diesen negativen Effekten entgegenwirken soll, indem es die Siedlungs- und Verkehrsentwicklung integriert betrachtet und Haltepunkte des öffentlichen Verkehrs als wichtige räumliche Orientierungspunkte für eine nachhaltige Stadt- und Regionalentwicklung nutzt. Während sich im internationalen Diskurs der Begriff des *Transit-Oriented Development* etabliert hat, werden in Deutschland ähnliche Konzepte bereits seit den 1960er-Jahren unter den Stichworten „Punkt-axiale Siedlungsentwicklung“ oder „Siedlungsachsen“ verfolgt (Münter/Osterhage 2018: 1187 f.). Mit Fragen nach Erreichbarkeit, Fußgängerfreundlichkeit, Nutzungsmischung und Dichtewerten geht *Transit-Oriented Development* dabei über das bloße Bauen von Wohnhäusern und Parkplätzen für Berufspendlerinnen und -pendler in der Nähe eines Schienenanschlusses hinaus. TOD-Projekte zielen auf eine enge Verknüpfung von verdichtetem Wohnen und Arbeiten mit einer guten lokalen Infrastrukturausstattung, attraktiven öffentlichen Räumen und einer weit gefächerten Auswahl an Mobilitätsoptionen ab (Jamme/Rodriguez/Bahl et al. 2019).

Der vorliegende Beitrag knüpft an diesen internationalen Diskurs an und verfolgt insgesamt drei Ziele. Erstens steht die Entwicklung eines methodischen Ansatzes im Fokus, mit dem möglichst viele der in der Literatur diskutierten TOD-Dimensionen operationalisiert werden können. Zweitens wird am Beispiel des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen die Anwendung der entwickelten Methodik getestet. Dabei werden 747 Haltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs bewertet und mithilfe einer hierarchischen Clusteranalyse klassifiziert. Drittens werden auf der Grundlage der Ergebnisse mögliche Empfehlungen für Stadtplaner/-innen und politische Entscheidungsträger/-innen zur Stärkung einer integrierten Siedlungs- und Verkehrsentwicklung diskutiert.

Im zweiten Kapitel dieses Beitrags wird zunächst der internationale Stand der Forschung zu diesem Thema aufbereitet. Hierzu werden die Grundidee sowie die unterschiedlichen Forschungsausrichtungen des *Transit-Oriented Development* erläutert. Den Kern des Beitrags bildet eine empirische, GIS-basierte TOD-Analyse, die in Kapitel 3 dargestellt wird. Nach der Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 4 schließt der Beitrag mit einer Abschätzung darüber, wie die Ergebnisse für eine integrierte Siedlungs- und Verkehrs-

entwicklung in der Planungspraxis genutzt werden können (Kapitel 5).

## 2 Stand der internationalen Forschung zum „Transit-Oriented Development“

### 2.1 Grundidee und Forschungsausrichtungen des „Transit-Oriented Development“

Der Begriff des *Transit-Oriented Development* wurde ursprünglich von Calthorpe (1993) geprägt. Die Grundidee einer engen Verknüpfung von Siedlungsentwicklung und schienengebundenem öffentlichem Nahverkehr ist jedoch deutlich älter. Bezüge finden sich bereits im Konzept der Nachbarschaftseinheit von Perry (1929) und dem von Fritz Schumacher für Hamburg entwickelten Modell einer an ÖPNV-Achsen orientierten regionalen Siedlungsentwicklung („Federplan“) aus dem Jahr 1919 (Bose 1994). Heutzutage gelten in Europa insbesondere die Städte Stockholm und Kopenhagen als gute Beispiele für eine regionale und integrierte Stadterweiterungsplanung, die konsequent an ÖPNV-orientierten Siedlungsachsen ausgerichtet wurde. Aber auch in den USA mit einer insgesamt vergleichsweise schwach ausgeprägten regionalplanerischen Tradition wurden – zumindest von wissenschaftlicher Seite – schon seit den 1960er-Jahren Überlegungen zu *Transit-Oriented Development* angestellt (Meyer/Kain/Wohl 1965; Cervero 1984; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2004). In der Praxis wurden diese zunächst jedoch kaum umgesetzt (Carlton 2019). Erst als sich in den 1990er-Jahren die TOD-Forschung intensiviert, wurde auch in den USA zunehmend die Umsetzung in der Praxis erprobt. Auch auf anderen Kontinenten, vor allem in den wachstumsstarken asiatischen Metropolregionen, wurden in den letzten Jahren TOD-Überlegungen forciert.

Die Grundidee des *Transit-Oriented Development* ist es, die Siedlungsentwicklung an Knotenpunkten des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) zu orientieren, wobei neben Regionalbahn- und U-Bahnlinien auch Straßenbahnen und Busse Berücksichtigung finden können (Ibraeva/Correia/Silva et al. 2020: 110ff.). Der Begriff des *Public Transport-Oriented Development* (PTOD) wäre insofern präziser, wird jedoch kaum verwendet (Hickman/Hall 2008: 323ff.). Kennzeichnend für die meisten TOD-Analysen ist der *Node-Place-Ansatz* nach Papa und Bertolini (2015). Die Annahme ist, dass ein verbessertes Verkehrsangebot eines Standortes durch die Optimierung der Erreichbarkeit günstige Bedingungen für die weitere Entwicklung des Standortes schafft. Im Umkehrschluss schafft die Entwicklung eines Standortes aufgrund einer wachsenden

Verkehrsnachfrage günstige Bedingungen für die weitere Entwicklung des Verkehrssystems. TOD-Analysen beinhalten nach Papa und Bertolini (2015) demzufolge vier Hauptuntersuchungsgegenstände: 1) Die Verbindung zwischen dem Bahnnetz und der Landnutzung und dem sich daraus ergebenden TOD-Grad, 2) den Zusammenhang zwischen TOD-Grad, Siedlungsstruktur und Mobilitätsverhalten, 3) die Auswirkung der Zugänglichkeit von Haltepunkten auf das Reiseverhalten sowie 4) die Auswirkung des TOD-Grades auf die Siedlungsstruktur und die Zugänglichkeit der Bahnhaltedpunkte. Es gibt sowohl Untersuchungen, die die Bahnstationen bestehender Bahnnetze auf ihre TOD-Qualität bewerten, als auch Untersuchungen, die versuchen, optimale Lösungen für neue Netze zu entwickeln. Mittlerweile hat sich, wie der aktuelle und umfassende Überblick von Ibraeva, Correia, Silva et al. (2020) verdeutlicht, die TOD-Forschung ausdifferenziert. Insgesamt lassen sich drei Hauptforschungsstränge unterscheiden:

*TOD-Basisstudien:* In diesen meist GIS-basierten Studien werden auf der Grundlage einer Definition von TOD-Dimensionen deskriptiv in einer Region TOD-Einzugsbereiche abgegrenzt und damit die Verbindung von Daten des Schienenverkehrs und der an Bahnhöfe angebotenen Bevölkerung, Arbeitsplätze und Nutzungen hergestellt, woraus sich für die einzelnen Bereiche der Region ein TOD-Grad ermitteln lässt. Für diese durch den ÖPNV besonders gut angebotenen Bereiche lassen sich unter anderem Flächenpotenziale für die weitere Verdichtung ermitteln oder die Bedeutung einzelner Knotenpunkte für das gesamte Verkehrsnetz bewerten. Diese Studien und ihre zugrunde liegenden TOD-Typologien sind für diese Arbeit von besonderem Interesse und werden in Kapitel 2.2 ausführlicher erläutert.

*TOD-Wirkungsanalysen:* Auf der Grundlage der Abgrenzung der TOD-Einzugsbereiche können komplexe Wirkungsanalysen zu Effekten der Verknüpfung von ÖPNV und Siedlung durchgeführt werden. Methodisch werden hier entweder Zeitreihenanalysen durchgeführt, in denen beispielsweise Daten vor dem Bau einer Schienenverbindung und danach miteinander verglichen werden und/oder es werden die Entwicklungsdaten von Stadtregionsteilen innerhalb der TOD-Einzugsbereiche mit jenen außerhalb dieser Bereiche verglichen. Untersucht wurden hierbei insbesondere Effekte auf die Verkehrsträgernutzung (Cervero 1995; Hickman/Hall 2008; Knowles 2012; Singh/Fard/Zuidgeest et al. 2014), die Siedlungsentwicklung, Nutzungsstruktur und städtebauliche Form (Papa/Bertolini 2015; Dong 2016; Zhao/Yang/Kong et al. 2018; Niu/Hu/Shen et al. 2019), den Bodenmarkt, Wohnungen und Arbeitsplätze (Zemp/Stauffacher/Lang et al. 2011; Kay/Noland/DiPetrillo 2014; Renne/Tolford/Hamidi et al. 2016; Xu/Zhang/Aditjandra 2016; Loo/Cheng/Nichols 2017; Yu/Pang/Zhang 2018) so-

wie die Lebens- und Umweltqualität (Gilat/Sussman 2003; Kahn 2007; Lin/Li 2008; Kamruzzaman/Wood/Hine et al. 2014; Ma/Chen/Li et al. 2018). Insgesamt stellt sich die Bilanz von TOD-Konzepten, wenn sie denn konsequent implementiert werden, aus planerischer Sicht bezogen auf Siedlungs- und Verkehrsentwicklung und Umweltqualität als positiv dar. Vor allem was die Frage der Veränderungen von Bevölkerungsstrukturen (Kim/Ahn/Choi et al. 2016) angeht, wird allerdings der TOD-Ansatz durchaus auch kritisch auf seine unerwünschten Nebenwirkungen, insbesondere forcierte Gentrifizierung hin, diskutiert und analysiert (Kahn 2007; Padeiro/Louro/da Costa 2019).

*TOD-Planimplementationsstudien:* Diese politikwissenschaftlichen Studien sind mitunter zwar mit GIS-Basis-Analysen verbunden, jedoch insgesamt eher qualitativ ausgerichtet. Hierin geht es vor allem um die Frage der Entstehung und Umsetzung von TOD-Konzepten sowie um die Hemmnisse auf den Ebenen von Politik, Verwaltung, Planung und Investoren (Bahn.Ville 2-Konsortium 2010; Greene/Mora/Waintrub et al. 2016; Greene/Mora/Figueroa et al. 2017; Thomas/Pojani/Lenferink et al. 2018; Carlton 2019; Paulsson 2020). Ausführlicher wird nachfolgend auf die TOD-Basisstudien und die ihnen zugrunde liegenden TOD-Dimensionen eingegangen.

## 2.2 TOD-Dimensionen und TOD-Basisstudien

Die ersten TOD-Basisstudien waren methodisch einfache Darstellungen, um die Bezüge zwischen der Zugänglichkeit im Schienennetz und der Nutzung ausgewählter Standorte deutlich zu machen (Bertolini 1996; Bertolini 1999). Die Operationalisierung erfolgte dabei ursprünglich nur nach siedlungsstrukturellen bzw. städtebaulichen Kriterien. Die drei Betrachtungsdimensionen waren *Density* (Dichte), *Diversity* (Nutzungsmischung) und *Design* (Gestaltung des näheren Einzugsbereiches) (Cervero/Kockelman 1997). Beim Kriterium *Density* wurde zum Teil zwischen Bevölkerungsdichte und Arbeitsplatzdichte auf der einen und Siedlungsdichte auf der anderen Seite unterschieden. Mit der Zeit wurde dieser 3-D-Forschungsrahmen jedoch sukzessive erweitert: Im sogenannten 6-D-Modell sind zu den o.g. Aspekten die verkehrsbezogenen Dimensionen *Destination Accessibility* (Angebotsqualität der Station im Gesamtnetz), *Distance to Transit* (verkehrliche Erreichbarkeit der Station im Einzugsgebiet) und *Demand Management* (Nachfragesteuerung) hinzugekommen (Jamme/Rodriguez/Bahl et al. 2019). Vor allem der letzte Aspekt ist allerdings bislang eher als normative Anforderung an *Transit-Oriented Development* zu sehen und wurde, wie Tabelle 1 zeigt, nur in wenigen Studien operationalisiert. Eine Sonderstellung nimmt die in Tabelle 1 ebenfalls aufgeführte Dimension *Development Potential* (entwickelbare Flächenpotenziale im

Einzugsbereich) ein, die aktuell nicht Kern des 6-D-Modells ist, aus Sicht der Autoren aber eine inhaltlich sinnvolle Ergänzung darstellen würde (vgl. Kapitel 3.2). Insgesamt kann das 6-D-Modell als normative Messlatte für TOD-Studien und -Konzepte gelten.

Methodenorientierte GIS-basierte TOD-Analysen wurden für einzelne Einzugsbereiche seit den 1990er-Jahren erstellt (Banai 1998; Banai 2005), dabei wurden die TOD-Kriterienkataloge und Berechnungsalgorithmen im Laufe der Jahre kontinuierlich erweitert (Lin/Gau 2006; Sahu 2018). Die methodischen Fortschritte werden insbesondere auch durch einen Blick in die unterschiedlichen Studien deutlich. So enthält Tabelle 1 solche Studien, die die TOD-Analysen nicht nur auf einzelne Stationsbereiche, sondern auf ganze Städte bzw. Stadtregionen angewendet haben und somit Ergebnisse ableiten konnten, die auch für die übergeordnete Gesamtplanung von Relevanz sind. Augenfällig ist, dass die Anzahl an TOD-Studien vor allem für asiatische Stadtregionen (z. B. Shanghai, Singapur, Peking, Teheran, Jiaomei) in den letzten Jahren zugenommen hat. Dies dürfte zum einen auf die hohe Entwicklungsdynamik zurückzuführen sein, die zu einem massiven Ausbau des Schienennetzes führte und eine an Nachhaltigkeit orientierte Gesamtplanung immer mehr erforderte. Zum anderen scheint die Datenlage ein weiterer Treiber für diesen Trend zu sein, die komplexe Modellierungen mit differenzierten Variablenkatalogen schon früh ermöglichte (Chen/Lin 2015: 445 ff.; Lyu/Bertolini/Pfeffer 2016: 40 ff.).

Es ist dennoch festzuhalten, dass sich die Mehrheit der Studien auf ausgewählte Dimensionen beschränkt. Insbesondere die im Vergleich schwerer quantifizierbaren Dimensionen *Demand Management* und *Design* wurden seltener in den Analysen berücksichtigt. Die in Tabelle 1 aufgelisteten Studien lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen:

*Place-orientierte Studien* analysieren die Bereiche entlang von Bahnlinien relativ intensiv auf ihre Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung (Gilat/Sussman 2003; Hickman/Hall 2008; Greene/Mora/Figueroa et al. 2017) oder auf ihre Nutzungsstruktur und Flächenpotenziale (Boarnet/Compin 1999; Curtis 2008; Lyu/Bertolini/Pfeffer 2016; Loo/Cheng/Nichols 2017; Niu/Hu/Shen et al. 2019; Liang/Du/Wang et al. 2020). In ihnen bildet zwar das Schienennetz den Ausgangspunkt der Analyse, die Anbindungsqualität des Netzes geht jedoch kaum in die Bewertung ein. Dafür werden in diesen Untersuchungen zum Teil die städtebaulichen Gestaltungsqualitäten der näheren Einzugsbereiche detailliert bewertet (Cervero/Kockelman 1997; Singh/Fard/Zuidgeest et al. 2014). In dem am Beispiel der australischen Gold Coast entwickelten LUPTAI-Ansatz wird zudem die Erreichbarkeit einzelner Funktionen wie Einkaufen, Gesundheit und Bildung detailliert ermittelt

und auch das Straßennetz einbezogen (Pitot/Yigitcanlar/Sipe et al. 2006).

Integrierte *Node-Place*-Studien konzentrieren sich dagegen auf den Kern des *Node-Place*-Ansatzes und operationalisieren sowohl die Bedeutung der Haltepunkte im regionalen Schienennetz (*node*) als auch die erreichte Bevölkerung bzw. die erreichten Beschäftigten sowie die Nutzungsformen im Umfeld (*place*). Dafür ist in diesen Ansätzen die Betrachtung des Flächen- und Verdichtungspotenzials – abgesehen von Chen und Lin (2015) – vergleichsweise weniger stark ausgeprägt. Die in diesem Sinne umfassendsten und bezogen auf den *Node-Place*-Ansatz ausgewogensten Studien sind jene von Lyu, Bertolini und Pfeffer (2016) für Peking, Monajem und Nosrati (2015) für Teheran und Reusser, Loukopoulos, Stauffacher et al. (2008) für die Schweiz, obwohl bei Letzteren mit geringerem Variablenumfang gearbeitet wurde. Sie berücksichtigten nicht nur die Bedeutung der Haltepunkte im regionalen Netz, sondern auch die Anbindungsqualität der Haltepunkte innerhalb ihrer Einzugsbereiche – ein Kriterium, das ansonsten nur wenige Studien einbeziehen (Bahn.Ville 2-Konsortium 2010; Higgins/Kanaroglou 2016). Zu erwähnen ist auch der Ansatz von Büttner, Kinigadner, Ji et al. (2018) für die Region München, in dem zusätzlich zu den Flächenpotenzialermittlungen die Vulnerabilitäten der einzelnen Kommunen bezogen auf die ÖPNV-Erreichbarkeit ermittelt wurden.

Eine Zwischenstellung nimmt die Studie von Strong, Ozbek, Sharma et al. (2017) für Denver ein, bei der zwar die Einbindung der Haltepunkte in das überregionale Netz nicht operationalisiert wurde, dafür aber die Anbindung der Haltepunkte im Einzugsbereich mit einer Reihe von Variablen sehr differenziert erfasst ist. Hervorzuheben ist, dass zudem die eher selten einbezogenen TOD-Dimensionen *Design* und *Demand Management* operationalisiert wurden.

Für den deutschsprachigen Raum sind vier TOD-Analysen herauszustellen und in ihren Ergebnissen ausführlicher darzustellen: Die komplexe und zudem vergleichende Studie von Seidemann (2016) wurde für drei Regionen in Baden-Württemberg (Mittlerer Oberrhein, Rhein-Neckar und Ostwürttemberg) erarbeitet. Diese kam zu dem Ergebnis, dass Innenentwicklungspotenziale im Einzugsbereich von Bahnhöfen häufiger auftreten als in anderen Bereichen, diese aber schwierigere Voraussetzungen zur Aktivierung aufweisen. Dennoch waren in den Fallbeispielen hohe Aktivierungsraten von 6% pro Jahr zu verzeichnen. An diesen Standorten konnte – im Vergleich zu anderen Räumen – ein erhöhter *Modal Split* zugunsten des Schienenverkehrs festgestellt werden. Innerhalb des deutsch-französischen Kooperationsprojektes „Bahnvilla“ wurden exemplarisch zwei Bahnstrecken in der Region Rhein-Main und der Region Rhône-Alpes einer TOD-Analyse unterzogen, womit die regionalen Entwicklungspotenziale und Möglichkeiten ihrer

Aktivierung illustriert wurden (Bahn.Ville 2-Konsortium 2010). In diesem Zusammenhang ist zudem die Untersuchung von Reusser, Loukopoulos, Stauffacher et al. (2008) interessant, als hier zum einen eine nicht nur stadregionale, sondern polyzentrische landesweite Klassifizierung aller Bahnstationen der Schweiz vorgenommen wurde. Zum anderen zeigt die Darstellung, wie ein anfänglich formulierter umfassender Ideal-Indikatorensetz zur Ausfüllung der TOD-Dimensionen sich in der Operationalisierung deutlich ausdünnte, was die Problematik der Datenverfügbarkeit zur Messung des 6-D-Modells nochmals verdeutlicht. Zwar sind im letztlich gerechneten Modell vier TOD-Dimensionen abgedeckt, allerdings nur mit sehr rudimentären Variableninformationen. Dennoch liefert die landesweite Klassifizierung der Schweizer Bahnhöfe ein plausibles und informatives Bild. Die Untersuchung von Büttner, Kinigadner, Ji et al. (2018) zeigt für die Region München erstens sehr kleinteilig für die einzelnen Kommunen an, welche Bereiche aus der Perspektive der ÖPNV-Anbindung vergleichsweise unterversorgt sind und in welchen Bereichen unter dem Kriterium der ÖPNV-Erreichbarkeit eine Erhöhung der Bevölkerungsdichten erfolgen könnte. Zweitens wird eine kommunal differenzierte Einschätzung der verkehrlichen Vulnerabilität vorgenommen.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass der normative Anspruch an *Transit-Oriented Development*, die sechs Betrachtungsdimensionen ausgewogen auszufüllen, bislang von noch keiner empirischen Basisstudie eingehalten werden konnte, auch wenn einzelne Studien diesem Anspruch sehr nahe kommen. Auch die hier vorgelegte Analyse verfolgt das Ziel einer breiteren Abdeckung der TOD-Dimensionen.

## 3 Empirie

### 3.1 Untersuchungsraum

Nordrhein-Westfalen ist das bevölkerungsreichste Bundesland in Deutschland und mit einer Bevölkerungsdichte von 525,7 Einwohnerinnen/Einwohnern pro km<sup>2</sup> (Stand 2018) besonders dicht besiedelt. Mit 565.798 ha für Siedlung (17%) und 238.539 ha für Verkehr (7%) sind bereits heute (Stand 2018) ein Viertel der gesamten Katasterfläche baulich geprägt. Über 55% der Siedlungsfläche entfallen dabei auf Wohnbauflächen und Flächen mit gemischter Nutzung.<sup>1</sup> Neben einem hohen Urbanisierungsgrad ist Nordrhein-Westfalen durch seine polyzentrische Siedlungs-

<sup>1</sup> <https://www.landesdatenbank.nrw.de/ldbnrw/online> (07.12.2020).

struktur geprägt, welche sich in der hohen Dichte an Ober- und Mittelzentren, aber auch in dem sehr engmaschigen Schienennetz widerspiegelt. 2015 verfügte das Land mit über 5.500 km über das zweitlängste und mit 161,9 km pro 1.000 km<sup>2</sup> über das dichteste Schienennetz in Deutschland.<sup>2</sup>

Die dynamische Bevölkerungsentwicklung der letzten Jahre hat in vielen nordrhein-westfälischen Städten zu angespannten Wohnungsmärkten geführt und die Wohnraumfrage erneut auf die politische Agenda gebracht. Mit einem durchschnittlichen jährlichen Bevölkerungswachstum von rund 0,8% zwischen 2011 und 2018 nehmen hierbei die Städte Düsseldorf, Bonn, Köln, Aachen und Münster die Spitzenplätze ein. Lediglich sieben Kreise, darunter der Hochsauerlandkreis, der Märkische Kreis und Höxter, wiesen im selben Zeitraum einen durchschnittlichen jährlichen Bevölkerungsrückgang von 0,2% auf (Landesbetrieb für Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW) 2020).<sup>3</sup>

Nordrhein-Westfalen bietet sich als Fallstudie an, da zum einen die integrierte Siedlungs- und Verkehrsentwicklung an strategisch sinnvollen Punkten in einem stark urbanisierten und dynamisch wachsenden Raum besonders wichtig ist und zum anderen die Datenlage im Vergleich zu anderen Bundesländern eine umfangreiche und flächendeckende Operationalisierung der TOD-Dimensionen möglich macht.

### 3.2 Methodik

Ziel der Analyse ist die Bewertung und Klassifizierung von Haltepunkten des schienengebundenen Regionalverkehrs, die sich aus dem Blickwinkel des *Transit-Oriented Development* für eine Siedlungsentwicklung besonders gut eignen. Die Bewertung der Haltepunkte erfolgt multikriteriell und stützt sich auf das in der Literatur diskutierte 6-D-Modell (vgl. Kapitel 2.2). Die Bewertungssystematik orientiert sich an dem von Bertolini (1996, 1999) entwickelten *Node-place*-Ansatz, so dass sowohl Eigenschaften des Haltepunktes (*node*) als auch des Einzugsbereiches (*place*) einbezogen und erfasst werden. Die hier analysierten Haltepunkte werden mindestens von einem Regionalexpress, einer Regionalbahn oder einer S-Bahn angefahren, schienengebundene Haltepunkte für U- und Trambahnen werden nicht berücksichtigt. Nach dieser Abgrenzung können für Nordrhein-Westfalen 747 Haltepunkte analysiert werden. Die für diese Studie genutzten Einzugsbereiche (Isochrone)

ergeben sich aus einer maximalen Gehzeit von 15 Minuten ausgehend vom jeweiligen Haltepunkt und wurden mithilfe des OpenTripPlanner berechnet. Im Vergleich zu Studien mit festen Radien (Greene/Mora/Figueroa et al. 2017; Loo/Cheng/Nichols 2017; Yang/Pojani 2017; Niu/Hu/Shen et al. 2019; Liang/Du/Wang et al. 2020) bieten Isochrone – aus der Sicht der Autoren – eine realistischere Abgrenzung der fußläufig erreichbaren Einzugsbereiche.

Insgesamt werden in der vorliegenden Studie fünf der sechs ‚klassischen‘ TOD-Dimensionen operationalisiert. Lediglich die Dimension *Design* bleibt unberücksichtigt, da eine fußgänger- und radfahrerfreundliche Stadtgestalt (z. B. im Hinblick auf Sauberkeit, Architektur, Verkehrsbelastung) nach Ansicht der Autoren nur unzureichend über eine flächendeckende quantitative Analyse per Fernerkundung erfasst werden kann. Ergänzt werden die fünf TOD-Dimensionen um die Dimensionen *Development Costs* und *Development Potential*. Die Dimension *Development Costs* (Bodenpreise im Einzugsbereich) dient dazu, das 6-D-Modell um eine finanzielle Perspektive zu erweitern, indem die Kosten, die bei zukünftigen Wohnbauvorhaben in Einzugsbereichen anfallen können, berücksichtigt werden (Schmitt/Seidl 2006: 97 ff.; Spars 2017). Eine entsprechende Perspektive wurde in bisherigen TOD-Studien bislang nicht integriert. Die Dimension *Development Potential* ergänzt das Modell um die Erfassung von geeigneten Flächenpotenzialen zur (Weiter)entwicklung von TOD-Standorten. Wie in Tabelle 1 dargestellt, wurden Flächenpotenziale im Rahmen von TOD-Studien bisher nur von Seidemann (2016) erfasst.

Tabelle 2 gibt einen Überblick darüber, mit welchen Indikatoren die Operationalisierung der TOD-Dimensionen erfolgte, welche Analyseebene ausgewählt und mit welcher Datengrundlage gearbeitet wurde. Wie ebenfalls aus Tabelle 2 zu entnehmen ist, wurden einzelne TOD-Dimensionen dabei über mehrere Indikatoren erfasst. Beispielsweise erfolgte die Operationalisierung der Dimension *Destination Accessibility* insgesamt auf der Basis von drei Indikatoren: 1) Taktfrequenz im Regional- und Fernverkehr, 2) Umsteigepotenzial im Einzugsbereich und 3) Umfang des regionalen Bevölkerungspotenzials. Andere TOD-Dimensionen wie *Density* lassen sich wiederum über einen einzelnen Indikator wie die Bevölkerungsdichte erfassen.

In den folgenden Abschnitten wird das generelle Vorgehen zur Operationalisierung der TOD-Dimensionen beschrieben.

#### 3.2.1 Destination Accessibility (D1)

Die Taktfrequenz ist ein entscheidender Faktor, wenn es um eine möglichst unterbrechungsfreie Fahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln und die generelle Attraktivität von Haltepunkten geht. Bereits in Studien von Lyu, Bertolini und

<sup>2</sup> <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Unternehmen-Infrastruktur-Fahrzeugbestand/Tabellen/schieneninfrastruktur.htm> (07.12.2020).

<sup>3</sup> <https://www.landesdatenbank.nrw.de/ldb NRW/online> (07.12.2020).

**Tabelle 1** Einbezogene D's der TOD-Basisstudien

Autorinnen/ Autoren/Jahr	Stadt/ Region	6-D-Modell						
		1) Destination accessibility	2) Density	3) Diversity	4) Distance to Transit	5) Demand Management	6) Design	7) Development Potential
Bahn.Ville 2-Kon- sortium (2010)	Rhein- Main	•	•		•			
Boarnet/Compin (1999)	San Diego			•				
Büttner/ Kinigadner/Ji et al. (2018)	München	•	•	•	•			
Cervero/ Kockelman (1997)	San Fran- cisco		•	•			•	
Chen/Lin (2015)	Shanghai	•	•	•				
Curtis (2008)	Perth			•				
García-Paloma- res/Gutiérrez/ Cardozo (2013)	Madrid	•	•					
Gilat/Sussman (2003)	Mexico City		•					
Greene/Mora/ Figueroa et al. (2017)	Santiago de Chile		•					
Hickman/Hall (2008)	London		•					
Higgins/ Kanaroglou (2016)	Toronto		•	•	•			
Liang/Du/Wang et al. (2020)	Jiaomei			•				
Loo/Cheng/ Nichols (2017)	Hongkong		•	•				
Lyu/Bertolini/ Pfeffer (2016)	Peking	•	•	•	•	•		
Monajem/ Nosratian (2015)	Teheran	•	•	•	•			
Niu/Hu/Shen et al. (2019)	Singapur			•				
Pitot/Yigitcanlar/ Sipe et al. (2006)	Gold Coast (Australi- en)	•		•	•			
Reusser/ Loukopoulos/ Stauffacher et al. (2008)	Schweiz	•	•	•	•			
Seidemann (2016)	Baden- Württem- berg	•		•				•
Singh/Fard/ Zuidgeest et al. (2014)	Arnheim, Nijmegen			•				
Strong/Ozbek/ Sharma et al. (2017)	Denver		•		•	•	•	

**Tabelle 2** Operationalisierung der TOD-Dimensionen

D's	Erläuterung	Theoretischer Wertebereich	(Teil-)Indikatoren	Analyseebene	Datengrundlage
<i>Destination Accessibility</i> (D1)	Angebotsqualität des Haltepunkts im Gesamtnetz	0 - 100	Taktfrequenz im Regional- und Fernverkehr	Haltepunkt ( <i>node</i> )	GTFS, VRR, VRS, AVV, NWL, DB RE/FV (2020)
			Umsteigepotenzial auf den lokalen Verkehr	Einzugsbereich ( <i>place</i> )	Zensusatlas (2011)
<i>Density</i> (D2)	Dichte	0 - ∞	Regionales Bevölkerungspotenzial (normalisiert)	Haltepunkt ( <i>node</i> )	Zensusatlas (2011)
			Bevölkerungsdichte (in Einwohner/ha)	Einzugsbereich ( <i>place</i> )	Zensusatlas (2011)
<i>Diversity</i> (D3)	Nutzungsmischung und nähräumliche Versorgung	0 - 100	Shannon-Index (normalisiert)	Einzugsbereich ( <i>place</i> )	ATKIS (2018)
			Walkscore (normalisiert)	Einzugsbereich ( <i>place</i> )	OSM (2020)
<i>Distance to Transit</i> (D4)	Verkehrliche Erreichbarkeit des Haltepunkts	0 - ∞	Länge des Fußwegenetzes (in m)	Einzugsbereich ( <i>place</i> )	OSM (2020)
<i>Demand Management</i> (D5)	Nachfragesteuerung	0 - ∞	Parkplatzfläche (in m <sup>2</sup> ) Vorhandensein von Park+Ride	Einzugsbereich ( <i>place</i> )	OSM (2020)
<i>Development Costs</i> (D6)	Entwicklungskosten	0 - ∞	Bodenrichtwerte (in Euro/m <sup>2</sup> )	Einzugsbereich ( <i>place</i> )	BORIS.NRW (2018)
<i>Development Potential</i> (D7)	Entwicklungspotenzial	0 - ∞	Entwickelbares Flächenpotenzial (in ha)	Einzugsbereich ( <i>place</i> )	ATKIS (2018)

GTFS: *General Transit Feed Specification*, VRR: Verkehrsverbund Rhein-Ruhr, VRS: Verkehrsverbund Rhein-Sieg, AVV: Aachener Verkehrsverbund, NWL: Zweckverband Nahverkehr Westfalen-Lippe, DB RE/FV: DB Open-Data-Portal, ATKIS: Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, OSM: OpenStreetMap, BORIS.NRW: Bodenrichtwerte Nordrhein-Westfalen

Pfeffer (2016) oder Reusser, Loukopoulos, Stauffacher et al. (2008) wurde die Taktfrequenz als ein essenzieller Bestandteil für eine erfolgreiche TOD-Implementierung bewertet. Die Taktfrequenz wird in der vorliegenden Studie daher ebenfalls integriert und differenziert nach Fernverkehr (IC und ICE) und Nahverkehr (RE, RB, S-Bahn) operationalisiert. Die Taktfrequenzen werden über die jeweiligen Fahrplandaten der Verkehrsverbände (VRR, VRS, AVV, NWL) berechnet.

Das Umsteigepotenzial im Einzugsbereich dient als Proxy, um die Vernetzung des Haltepunktes mit Verkehrsmitteln des lokalen Verkehrs abzubilden. Hierzu werden alle U-Bahn- und Tram- sowie Bushaltpunkte in den Einzugsbereichen entsprechend ihrer spezifischen Taktfrequenz betrachtet. Die Standorte und Fahrpläne der Haltepunkte sind ebenfalls den öffentlichen Datenbanken der Verkehrsverbände entnommen. In Anlehnung an Anderhub, Dorbritz und Weidmann (2008), die aus der Kombination von Fassungsvermögen der Fahrzeuge und Taktichte eine etwa doppelt so hohe Leistungsfähigkeit von U- und Tram-Bahnen gegenüber Bussen für die Fallstudienstädte Zürich und Bern ermitteln konnten, werden diese Haltepunkte in der vorliegenden Analyse vereinfachend doppelt gewichtet. Eine ähnliche Annahme wird auch im „Monitoring Daseins-

vorsorge 2017“ des Regionalverbands Ruhr zur Berechnung des dort verwendeten Haltestellen-Index getroffen (Alfken/Iwer 2017: 52 ff.). Da weit entfernte Haltepunkte weniger attraktiv für einen Umstieg sind, wird zudem eine Gehzeitbasierte Gewichtung der Haltepunkte verwendet. Der maximale Punktwert für das Umsteigepotenzial pro Einzugsbereich ergibt sich demnach aus Anzahl, Art und Entfernung der Haltepunkte im Einzugsbereich. Da davon ausgegangen werden kann, dass der Grenznutzen weiterer Haltepunkte ab einem bestimmten Niveau gegen Null tendiert, beinhaltet die Berechnung einen theoretischen maximalen Sättigungsgrad pro Einzugsbereich.

Das regionale Bevölkerungspotenzial ist ein klassisches Maß der Bevölkerungsgeographie, um die Möglichkeit von Interaktionen im Raum darzustellen (Maretzke 2014: 16 f.). Hierzu wird ermittelt, wie viele Menschen innerhalb einer bestimmten Zeit bzw. Entfernung von einem Ort erreicht werden können. Umso mehr Menschen erreicht werden können, desto höher fällt das Potenzial aus. Im Rahmen der Analyse wird das Maß dazu verwendet, um die Bedeutung eines Haltepunktes im regionalen Kontext (z. B. Erreichbarkeit von zentralen Orten) abzubilden. Das Potenzial wird als Anzahl der Einwohner/-innen berechnet, die in 45 Minuten Fahrzeit mit der Bahn inklusive zwei Kilome-

ter Fußweg (sofern 45 Minuten nicht überschritten werden) erreicht werden können. Grundlage für die Ermittlung des Potenzials ist das hochauflösende Zensus-Grid (100x100m) von 2011 und die Software OpenTripPlanner, mit der die Fahrzeitisochrone berechnet wurden. Aus Autorensicht wären darüber hinaus regionale Beschäftigtenpotenziale oder regional bedeutsame Bildungs- und Freizeiteinrichtungen und Einrichtungen der Daseinsvorsorge wichtige Aspekte, um die Erreichbarkeitsbewertung der Haltepunkte weiter zu verfeinern. Flächendeckende, kleinräumige Daten zu Beschäftigten oder spezifischen Einrichtungen liegen aber nicht vor oder weisen teils erhebliche Datenlücken und -fehler auf, so dass in der Analyse lediglich auf die Bevölkerungsdaten zurückgegriffen wurde.

### 3.2.2 Density (D2)

Höhere Bevölkerungsdichten im Umfeld von Haltepunkten sind aus zwei Gründen relevant: Erstens nutzen Menschen, die in der Nähe von Haltepunkten wohnen, häufiger den öffentlichen Nahverkehr. Hierdurch verbessert sich zum einen dessen Tragfähigkeit (Ibraeva/Correia/Silva et al. 2020: 114 ff.) und zum anderen erfolgt die Mobilität der Menschen nachhaltiger. Zweitens bieten bereits bestehende Bevölkerungsdichten einen wichtigen Anhaltspunkt darüber, wie dicht zukünftige Wohnbauvorhaben realisiert werden können. Höhere Dichten fördern einen effizienteren Ressourceneinsatz und können genutzt werden, um hohe Bodenpreise, insbesondere in den innerstädtischen Lagen, zu kompensieren (Schmitt/Seidl 2006: 97 ff.). Zur Ermittlung spezifischer Dichtewerte werden die hochauflösenden Bevölkerungsdaten aus dem Zensus-Grid (100x100m) verwendet. Diese Zahlen werden dabei auf die in den Einzugsbereichen befindlichen Klassen Mischnutzung und Wohnnutzung aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) umverteilt.

### 3.2.3 Diversity (D3)

Die Durchmischung der Einzugsbereiche wird als bedeutendes Kriterium für eine erfolgreiche TOD-Implementierung angesehen. Eine ausreichend hohe Vielfalt an Angeboten ermöglicht es der Bevölkerung, unterschiedliche Bedürfnisse im direkten Umfeld fußläufig zu befriedigen, was die Attraktivität der entsprechenden Räume steigert. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird die Nutzungsmischung der Einzugsbereiche zum einen über den Shannon-Index (Shannon/Weaver 1964) und zum anderen über den *Walkscore*<sup>4</sup> abgeleitet. Der Shannon-Index ist ein Diversitätsmaß, mit dem die Durchmischung der Nutzung durch einen ein-

zelnen Indexwert ausgedrückt werden kann. Der Index wird auf der Basis der ATKIS-Flächennutzungsklassen ermittelt und gibt an, wie divers die Struktur der Flächennutzung ist. Der *Walkscore* gibt an, wie gut die fußläufige Erreichbarkeit zu wichtigen Einrichtungen der Daseinsvorsorge an einem Standort ist. Dazu werden die fußläufigen Distanzen vom Haltepunkt zu Infrastrukturen aus dem Bereich Bildung, Gesundheit, Einrichtungen des täglichen Bedarfs, Einrichtungen des sonstigen Bedarfs sowie Freizeit und Kultur berechnet. Je geringer die Distanz, desto höher liegt die Bewertung der Infrastruktur. Bei Infrastrukturen, die mehr als 2.500 m entfernt sind, wird davon ausgegangen, dass diese für das fußläufige Aufsuchen nicht mehr attraktiv sind. Die einzelnen Infrastrukturkategorien werden je nach Bedeutung für das alltägliche Leben höher oder niedriger gewichtet. Daten zum Straßennetz und den einzelnen Einrichtungen wurden aus OpenStreetMap (OSM) abgerufen.

### 3.2.4 Distance to Transit (D4)

Die Zugänglichkeit der Haltepunkte für Fußgänger/-innen wird in der TOD-Literatur, aber auch in der Literatur zum *Urban Design* als ein wichtiges Kriterium für einen attraktiven Haltepunkt bewertet (Jamme/Rodriguez/Bahl et al. 2019). Cervero und Kockelman (1997) konnten anhand von Indikatoren zum Straßennetz oder zur Verkehrsinfrastruktur für Fußgänger/-innen und Radfahrer/-innen einen statistisch signifikanten Einfluss auf das Reisen ohne den Pkw nachweisen. Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgt die Operationalisierung dieser Dimension vereinfachend über die Länge des Fußwegenetzes im Einzugsbereich der Haltepunkte. Der Argumentation von Cervero und Kockelman (1997) folgend, gehen die Autoren davon aus, dass ein dichteres Fußwegenetz das Zufußgehen und Fahrradfahren insgesamt attraktiver macht. Obwohl damit keine Faktoren wie Zustand der Gehwege, Sauberkeit oder Lärmbelastung erfasst werden, bietet der Indikator dennoch eine erste Annäherung, um die Erreichbarkeit und Fußgängerfreundlichkeit eines Haltepunktes indirekt zu operationalisieren.

### 3.2.5 Demand Management (D5)

Unter der Dimension *Demand Management* wird die Steuerung der Nachfrage durch bauliche und nichtbauliche Maßnahmen zusammengefasst. In der Literatur wird hierbei unter anderem die Reduzierung von Parkplätzen im Wohnumfeld (Cervero/Arrington 2008), aber auch das Parken im direkten Umfeld der TOD-Haltepunkte (z. B. Park+Ride) diskutiert, um den Umstieg auf den ÖPNV zu vereinfachen (Tumlin/Millard-Ball 2006; Ogra/Ndebele 2014). Die Operationalisierung dieser Dimension erfolgt über die Erfassung aller Parkplatzflächen (in ha) in einem Radius von 200 m um den Haltepunkt. Zusätzlich hierzu werden Park+Ride-Stationen erhoben.

<sup>4</sup> <http://pubs.cedeus.cl/omeka/files/original/b6fa690993d59007784a7a26804d42be.pdf> (08.12.2020).

**Tabelle 3** Deskriptive Statistiken der TOD-Dimensionen

	n	Mittelwert	Standardabweichung	Median	Minimalwert	Maximalwert	Spannweite	Standardfehler
<i>Destination Accessibility (D1)</i>	747	41,3	22,8	37,5	0,4	100,0	99,6	0,8
<i>Density (D2)</i>	747	35,9	37,7	25,8	0,0	786,3	404,2	1,4
<i>Diversity (D3)</i>	747	47,2	15,8	49,9	5,2	80,2	75,0	0,6
<i>Distance to Transit (D4)</i>	747	6.503,9	5.212,8	5.309,3	73,0	38.161,7	38.088,7	190,9
<i>Demand Management (D5)</i>	747	0,7	0,8	0,4	0,0	5,8	5,8	0,0
<i>Development Costs (D6)</i>	747	270,3	375,1	180,0	0,0	4.463,7	4.463,7	13,7
<i>Development Potential (D7)</i>	747	31,1	37,4	17,4	0,0	202,8	202,8	1,4

Die Geometrie der Parkplatzflächen ist OSM entnommen, die Standorte zu Park+Ride-Stationen stammen von Google Maps. Durch die räumliche Überlagerung der Informationen werden die Parkplatzflächen identifiziert, die als Park+Ride genutzt werden. Um die Bedeutung von Park+Ride für TOD-Haltepunkte hervorzuheben, werden diese Flächen mit 2 multipliziert.

### 3.2.6 Development Costs (D6)

Hohe Bodenpreise führen zu einer intensiveren Flächennutzung und fördern verdichtetes Bauen, werden aber auch durch Investoren über die Miet- und Kaufpreise refinanziert (Schmitt/Seidl 2006: 97 ff.; Spars 2017: 79 ff.). Bodenpreise in den Einzugsbereichen von Haltepunkten können daher als Proxy genutzt werden, um das Spannungsfeld zwischen der Schaffung von lockerer und verdichteter Bebauung sowie bezahlbarem und höherpreisigem Wohnen abzubilden. Der in der Analyse berücksichtigte zonale Bodenrichtwert (zBRW) ist BORIS.NRW<sup>5</sup> entnommen und stellt einen durchschnittlichen Wert für den Boden dar, der Ausdruck der lagespezifischen Wertschätzung einer baulichen Nutzungsmöglichkeit ist. Beeinflusst wird der Marktpreis durch Standortqualitäten und Standortbeeinträchtigungen sowie durch das Verhältnis von Angebot und Nachfrage. Er wird in Euro/m<sup>2</sup>-Grundstücksfläche angegeben und in einer Richtwertzone ausgewiesen.

### 3.2.7 Development Potential (D7)

Zur Identifikation des Umfangs potenziell entwicklungsfähiger Flächen werden die flächenhaften Darstellungen aus ATKIS verwendet. Als Potenzial gelten alle Flächen, die nicht baulich geprägt, als Gewässer klassifiziert sind oder nicht forstlich genutzt werden. Die Verwendung der flächenhaften ATKIS-Daten hat zur Folge, dass Nachverdich-

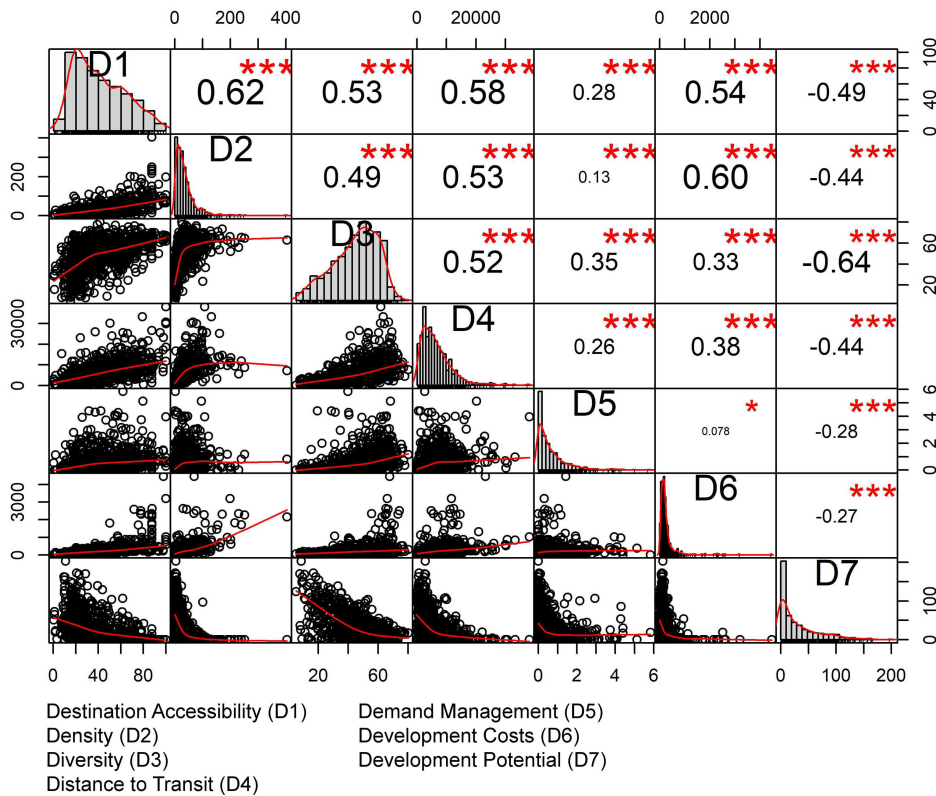
tungspotenziale (z. B. Baulücken) mit der aktuellen Methodik nicht berücksichtigt werden können. Aus Autoren-sicht wird mit dem engen räumlichen Fokus (fußläufige Erreichbarkeit) um die Haltepunkte aber gewährleistet, dass vor allem solche Flächenpotenziale Berücksichtigung finden, die als integriert gelten können. Dennoch bietet die Erfassung von Nachverdichtungspotenzialen zukünftig eine wichtige methodische Weiterentwicklungsmöglichkeit. Nach aktuellem Stand der Technik und in Anlehnung an Paulsen (2014) werden weiterhin Flächen mit einer Hangneigung von mehr als 15° als nicht (wirtschaftlich) bebaubar eingestuft und nicht berücksichtigt. Da es bei der Analyse insbesondere um die Identifizierung von regional bedeutsamen Potenzialen geht, werden des Weiteren Flächen mit einer Größe von unter einem Hektar ausgeschlossen.

Mithilfe der erhobenen Indikatoren bzw. TOD-Dimensionen wird eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt, mit der die Haltepunkte entsprechend ihrer Ausprägung pro TOD-Dimension für eine an den schienengebundenen Regionalverkehr ausgerichtete Siedlungsentwicklung klassifiziert werden. Die Clusteranalyse gruppiert den Stichprobensatz der 747 Haltepunkte so, dass die Varianz der Indikatoren innerhalb der Cluster minimal und zwischen den Clustern maximal ist. Hierzu werden die Indikatoren zunächst z-standardisiert, um die Gewichtung aller Indikatoren in der Analyse gleich zu halten. Die Cluster selbst werden mithilfe der euklidischen Distanzmessung und der Ward-Fusionierungsmethode gebildet. Die Berechnung wird mittels der Software R Studio durchgeführt.

## 4 Ergebnisse

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die deskriptiven Statistiken der in dieser Studie abgebildeten TOD-Dimensionen. Die ermittelten Wertespans zeigen, dass es in allen Dimensionen eine nicht unerhebliche Varianz zwischen den analysierten Haltepunkten gibt, was für eine hohe Hetero-

<sup>5</sup> <https://www.boris.nrw.de> (08.12.2020).



**Abbildung 1** Korrelationsmatrix zu den Indikatoren der TOD-Dimensionen  
 Anmerkung: \*\*\* p = 0.00, \* p=0.05

genität zwischen den Haltepunkten spricht. Insbesondere bei den Dimensionen *Density*, *Distance to Transit* und *Development Costs* wird dies deutlich.

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der einzelnen Variablen in der Diagonalen. Unterhalb der Diagonalen werden die bivariaten Streudiagramme und oberhalb der Diagonalen die Werte der Korrelationen sowie die Signifikanzniveaus zwischen den TOD-Dimensionen dargestellt. Die Stärke der Korrelationen variiert hier zwischen -0,64 und +0,62. Es besteht ein mittlerer bis starker Zusammenhang insbesondere zwischen den TOD-Dimensionen *Destination Accessibility*, *Density*, *Diversity*, *Distance to Transit* und *Development Costs*. Haltepunkte, die eine hohe Angebotsqualität aufweisen, sind somit oft auch durch höhere Dichten, eine gute nahräumliche Versorgung und Nutzungsdurchmischung sowie ein gut ausgebautes Fußwegenetz geprägt und umgekehrt. Die TOD-Dimension *Demand Management* korreliert dahingegen nur auf einem niedrigen Niveau mit den anderen TOD-Dimensionen. Zwischen der TOD-Dimension *Development Potential* und allen anderen Dimensionen besteht eine negative Korrelation. Der negative Zusammenhang zeigt, dass beispielsweise mit einer höheren Angebotsqualität oder höheren Dichtewerten der Umfang der entwi-

ckelbaren Flächen abnimmt. Abbildung 1 zeigt zudem, dass die Korrelationen zwischen den TOD-Dimensionen statistisch hochsignifikant sind. Das Signifikanzniveau liegt in 20 von 21 Fällen bei p=0. Lediglich zwischen *Demand Management* und *Development Costs* wird nur ein Signifikanzniveau von p=0,05 erreicht.

Abbildung 2 zeigt die Mittelwerte pro TOD-Dimension und Cluster sowie den Mittelwert pro TOD-Dimension über die gesamte Stichprobe. Die Abbildung ermöglicht eine Abschätzung darüber, ob das Cluster im Vergleich zur gesamten Stichprobe über- oder unterdurchschnittlich abschneidet. In der vorliegenden Studie ergaben verschiedene Testverfahren (Ellbogenkriterium und Silhouettenkoeffizient) zur Bestimmung der optimalen Cluster-Anzahl Lösungen zwischen 3 und 5 Cluster (vgl. Kodinariya/Makwana 2013). Um eine klarere Abgrenzung zwischen den Clustern zu erreichen, wurde die Fünf-Cluster-Lösung gewählt.

Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, besteht bei der 5-Cluster-Lösung das Cluster 1 (n=17) aus Haltepunkten mit überwiegend überdurchschnittlichen Werten pro TOD-Dimension. Augenfällig für dieses Cluster ist der im Vergleich sehr hohe Durchschnittswert bei den *Development Costs* sowie der sehr niedrige Durchschnittswert beim *Development*

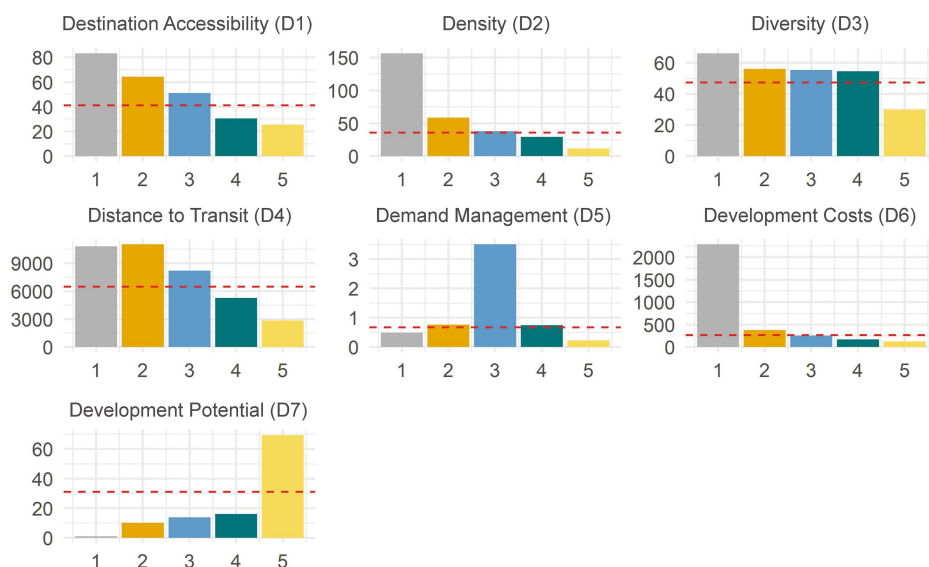


Abbildung 2 Mittelwerte pro TOD-Dimensionen und Cluster

*Potential*. Das Cluster 2 (n=233) umfasst Haltepunkte mit ebenfalls mehrheitlich überdurchschnittlichen Werten pro TOD-Dimension. Das Cluster unterscheidet sich von Cluster 1 vor allem durch den deutlich niedrigeren Wert in der TOD-Dimension *Development Costs*, der im Vergleich zur gesamten Stichprobe zwar noch überdurchschnittlich ausfällt, aber nur ein Fünftel des Wertes von Cluster 1 erreicht. Das Cluster 3 (n=26) kommt ebenfalls auf überdurchschnittliche Werte, diese fallen aber weniger deutlich aus als bei Cluster 1 und 2. Abbildung 2 zeigt, dass der Treiber für dieses Cluster die TOD-Dimension *Demand Management* ist, die im Vergleich zu den anderen Clustern hier besonders hervorsteht. Die Wertespanne dieser TOD-Dimension fällt generell gering aus. Cluster 4 (n=229) ist durch unterdurchschnittliche Werte pro TOD-Dimension geprägt. Ausschließlich die TOD-Dimensionen *Diversity* und *Demand Management* fallen leicht überdurchschnittlich aus. Cluster 5 (n=242) umfasst vor allem Haltepunkte mit deutlich unterdurchschnittlichen Werten pro TOD-Dimension. Wird die Dimension *Development Potential* ausgeklammert, werden hier in allen TOD-Dimensionen die niedrigsten Werte erreicht. Mit Ausnahme von der TOD-Dimension *Demand Management* zeigt sich, dass die Durchschnittswerte der TOD-Dimensionen *Destination Accessibility*, *Density*, *Diversity*, *Distance to Transit* und *Development Costs* gegenläufig zu den Durchschnittswerten der TOD-Dimension *Development Potential* verlaufen. Dies lässt den Schluss zu, dass der Umfang potenziell entwickelbarer Flächen mit Zunahme der anderen TOD-Dimensionen insgesamt abnimmt.

Überträgt man die gebildeten Cluster in eine kartographische Darstellung, zeigt sich ein deutliches Stadt-Land-Gefälle ausgehend von Cluster 1. Die Haltepunkte aus Clus-

ter 1 finden sich ausschließlich in den innerstädtischen Lagen der sehr dynamisch wachsenden Kernstädte Münster, Bonn und Köln. Das Cluster 2 umfasst die übrigen weniger zentralen Haltepunkte dieser Städte sowie Haltepunkte in den anderen Kernstädten und deren Umland. Insbesondere im Rhein-Ruhr-Raum sowie in den solitären Städten Aachen, Münster, Bielefeld und Paderborn finden sich Haltepunkte dieses Clusters. Haltepunkte aus Cluster 3 liegen regelmäßig an größeren Einzelhandels-, Gewerbe- oder Industriestandorten sowie größeren Parkplätzen mit Stationen für Park+Ride. Insgesamt lassen sich diese Haltepunkte vorwiegend in städtischen Randlagen oder peripheren Lagen finden. Haltepunkte, die den Clustern 4 und 5 zugeordnet sind, sind vorrangig im peripheren Raum lokalisiert. Erfasst werden durch diese Cluster vor allem die (sehr) kleinen Haltepunkte zwischen den größeren Verkehrsknotenpunkten. Abbildung 3 zeigt anhand von fünf Haltepunkten exemplarisch die Bebauungsstruktur der jeweiligen Cluster.

## 5 Schlussfolgerung und Diskussion

Unter Berücksichtigung der hier operationalisierten TOD-Dimensionen sind die Haltepunkte der Cluster 1 und 2 besonders geeignet für eine am Schienenverkehr ausgerichtete Siedlungsentwicklung. Entsprechende Haltepunkte bieten eine hohe Angebotsqualität, urbane Dichten, eine gute nahräumliche Versorgung und Nutzungsdurchmischung sowie ein gut ausgebautes Fußwegenetz. Es zeigt sich aber, dass es gerade diese Haltepunkte sind, die besonders hohe Bodenrichtwerte besitzen und ein besonders geringes Flächenpotenzial aufweisen. Viele der Haltepunkte sind – aus-

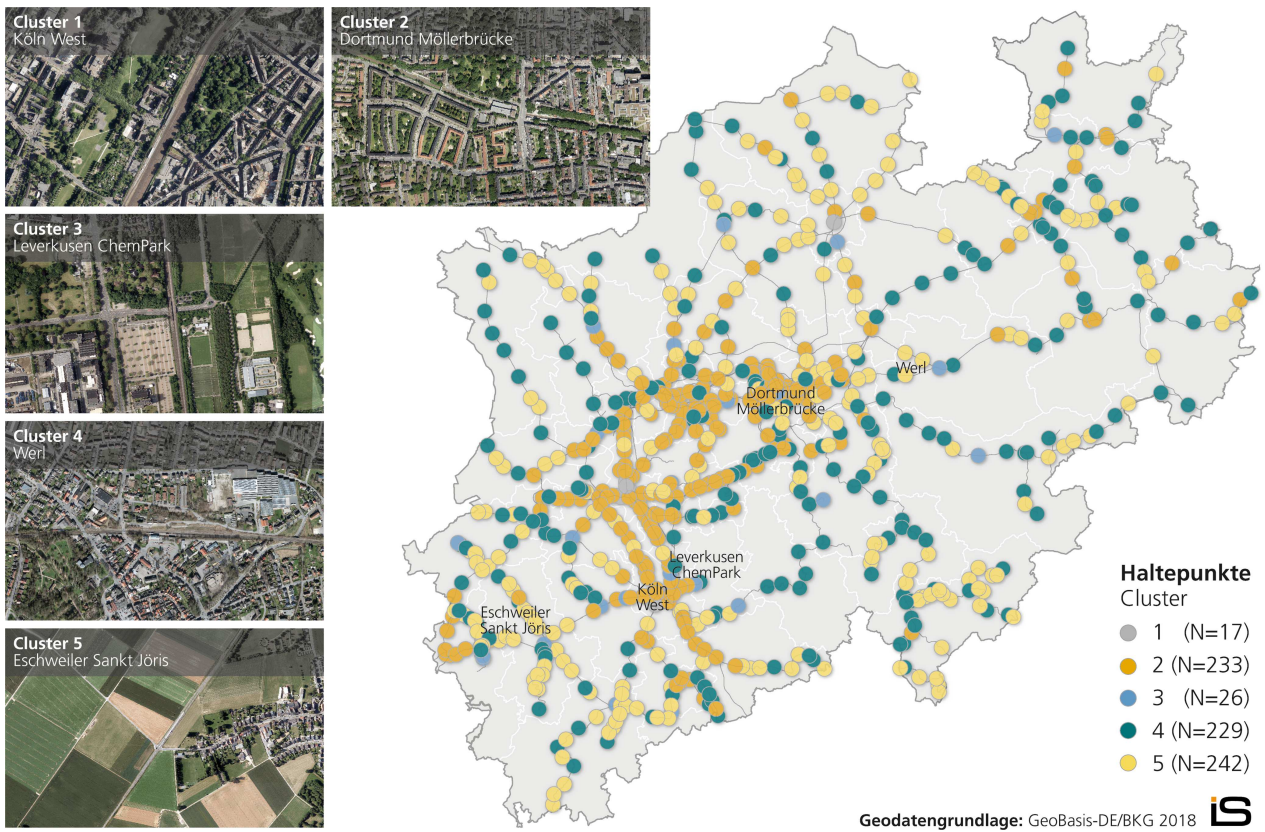


Abbildung 3 Räumliche Verteilung der Cluster

gehend von der hier verwendeten Datengrundlage – bereits vollständig aufgesiedelt. Größere Siedlungsentwicklungen sind an diesen Haltepunkten daher nicht (mehr) möglich. Was an diesen Haltepunkten dahingegen denkbar ist, ist die Umsetzung von Maßnahmen der Nachverdichtung. Sowohl die Entwicklung von Brachflächen oder mindergenutzten Flächen als auch das Schließen von Baulücken oder das Aufstocken von Gebäuden wären Maßnahmen, die im Detail vor Ort geprüft werden könnten. Für größere Siedlungsentwicklungen kommen vor allem die Cluster 3, 4 und 5 in Frage. Im Vergleich zu den stark verdichteten innerstädtischen Haltepunkten finden sich hier viele und größere zusammenhängende entwickelbare Flächen. Zu beachten ist aber, dass diese Haltepunkte von einer – verglichen mit den anderen Clustern – eher unterdurchschnittlichen Angebotsqualität sowie einer unterdurchschnittlichen nahräumlichen Versorgung und Nutzungsdurchmischung geprägt sind. Die Schaffung von Wohnraum müsste daher mit flankierenden verkehrlichen und städtebaulichen Maßnahmen einhergehen, damit diese Standorte ihre Funktion im Sinne von *Transit-Oriented Development* wahrnehmen können. Mögliche Maßnahmen wären beispielsweise Taktverbesserungen des Regionalverkehrs oder die Ausweitung von Einrichtungen

der Daseinsvorsorge im Einzugsbereich der Haltepunkte. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Entwicklung entsprechender Standorte ist die wirtschaftliche Tragfähigkeit. Diese Frage stellt sich insbesondere bei Haltepunkten in sehr peripheren Räumen, wo gegebenenfalls hohe Kosten für die Schaffung und Bereitstellung von (neuen) sozialen und technischen Infrastrukturen anfallen können. Gerade vor dem Hintergrund geringerer Bevölkerungszahlen sollten Erschließungs- und Betriebskosten den möglichen steuerlichen Einnahmen des Bauvorhabens gegenübergestellt werden, um zu prüfen, ob eine wirtschaftliche Tragfähigkeit erreicht wird und langfristig gewährleistet werden kann. Dies ist vor allem auch deshalb von Bedeutung, da Flächenpotenziale verbreitet dort anzutreffen sind, wo die Nachfrage nach Bauland gering ausfällt. So lässt die Lage eines Haltepunktes weit ab von den größeren Verdichtungskernen häufig nur eine geringe lokale und regionale Nachfrage nach Wohnraum vermuten. Diese Angebot-Nachfrage-Disparitäten machen die Umwandlung von Potenzialflächen in Wohnbauflächen nicht immer und an jedem Ort sinnvoll.

Die Klassifizierung von TOD-Haltepunkten inklusive der Erfassung von Flächenpotenzialen kann zudem Eingang in

die Revision von Regionalplänen nehmen. In Einzelfällen kann eine neue Abwägung sinnvoll sein, um mehr Bauland in infrastrukturell gut integrierten Lagen bereitzustellen. Für die städtebauliche Entwicklungsplanung bietet die Methode Möglichkeiten für strategische Priorisierungen und teilquantifizierte Szenarien. So können Modellrechnungen und Studien durchgeführt werden, an welchen Standorten welche Potenziale erschlossen werden könnten, wie attraktiv diese Potenziale sind und mit welchen Bodenpreisen im Rahmen kommunaler Liegenschaftspolitiken zu rechnen ist. Auch der strategische Erwerb von Liegenschaften („strategische Flächenreserve“) mit längerfristigen Entwicklungsoptionen der betreffenden Flächen ließe sich mit der Methode fachlich unterstützen.

Vor diesem Hintergrund würde sich ein systematisches Monitoring von TOD-Potenzialen und eine laufende Evaluierung der Mobilisierungsbemühungen entsprechender Flächen auf regionaler Ebene anbieten. Hierbei erscheint eine Vollerhebung der Potenziale alle drei bis fünf Jahre sinnvoll, um den Erfolg einer TOD-Politik transparent bewerten zu können, aber auch um aktuelle Planungsgrundlagen für die Praxis bereitzustellen. Insgesamt kann der Aufwand zur Implementierung eines solchen Ansatzes in die bestehende Raumbesichtigung als vergleichsweise gering eingeschätzt werden. Die Übertragbarkeit der Methodik auf andere Bundesländer schätzen die Autoren ebenfalls als gegeben ein. Bei der Methode kommen neben den amtlichen ATKIS-Daten, die den Ländern in der Regel frei zur Verfügung stehen, ausschließlich offene Daten (*Open Data*) zum Einsatz, was eine flexible Anwendung und Anpassung ermöglicht. Mit dem zunehmenden Bedeutungsgewinn offener und kleinräumiger Daten (z. B. Fahrplandaten) kann zudem davon ausgegangen werden, dass die Methode in den kommenden Jahren kontinuierlich weiterentwickelt werden kann, so auch zum Beispiel durch neue Datenprodukte aus der Fernerkundung, die es zukünftig ermöglichen, Innenentwicklungspotenziale besser zu identifizieren.

Abschließend sei angemerkt, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie gewissen Einschränkungen unterliegen. Diese sollen an dieser Stelle in aller Kürze dargestellt werden. So sind die ermittelten Flächenpotenziale in erster Linie als ein Annäherungswert zu verstehen. Neben topographischen oder naturräumlichen Einschränkungen, wie sie in dieser Studie berücksichtigt wurden, können viele weitere Faktoren die tatsächliche Mobilisierung von Flächen beeinflussen. Faktoren wie das Natur- und Umweltschutzrecht oder immissionsschutzrechtliche Vorgaben sowie planerische Überlegungen können dazu führen, dass in der Realität an Standorten deutlich geringere Flächenpotenziale bauleitplanerisch entwickelbar sind bzw. entwickelt werden. Wie bereits in Kapitel 3.2 angeführt, kommt hinzu, dass auf Basis der ATKIS-Daten ausschließlich unbebaute Flächen als

Potenzialflächen erfasst werden können. Nachverdichtungspotenziale wie Baulücken sind demzufolge in den Ergebnissen aktuell nicht enthalten. Die Ergebnisse werden zudem durch die Qualität und Aktualität der zugrunde liegenden Daten beeinflusst. Insbesondere bei der Ermittlung des regionalen Bevölkerungspotenzials kann lediglich auf die hochauflösenden Daten des Zensus-Atlas von 2011 zurückgegriffen werden. Dieser zeitliche Versatz kann zu Ungenauigkeiten des Potenzials führen. Aktuellere Daten stehen erst mit Abschluss des Zensus 2021 zur Verfügung. Während mit dem Zensus-Atlas bundesweit einheitliche hochauflösende Bevölkerungsdaten vorliegen, trifft dies auf die Nachbarstaaten nicht zu. Bei der Ermittlung des Bevölkerungspotenzials blieben die Nachbarländer und -staaten daher unberücksichtigt. Insbesondere in den Grenzregionen kann dies zu Verzerrungen und niedrigeren Werten führen.

## 6 Fazit und weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Studie leistet einen Beitrag zur besseren Erfassung geeigneter TOD-Standorte sowie zur Förderung einer effizienteren, stadtreionalen Umsetzung von TOD-Maßnahmen in Nordrhein-Westfalen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass das TOD-Potenzial auch in einem hochverdichteten, stark urbanisierten Raum wie Nordrhein-Westfalen noch nicht ausgeschöpft ist. Gleichwohl wird deutlich, dass im Umfeld der Haltepunkte der hochleistungsfähigen Bahnstrecken in Regionen mit hoher Wohnungsnachfrage eine ausgeprägte Flächenknappheit vorliegt, die mannigfaltige Nutzungskonflikte erwarten lässt.

In methodischer Hinsicht wird auch im internationalen Vergleich Neuland betreten, als innerhalb des *Node-Place*-Ansatzes von den idealtypischen sechs TOD-Dimensionen fünf abgedeckt werden konnten. Weiterhin wurden zwei weitere – aus Sicht der Autoren – wichtige Dimensionen dem 6-D-Modell hinzugefügt. Sowohl die Erfassung von Flächenpotenzialen wie auch die Abschätzung der (Folge)kosten von Siedlungsentwicklungen in den Einzugsbereichen der Haltepunkte ermöglichen eine tiefergehende Bewertung und Abschätzung über die TOD-Eignung von spezifischen Standorten. Die Klassifizierung der Haltepunkte ergab für Nordrhein-Westfalen eine interpretierbare Fünf-Cluster-Lösung, die den Diskussionsprozess im Hinblick auf das Finden von Vorschlägen für die weitere Entwicklung dieser Standorte fördern kann.

Was den weiteren Forschungsbedarf angeht, erscheint insbesondere die Entwicklung von Methoden zur Erfassung von Nachverdichtungspotenzialen in den bereits stark verdichteten Räumen ohne Flächenpotenziale gewinnbringend

und lohnend. Ansätze wie Raum+<sup>6</sup> sind hierbei vielversprechend, die zur methodischen Weiterentwicklung genutzt werden können. So werden hier Innenentwicklungspotenziale kleinräumig unter anderem nach Parzellenstruktur, Bebauungsstand, Erschließung und Baureife erfasst. In der hier vorgestellten Methode wird zudem nicht zwischen Potenzialflächen für Gewerbe, Industrie oder Wohnen unterschieden. Mit dem Bedeutungsgewinn der urbanen Produktion in den letzten Jahren könnte eine differenzierte Betrachtung der Potenzialflächen nach unterschiedlichen Lagen und Standortqualitäten die Formulierung von passgenaueren Handlungsempfehlungen ermöglichen. In den USA gibt es bereits seit vielen Jahren umfangreiche Studien zu den sozialen Effekten von Metro-Stationen auf das direkte Umfeld (Kahn 2007; Padeiro/Louro/da Costa 2019). In Deutschland scheinen soziale Aspekte in bisherigen Analysen dahingegen unterrepräsentiert. Vorliegende Ergebnisse bieten aus der Sicht der Autoren daher einen guten Ausgangspunkt, um sich dieser Forschungslücke anzunähern, in dem kleinräumige demographische und sozioökonomische Daten in Beziehung gesetzt werden mit den erfassten TOD-Dimensionen.

**Förderhinweis** Deutsche Forschungsgemeinschaft (DI 1641/14-1 & SI 932/10-1)

## Literatur

- Alfken, C.; Iwer, N. (2017): ruhrFIS-Flächeninformationssystem Ruhr. Monitoring Daseinsvorsorge 2017. Essen.
- Anderhub, G.; Dorbritz, R.; Weidmann, U. (2008): Leistungsfähigkeitsbestimmung öffentlicher Verkehrssysteme. Zürich. = IVT-Schriftenreihe 139. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000028520>
- Bahn.Ville 2-Konsortium (2010): Die Bahn als Rückgrat einer nachhaltigen Siedlungs- und Verkehrsentwicklung. Synthesebericht zum Projekt Bahn.Ville 2. München.
- Banai, R. (1998): Transit-Oriented Development Suitability Analysis by the Analytic Hierarchy Process and a Geographic Information System: A Prototype Procedure. In: *Journal of Public Transportation* 2, 1, 43-65. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.2.1.3>
- Banai, R. (2005): Land Resource Sustainability for Urban Development: Spatial Decision Support System Prototype. In: *Environmental Management* 36, 2, 282-296. <https://doi.org/10.1007/s00267-004-1047-0>
- Beckmann, G.; Dosch, F. (2018): Monitoring der Siedlungsflächenentwicklung. In: Behnisch, M.; Kretschmer, O.; Meinel, G. (Hrsg.): *Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung*. Berlin, 3-24. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-50305-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-50305-8_1)
- Behnisch, M.; Kretschmer, O.; Meinel, G. (Hrsg.) (2018): *Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung*. Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-50305-8>
- Bertolini, L. (1996): Nodes and places: complexities of railway station redevelopment. In: *European Planning Studies* 4, 3, 331-345. <https://doi.org/10.1080/09654319608720349>
- Bertolini, L. (1999): Spatial Development Patterns and Public Transport: The Application of an Analytical Model in the Netherlands. In: *Planning Practice and Research* 14, 2, 199-210. <https://doi.org/10.1080/02697459915724>
- Boarnet, M. G.; Compin, N. S. (1999): Transit-Oriented Development in San Diego County. In: *Journal of the American Planning Association* 65, 1, 80-95. <https://doi.org/10.1080/01944369908976035>
- Bose, M. (1994): Wirkungsanalyse eines stadtreionalen Siedlungsstrukturkonzeptes und Ansätze für eine Neuorientierung. Das Entwicklungsmodell für Hamburg und sein Umland. Hamburg. = Harburger Berichte zur Stadtplanung 4.
- Büttner, B.; Kinigadner, J.; Ji, C.; Wright, B.; Wulfhorst, G. (2018): The TUM Accessibility Atlas: Visualizing Spatial and Socioeconomic Disparities in Accessibility to Support Regional Land-Use and Transport Planning. In: *Networks and Spatial Economics* 18, 2, 385-414. <https://doi.org/10.1007/s11067-017-9378-6>
- Calthorpe, P. (1993): *The next American metropolis. Ecology, community, and the American Dream*. New York.
- Carlton, I. (2019): Transit Planners' Transit-Oriented Development-Related Practices and Theories. In: *Journal of Planning Education and Research* 39, 4, 508-519. <https://doi.org/10.1177/0739456X19878867>
- Cervero, R. (1984): Journal Report: Light Rail Transit and Urban Development. In: *Journal of the American Planning Association* 50, 2, 133-147. <https://doi.org/10.1080/01944368408977170>
- Cervero, R. (1995): Sustainable new towns: Stockholm's rail-served satellites. In: *Cities* 12, 1, 41-51. [https://doi.org/10.1016/0264-2751\(95\)91864-C](https://doi.org/10.1016/0264-2751(95)91864-C)
- Cervero, R.; Arrington, G. B. (2008): Vehicle Trip Reduction Impacts of Transit-Oriented Housing. In: *Journal of Public Transportation* 11, 3, 1-17. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.11.3.1>
- Cervero, R.; Kockelman, K. (1997): Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2, 3, 199-219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)

<sup>6</sup> <https://www.raumplus.ethz.ch/de/methodik/> (08.12.2020).

- Chen, X.; Lin, L. (2015): The node-place analysis on the "hubtropolis" urban form: The case of Shanghai Hongqiao air-rail hub. In: *Habitat International* 49, 445-453. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.06.013>
- Curtis, C. (2008): Evolution of the Transit-oriented Development Model for Low-density Cities: A Case Study of Perth's New Railway Corridor. In: *Planning Practice and Research* 23, 3, 285-302. <https://doi.org/10.1080/02697450802423559>
- Dechent, J.; Wagner, I. (2020): Der Wohnungsmarkt aus Sicht der Bautätigkeitsstatistik. Entwicklung und Kennzahlen seit der Jahrtausendwende. In: *Wirtschaft und Statistik*: 72, 2, 46-60.
- Dong, H. (2016): If You Build Rail Transit in Suburbs, Will Development Come? In: *Journal of the American Planning Association* 82, 4, 316-326. <https://doi.org/10.1080/01944363.2016.1215258>
- Fina, S. (2018): Ist die Konfiguration und Komposition der Flächennutzung messbar? In: Behnisch, M.; Kretschmer, O.; Meinel, G. (Hrsg.): *Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung*. Berlin, 111-130. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-50305-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-50305-8_7)
- García-Palomares, J. C.; Gutiérrez, J.; Cardozo, O. D. (2013): Walking Accessibility to Public Transport: An Analysis Based on Microdata and GIS. In: *Environment and Planning B: Planning and Design* 40, 6, 1087-1102. <https://doi.org/10.1068/b39008>
- Gilat, M.; Sussman, J. (2003): Coordinated Transportation and Land Use Planning in the Developing World: Case of Mexico City. In: *Transportation Research Record* 1859, 1, 102-109. <https://doi.org/10.3141/1859-13>
- Greene, M.; Mora, R. I.; Figueroa, C.; Waintrub, N.; de Dios Ortúzar, J. (2017): Towards a sustainable city: Applying urban renewal incentives according to the social and urban characteristics of the area. In: *Habitat International* 68, 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.03.004>
- Greene, M.; Mora, R.; Waintrub, N.; Figueroa, C.; de Dios Ortúzar, J. (2016): How do we densify and socially integrate our cities? On the efficiency of urban property incentives in the vicinity of mass transit stations. In: *Revista de la construcción* 15, 3, 77-86. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2016000300008>
- Hickman, R.; Hall, P. (2008): Moving the City East: Explorations into Contextual Public Transport-orientated Development. In: *Planning Practice and Research* 23, 3, 323-339. <https://doi.org/10.1080/02697450802423583>
- Higgins, C. D.; Kanaroglou, P. S. (2016): A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region. In: *Journal of Transport Geography* 52, 61-72. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.02.012>
- Ibraeva, A.; Correia, G.; Silva, C.; Pais Antunes, A. (2020): Transit-oriented development: A review of research achievements and challenges. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 132, 110-130. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.10.018>
- Jamme, H.-T.; Rodriguez, J.; Bahl, D.; Banerjee, T. (2019): A Twenty-Five-Year Biography of the TOD Concept: From Design to Policy, Planning, and Implementation. In: *Journal of Planning Education and Research* 39, 4, 409-428. <https://doi.org/10.1177/0739456X19882073>
- Kahn, M. E. (2007): Gentrification Trends in New Transit-Oriented Communities: Evidence from 14 Cities That Expanded and Built Rail Transit Systems. In: *Real Estate Economics* 35, 2, 155-182. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6229.2007.00186.x>
- Kamruzzaman, M.; Wood, L.; Hine, J.; Currie, G.; Giles-Corti, B.; Turrell, G. (2014): Patterns of social capital associated with transit oriented development. In: *Journal of Transport Geography* 35, 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.02.003>
- Kay, A. I.; Noland, R. B.; DiPetrillo, S. (2014): Residential property valuations near transit stations with transit-oriented development. In: *Journal of Transport Geography* 39, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.06.017>
- Kim, D.; Ahn, Y.; Choi, S.; Kim, K. (2016): Sustainable Mobility: Longitudinal Analysis of Built Environment on Transit Ridership. In: *Sustainability* 8, 10, 1016. <https://doi.org/10.3390/su8101016>
- Knowles, R. D. (2012): Transit Oriented Development in Copenhagen, Denmark: from the Finger Plan to Ørestad. In: *Journal of Transport Geography* 22, 251-261. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.01.009>
- Kodinariya, T. M.; Makwana, P. R. (2013): Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. In: *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies* 1, 6, 90-95.
- Liang, Y.; Du, M.; Wang, X.; Xu, X. (2020): Planning for urban life: A new approach of sustainable land use plan based on transit-oriented development. In: *Evaluation and Program Planning* 80, 101811. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2020.101811>
- Lin, J. J.; Gau, C. C. (2006): A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations. In: *Land Use Policy* 23, 3, 353-360. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.11.003>
- Lin, J.-J.; Li, C.-N. (2008): A grey programming model for regional transit-oriented development planning. In: *Papers in Regional Science* 87, 1, 119-138. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2007.00146.x>

- Loo, B. P. Y.; Cheng, A. H. T.; Nichols, S. L. (2017): Transit-oriented development on greenfield versus infill sites: Some lessons from Hong Kong. In: *Landscape and Urban Planning* 167, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.013>
- Lyu, G.; Bertolini, L.; Pfeffer, K. (2016): Developing a TOD typology for Beijing metro station areas. In: *Journal of Transport Geography* 55, 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.07.002>
- Ma, X.; Chen, X.; Li, X.; Ding, C.; Wang, Y. (2018): Sustainable station-level planning: An integrated transport and land use design model for transit-oriented development. In: *Journal of Cleaner Production* 170, 1052-1063. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.182>
- Maretzke, S. (2014): Infrastrukturindikator 2012. Ein wichtiger Indikator für die Neuabgrenzung der Fördergebiete in Deutschland. Bonn. = BBSR-Analysen kompakt 05/2014.
- Meyer, J. R.; Kain, J. F.; Wohl, M. (1965): *The Urban Transportation Problem*. Cambridge. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674421202>
- Monajem, S.; Nosratian, F. E. (2015): The evaluation of the spatial integration of station areas via the node place model; an application to subway station areas in Tehran. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 40, 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.07.009>
- Münter, A.; Osterhage, F. (2018): Konzepte der Raumordnung. In: ARL – Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): *Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung*. Hannover, 1183-1195.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2004): *Transit-Oriented Development in the United States: Experiences, Challenges, and Prospects*. Washington, D.C. = TCRP Report 102. <https://doi.org/10.17226/23360>
- Niu, S.; Hu, A.; Shen, Z.; Lau, S. S. Y.; Gan, X. (2019): Study on land use characteristics of rail transit TOD sites in new towns – taking Singapore as an example. In: *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 18, 1, 16-27. <https://doi.org/10.1080/13467581.2019.1586712>
- Ogra, A.; Ndebele, R. (2014): The role of 6Ds: density, diversity, design, destination, distance, and demand management in transit oriented development (TOD). In: *Proceedings of the NICHE-2014 Neo-International Conference on Habitable Environments*. Jalandhar, 539-546.
- Osterhage, F. (2018): The End of Reurbanisation? Phases of Concentration and Deconcentration in Migratory Movements in North Rhine-Westphalia. In: *Comparative Population Studies* 43, 131-156. <https://doi.org/10.12765/CPoS-2018-10>
- Padeiro, M.; Louro, A.; da Costa, N. M. (2019): Transit-oriented development and gentrification: a systematic review. In: *Transport Reviews* 39, 6, 733-754. <https://doi.org/10.1080/01441647.2019.1649316>
- Papa, E.; Bertolini, L. (2015): Accessibility and Transit-Oriented Development in European metropolitan areas. In: *Journal of Transport Geography* 47, 70-83. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.07.003>
- Paulsen, K. (2014): The Effects of Land Development on Municipal Finance. In: *Journal of Planning Literature* 29, 1, 20-40. <https://doi.org/10.1177/0885412213497982>
- Paulsson, A. (2020): The city that the metro system built: Urban transformations and modalities of integrated planning in Stockholm. In: *Urban Studies* 57, 14, 2936-2955. <https://doi.org/10.1177/0042098019895231>
- Perry, C. A. (1929): *City Planning for Neighborhood Life*. In: *Social Forces* 8, 1, 98-100. <https://doi.org/10.2307/2570059>
- Pitot, M.; Yigitcanlar, T.; Sipe, N.; Evans, R. (2006): Land use and public transport accessibility index (LUPTAI) tool: the development and pilot application of LUPTAI for the Gold Coast. In: Grainger, C. (Hrsg.): *Proceedings of the 29th Australian Transport Research Forum*. Crawley, 1-18.
- Renne, J. L.; Tolford, T.; Hamidi, S.; Ewing, R. (2016): The Cost and Affordability Paradox of Transit-Oriented Development: A Comparison of Housing and Transportation Costs Across Transit-Oriented Development, Hybrid and Transit-Adjacent Development Station Typologies. In: *Housing Policy Debate* 26, 4-5, 819-834. <https://doi.org/10.1080/10511482.2016.1193038>
- Reusser, D. E.; Loukopoulos, P.; Stauffacher, M.; Scholz, R. W. (2008): Classifying railway stations for sustainable transitions – balancing node and place functions. In: *Journal of Transport Geography* 16, 3, 191-202. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2007.05.004>
- Sahu, A. (2018): A methodology to modify land uses in a transit oriented development scenario. In: *Journal of Environmental Management* 213, 467-477. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.004>
- Schmitt, M.; Seidl, I. (2006): Der Einfluss des Bodenpreinsniveaus auf die Bebauungsdichte von Wohnareal. In: *Raumforschung und Raumordnung* 64, 2, 93-103. <https://doi.org/10.1007/BF03183167>
- Seidemann, D. (2016): Wechselwirkungen von Siedlungsentwicklung und Schienenverkehr. Bedeutung von Siedlungsflächenreserven für den Schienenpersonenverkehr unter besonderer Berücksichtigung der Innenentwicklung am Beispiel der Regionen Mittlerer Oberrhein, Rhein-Neckar und Ostwürttemberg. Zürich.
- Shannon, C. E.; Weaver, W. (1964): *The mathematical theory of communication*. Urbana.
- Singh, Y.J.; Fard, P.; Zuidgeest, M.; Brussel, M.; van Maar-

- seven, M. (2014): Measuring transit oriented development: a spatial multi criteria assessment approach for the City Region Arnhem and Nijmegen. In: *Journal of Transport Geography* 35, 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.01.014>
- Spars, G. (2017): Bodenpreise und Immobilienmärkte als Verstärker sozialräumlicher Polarisierung. In: Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.): *Geteilte Räume. Strategien für mehr sozialen und räumlichen Zusammenhalt*. Berlin, 79-95. = *Schriften zu Wirtschaft und Soziales* 21.
- Strong, K. C.; Ozbek, M. E.; Sharma, A.; Akalp, D. (2017): Decision Support Framework for Transit-Oriented Development Projects. In: *Transportation Research Record* 2671, 1, 51-58. <https://doi.org/10.3141/2671-06>
- Thomas, R.; Pojani, D.; Lenferink, S.; Bertolini, L.; Stead, D.; van der Krabben, E. (2018): Is transit-oriented development (TOD) an internationally transferable policy concept? In: *Regional Studies* 52, 9, 1201-1213. <https://doi.org/10.1080/00343404.2018.1428740>
- Tumlin, J.; Millard-Ball, A. (2006): Parking for Transit-Oriented Development. In: *ITE 2006 Annual Meeting and Exhibit Compendium of Technical Papers: August 6-9, 2006*. Milwaukee.
- Xu, T.; Zhang, M.; Aditjandra, P. T. (2016): The impact of urban rail transit on commercial property value: New evidence from Wuhan, China. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 91, 223-235. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.026>
- Yang, K.; Pojani, D. (2017): A Decade of Transit Oriented Development Policies in Brisbane, Australia: Development and Land-Use Impacts. In: *Urban Policy and Research* 35, 3, 347-362. <https://doi.org/10.1080/08111146.2017.1294537>
- Yu, H.; Pang, H.; Zhang, M. (2018): Value-added effects of transit-oriented development: The impact of urban rail on commercial property values with consideration of spatial heterogeneity. In: *Papers in Regional Science* 97, 4, 1375-1396. <https://doi.org/10.1111/pirs.12304>
- Zemp, S.; Stauffacher, M.; Lang, D. J.; Scholz, R. W. (2011): Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters! In: *Journal of Transport Geography* 19, 4, 670-679. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.08.008>
- Zhao, P.; Yang, H.; Kong, L.; Liu, Y.; Liu, D. (2018): Disintegration of metro and land development in transition China: A dynamic analysis in Beijing. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 116, 290-307. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.06.017>

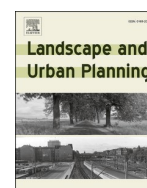


### Artikel 3: Eckdaten und Autorenbeiträge

<b>Referenz</b>	Eichhorn, S. (2023). Infilling in Germany. Estimating the extent of infilling in German municipalities between 1979 and 2011. <i>Landscape and Urban Planning</i> , 240:1–16
<b>Beiträge</b>	Der Artikel ist in Alleiniger-Autorenschaft entstanden und wurde in einem Peer-Review-Verfahren (double-blind) begutachtet. Der Verfasser ist corresponding author und zeichnet sich für die Darlegung des theoretischen Hintergrundes, die Beschreibung des methodischen Vorgehens sowie die Empirie verantwortlich. Alle Textbausteine wurden vom Autor verfasst.
<b>Historie</b>	Eingereicht: 10 März 2023 Akzeptiert: 11 September 2023 Veröffentlicht: 14 September 2023

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

## Landscape and Urban Planning

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/landurbplan](https://www.elsevier.com/locate/landurbplan)

# Infilling in Germany. Estimating the extent of infilling in German municipalities between 1979 and 2011

Sebastian Eichhorn

Department of Mobilities and Space, ILS, Research Institute for Regional and Urban Development, Brüderweg 22-24, 44135 Dortmund, Germany

## HIGHLIGHTS

- First quantitative nation-wide assessment of infilling in Germany.
- Quantitative assessment of infilling based on small-scale 100 × 100 m grid cells.
- Study covers 4389 municipalities and a period of more than 30 years (1979–2011).
- In-depth analyses based on building types, Local Moran's I and OLS regressions.
- Robust and well-suited methodology for evaluations at regional or national level.

## ARTICLE INFO

## Keywords:

Infilling  
Residential construction activity  
GIS analysis  
Evaluation  
Global Human Settlement (GHSL)  
Census

## ABSTRACT

To achieve the German government's 30-hectare land take per day target, infilling is considered a key planning guideline. However, there are hardly any valid empirical results on the extent of residential construction activity realised as infilling. This is due, on the one hand, to the fuzziness of what constitutes an inner urban area as a spatial construct in German law and planning practice and, on the other hand, to the lack of small-scale data on construction activity. This paper presents a methodology – based on the open data of the Global Human Settlement Layer (GHSL) and the 2011 German Census – to determine and assess for the first time the relevance of infilling at a nationwide level over a period of more than 30 years. The methodology is applied to the 9,409,547 new housing units built in Germany between 1979 and 2011. The result shows a positive trend, indicating that German cities have succeeded over the course of time in boosting infilling. At the same time, major differences between urban and rural areas become apparent, with urban and more central regions being more successful in directing residential construction activity towards existing settlements and already-developed areas. Therefore, a key recommendation is to encourage and support especially smaller municipalities in their infilling efforts.

## 1. Introduction

Accompanying the increase in the number of people living in urban areas, urban sprawl has taken hold of the majority of the world's cities (Gerten et al., 2019). There is now little doubt that the number of people living in cities will increase and urban built-up areas will continue to expand (Simkin et al., 2022). To cope with urban sprawl, policymakers worldwide are applying various growth management policies (Ewing et al., 2022; Siedentop et al., 2022). In addition to higher-density new construction oriented towards public transport, infilling and densification became key factors driving sustainable urban development.

Empirical research has shown that an urban area's structural-physical and functional characteristics are important factors

influencing traffic volumes and transport mode choices, energy efficiency, infrastructure supply costs and economic productivity (Berghauser Pont et al., 2021; Broitman and Koomen, 2020; Charnes and Keil, 2015; Dunning et al., 2020). Basically, denser urban development oriented towards (sub)centres is associated with less motorised traffic, lower greenhouse gas emissions and lower infrastructure costs (Ewing and Cervero, 2017; Hortas-Rico and Solé-Ollé, 2010). Nevertheless, studies also found possible negative ecological (e.g., higher proportion of impervious surfaces, urban heat islands), social (e.g., lower perception of safety, social interaction, and stability), and health (e.g., air and noise pollution) effects that should be considered when planning infilling and densification (Balikçi et al., 2022; Berghauser Pont et al., 2021).

The call for resource-efficient urban development has found its way

E-mail address: [sebastian.eichhorn@ils-forschung.de](mailto:sebastian.eichhorn@ils-forschung.de).

<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104895>

Received 10 March 2023; Received in revised form 7 September 2023; Accepted 11 September 2023

Available online 14 September 2023

0169-2046/© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.

into political initiatives at various levels in a variety of ways. The European Commission, for example, has repeatedly highlighted the importance of reducing land take in strategic documents on environmental and sustainability policy issues (EC, 2006). In particular, the European Commission's goal of reducing land take to net zero by 2050 within the framework of a circular land economy directs the focus even more strongly towards infilling and densification (EC, 2011; EEA, 2023). Unsurprisingly, numerous European countries have made these approaches guiding principles of their spatial planning and urban development policy, for example Switzerland (Schweizerischer Bundesrat et al., 2012), Austria (ÖROK, 2021) or England (Communities and Local Government, 2011). In North America, debates on smart growth have received widespread political attention (Daniels, 2001) and significantly influenced the instrumental orientation of growth management policies (Landis, 2006).

While the advantages of infilling and densification are widely accepted in planning practice and research, any systematic evaluation faces considerable difficulties. Firstly, infilling is a multi-dimensional approach that encompasses many facets and can take place on urban green spaces, gaps between buildings, sites with suboptimal land use available for restructuring or densification, brownfields formerly used for commercial / industrial purposes, former road or rail facilities or airports, and ex-military sites, as well as through the conversion or reuse of existing buildings (Balikçi et al., 2022; Reiß-Schmidt, 2018). Nationwide studies that analyse infilling according to these facets might be gaining in importance (e. g. Claassens et al., 2020), but to the author's knowledge they are the exception so far. Instead, studies concentrate on individual aspects (e. g. changes in building density) depending on their specific research question (e. g. Broitman and Koomen, 2015; Mustafa et al., 2018). Secondly, analyses of infilling require small-scale geodata on construction activity. These data are often not available, especially for international comparative studies, or they are limited to certain periods of time and regions. Thirdly, in many countries, there is no uniform definition of what constitutes an urban area. Therefore, studies use different delineation criteria leading to incomparable and quantitatively different results.

In the following, we present a methodology generating for the first time – on the basis of the worldwide Global Human Settlement Layer (GHSL) and the 2011 German Census – comprehensive insights into the relevance of infilling and related spatial changes between 1979 and 2011 for Germany. This is an important issue, especially since spatio-temporal measurements can provide an important basis for decision-making, as well as for spatial planning and sustainability studies. Four research questions form the basis of our study:

- Research question 1: How high is the share of infilling and what spatial patterns can be observed in Germany between 1979 and 2011?
- Research question 2: Are there systematic differences in infilling between urban and rural areas?
- Research question 3: To what extent do houses or apartment blocks characterise infilling and greenfield development?
- Research question 4: What factors influence infilling in German municipalities?

We start by outlining the status of research in Section 2. We go on to present the case study of Germany in Section 3. The methodology developed will be explained in Section 4. Section 5 presents the findings achieved using the methodology. Following a discussion of the findings (Section 6), a conclusion is drawn and an outlook for further research given.

## 2. State of research

The international research shows that there are barely any empirical studies explicitly targeting the effectiveness of infilling strategies. The

few research papers on this subject can be roughly divided into ex ante analyses of infill potential and ex post analyses classifying urban developments. The former aim to identify those sites within existing settlement areas that can be considered suitable for future urban development. Such analyses are designed either as quantitative standardised surveys or as GIS-based analyses using land use, real estate register or remote sensing data (Schiller et al., 2021). The validity of survey results depends largely on a clear conceptual definition of the object of investigation, the personal knowledge of the respondents, and the IT systems used by the surveyed municipalities (Lewis and Marantz, 2019). GIS-based methods process geodata with predefined criteria to identify and quantify land suitable for infilling (Abedini and Khalili, 2019; Adhvaryu and Rathod, 2019; Schiller et al., 2021). While such approaches enable region-wide analyses with a relatively small amount of expert input; they only capture a theoretical potential, since planning regulations, ownership conditions, land encumbrances, or owners' selling and development intentions can only be modelled to a limited extent. In some studies, both approaches are combined by checking the plausibility of GIS-based raw data generated by municipal expertise (Elgendy et al., 2012).

Ex post analyses classify and quantify construction activity realised as infilling within a predefined timeframe. Designed as longitudinal analyses, they provide information on the spatio-temporal development patterns of construction activity in specific areas. As with the ex ante analyses of infill potential, the main difficulty lies in arriving at the proper delineation between existing urban and undeveloped areas. Boundaries may be defined more narrowly or more broadly, though the majority of studies focus on existing built-up areas or use predefined thresholds, e.g., for building density (Farris, 2001; Hagerty, 2012; Listokin et al., 2006; Steinacker, 2003). Unsurprisingly, empirical findings vary widely depending on the delineation used. Approaches developed specifically to automatically delineate between urban and undeveloped areas, such as that of Harig et al. (2021), remain rare, although experts see them generating accurate results close to planning practice. However, due to data and computational requirements, their use – especially for longer and historical study periods as well as bigger study areas – is limited.

Due to data availability, existing and especially international comparative studies have primarily used land use data to examine infilling (e. g. Chakraborty et al., 2022; Gerten et al., 2019). Geospatial analyses are commonly used to study the change in urban densities and the location of new built-up areas in relation to existing ones. Although the results point to an increasing consolidation of urban centres, infilling typically occurs alongside other forms of growth such as edge-expansion and leapfrog development (Li et al., 2013; Novotný et al., 2022). However, using land use data to analyse infilling has limitations. Firstly, land use data often lacks the necessary resolution, and secondly, it does not provide information about the number of buildings or housing units constructed. This means that two similarly sized development sites in similar locations would be evaluated equally, even if the number of buildings and housing units differs significantly. Therefore, these studies offer a comprehensive overview of urban land use changes at local, regional, and global levels, however, they cannot precisely identify where and how residential construction activity has taken place. To gain insight into the spatial manifestation and variations of infilling, it is crucial to have small-scale building data.

In the European context, only a few studies have investigated settlement development on the basis of small-scale building data: The study by Götz and Jehling (2022) examined densification processes in Utrecht (NL) and Bern (CH) between 2011 and 2019. In their analysis, they identified five types of densification and concluded that Utrecht is characterised by a number of large-scale densification projects, as a result of the city's proactive land policy. Two Dutch studies (Broitman and Koomen, 2015; Claassens et al., 2020) linked small-scale topographic raster data with high-resolution building and dwelling information. Despite the expiry of national housing subsidy policies, the

**Table 1**  
Descriptive statistics for GHSL and residential construction activity by year and study period.

Year	Total built-up area (in ha)*	Built-up patches (in ha)*				Study period	New housing units in...		
		Min	Max	Mean	SD		Houses**	Apartment blocks	Other residential buildings***
1975	1,465,697	0	65,032	3.347	127.450	1979 to 1990	1,814,957	1,962,194	247,319
							(45.1%)	(48.8%)	(6.1%)
1990	2,195,422	0	65,032	2.442	111.566	1991 to 2000	1,879,397	1,841,163	209,783
							(47.8%)	(46.8%)	(5.3%)
2000	2,412,927	0	65,032	0.933	52.473	2001 to 2011	861,579	519,343	73,811
							(59.2%)	(35.7%)	(5.1%)

\* GHSL, \*\* Detached, semi-detached and terraced houses, \*\*\* Buildings that are not detached house, semi-detached or terraced house and all types of inhabited accommodation.

studies revealed densification processes in the Netherlands in the 2010s. Bibby et al. (2020) linked English land use change statistics to address data and found that a significant amount of housing construction in the early 2000s was realised in the form of densification. Mustafa et al. (2018) examined Belgian cadastral data to analyse the transitions between different density levels from 1990 to 2010. Their finding highlights the importance of land use policies in explaining expansion processes, especially those with high densities. In contrast, the implementation of densification measures is strongly influenced by physical and neighbourhood factors.

### 3. Infilling in Germany

In Germany, discussion about reducing urban expansion and urban sprawl can be traced back to the 1960s (Siedentop, 2008), when terms such as land take were already being used in early political agendas such as the Green Charter of Mainau or the first environmental programme of the German Federal Government (Deutscher Bundestag, 1971). However, a general trend reversal in urban land use only occurred in the early 1980s in response to disproportionate urban expansion and a crisis in inner urban development (BMI, 1985). Within a comparatively short period, the concept of infilling became a dominant pillar of West German settlement policy in the years prior to reunification, with all major spatial planning and building policy documents emphasising the need for more effective protection of open spaces and for urban development focused on existing settlements (Deutscher Bundestag, 1985, 1988). In a sense, infilling became the spatial concretisation of using land sparingly, finding its way into building planning law in 1987 through an amendment of the German Building Code (Baugesetzbuch, BauGB) (Krautzberger and Stürer, 2013). However, it took another 20 years for infilling to become a planning guideline with legal status. In 2007, the legislator strengthened infilling through the introduction of the development plan for infilling pursuant to §13a BauGB and through procedural simplifications for infilling measures (Krautzberger and Stürer, 2013; Spannowsky, 2013). As of 2012, BauGB Section 1 (5) states that urban development should be carried out primarily through infilling. §1a also enshrines the obligation to justify any necessity of greenfield development and to base this on an investigation into infilling possibilities. These investigations serve as a basis for regional planning when permitting municipalities to designate new building land. According to German planning law, greenfield development refers to any area for which no building right exists yet and which must first be created by the municipalities. This includes agricultural land and forests as well as (larger) open spaces within the settlements. Overall, urban development should be realised with a ratio of 3:1 in favour of infilling over greenfield development (Die Bundesregierung, 2016, 2021). At federal level, infilling has been anchored as a planning principle in the German Spatial Planning Act (Raumordnungsgesetz, ROG) since 1997. With the 2008 amendment of the ROG, this planning principle was supplemented by the objective of reducing land take. Not least as a result

of legislative changes at federal level, infilling and regulatory growth management policies in state and regional planning now have a dominant status.

Given the importance assigned to infilling in German planning law, it is surprising that there is little valid empirical knowledge on its actual extent and spatial characteristics. The decline in land take to 54 ha per day on a four-year rolling average (Destatis, 2022) – in the face of continuing economic and population growth – suggests that a considerable share of demand for building land and housing has been satisfied within (existing) urban areas in recent years. Nevertheless, the quantity of infilling is largely unknown. To date, estimates only exist for larger study areas (BBR, 1999; Eichhorn and Siedentop, 2022), while a mere handful of studies have been able to determine infilling shares for regions or municipalities using a transparent methodology (Meinel et al., 2011 for the Düsseldorf and Hannover regions or Jehling et al., 2018 for Karlsruhe). Other German studies have focused on the development of methodologies for estimating infill potential in a regional (Ehrhardt et al., 2023; Elgendy et al., 2012; Iwer, 2015) or nationwide context (BBSR, 2022; Schiller et al., 2021). In contrast to the 30-hectare land take target or that of stabilising urban density (Die Bundesregierung, 2016, 2021), the achievement level of the target of boosting infilling cannot yet be evaluated directly.

There are two main reasons for this. First, the concept of infilling remains undefined in German law (BVerwG, Urt. v. 25.06.2020–4 CN 5/18). While it is generally possible to ascertain for an individual plot of land whether its development can be labelled as infilling or greenfield development, an official interpretation is subject to a full judicial review. For larger areas, however, it is very difficult to make a distinction between infilling and greenfield development, since municipalities rarely spatially officially delineate their existing urban areas. Where such statutes exist, they are often not kept up-to-date in digital planning records and thus cannot be used for studies at regional level. Moreover, German construction activity statistics generally only provide data at municipal level. Any determination of an infilling rate, however, requires a differentiation of construction activity on a small-scale level. Such spatial analyses would require time-consuming and cost-intensive evaluations, further hampered by Germany's strict data protection requirements. The author is not aware of any spatially differentiated analyses of German construction activity statistics below municipal level.

### 4. Methodical approach

In the following Section, we first present the data used and their overall quality. We then explain our classification method to distinguish between infilling and greenfield development. Finally, we describe our exploratory evaluation and validation methods to answer our research questions.

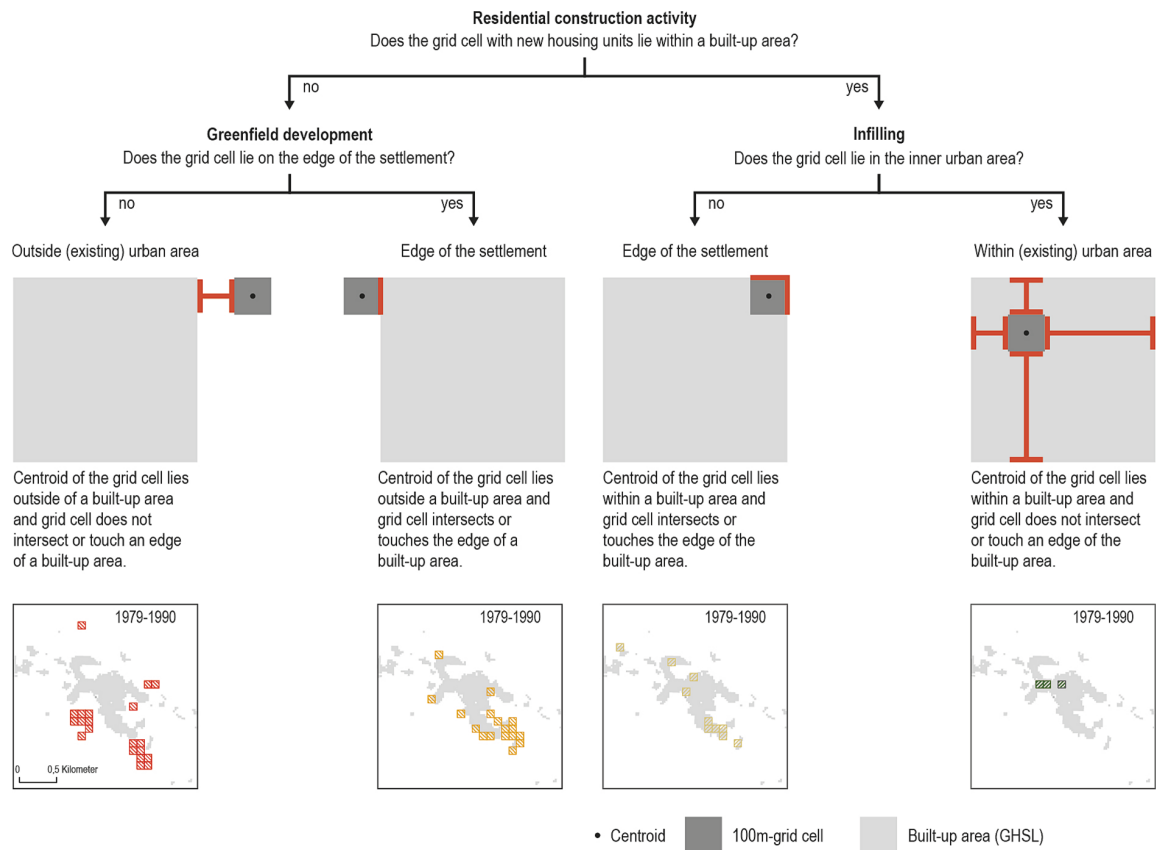


Fig. 1. Method for classifying residential construction activity by infilling and greenfield development (own illustration).

4.1. Data

The GHSL is a freely available, remotely sensed dataset on developed and undeveloped land that covers the entire surface of the Earth. Built-up areas are ascertained using Landsat satellite data with native spatial resolutions of 80 m (Landsat MSS sensor), 30 m (Landsat TM sensor), and 15/30 m (Landsat ETM sensor) (Corbane et al., 2019). The final dataset is provided free of charge by the European Commission at a spatial resolution of 30 m for the years 1975, 1990, 2000, and 2014 (see Table 1). Based on the results of the German Census of Buildings and Housing of 9 May 2011, data on residential buildings and housing units is available at the level of 100 m grid cells nationwide using address-specific geocoordinates. In addition to information on the number and types of residential buildings (detached, semi-detached and terraced houses as well as apartment blocks) and housing units, the dataset also contains meta data on the year of construction. This information can be used to determine residential construction activity per grid cell (see Table 1). According to the terms of reference of the census, the year of construction means the year in which the building was completed. In the case of buildings demolished and then reconstructed, the date of reconstruction is considered the year of construction. The dataset differentiates between ten micro census construction year classes. Depending on and aligned with the available time points of the GHSL dataset, residential construction activity is calculated for all grid cells for the periods 1979–1990, 1991–2000 and 2001–2011. Based on a total of 18,441,000 grid cells for Germany, 2,092,512 (11.3%), 2,259,684 (12.2%) cells and 2,325,818 (12.6%) cells with existing and/or new residential buildings and/or housing units can be identified for the respective study periods.

4.2. Data quality

Before we present our classification method in Section 4.3, we first want to point out some shortcomings of the data used, which are important for interpreting and assessing the quality of the results presented in Section 5. Since the Census is a static dataset with a survey date of 2011, the dataset only contains buildings and housing units that were built before 2011 and still exist in 2011. This means that it is not possible to examine whether apartment blocks that were built and demolished before 2011 were replaced by houses or vice versa. Therefore, the share of infill represents a gross result that does not include replacement rates and is limited to developments up to 2011. The grid-based results of the Census are anonymised using a data-modifying procedure. As this procedure can lead to deviations between the original values and the anonymised counted values in the grid cells, each grid cell is given an indication of data quality (0 = no or low deviation, 1 = strong deviation, 2 = unacceptable deviation). A nationwide evaluation shows that on average 8.3% of residential construction activity is subject to larger deviations and that the larger cities are generally more affected by deviations (see Table A1 and Figure C1 in the Appendix). Apart from the effects of the data-modifying procedure, missing information on the year of construction is a further reason for quantitative inconsistencies. A total of 5,447,671 (around 14%) of all housing units were not included in our analysis as the year of construction could not be determined. Table B1 and Figure C1 in the Appendix show that housing units with missing information on the year of construction mainly affects the more rural municipalities. Statements on the share of infilling and greenfield development refer to 34,898,722 housing units, possibly leading to biases in the results. However, it is assumed that the results are still suitable for deducing general spatio-temporal trends regarding infilling and greenfield development in Germany.

The automatic detection of built-up areas in the GHSL dataset is prone to errors. Despite the relatively high data resolution, smaller settlements are not always fully captured or undeveloped areas are misclassified, leading to discrepancies between the captured and actual settlement area – errors or inaccuracies confirmed by Sandler and Rashford (2018) for other remote sensing products. Use of the GHSL dataset to distinguish between infilling and greenfield development may therefore be biased in individual cases as our method can only roughly distinguish between (existing) urban and undeveloped areas (see Figure A1 in the Appendix) compared to a clear delineation of built-up areas as applied in the Netherlands (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2020) or in Switzerland (ARE, 2008). An examination of the GHSL dataset shows that, due to the lower sensor resolution, this particularly applies to the data for 1975 (see Table 1, built-up patches), meaning that these results must be interpreted with particular caution. Keeping that in mind, it can be assumed that the results of this analysis would most likely not stand up to legal scrutiny and are primarily useful for regional planning and national policy making.

#### 4.3. Classification method

To distinguish between infilling and greenfield development, a geographic information system (GIS) is used to check whether the centroids of the Census grid cells in which new residential developments are located are within the built-up area of the GHSL dataset (see Fig. 1). This procedure is similar to Claassens et al. (2020) who analyse different forms of infilling on the basis of  $100 \times 100$  m cells and land use data. In doing so, in the sense of German planning law, building projects in development plan areas (§ 30 BauGB) and within contiguously built-up settlement areas (§ 34 BauGB) are approximately captured. Since the GHSL dataset only distinguishes between built-up and undeveloped areas, it is not possible to directly examine whether the new housing units have been built, for example, within a residential area or in a previously commercial or industrial area. In the sense of resource-efficient and mixed-use urban development, however, we assume that basically all built-up areas qualify as infilling. Using the building type information, we can assess which type of residential construction activity (e. g. houses as the total of detached, semi-detached and terraced houses) prevails per region and study period.

For the period 1979–1990, the built-up area from the GHSL dataset as established in 1975 is used as the baseline for existing urban areas. Residential construction activity in the period under consideration is compared with the starting situation, allowing developments in built-up or greenfield contexts to be estimated. For the periods 1991–2000 and 2001–2011, 1990 and 2000 are used respectively as the starting years.

**Table 2**  
Descriptive statistics of the dependent and explanatory variables.

Variable	Obs.	Mean	Median	Std. Dev.	Min.	Max.
Infilling (in percent)						
1991–2000	4167	52.65	52.72	20.28	0.00	100.00
2001–2011	4167	50.25	50.42	22.43	0.00	100.00
Share of built-up area (in percent)						
1990	4167	7.84	4.57	8.79	0.16	72.92
2000	4167	8.56	5.20	9.14	0.21	73.77
Urban dispersion (Index)						
1990	4167	27.01	28.65	11.18	0.52	47.99
2000	4167	27.34	28.94	11.21	0.50	48.11
Housing density (in housing units per built-up area in ha)						
1990	4167	11.32	10.50	4.73	0.80	124.10
2000	4167	11.84	11.10	4.86	0.80	125.50
Population development (in percent)						
1990–2000	4167	7.79	7.56	11.27	–30.51	145.95
2000–2014	4167	–2.79	–2.20	9.00	–33.64	56.03
Regulatory intensity (Index)						
2009	4167	14.69	12.00	11.17	0.00	40.00

Infilling is deemed to occur when residential construction activity takes place entirely within an already built-up area or on the inner edge of the settlement. Conversely, greenfield development is deemed to occur when it takes place on the outer settlement fringe or entirely outside of urban areas. This distinction also enables residential construction activity associated with a consolidation of existing settlement areas to be quantified.

#### 4.4. Exploratory evaluation and validation of results

Based on the classification results, maps and (descriptive) statistics providing information on the spatial distribution and shares of the above-distinguished types of residential construction activity by building types can be produced. Combining this with our study periods and the spatial types of the Federal Ministry of Transport's Regional Statistical Typology for Mobility and Transport Research (RegioStaR-7, a hierarchical typology of municipalities, following mainly a mono-centric city-region approach based on functional considerations, see Figure B1 in the Appendix), we examined to what extent houses or apartment blocks have shaped infilling and greenfield development over time and within urban and rural regions.

Due to the high number of cases and the lack of reference data, we could only carry out a random case-by-case validation using publicly available historical satellite images. Since satellite images do not allow counting housing units, the validation is limited to a visual check whether new buildings have actually been built in the grid cells. To check the quality of our results according to different spatial types, the validation was carried out using the RegioStaR-7 types.

We used a hot- and coldspot analysis based on the Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) tool (Anselin, 1995) for every study period to identify significant spatial clusters of high and low infilling shares. A local indicator of spatial association, Local Moran's I is designed to identify statistically significant spatial clusters of high or low values of a certain attribute compared to the average value for an entire region. To define neighbouring municipalities, a queen contiguity matrix was used. False discovery rates were applied to obtain statistically more robust clusters. All above named analyses served to answer the first three research questions.

In addition, we estimated cross-sectional ordinary least square (OLS) regressions to further investigate the correlation between various spatial-structural characteristics and the share of infilling at municipality level to answer our fourth research question. Due to data unavailability and the lower sensor resolution of the 1975 GHSL dataset, the regression analyses were only conducted for the study periods 1991–2000 and 2001–2011. Here, we used the following explanatory variables:

Our first variable is the share of built-up area (share of built-up area (GHSL) per municipality). We used it to control for the influence of urbanisation on infilling. The second variable is urban dispersion (ratio between the largest built-up patch and the number of built-up patches per municipality). The integration of this variable is based on the assumption that rural municipalities with multiple small villages tend to develop on greenfield sites (Ammann et al., 2021). Third, we used housing density (number of housing units divided by the built-up area (GHSL) per municipality) to examine the influence of a municipality's initial housing density on infilling (Claassens et al., 2020). This variable is based on the assumption that high initial density can be both an inhibitor (no further infill potential) and an enabler (higher possible density) for infilling. Fourthly, we controlled for the effect of population development on infilling (percentage change of population per municipality). Population development is considered a key driver of settlement development (Colsaet et al., 2018). Therefore, we were interested in whether population development also promotes infilling. Besides the indicators controlling for spatial-structural characteristics, we used a unique dataset on the regulatory intensity of regional planning in Germany to estimate the effect of a more or less strict regional planning

**Table 3**  
Absolute and relative residential construction activity by allocation types (own calculations).

Allocation types		Residential construction activity (housing units)			
2-Level Classification	4-Level Classification	1979–1990	1991–2000	2001–2011	1979–2011
Infilling	Within (existing) urban area	782,350 (19.4%)	1,118,548 (28.5%)	428,850 (29.5%)	2,329,748 (24.8%)
	Edge of settlement	1,109,186 (27.6%)	1,405,719 (35.8%)	521,043 (35.8%)	3,035,948 (32.3%)
Greenfield development	Edge of settlement	1,041,615 (25.9%)	968,164 (24.6%)	369,081 (25.4%)	2,378,860 (25.3%)
	Outside (existing) urban area	1,091,320 (27.1%)	437,912 (11.2%)	135,759 (9.3%)	1,664,991 (17.7%)
<b>Ratio between infilling and greenfield development</b>		<b>0.8:1</b>	<b>1.7:1</b>	<b>1.8:1</b>	<b>1.3:1</b>

policy on the share of infilling (5). The index reflects the degree of regulatory regional planning interventions on local land use planning (Knill et al., 2010). However, caution must be exercised in its use and interpretation, because it includes – since it was compiled on the basis of the legally binding regional and state development plans valid in 2009 (Eichhorn et al., 2022a) – plans dating back to the 1980s as well as plans adopted in the 1990s or the 2000s. Although previous studies show that formal spatial planning, largely introduced in Germany in the 1960s, is in a state of maturity (Smas and Schmitt, 2021), the regulatory intensity identified is subject to uncertainties, as predecessor plans may have different regulatory intensities.

While the values of the baseline years (1990 and 2000) were used for indicators 1–3, the percentage change for the periods 1991–2000 and 2001–2011 was applied to indicator 4. Descriptive statistics of all variables used in our regression models are found in Table 2. From our full dataset of 4,389 municipalities, we needed to exclude 231 municipalities with no information on the regulatory intensity. By calculating the variance inflation factor (VIF), we detected multicollinearity between the share of built-up area and housing density, leading to us removing housing density from our regression models. Moreover, we identified some estimation problems with the standard OLS models due to heteroscedasticity, leading to the use of Standard White errors (also known as robust standard errors).

## 5. Findings

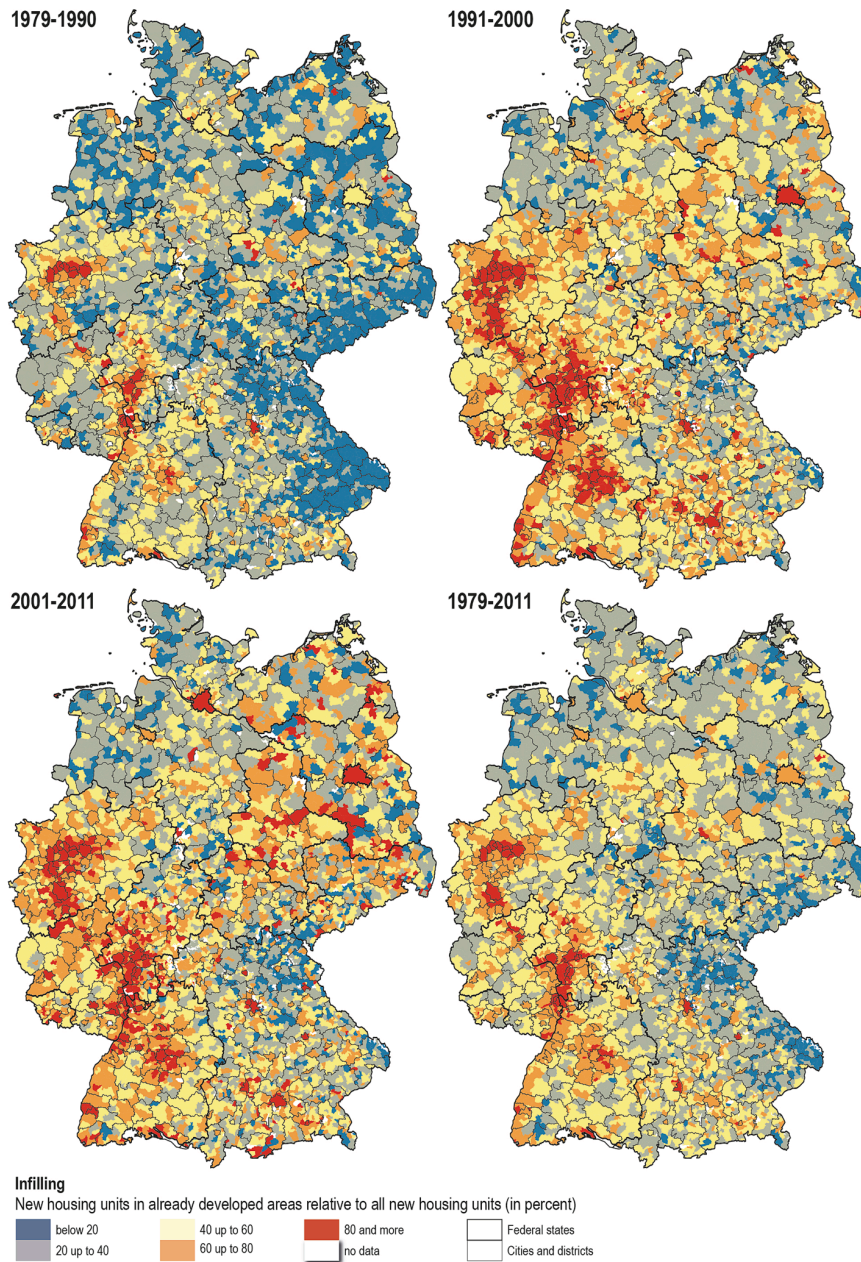
Referring to research question 1, we found that 5.365.696 of the 9.409.547 new housing units constructed in Germany between 1979 and 2011, i.e., about 57% of total residential construction activity, could be classified as infilling. While differences between 1991–2000 and 2001–2011 turn out to be very small, the study period 1979–1990 stands out with substantially lower infill shares. The findings reveal considerable construction activity on the edges of the settlements throughout the study periods. In the study periods, the share varies between 53.5% and 61.2%, which underlines the importance of new housing that complements or extends existing settlements (Table 3). While between 1979 and 1990 about 27% of residential construction activity was realised outside existing urban areas, this share declined over time to around 9%, indicating a downward trend in greenfield housing projects in Germany. At the same time, the share of infill housing projects increased from 19% to around 30% during the periods under study.

Accordingly, the findings show a positive trend for infilling in Germany, with cities and municipalities generally succeeding in boosting the number of housing units built in their existing settlements. However, despite this positive trend, we also note that the target of the German sustainability strategy to achieve a ratio of 3:1 between infilling and greenfield development was not met in any study period. With ratios ranging from 0.8:1 and 1.8:1, the target was clearly missed.

Fig. 2 shows the spatial distribution of the residential construction activity classified as infilling by means of the presented methodology for the periods 1979–1990, 1991–2000, 2001–2011, and 1979–2011 at the level of municipalities. In total, infilling - excluding administrative units without residential construction activity or population (e. g. national forests) – was found in 4,436 municipalities. Referring to research question 2, the overall picture is heterogeneous, with major spatio-temporal differences between high and low shares of infilling. Generally speaking, higher shares can be found in more urbanised areas, with the Rhine-Ruhr region in North Rhine-Westphalia and the region around Stuttgart in Baden-Württemberg standing out. Conversely, the rural areas of Lower Saxony, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Western Pomerania and the regions of Upper Franconia, Upper Palatinate and Lower Bavaria in Bavaria have significantly lower shares of infilling (see Figure B1 in the Appendix for the location of the states and regions). Taking into account Figure B1, the findings thus reflect a considerable urban–rural divide, varying in intensity depending on the state or region and the period under study. Comparing individual study periods, the years from 1979 to 1990 are particularly noteworthy, featuring a significantly lower share of infilling. Here again, the states of Lower Saxony, Mecklenburg-Western Pomerania, Saxony and Bavaria are the most prominent.

The hot- and coldspot analysis confirms the above-mentioned general trends. According to the Local Indicators of Spatial Association (LISA) clusters, the average shares of infilling again highlight the major urban–rural divide, as seen in Fig. 2. For example, while the average share of infilling in the high-high cluster ranges from 65.7% to 78.8%, municipalities in the low-low cluster only achieve values between 11.2% and 27.4% (Fig. 3). In all study periods, the Rhine-Ruhr corridor in North Rhine-Westphalia as well as the region around Stuttgart in Baden-Württemberg are statistically significant hotspots, featuring high shares of infilling. In many regions, the identified hotspots are congruent with the hotspots in the individual study periods, indicating a high degree of spatio-temporal infilling continuity. Statistically significant coldspots are primarily limited to the states of Lower Saxony, Saxony and Bavaria. Compared to the hotspots, the coldspots occur much less frequently, while spatial clusters differ significantly in size between the coldspots of the individual study periods. Thus, constant below-average infilling is less common, indicating a spatio-temporal discontinuity in the extent of greenfield development.

Referring to research question 3, Fig. 4 shows that – except for the metropolises, regiopolises and central cities – houses clearly shaped residential construction activity between 1979 and 2000. During this period, the share of houses was consistently above 50%, indicating the high relevance of low-density housing in these regions. Distinguishing between infilling and greenfield development, this trend can be confirmed: Although the share of new housing units built in houses is generally lower within than outside (existing) urban areas, it still



Geodata basis: GeoBasis-DE/BKG 2019 Data basis: Federal Statistical Office and the statistical offices of the Länder, Germany, 2018

Fig. 2. Shares of infilling on the level of municipalities by study period (own illustration).

exceeds 50%, going up to almost 75% in most rural regions. By comparison, the share in metropolises and regiopolises ranged from 25% to 30% between 1979 and 2000. A clear break can be seen in the period 2001–2011, when the urban–rural divide in the construction of houses and apartment blocks – evident in previous decades – disappeared completely: in all RegioStar-7 types, the share was roughly equal. Thus, even in highly urbanised regions, the role of high-density housing declined significantly.

Referring to research question 4, Table 4 presents the results of the cross-sectional models for the study periods 1991–2000 and 2001–2011 investigating the correlation between spatial-structural characteristics and the share of infilling at municipality level. Except population development, in both models, all coefficients were significant. Bearing

in mind that infilling is measured in percentages, the share of built-up area coefficients indicates that, all else being equal, one additional percentage point in the share of built-up area corresponds to an increase of 1.12 respective 1.15 percentage points in infilling. In contrast, urban dispersion and population development are negative, indicating a damping effect on the infilling share. If the dispersion index increases by one index point, the infilling share drops by 0.3 or 0.16 percentage points. A one percentage point increase in population could reduce infilling by 0.18 and 0.08 percentage points. Conversely, an increase in the regulatory intensity of regional planning by one point is associated with an increase in infilling of 0.35 and 0.3 percentage points, respectively.

As described in Section 4.2, the quality of the 2011 Census dataset

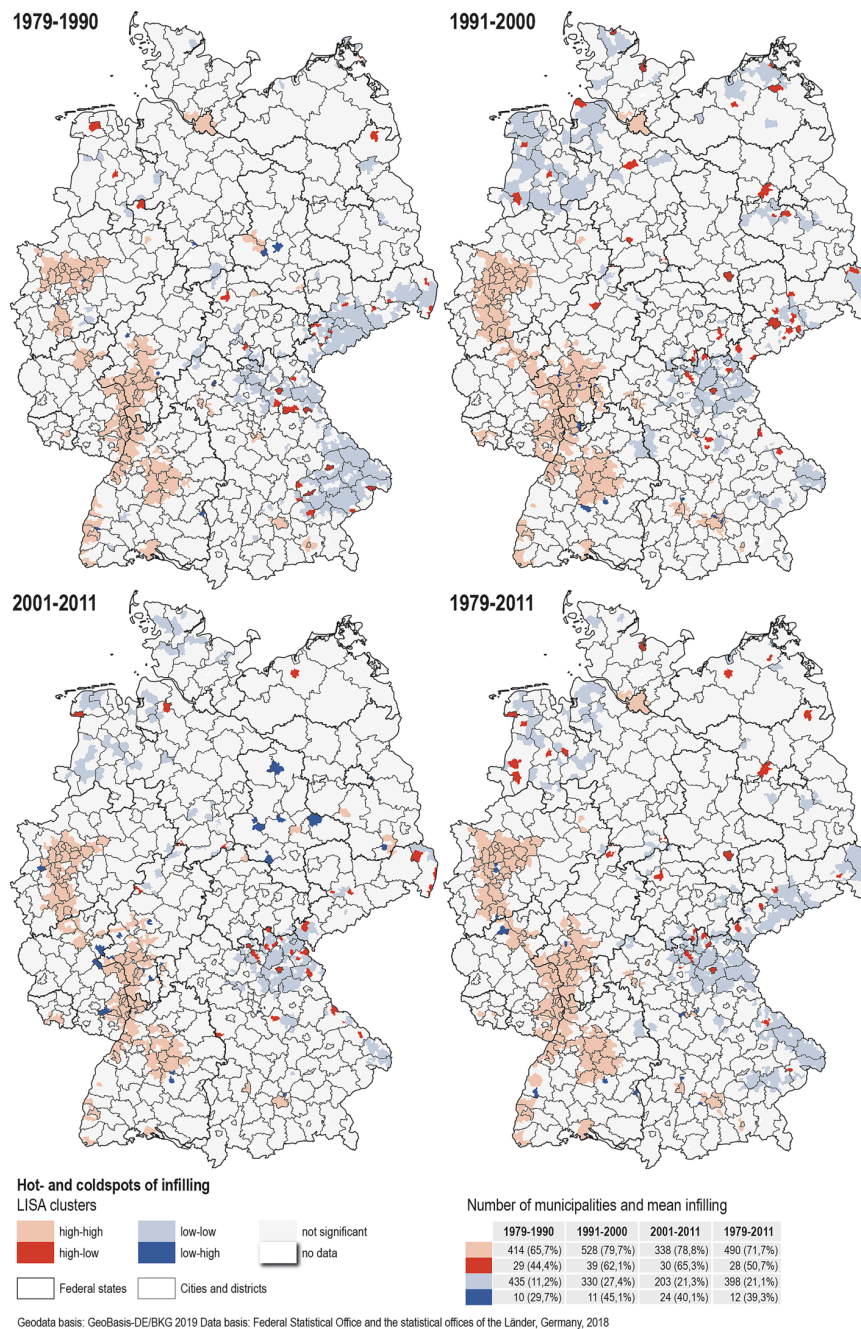


Fig. 3. Hot- and coldspots of infilling on the level of municipalities by study period (own illustration).

varies due to missing information on the year of construction and a data-modifying procedure. To test the robustness of our results, we did the regression analyses not only for the entire sample but also only for the municipalities with very low to moderate deviations and only for the municipalities with high to very high deviations. Since all signs and significances remain the same, the missing construction years as well as the data-modifying procedure do not significantly influence the results and they can be considered generally robust.

### 6. Discussion

For the first time, findings providing information on the share of infilling in Germany over a longer period (more than 30 years) are

presented. A random case-by-case validation shows that the classification method leads to robust and comprehensible results. Therefore, built-up areas of the GHSL dataset are generally suitable for distinguishing between infilling and greenfield development with sufficient accuracy. Since the base data allowed the analysis to be carried out on a nationwide basis, the findings can be considered valid and robust, as well as comparable across regions.

According to our first three research questions, the findings indicate that there was an increasing share of infilling in Germany between 1979 and 2011, stabilising at a ratio of nearly 2:1 (infilling vs. greenfield development) since the 1990s. According to the classification method, on average 65 of every 100 new housing units built in the 1990s and 2000s were realised as infilling. From a planning policy perspective, this

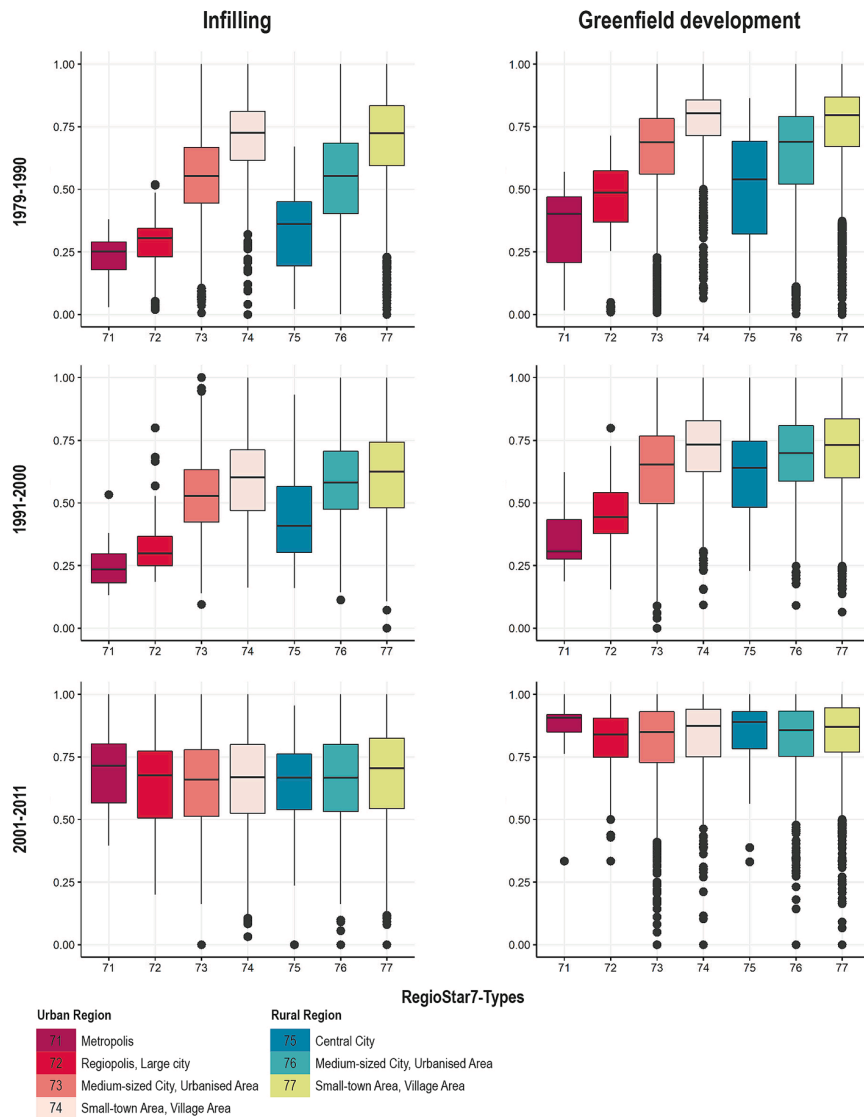


Fig. 4. Shares of housing units built in houses in total residential construction activity by infilling and greenfield development, RegioStar7 types and study period, the remaining shares are built as apartments blocks (own illustration).

is a positive finding, even if the goal of 3:1 enshrined in the German sustainability strategy was not achieved. Moreover, a clear distinction must be made between urban and rural regions. It seems that larger municipalities in urbanised regions found it easier to implement infill housing projects than rural municipalities. However, the trend in rural regions was also positive over time. Overall, results for the UK, the Netherlands and Belgium (Bibby et al., 2020; Claassens et al., 2020; Mustafa et al., 2018) can generally be confirmed for Germany (share of infilling and its change over time).

Though the factors responsible for the increasing number and the spatial patterns of housing units realised as infilling cannot be conclusively answered within the scope of this article, the findings allow initial explanations and assumptions (Research question 4): Regression results indicate that highly urbanised municipalities achieve higher shares of infilling. One reason could be that they have to use the remaining open spaces more sparingly. Moreover, infill housing projects on vacant plots, brownfield sites, etc. may occur more frequently and can thus be used more often for housing projects. Results show that more compact municipalities also achieve higher shares of infilling. An explanation for this might be that building activity can be concentrated in a few central

locations. In contrast, municipalities with multiple villages are more likely to realise many small housing projects in decentralised locations on the outskirts of their villages. Population development has a stimulating statistically non-significant influence on infilling. This non-significant result is likely the product of housing demand that promotes both the mobilisation of infill potential as well as greenfield development. Moreover, municipalities with declining populations may react to shrinkage by designating new building land to stimulate population and urban growth (Phelps and Wood, 2011). Prioritisation of infilling as a planning principle in the German planning law must be seen as an important driver for the increase in importance of this growth management policy at downstream administrative levels (Spannowsky, 2013). A recent study by Eichhorn et al. (2022a) revealed that infilling requirements and specifications were increasingly implemented in more recent regional plans around the 2000s, for example taking account of infill potential when approving new land use designations. In contrast to Mustafa et al. (2018), this could also have promoted infilling. However, a recent study also concludes that a statistically significant dampening influence of infilling on settlement development in Germany cannot be proven, due, among other things, to the manifold difficulties

**Table 4**  
Cross-sectional estimates.

Variable	Share of infilling											
	1991–2000						2001–2011					
	Entire Sample		High to very high deviations		Low to moderate deviations		Entire Sample		High to very high deviations		Low to moderate deviations	
	$\beta$	$\beta+$	$\beta$	$\beta+$	$\beta$	$\beta+$	$\beta$	$\beta+$	$\beta$	$\beta+$	$\beta$	$\beta+$
(Intercept)	47.07***		49.82***		46.66***		39.43 ***		44.68***		38.13	
	(1.00)				(1.18)		(1.75)		(2.33)		(1.46)	
Share of built-up area	1.07***	0.46	1.05***	0.41	1.10***	0.44	1.10 ***	0.44	1.07***	0.50	1.09***	0.41
	(0.04)				(0.06)		(0.04)		(0.07)		(0.06)	
Urban dispersion	-0.27***	-0.15	-0.44***	-0.01	-0.21***	-0.12	-0.12***	-0.06	-0.36***	-0.18	-0.02	-0.01
	(0.02)				(0.03)		(0.03)		(0.06)		(0.04)	
Population development	-0.07***	-0.04	-0.15***	0.00	-0.04	-0.02	-0.05	-0.02	-0.11.	0.04	0.01	0.00
	(0.02)				(0.03)		(0.03)		(0.06)		(0.05)	
Regulatory intensity	0.35***	0.19	0.29***	0.15	0.30***	0.19	0.30***	0.15	0.29***	0.10	0.27***	0.15
	(0.02)				(0.02)		(0.03)		(0.08)		(0.03)	
Observations	4167		1062		3070		4167		1062		3070	
Adjusted R-squared	0.4195		0.5764		0.3425		0.2949		0.4696		0.2203	
F-statistic	753.6 on 4 and 4162 DF		361.9 on 4 and 1057 DF		400.7 on 4 and 3065 DF		436.7 on 4 and 4162 DF		235.8 on 4 and 1057 DF		217.8 on 4 and 3065 DF	

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*\*’ 0.01 ‘\*\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘.’ 1, standard deviation in parentheses,  $\beta+$  = standardised.

experienced in mobilising infilling potential, thus limiting the effects of this growth management policy (Eichhorn et al., 2022b).

In the following, we discuss further explanations that are not derived directly from our findings: First of all, it is indisputable that, against the background of the sustainability debate in the early 1990s, awareness of the value of land as a resource has increased. It is likely that media attention to the issue generated awareness in politics and planning, indirectly leading to the more critical handling of residential development projects outside existing urban areas (Siedentop, 2015). At the same time, deindustrialisation in the 1970s and 1980s created enormous swathes of brownfield land in many German regions (MWIDE, 2017; RVR, 2021). In combination with progress in the remediation of contaminated sites, this may have created new land policy options that may have been increasingly taken up by municipalities in the form of infill projects.

The discussion on housing policy has repeatedly drawn attention to the lack of up-to-date information on infilling potential. As a result, especially in larger municipalities, extensive surveys and research projects have been initiated to identify infill potential. This information has helped achieve the more effective mobilisation of infill sites. In smaller municipalities, such information systems are rare (BBSR, 2022), at least partially explaining the observed urban–rural infilling divide.

Findings show that the share of infilling did not increase further after 2000. It can be assumed that the more easily implemented infilling projects have already been realised in many municipalities. The remaining potential is more difficult to mobilise due to planning law requirements or owners’ lack of willingness to develop or sell (Reiß-Schmidt, 2018). In particular, the complex ownership structures frequently encountered in infilling projects – in contrast to greenfield projects – can present planning obstacles. New potential for infilling is constantly being created by the withdrawal of buildings and new development areas, providing vacant lots in the future (Ehrhardt et al., 2023). However, it is likely that infilling, apart from large-scale conversions, will remain a small-scale and prolonged process. Moreover, many municipalities are facing a growing lack of staff to handle the complicated and lengthy planning and approval of infilling projects (Swatek, 2020). Finally, infilling increasingly encounters social limits when residents fear over-high densities, an increase in traffic volumes,

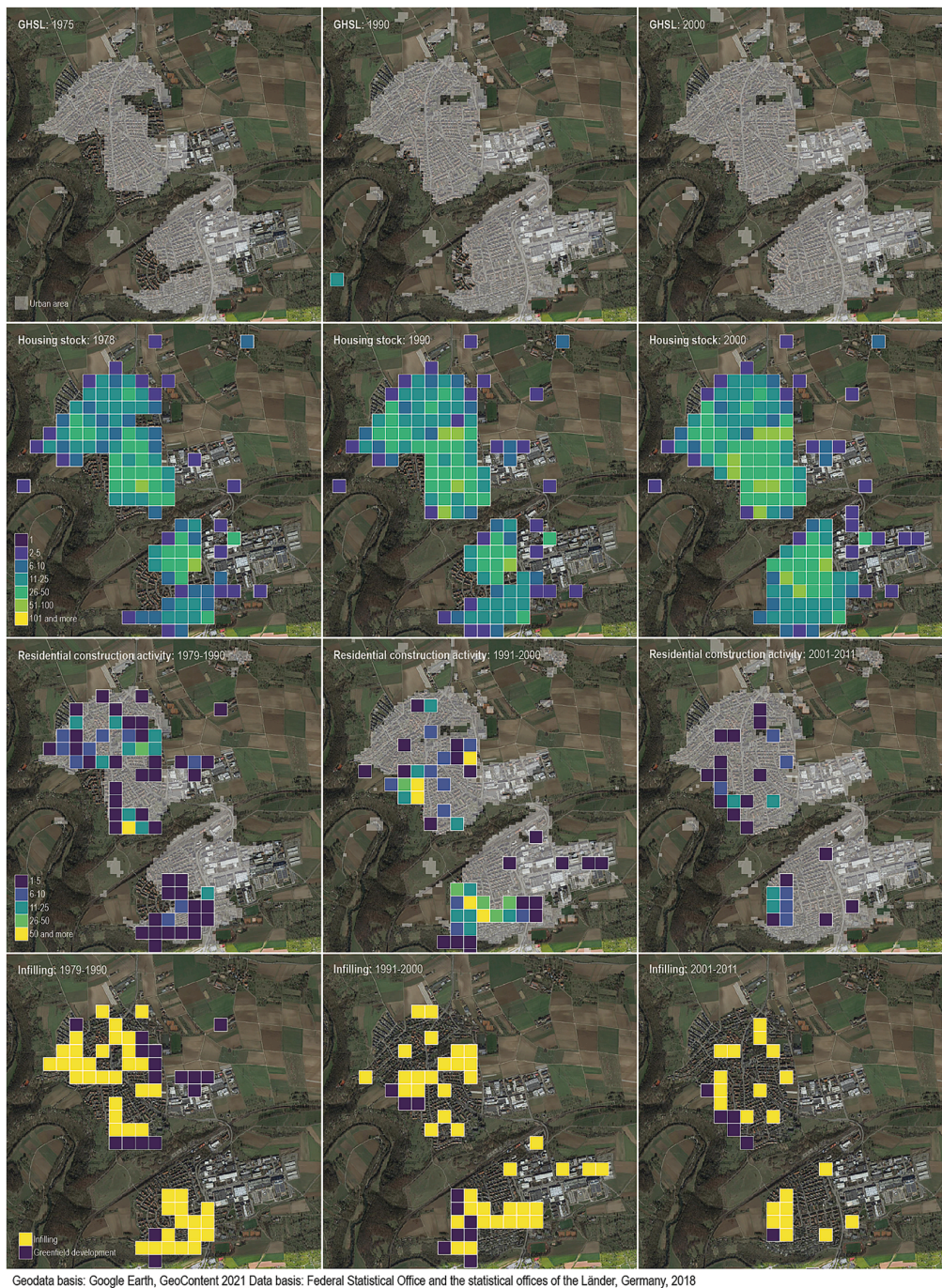
or the loss of green and open spaces or of a neighbourhood’s long-standing identity (Haaland and van den Bosch, 2015; Wicki and Kaufmann, 2021). This can lead to neighbourhood resistance and fundamental disputes over housing and urban development projects (BBSR, 2020).

The debate over conflicts between the guiding principles of the compact city and the need to adapt to climate change in existing urban areas may have intensified such controversies. For a long time, it was postulated that densification goals should be combined with climate adaptation measures (e.g., preservation, development and qualification of urban green space). Following this guiding principle, both aspects have to be considered as a unit, thereby excluding the full use of potential infill sites for (residential) construction (Eichhorn et al., 2021; Thorne et al., 2017). This might also have exerted a dampening influence on infilling dynamics. As climate change progresses, one can assume that corresponding inner-city land use conflicts will intensify in the future.

A particularly striking finding is the significantly lower residential construction activity and the low share of newly built housing units in apartment blocks between 2000 and 2011. Reasons for this are the relatively long period of economic weakness at the beginning of the 2000s and the financial market crisis in 2008, as well as the declining population, price corrections, cuts in state subsidies, and deteriorating return expectations (Akan and Solle, 2022; BBSR, 2012; Storm and Naastepad, 2015). Although the construction markets for both houses and apartment blocks have been affected by these developments, the former has generally proven to be more robust in terms of construction volume (BBSR, 2016; Dorffmeister, 2017).

## 7. Conclusion

The article shows how Census data and freely available remote sensing datasets can be used to comprehensively determine the share of infilling in residential construction activity over a period of more than 30 years. Despite the data- and planning law-related uncertainties indicated, the methodology can be considered robust overall and well-suited for evaluations at regional or national level. Although there is a positive trend in infilling, the findings do not show a clear increase since



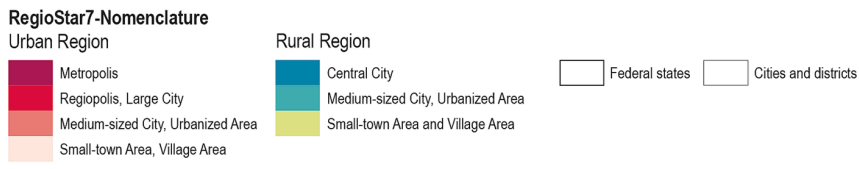
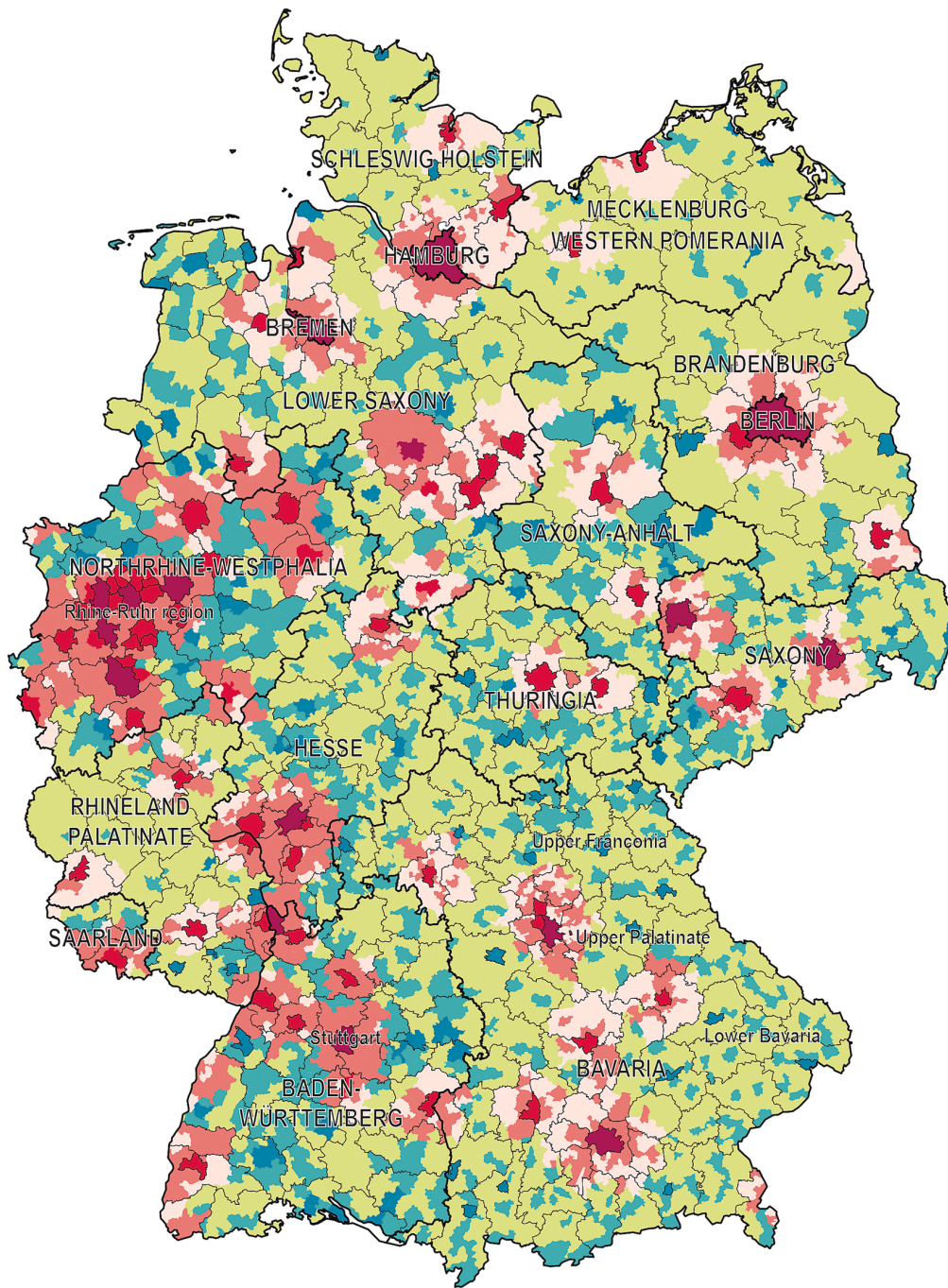
**Fig. A1.** Example of urban area delineation, housing stock and residential construction activity.

2000. At the same time, significant differences between urban and rural areas become apparent. According to our findings, this can be attributed on the one hand to the existing dispersed settlement structures and on the other hand to the dominance of low-density housing both within and outside built-up areas. However, it must be assumed that political and social circumstances have an equally strong influence on infilling.

Since the index of regulatory intensity has a statistically significant stimulating influence on infilling in our regression models, our findings suggest that – considering the uncertainties of the index – strict spatial planning can favour compact urban development. More attention should therefore be paid to (planning) approaches that can address housing

needs and building density regionally and mitigate local land-extensive special interests, especially those of smaller municipalities.

Through the use of small-scale official geodata (e. g. topographical data), the method could be further developed for more recent periods, making the results more precise. The upcoming 2022 German census will also provide an opportunity to extend the time series by a further decade, allowing the effects of recent political and planning efforts to promote infilling (e. g., the 2013 BauGB amendment) to be analysed. Since a ten-year interval between census surveys of building and housing stock is potentially too long to evaluate the effectiveness of infilling strategies, the annual provision of statistical data on construction

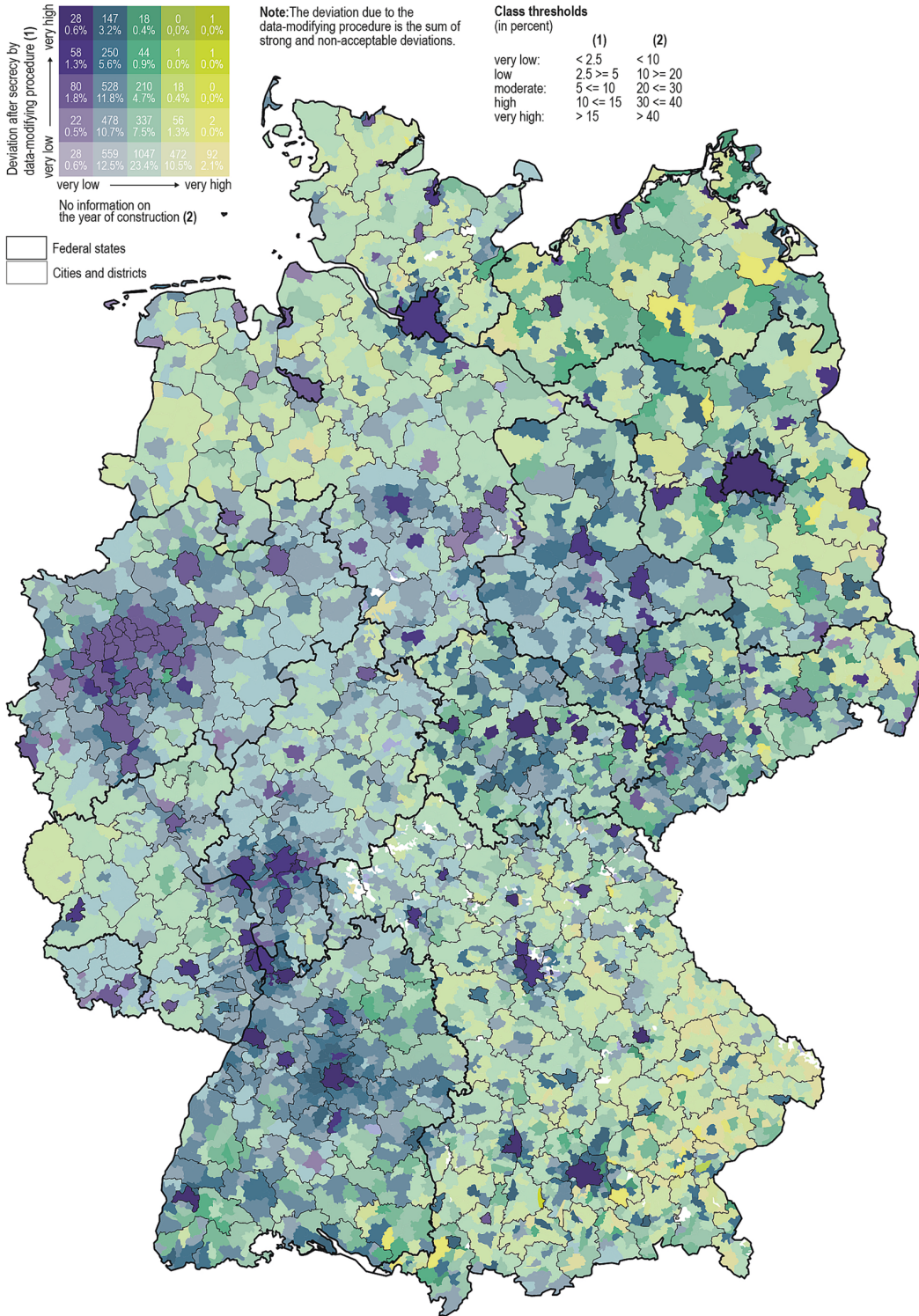


Geodata basis: GeoBasis-DE/BKG 2019 Data basis: Regional statistical spatial typology of the Federal Ministry for Digital and Transport, Germany, 2021

Fig. B1. RegioStar-7 types.

**Data quality**

Deviation from data-modifying procedure and housing units without a year of construction (in percent)



Geodata basis: GeoBasis-DE/BKG 2019 Data basis: Regional statistical spatial typology of the Federal Ministry for Digital and Transport, Germany, 2021

**Fig. C1.** Data quality of the 2011 census.

**Table A1**  
Change in data quality due to data-modifying procedure by study period and RegioStaR-7 types.

Study period	Data quality (Census category)	RegioStaR-7		Mean	Min	Max	Std. Dev.	
		Regions	Municipality type					
1979–1990	No or small deviation	Urban region	Metropolis	76,8%	67,8%	86,7%	6,2%	
			Regiopolis, Large City	77,7%	41,4%	92,6%	10,1%	
			Medium-sized City, Urbanised Area	88,0%	24,5%	100,0%	12,3%	
		Rural region	Small-town Area, Village Area	95,6%	25,9%	100,0%	9,6%	
			Central City	78,4%	39,8%	97,8%	14,5%	
			Medium-sized City, Urbanised Area	88,6%	22,5%	100,0%	14,3%	
	Strong deviation	Urban region	Small-town Area and Village Area	95,5%	9,9%	100,0%	9,9%	
			Metropolis	22,2%	13,0%	30,9%	5,9%	
			Regiopolis, Large City	21,5%	7,4%	58,6%	9,6%	
		Rural region	Medium-sized City, Urbanised Area	11,7%	0,0%	75,5%	11,9%	
			Small-town Area, Village Area	4,4%	0,0%	74,1%	9,5%	
			Central City	21,0%	2,2%	60,2%	14,0%	
	Non-acceptable deviation	Urban region	Medium-sized City, Urbanised Area	11,1%	0,0%	72,6%	14,0%	
			Small-town Area and Village Area	4,4%	0,0%	90,1%	9,7%	
			Metropolis	1,0%	0,0%	2,3%	0,7%	
		Rural region	Regiopolis, Large City	0,9%	0,0%	5,3%	1,3%	
			Medium-sized City, Urbanised Area	0,3%	0,0%	23,0%	1,4%	
			Small-town Area, Village Area	0,0%	0,0%	19,4%	0,8%	
	1991–2000	No or small deviation	Urban region	Central City	0,6%	0,0%	9,3%	1,6%
				Medium-sized City, Urbanised Area	0,2%	0,0%	16,1%	1,3%
				Small-town Area and Village Area	0,0%	0,0%	49,1%	1,3%
			Rural region	Metropolis	75,3%	60,8%	85,7%	7,8%
				Regiopolis, Large City	79,0%	60,6%	94,0%	8,0%
				Medium-sized City, Urbanised Area	85,9%	37,5%	100,0%	10,7%
Strong deviation		Urban region	Small-town Area, Village Area	95,3%	62,0%	100,0%	5,9%	
			Central City	84,7%	69,1%	97,7%	7,0%	
			Medium-sized City, Urbanised Area	91,4%	47,3%	100,0%	8,3%	
		Rural region	Small-town Area and Village Area	96,7%	48,4%	100,0%	5,4%	
			Metropolis	23,7%	14,3%	37,8%	6,9%	
			Regiopolis, Large City	20,3%	6,0%	38,1%	7,4%	
Non-acceptable deviation		Urban region	Medium-sized City, Urbanised Area	13,8%	0,0%	55,0%	10,1%	
			Small-town Area, Village Area	4,7%	0,0%	38,0%	5,9%	
			Central City	15,2%	2,3%	30,9%	6,9%	
		Rural region	Medium-sized City, Urbanised Area	8,5%	0,0%	52,7%	8,2%	
			Small-town Area and Village Area	3,3%	0,0%	51,6%	5,4%	
			Metropolis	1,0%	0,0%	3,9%	1,1%	
2001–2011		No or small deviation	Urban region	Regiopolis, Large City	0,6%	0,0%	5,1%	1,1%
				Medium-sized City, Urbanised Area	0,3%	0,0%	20,5%	1,6%
				Small-town Area, Village Area	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
			Rural region	Central City	0,1%	0,0%	4,0%	0,7%
				Medium-sized City, Urbanised Area	0,0%	0,0%	11,3%	0,5%
				Small-town Area and Village Area	0,0%	0,0%	3,9%	0,1%
	Strong deviation	Urban region	Metropolis	74,5%	53,8%	91,5%	11,7%	
			Regiopolis, Large City	81,8%	60,0%	93,3%	9,1%	
			Medium-sized City, Urbanised Area	90,8%	47,6%	100,0%	10,0%	
		Rural region	Small-town Area, Village Area	98,0%	71,7%	100,0%	4,0%	
			Central City	89,4%	69,4%	100,0%	7,1%	
			Medium-sized City, Urbanised Area	95,5%	42,6%	100,0%	7,0%	
	Non-acceptable deviation	Urban region	Small-town Area and Village Area	98,9%	50,0%	100,0%	4,1%	
			Metropolis	23,7%	8,5%	40,2%	10,3%	
			Regiopolis, Large City	17,6%	6,7%	36,7%	8,4%	
		Rural region	Medium-sized City, Urbanised Area	9,1%	0,0%	52,4%	9,8%	
			Small-town Area, Village Area	2,0%	0,0%	28,3%	4,0%	
			Central City	10,4%	0,0%	29,4%	6,8%	
	Non-acceptable deviation	Urban region	Medium-sized City, Urbanised Area	4,5%	0,0%	57,4%	6,9%	
			Small-town Area and Village Area	1,1%	0,0%	50,0%	4,1%	
			Metropolis	1,7%	0,0%	6,0%	1,7%	
		Rural region	Regiopolis, Large City	0,5%	0,0%	6,8%	1,3%	
			Medium-sized City, Urbanised Area	0,2%	0,0%	13,4%	1,1%	
			Small-town Area, Village Area	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
Non-acceptable deviation	Rural region	Central City	0,2%	0,0%	9,5%	1,2%		
		Medium-sized City, Urbanised Area	0,0%	0,0%	6,4%	0,3%		
		Small-town Area and Village Area	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%		

activity at a sub-municipal level should also be considered.

Finally, we recommend including the share of infilling in the system of sustainability indicators. However, this requires agreement on methodological measurement standards. Three complementary indicators – urban land use change per day, change in urban density and the share of infilling – would then be available to map the sustainability-relevant characteristics of settlement and land development.

#### Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

**Table B1**

Descriptive statistics on housing units without information on the year of construction by RegioStaR-7 types.

RegioStaR-7		Mean	Min	Max	Std. Dev.
Regions	Municipality type				
Urban region	Metropolis	5,5%	4,9%	6,9%	0,06%
	Regiopolis, Large City	7,7%	5,3%	11,3%	1,4%
	Medium-sized City, Urbanised Area	15,5%	6,8%	33,8%	4,2%
Rural region	Small-town Area, Village Area	24,1%	10,4%	44,8%	5,6%
	Central City	10,6%	6,8%	19,8%	2,3%
	Medium-sized City, Urbanised Area	17,6%	6,4%	40,8%	4,7%
	Small-town Area and Village Area	26,2%	10,2%	60,3%	7,1%

## Data availability

Data will be made available on request.

## Appendix A

[Fig. A1](#)

[Fig. B1](#)

[Fig. C1](#)

[Table A1](#)

[Table B1](#)

## References

- Abedini, A., & Khalili, A. (2019). Determining the capacity infill development in growing metropolises: A case study of Urmia city. *Journal of Urban Management*, 8(2), 316–327.
- Adhvarny, B., & Rathod, V. (2019). Estimating housing infill potential: Developing a case for Floorspace pooling in Ahmedabad, India. *Planning Practice & Research*, 34(3), 305–317.
- Akan, T., & Solle, T. (2022). Do macroeconomic and financial governance matter? Evidence from Germany, 1950–2019. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 17(4), 993–1045.
- Ammann, I., Brack, N., Claßen, G., et al. (2021). Wohnungs- und Immobilienmärkte in Deutschland 2020.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93–115.
- ARE - Bundesamt für Raumentwicklung (ed) (2008) Bauzonen Schweiz: Wie viele Bauzonen braucht die Schweiz? (2008). Schlussbericht.
- Balikçi, S., Giezen, M., & Arundel, R. (2022). The paradox of planning the compact and green city: Analyzing land-use change in Amsterdam and Brussels. *Journal of Environmental Planning and Management*, 65(13), 2387–2411.
- BBR - Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (ed) (1999) Baulandumfrage 1997/98 (1999).
- BBSR - German Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs and Spatial Development (ed) (2012) Housing and property markets in Germany 2011 at a glance: Summary (2012).
- BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ed) (2016) Aktuelle Trends der Wohnungsbautätigkeit in Deutschland: Wer baut wo welche Wohnungen? (2016).
- BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ed) (2020) Aktivierung von Innenentwicklungspotenzialen in wachsenden Kommunen: Erhebung und Erprobung von Bausteinen eines aktiven Managements (2020).
- BBSR - Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (ed) (2022) Bauland- und Innenentwicklungspotenziale in deutschen Städten und Gemeinden (2022).
- Berghauser Pont, M., Haupt, P., Berg, P., et al. (2021). Systematic review and comparison of densification effects and planning motivations. *Buildings and Cities*, 2(1), 378.
- Bibby, P., Henneberry, J., & Halleux, J.-M. (2020). Under the radar? 'Soft' residential densification in England, 2001–2011. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(1), 102–118.
- BMI - Bundesministerium des Innern (ed) (1985) Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung (1985).
- Broitman, D., & Koomen, E. (2015). Residential density change: Densification and urban expansion. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 32–46.
- Broitman, D., & Koomen, E. (2020). The attraction of urban cores: Densification in Dutch city centres: Densification in Dutch city centres. *Urban Studies*, 57(9), 1920–1939.
- Chakraborty, S., Maity, I., Dadashpoor, H., et al. (2022). Building in or out? Examining urban expansion patterns and land use efficiency across the global sample of 466 cities with million+ inhabitants. *Habitat International*, 120, Article 102503.
- Charmes, E., & Keil, R. (2015). The politics of post-suburban densification in Canada and France. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(3), 581–602.
- Classens, J., Koomen, E., & Rouwendal, J. (2020). Urban density and spatial planning: The unforeseen impacts of Dutch devolution. *PLoS One*, 15(10), e0240738.
- Colsaet, A., Laurans, Y., & Levrel, H. (2018). What drives land take and urban land expansion? A systematic review. *Land Use Policy*, 79, 339–349.
- Communities and Local Government (ed) (2011) Planning Policy Statement 3 (PPS3): Housing (2011).
- Corbane, C., Pesaresi, M., Kemper, T., et al. (2019). Automated global delineation of human settlements from 40 years of Landsat satellite data archives. *Big Earth Data*, 3(2), 140–169.
- Daniels, T. (2001). Smart growth: A new American approach to regional planning. *Planning Practice & Research*, 16(3–4), 271–279.
- Destatis - Statistisches Bundesamt (2022) Flächennutzung: Flächenindikator "Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche". Available at: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/anstieg-suv2.html> (accessed 22 March 2022).
- Deutscher Bundestag (ed) (1971) Umweltprogramm der Bundesregierung (1971).
- Deutscher Bundestag (ed) (1985) Programmatische Schwerpunkte der Raumordnung (1985).
- Deutscher Bundestag (ed) (1988) Maßnahmen zum Bodenschutz (1988).
- Die Bundesregierung (2016) Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Neuaufgabe 2016.
- Die Bundesregierung (2021) Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie - Weiterentwicklung 2021.
- Dorffmeister, L. (2017). Construction of 1+2 family homes in Germany: Is the golden age over? *CESifo Forum*, 18(04), 37–42.
- Dunning, R., Hickman, H., & While, A. (2020). Planning control and the politics of soft densification. *Town Planning Review*, 91(3), 305–324.
- EC - European Commission (ed) (2006). Soil Thematic Strategy (2006).
- EC - European Commission (ed) (2011). Roadmap to a Resource Efficient Europe (2011).
- EEA - European Environment Agency (2023) Land recycling and densification. Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/land-recycling-and-densification> (accessed 31 May 2023).
- Ehrhardt, D., Behnisch, M., Jehling, M., et al. (2023). Mapping soft densification: a geospatial approach for identifying residential infill potentials. 2632-6655 4(1).
- Eichhorn, S., Diller, C., & Pehlke, D. (2022a) Die Entwicklung der Regulierungsintensität der deutschen Regionalpläne von 1985 bis 2017. Ein empirischer Beitrag zur Diskussion um den Bedeutungsverlust der Raumordnung. *Raumforschung und Raumordnung*. DOI: 10.14512/rur.941.
- Eichhorn, S., Diller, C., & Pehlke, D. (2022b). Wirkungen der Regionalplanung bei der Steuerung der Siedlungsentwicklung. In *Stadtregionales Flächenmanagement* (pp. 1–30). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Eichhorn, S., Rusche, K., & Weith, T. (2021). Integrative governance processes towards sustainable spatial development – solving conflicts between urban infill development and climate change adaptation. *Journal of Environmental Planning and Management*, 64(12), 2233–2256.
- Eichhorn, S., & Siedentop, S. (2022). Innen vor Außen? Eine Schätzung der Innenentwicklung in nordrhein-westfälischen Gemeinden, 1979 bis 2011. *Raumforschung und Raumordnung*. <https://doi.org/10.14512/rur.178>
- Elgendy, H., Michels, S., Bodmer, S. (2012) Monitoring und Bewertung von Siedlungsflächenpotenzialen in Rheinland-Pfalz: das Projekt Raum+. In: Meinel G (ed) *Flächennutzungsmonitoring*: Berlin: Rhombos-Verl., pp. 11–19.
- Ewing, R., & Cervero, R. (2017). "Does compact development make people drive less?" The answer is yes. *Journal of the American Planning Association*, 83(1), 19–25.
- Ewing, R., Lyons, T., Siddiq, F., et al. (2022). Growth management effectiveness: A literature review. *Journal of Planning Literature*, 37(3), 433–451.
- Farris, J. T. (2001). The barriers to using urban infill development to achieve smart growth. *Housing Policy Debate*, 12(1), 1–30.
- Gerten, C., Fina, S., & Rusche, K. (2019). The sprawling planet: Simplifying the measurement of global urbanization trends. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 140.
- Götze, V., & Jehling, M. (2022). Comparing types and patterns: A context-oriented approach to densification in Switzerland and the Netherlands. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 239980832211421.
- Haaland, C., & van den Bosch, C. K. (2015). Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 760–771.
- Hagerty, R. (2012) Building Up while Building Out: Residential Infill and Smart Growth Development in Metro Atlanta.
- Harig, O., Hecht, R., Burghardt, D., et al. (2021). Automatic delineation of urban growth boundaries based on topographic data using Germany as a case study. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(5), 353.
- Hortas-Rico, M., & Solé-Ollé, A. (2010). Does urban sprawl increase the costs of providing local public services? Evidence from Spanish municipalities. *Urban Studies*, 47(7), 1513–1540.
- Iwer, N. (2015). GIS-gestütztes Siedlungsflächenmonitoring an der Schnittstelle von Regional- und Bauleitplanung. Dissertation, TU Dortmund. Dortmund.
- Jehling, M., Hecht, R., & Herold, H. (2018). Assessing urban containment policies within a suburban context—An approach to enable a regional perspective. *Land Use Policy*, 77, 846–858.
- Knill, C., Schulze, K., & Tosun, J. (2010). Politikwandel und seine Messung in der vergleichenden Staatstätigkeitsforschung: Konzeptionelle Probleme und mögliche Alternativen. *Politische Vierteljahresschrift*, 51(3), 409–432.
- Krautzberger, M., & Stüer, B. (2013). BauGB-Novelle 2013: Gesetz zur Stärkung der Innenentwicklung in den Städten und Gemeinden und weiteren Fortentwicklung des Städtebaurechts. *DVBL - Das Deutsche Verwaltungsblatt*, 128(13/2013), 805–872.

- Landis, J. D. (2006). Growth management revisited: Efficacy, price effects, and displacement. *Journal of the American Planning Association*, 72(4), 411–430.
- Lewis, P. G., & Marantz, N. J. (2019). What planners know. *Journal of the American Planning Association*, 85(4), 445–462.
- Li, C., Li, J., & Wu, J. (2013). Quantifying the speed, growth modes, and landscape pattern changes of urbanization: A hierarchical patch dynamics approach. *Landscape Ecology*, 28(10), 1875–1888.
- Listokin D, Walker CC, Ewing R, et al. (2006) Infill Development Standards and Policy Guide.
- Meinel G, Hecht R, Herold H, et al. (2011) Raumstrukturelle Ausgangssituation und Veränderungen der Flächennutzung. In: Bizer K, Einig K, Köck W and Siedentop S (eds) Raumordnungsinstrumente zur Flächenverbrauchsreduktion: Handelbare Flächenausweisungsrechte in der räumlichen Planung. Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, pp. 19–49.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (2020) Begrenzing Bebouwd Gebied 2000 (Urban Contours in the Netherlands in 2000). Available at: <https://dataverse.nl/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.34894/PFK00B> (accessed 25 May 2023).
- Mustafa, A., van Rompaey, A., Cools, M., et al. (2018). Addressing the determinants of built-up expansion and densification processes at the regional scale. *Urban Studies*, 55(15), 3279–3298.
- MWIDE - Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (ed) (2017) Siedlungsflächenmonitoring Nordrhein-Westfalen: Ergebnisbericht Erhebung der Siedlungsflächenreserven 2017 (2017).
- Novotný, J., Chakraborty, S., & Maity, I. (2022). Urban expansion of the 43 worlds' largest megacities: A search for unified macro-patterns. *Habitat International*, 129, Article 102676.
- ÖROK - Österreichische Raumordnungskonferenz (ed) (2021) Österreichisches Raumentwicklungskonzept ÖREK 2030: Raum für Wandel (2021).
- Phelps, N. A., & Wood, A. M. (2011). The New Post-suburban Politics? *Urban Studies*, 48(12), 2591–2610.
- Reiß-Schmidt S (2018) Innenentwicklung. In: Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung: Hannover: ARL; Hannover: ARL - Akademie für Raumforschung und Landesplanung, pp. 995–1000.
- RVR - Regionalverband Ruhr (ed) (2021) SFM Ruhr 2020: Siedlungsflächenmonitoring Ruhr (2021).
- Sandler, A. M., & Rashford, B. S. (2018). Misclassification error in satellite imagery data: Implications for empirical land-use models. *Land Use Policy*, 75, 530–537.
- Schiller, G., Blum, A., Hecht, R., et al. (2021). Urban infill development potential in Germany: Comparing survey and GIS data. *Buildings and Cities*, 2(1), 36–54.
- Schweizerischer Bundesrat, Konferenz der Kantonsregierungen, Schweizerische Bau-, Planungs- und Umweltdirektoren-Konferenz, et al. (eds) (2012) Raumkonzept Schweiz (2012).
- Siedentop S (2008) 2.1 Siedlungspolitische Kontext des 30-Hektar-Ziels. In: Köck W, Bizer K, Hansjürgens B, Einig K and Siedentop S (eds) Handelbare Flächenausweisungsrechte: Nomos, pp. 21–35.
- Siedentop, S. (2015). Ursachen, Ausprägungen und Wirkungen der globalen Urbanisierung – ein Überblick. In *Globale Urbanisierung* (pp. 11–21). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Siedentop, S., Schmidt, S., & Dunlop, A. (2022). Managing urban growth – An overview of the literature. *Raumforschung und Raumordnung*, 80(6), 659–677.
- Simkin RD, Seto KC, McDonald RI, et al. (2022) Biodiversity impacts and conservation implications of urban land expansion projected to 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 119(12): e2117297119.
- Smas, L., & Schmitt, P. (2021). Positioning regional planning across Europe. *Regional Studies*, 55(5), 778–790.
- Spannowsky, W. (2013). Stärkung der Innenentwicklung und Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. *UPR - Umwelt- und Planungsrecht*, 33(6), 201–2017.
- Steinacker, A. (2003). Infill development and affordable housing. *Urban Affairs Review*, 38(4), 492–509.
- Storm, S., & Naastepad, C. (2015). Crisis and recovery in the German economy: The real lessons. *Structural Change and Economic Dynamics*, 32, 11–24.
- Swatek C (2020) Finanzielle Anreize für mehr Innenentwicklung. In: Stadterneuerung in Klein- und Mittelstädten: Springer VS, Wiesbaden, pp. 283–302.
- Thorne, J. H., Santos, M. J., Bjorkman, J., et al. (2017). Does infill outperform climate-adaptive growth policies in meeting sustainable urbanization goals? A scenario-based study in California, USA. *Landscape and Urban Planning*, 157, 483–492.
- Wicki, M., & Kaufmann, D. (2021). How does Acceptance of Densification Differ among Neighborhood Types? ETH Zurich, Spatial Development and Urban Policy (SPUR).



# Anhang

## A1 Formalia

Die vorliegende Dissertation ist kumulativ, d. h., sie basiert auf der empirischen Grundlage von drei veröffentlichten Zeitschriftenartikeln. Alle Zeitschriftenaufsätze erfüllen die Anforderungen gemäß § 10 der Promotionsordnung der Fakultät Raumplanung der Technischen Universität Dortmund in der Neubekanntmachung vom 25. Juni 2018:

1. Alle Zeitschriftenaufsätze enthalten einen Umfang des Anteils des Doktoranden von je mindestens 30.000 Zeichen.
2. Alle Zeitschriftenbeiträge sind veröffentlicht.
3. Alle Zeitschriftenaufsätze stehen in einem engen thematischen Zusammenhang.
4. Der Doktorand ist bei allen Zeitschriftenaufsätzen Erstautor.
5. Es bestehen keine wesentlichen inhaltlichen Überschneidungen zwischen den Zeitschriftenaufsätzen.

Die einzelnen Beiträge dieser kumulativen Dissertation sind:

1. **Eichhorn, S.**, Ehrhardt, D., und Jehling, M. (2024b). From policies to outcomes: multi-level analysis of the influence of regional planning on land take. *European Planning Studies*, 0(0):1-21
2. **Eichhorn, S.**, Gerten, C., und Diller, C. (2021a). Bewertung und Klassifizierung von Bahnhaltepunkten in Nordrhein-Westfalen. Ein methodischer Ansatz zur Operationalisierung von "Transit-Oriented Development". *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 79(1):21-38
3. **Eichhorn, S.** (2023). Infilling in Germany. Estimating the extent of infilling in German municipalities between 1979 and 2011. *Landscape and Urban Planning*, 240:104895

Eine Übersicht über den Umfang der einzelnen Artikel ist in Tabelle A.1 dargestellt. Die Tabelle zeigt die gerundete Anzahl an Wörtern pro Kapitel.

Tabelle A.1: Umfang der Dissertationsartikel

Kapitel	Artikel 1	Artikel 2	Artikel 3
Einleitung	9.500	4.300	5.400
Stand der Forschung und Hintergrund	4.000	15.200	10.600
Untersuchungsdesign	16.000	16.500	13.000
Ergebnisse	2.800	5.600	7.000
Diskussion	9.300	6.900	8.100
Fazit	3.100	2.800	2.500
Summe	<b>44.700</b>	<b>51.300</b>	<b>46.600</b>

*Hinweis:* Für eine bessere Lesbarkeit wurden die Kapitel der Artikel vereinheitlicht und zum Teil zusammengefasst. Die Werte in der Tabelle beziehen sich auf die Anzahl der Wörter (gerundet) in den jeweiligen Kapiteln der Artikel.

## A2 Weitere Artikel mit Bezug zum Thema der Dissertation

### A2.1 Peer-Review

1. **Eichhorn, S.**, Harig O., Hecht, R. & Siedentop, S. (forthcoming). Assessing the suitability of settlement delineation for monitoring infilling: A web- and GIS-based expert evaluation approach. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*.

*21<sup>st</sup> century urbanisation features not only the growth of city populations but also the emergence of densification (infilling) as significant trends in urban development. While urban sprawl has long been acknowledged for its adverse effects, understanding densification remains challenging due to inadequate empirical and statistical frameworks. This study investigates the suitability of different geospatial datasets and methods for delineating settlement areas and assessing infill housing, an aspect crucial for urban planning and development. Quantitative and qualitative analyses reveal notable variations in the classification of settlement areas and infilling across datasets. Quantitatively, the study shows distinct differences in the delineation of settlement areas, with the share of infilling varying significantly. Qualitatively, expert assessments highlight the strengths and weaknesses of datasets regarding their accuracy and consistency, revealing that the method to delineate settlement areas significantly impacts the balance between infilling and greenfield development. The study underscores the need for a nuanced approach to conceptualising densification measurement, particularly in defining urban boundaries.*

2. **Eichhorn, S.** (2024). Infilling in German cities. Analysing the extent and spatial distribution of infilling and its effects on housing density between 1991 and 2011. *ERDKUNDE*, 78(2), 129-144. Available from: <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2024.02.03>

*Infilling is considered one of the most important planning principles worldwide to reduce urban growth and urban sprawl. This also applies to Germany. However, due to a lack of nationwide small-scale data, there are hardly any empirical findings on how infilling has taken place in German cities. Using a newly developed GIS-based algorithm and small-scale data on residential construction activity (100x100m grid cells) and built-up areas, we analyse how residential*

*development has evolved in 30 German case studies over a study period from 1991 to 2011. Within concentric 1km rings, our analysis differentiates residential construction activity by infilling, building types, land cover and housing density. Using cluster analysis, we further group the case studies into more homogeneous groups. The findings show that infilling has been pursued and implemented by most of the case studies since the 1990s. However, it becomes clear that there are large differences in the extent of infilling and that it does not necessarily lead to an increase in housing density. The findings show - in addition to national regulations and guidelines as well as population development - that it is primarily the structural framework conditions, the specific commitment of the municipalities as well as local and regional challenges that determine the type of residential construction activity.*

3. **Eichhorn, S.,** Ehrhardt, D., Münter, A., Behnisch, M., & Jehling, M. (2024). Understanding land take for low-density residential areas: an institutionalist perspective on local planning authorities, developers and households. *Land Use Policy*, 143, 1-11. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107198>

*Using a case study design, the study focuses on identifying the institutional configuration that determines land take by low-density residential areas. Methodologically, it combines geospatial approaches and new institutionalism to capture and understand residential development, taking into account the interests, constraints and agency of local planning authorities, developers and households. The geospatial analysis shows that land take in the case study regions is primarily the result of low-density residential areas. We find that the combination of rural housing ideals, municipal policy objectives, municipalities' disengagement from spatial development and private sector interests are the main drivers for this kind of residential development. As the interests and constraints apply to all case study regions, the identified institutional configuration has high power in explaining low-density residential development. Our study thus uncovers a close link between the interests and constraints of actors, which on the one hand explains the limited impact of existing and new planning instruments on reducing land take, and on the other hand fosters path dependency in the development of low-density residential areas. Although there is some potential for change, breaking path dependency requires significant behavioural change among local planning authorities, developers and households.*

4. **Eichhorn, S.,** Adam, B., Schürholt, K., Jansen, H., Kötter, T., Terfrüchte, T., et al. (2024). No net land take policy in practice: Applications and potentials of planning instruments in municipalities. Results of an online survey in North Rhine-Westphalia. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 82(1), 68-84. Available from: <https://doi.org/10.14512/rur.1722>

*In line with the European Commission's target, land take in Germany has to be reduced to net zero by 2050. This not only presupposes greater inner urban development and more efficient development outside existing settlements, but also puts a greater planning and political focus on renaturation. The aim of this paper is to investigate the implementation of no net land take policy using the example of the highly dense and urbanised federal state of North Rhine-Westphalia in Germany. Based on an online survey, the current and potential use of (planning) instruments to implement this policy in all 396 municipalities in North Rhine-Westphalia was investigated. The findings suggest that the municipalities are not yet in a position to consistently implement no net land take. Particularly in the field of renaturation, this is often due to a lack of experience and*

*uncertainties in the use of the existing (planning) instruments, but also to lacking awareness of the problem and a lack of political and social acceptance for higher housing densities. Since the necessary instruments are defined in current legislation and the concepts for implementation are generally known, it is important to support municipalities in using the available instruments and concepts even without direct pressure to act.*

5. Ehrhardt, D., **Eichhorn, S.**, Behnisch, M., Jehling, M., Münter, A., Schünemann, C., et al. (2022). Stadtreregionen im Spannungsfeld zwischen Wohnungsfrage und Flächensparen. Trends, Strategien und Lösungsansätze in Kernstädten und ihrem Umland. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 80(5), 522-541. Available from: <https://doi.org/10.14512/rur.216>

*Wachsende Stadtreregionen befinden sich in einem Spannungsfeld zwischen hohen Boden- und Wohnungspreisen und nationalen Flächensparzielen. Die Mobilisierung von Bauland zur Schaffung von Wohnraum und die Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme stellen einen Zielkonflikt dar, der nur durch einen integrierten Blick auf die Instrumente zur Adressierung beider Herausforderungen aufgelöst werden kann. Um dieses Spannungsfeld analytisch zu betrachten, werden mithilfe eines regionalen Wirkungsmodells die komplexen Wechselwirkungen zwischen Wohnungsmärkten und der Flächenneuanspruchnahme für Wohnen in Kernstädten und ihrem Umland abgebildet und als theoretischer Rahmen genutzt. Trends der Siedlungsentwicklung sowie kommunale Lösungsstrategien in deutschen Stadtreregionen werden mit einem Mixed-Methods-Ansatz untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine steigende Flächeneffizienz in Kernstädten und dem gut erreichbaren und verdichteten Umland bei gleichzeitig hohen, preisbedingten Wanderungsgewinnen im weniger verdichteten Umland, wo nach wie vor Einfamilienhausbautätigkeit dominiert. Es wird deutlich, dass die Flächenfrage im Umland nicht unabhängig von der Wohnungsfrage in den Kernstädten betrachtet werden kann. Nur wenn in den Kernstädten bezahlbarer und qualitätsvoller Wohnraum insbesondere für Familien geschaffen wird, kann die regionale Flächenneuanspruchnahme minimiert werden. Hierfür ist insgesamt ein konsequenterer Einsatz bestehender boden- und flächenpolitischer Instrumente in Kombination mit einem regionalen Commitment zu höheren Dichten vor allem im Umland notwendig.*

6. **Eichhorn, S.**, & Pehlke, D. (2022). Unintended effects of regional planning in Germany. *Growth and Change*, 53, 933–950. <https://doi.org/10.1111/grow.12615>

*Regional planning plays a central role in Germany's multi-level system for managing regional and local land use, giving concrete shape to state planning specifications and providing municipalities with binding guidelines for urban land use planning. While planning proponents affirm the positive effects of regional planning such as reduced land consumption and less urban sprawl, representatives of neoclassical urban economic theory see regulation as the reason for lower economic growth. With the help of fixed effects panel models, we examine the impact of regional planning regulations on the housing market, migration and prices in Germany's growing labor market regions. We conclude that regional planning regulations reduce construction activity. However, this effect is relatively small and does not raise building land prices and rents. Nevertheless, results indicate that the lower level of construction activity—due to strict regional planning regulations—contributes to weaker overall population growth. Based on our results, we cannot confirm important predictions of neoclassical urban theory regarding the effects of regional planning regulations on labor migration patterns and downstream processes for Germany.*

7. **Eichhorn, S., & Siedentop, S.** (2022). Innen vor Außen? Eine Schätzung der Innenentwicklung in nordrhein-westfälischen Gemeinden, 1979 bis 2011. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 80(6), 640-658. Available from: <https://doi.org/10.14512/rur.178>

*Die Stärkung der Innenentwicklung ist ein zentrales Leitbild der deutschen Nachhaltigkeitspolitik und der Schlüssel zur Erreichung des 30-Hektar Ziels. Bis heute ist es allerdings kaum möglich, den Anteil der als Innen- und Außenentwicklung realisierten Bautätigkeit retrospektiv zu bestimmen. Dies liegt zum einen an der genuinen Unschärfe des Innenbereichs als raumbezogenes Konstrukt, zum anderen an der mangelnden Verfügbarkeit von kleinräumigen Daten zur Bautätigkeit. Vor diesem Hintergrund wird in diesem Beitrag erstmals ein methodischer Ansatz vorgestellt, mit dem die Relevanz der Innenentwicklung für große Gebietskulissen über längere Zeiträume für Deutschland ermittelt und bewertet werden kann. Die Methode wird für das Bundesland Nordrhein-Westfalen und die Wohnungsbautätigkeit der Jahre 1979 bis 2011 angewendet. Im Ergebnis zeigt sich ein positiver Trend, wonach es den Städten und Gemeinden im Zeitverlauf gelungen ist, den Wohnungsbau verstärkt als Innenentwicklung zu realisieren. Zugleich werden gravierende Unterschiede zwischen urbanen und ländlichen Räumen deutlich. Eine zentrale Schlussfolgerung lautet daher, vor allem kleinere Gemeinden in ihren Bemühungen für eine stärker bestandsorientierte Siedlungsentwicklung zu unterstützen.*

8. **Eichhorn, S., Gerten, C., Weiß, M. & Münter, A.** (2022). Städtebauliche Entwicklungsdynamiken an Fernverkehrsbahnhöfen in Deutschland. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 81(3), 254-270. Available from: <https://doi.org/10.14512/rur.229>

*Verändert sich die Erreichbarkeit einer Stadt, beispielsweise da sie erstmalig an das Schienenfernverkehrsnetz angeschlossen wird, hat dies nicht nur Auswirkungen auf die Verkehrsnachfrage, sondern kann auch katalytische Effekte auf die Stadtentwicklung haben. Die in diesem Beitrag vorgestellte Studie untersucht mittels eines Mixed-Methods-Ansatzes, ob von Fernverkehrsbahnhöfen in Deutschland zwischen 2004/2005 und 2016/2017 über deren Erreichbarkeitsniveau und -dynamik solche Impulse für die städtebauliche Entwicklung in den jeweiligen Einzugsbereichen der Bahnhöfe ausgehen. Die Ergebnisse zeigen, dass vielfach keine direkten Impulse der Erreichbarkeit auf die Stadtentwicklung entstehen und deuten darauf hin, dass andere Faktoren wie der Bevölkerungs- und Wohnungsdruck oder das Vorhandensein von innerstädtischen (ungenutzten) Entwicklungsflächen für die städtebauliche Entwicklungsdynamik bedeutend sind. Zudem unterliegen Erreichbarkeitsveränderungen oftmals betriebswirtschaftlichen Überlegungen, die in der Regel losgelöst von lokalen politischen und planerischen Zielen und Interessen getroffen werden.*

9. **Pehlke, D., Diller, C., & Eichhorn, S.** (2021). Beeinflusst die Trägerschaft der Regionalplanung die Inhalte der Regionalpläne und die regionale Siedlungsentwicklung? Theoretische Überlegungen und eine empirische Analyse für Deutschland. *Raumforschung und Raumordnung | Spatial Research and Planning*, 79(5), 484-500. Available from: <https://doi.org/10.14512/rur.74>

*In diesem Beitrag geht es um die Frage, ob das Trägerschaftsmodell der Regionalplanung einen Einfluss einerseits auf die Regulierungsintensität der Regionalpläne, andererseits auf die regionale Siedlungsentwicklung hat. Dazu werden sieben Hypothesen formuliert. Auf der Grundlage einer bundesweit flächendeckenden Auswertung der Regionalpläne und Daten zur Siedlungsflächenentwicklung werden diese Hypothesen überprüft. Die vermuteten eindeutigen Zusammenhänge zwischen dem Zentralisierungsgrad der Trägerschaft und der Regulierungsintensität lassen sich nicht*

bestätigen. Für die weitere Forschung kann jedoch als Schlusshypothese festgehalten werden, dass die Wirkung der Regulierungsintensität auf die Flächeninanspruchnahme zwischen unterschiedlichen Trägerschaftsmodellen variiert. Für die Wirksamkeit des formellen raumordnerischen Instrumentariums sind insbesondere Umsetzungskompetenzen des Trägers entscheidend.

## A2.2 Ohne Peer-Review

1. **Eichhorn, S., & Siedentop, S. (2022).** Innenentwicklung in Deutschland - ein Klassifizierungsansatz. In: *Flächennutzungsmonitoring XIV: Beiträge zu Flächenmanagement, Daten, Methoden und Analysen* (S. 139-148). Berlin: Rhombos-Verlag. <https://doi.org/10.26084/14dfns-p015>

*Zur Erreichung des 30-Hektar Ziels der Bundesregierung wird der Innenentwicklung als planerisches Leitbild eine zentrale Rolle beigemessen. Über den Umfang der als Innenentwicklung realisierten Bautätigkeit liegen jedoch kaum valide empirische Ergebnisse vor. Dies liegt zum einen an der genuinen Unschärfe des Innenbereichs als raumbezogenes Konstrukt, zum anderen an der mangelnden Verfügbarkeit von kleinräumigen Daten zur Bautätigkeit. In diesem Beitrag wird ein methodischer Ansatz vorgestellt, mit dem – auf Basis der offenen Daten des Global Human Settlement-Layers (GHSL) und des Zensus 2011 – erstmals die Relevanz der Innenentwicklung für große Gebietskulissen über längere Zeiträume ermittelt und bewertet werden kann. Die Methode wird auf die 9 438 010 zwischen 1979 bis 2011 in Deutschland neu errichteten Wohnungen angewendet. Erkennbar wird ein positiver Trend der Innenentwicklung, wobei es den städtischen und zentraleren Regionen eher gelingt, die Bautätigkeit auf den Siedlungsbestand und bereits erschlossene Gebiete zu lenken.*

2. **Eichhorn, S., Diller, C., & Pehlke, D. (2022).** Wirkungen der Regionalplanung bei der Steuerung der Siedlungsentwicklung. Ergebnisse einer empirischen Untersuchung zur Steuerungswirksamkeit der deutschen Regionalpläne. In: Henn, S., Zimmermann, T., Braunschweig, B. (eds) *Stadtregionales Flächenmanagement*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-63295-6\\_8-2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-63295-6_8-2)

*Die Regionalplanung spielt in Deutschland eine zentrale Rolle im Mehrebenensystem der räumlichen Gesamtplanung. Sie konkretisiert planerische Vorgaben auf Landesebene und rahmt die Bauleitplanung auf kommunaler Ebene. Dazu bedient sich die Regionalplanung verschiedener Planungsinstrumente. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer bundesweiten Untersuchung vorgestellt, die im Rahmen eines von der DFG-geförderten Forschungsprojekts (DFG-Projekt „Der Einfluss der Raumplanung auf die Siedlungsentwicklung in Deutschland und der Schweiz: Eine vergleichende Analyse von Steuerungsfähigkeit und Steuerungswirkungen“ (DI 1641/14-1 Laufzeit 2018–2021). Antragsteller: Prof. Dr. Christian Diller, Justus-Liebig-Universität Gießen; Prof. Dr. Stefan Siedentop, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung Nordrhein-Westfalen; Dr. Marco Pütz, Eidg. Forschungsanstalt WSL für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf (CH).) durchgeführt wurde. In einer Planinhaltsanalyse wurden hierbei zunächst für jede Planungsregion Gesamtindizes der Regulierungsintensität (RI) der Regionalpläne, differenziert nach positiv- und negativplanerischen Instrumenten, gebildet. Im Ergebnis zeigen sich Unterschiede zwischen, aber auch innerhalb von Bundesländern. Als Ergebnis der Wirkungsanalyse wurde schließlich ermittelt, dass Regionalpläne auch bei gleichzeitiger Berücksichtigung anderer Einflussfaktoren wie der Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung einen statistisch signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Gebäude- und Freiflächen ausüben. Dabei ist allerdings die Wirksamkeit der einzelnen Planinstrumente unterschiedlich stark.*

3. Diller, C., **Eichhorn, S.**, & Pehlke, D. (2021). Evaluation der Steuerung regionalplanerischer Instrumente zur Steuerung der Siedlungsentwicklung. Ein Vergleich Deutschland – USA. In: Henn, S., Zimmermann, T., Braunschweig, B. (eds) *Stadtregionales Flächenmanagement*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-63295-6\\_7-1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-63295-6_7-1)

*Obwohl es in Deutschland seit über 50 Jahren ein flächendeckendes System von Institutionen der Regionalplanung gibt und fast alle Regionen über rechtskräftige Regionalpläne verfügen, in denen die Steuerung der Siedlungsentwicklung ein zentrales Thema ist, ist nur wenig über die Wirkungen dieser Pläne bekannt. Es besteht ein Evaluationsdefizit. Genau umgekehrt stellt sich die Situation in den USA dar. Obwohl es dort kein flächendeckendes System der regionalplanerischen Siedlungsentwicklung gibt, liegen hier mehr und z. T. auch qualitativ anspruchsvollere Evaluationen zu dieser Thematik vor. Dieser Gegensatz erscheint aber nur auf den ersten Blick paradox. Gerade weil das System regionalplanerischer Steuerung in den USA nicht so stabil ist, kam wissenschaftlichen Evaluationen dort stärker die Aufgabe zu den Fragen nach Umsetzung, Wirksamkeit und Erforderlichkeit dieser Instrumente nachzugehen.*

4. Diller, C., & **Eichhorn, S.** (2021). Transit-Oriented Development. Eine internationale Literaturliteraturauswertung. In: Digital Citymakers : Co-creating the City in Times of Digital Transformation = Digitale Stadtmacher : Gemeinsam Stadt machen in Zeiten digitaler Transformation. pnd - rethinking planning. Aachen: RWTH Aachen University. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-63295-6\\_7-1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-63295-6_7-1)

*Die Grundidee des Transit-Oriented Development (TOD) ist die Konzentration der Siedlungsentwicklung an Bahnhaltepunkten. Die Analyse international vorliegender Untersuchungen verdeutlicht die positiven Wirkungen dieses Konzepts: Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene, kompaktere nachhaltigere Siedlungs-, Einwohner:innen- und Beschäftigungsentwicklungen. Deutlich wird aber auch vor allem in den USA, dass bei der Planung von TOD-Standorten Auswirkungen auf Bodenpreise und mögliche negative Wirkungen für einkommensschwächere Bevölkerungsgruppen beachtet werden müssen.*

5. **Eichhorn, S.**, Gerten, C., Siedentop, S., Rönsch, J., & Diller, C. (2020). Baulandpotenziale an Haltepunkten des schienengebundenen Regionalverkehrs in Nordrhein-Westfalen – Umfang, Qualität und Perspektiven. *ILS-Working Paper 3*, Dortmund. <https://doi.org/10.58122/cj33-rh77>

*In Nordrhein-Westfalen, wie auch in anderen Bundesländern, gibt es bislang kaum systematische Untersuchungen zum Umfang von Baulandpotenzialen in den Einzugsbereichen des schienengebundenen Regionalverkehrs. In diese Lücke stößt die vorliegende Studie, in dem sie eine flächendeckende Bestandserhebung des TOD (Transit-Oriented Development)-Potenzials in NRW vornimmt. In gleich mehreren Punkten wird dabei methodisches Neuland betreten. So werden die existierenden Haltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs in ihrer Angebotsqualität und ihren (regionalen) Erreichbarkeitspotenzialen differenziert bewertet. Das Flächenpotenzial im Einzugsbereich der Haltepunkte wird nicht – wie meist üblich – mit Distanzen (Radien) quantifiziert, sondern auf Basis der fußläufigen Erreichbarkeit geschätzt. Schließlich erlaubt der hier präsentierte Ansatz auch eine differenzierte Bewertung der Entwicklungsfähigkeit unbebauter Flächen im Hinblick auf naturschutzfachliche Restriktionen, Bodenpreise und Bevölkerungsdichten sowie infrastrukturelle Ausstattungsniveaus. Insgesamt schließt die Studie 747 Haltepunkte des schienengebundenen Regionalverkehrs in NRW ein. Nicht berücksichtigt werden U-Bahn-, Stadt-Bahn- und Tram-Strecken, da sie vorwiegend für die innerstädtische Mobilität von Bedeutung sind.*

## **A3 Vorträge mit Bezug zum Thema der Dissertation**

### **A3.1 Peer-Review**

1. Need for spatial data for sustainable urban development. Vortrag im Rahmen des Indo-German Workshop on Open Spatial Data Infrastructure for Sustainable Urban Development, 04.10.2023, Ahmedabad, Indien.
2. Infill development in Germany. Method to identify and quantify infill development. Vortrag im Rahmen des International Land Use Symposium 2023, 05.10.2023, Ahmedabad, Indien.
3. Flächeninanspruchnahme durch Einfamilienhausgebiete – Empirische Ergebnisse in Regionen mit nicht angespannten Bodenmärkten (gemeinsam mit Ehrhardt, Denise). Vortrag im Rahmen des DFNS 2023 – Dresdner Flächennutzungssymposium des IÖR – Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung, 13.06.2023, Dresden, Deutschland.
4. Innen vor Außen? Eine Methode zur Bilanzierung der Innenentwicklung in Deutschland zwischen 1979–2011 (gemeinsam mit Siedentop, Stefan). Vortrag im Rahmen des DFNS 2022 – Dresdner Flächennutzungssymposium des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung, 15.06.2022, Dresden, Deutschland.
5. Does regional planning matter? Evidence from Germany and Switzerland (gemeinsam mit Pehlke, David). Vortrag im Rahmen des „4th Open Science Meetings of the Global Land Programme“, 25.04.2019, Bern, Schweiz.

### **A3.2 Ohne Peer-Review**

1. Bewertung und Klassifizierung von Bahnhaltepunkten in Nordrhein-Westfalen. Ein methodischer Ansatz zur Operationalisierung von „Transit-Oriented Development. Vortrag zur Information der Referate VII D 5, A 3 und D 2 des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen am 26.09.2023.
2. Operationalisierung der Regionalplanung und Messung der Wirksamkeit zur Steuerung der Wohnsiedlungsentwicklung (gemeinsam mit Pehlke, David). Vortrag im Rahmen der Veranstaltung „Bundesländer-Dialog Fläche – Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme: Potenziale, Rolle und Aufgaben der Regionalplanung“ des Umweltbundesamts, 05.09.2022, Berlin.