

NATUR UND LANDSCHAFT

Zeitschrift für Naturschutz und Landschaftspflege

97. Jahrgang 2022 Heft

Seiten

DOI:

Verlag W. Kohlhammer

© 2022 W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart

Wie hoch zersiedelt sind die deutschen Planungsregionen? Räumliche Analyse und Trends 1990–2014

What is the extent of urban sprawl in Germany's planning regions?
Spatial analysis and trends 1990–2014

Martin Behnisch, Tobias Krüger und Jochen Jaeger

Zusammenfassung

Die hohe Flächenneuinanspruchnahme in Deutschland wurde kürzlich vom Sachverständigenrat für Umweltfragen als persistentes Umweltproblem benannt. Zur Bewertung der räumlichen Anordnung und der Ausnutzung der neu in Anspruch genommenen Flächen eignen sich multidimensionale Indikatoren. Hierfür hat sich die Messgröße der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) international etabliert. Erst über längere Zeiträume (Jahrzehnte) und mit Trendfortschreibungen in die Zukunft werden die ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen sowie irreversible Schäden infolge der Zersiedelung sichtbar. Neue innovative Produkte der Fernerkundung wie der Global Human Settlement Layer (GHSL) haben die Möglichkeiten zur Beobachtung und Bewertung von Prozessen der Zersiedelung über lange Zeiträume verbessert. Der Beitrag zeigt eine räumliche Analyse der deutschen Planungsregionen hinsichtlich deren Zersiedelung in den Jahren 1990, 2000 und 2014 sowie hinsichtlich von Trends und Trendänderungen der Zersiedelung. Zwischen 1990 und 2014 hat die Zersiedelung in Deutschland jährlich um durchschnittlich 1,45 % zugenommen. Viele Planungsregionen in Deutschland sind von hohen Werten der Zersiedelung betroffen. Im Zeitraum 1990–2000 betrug die jährliche prozentuale Zunahme von WUP_p im Durchschnitt 1,81 % und im Zeitraum 2000–2014 noch immer 1,20 %. Bezogen auf die einwohnerorientierte Zersiedelung (WSPC) lag die jährliche prozentuale Zunahme im Durchschnitt im zweiten Zeitraum auf ähnlichem Niveau wie im ersten Zeitraum (1990–2000: 1,44 % p. a. und 2000–2014: 1,31 %; insgesamt 1990–2014: 1,36 %). Von einer grundlegenden Trendumkehr hin zu weniger Zersiedelung kann auf Basis der empirischen Befunde nicht gesprochen werden. Es besteht dringender Handlungsbedarf zur Eindämmung des Problems mit dem Ziel einer nachhaltigen Landnutzung als einem der wichtigsten Schlüssel für die Große Transformation.

Zersiedelung – Siedlungsflächenentwicklung – Fernerkundungsdaten – Global Human Settlement Layer – Planungsregionen

Abstract

The German Advisory Council on the Environment recently identified the high level of land take as a persistent environmental problem. Multi-dimensional indicators are suitable for assessing the spatial arrangement and degree of utilisation of newly taken-up areas. For this purpose, the measure of weighted urban proliferation (WUP_p) is an internationally established approach. The ecological, economic and social consequences of urban sprawl and irreversible damage can be detected only over long periods of time (decades) and by extrapolating current trends into the future. New innovative remote sensing products such as the Global Human Settlement Layer (GHSL) have improved the possibilities for observing and evaluating urban sprawl over long periods of time. This paper presents a spatial analysis of the German planning regions with regard to their degree of urban sprawl in the years 1990, 2000 and 2014 as well as their trends and changes in trends of urban sprawl. Between 1990 and 2014, urban sprawl in Germany increased on average by 1.45 % per year. Many planning regions in Germany are affected by high levels of sprawl. In the period from 1990 to 2000, the average annual percentage increase in WUP_p was 1.81 %. In the period from 2000 to 2014 it was still 1.20 %. In terms of inhabitant-oriented sprawl (WSPC), the average annual percentage increase in the second period was at a level similar to that in the first period (1990–2000: 1.44 % p. a.; 2000–2014: 1.31 %; overall 1990–2014: 1.36 %). Based on the empirical findings presented here, we can not speak of a trend reversal towards lower levels of urban sprawl. There is an urgent need for action to mitigate this issue, considering that sustainable land use is one of the most important keys for a comprehensive sustainability transformation.

Urban sprawl – Settlement development – Remote sensing data – Global Human Settlement Layer – Planning regions

Manuskripteinreichung: 11.2.2022, Annahme: 14.9.2022

DOI: 10.19217/NuL2022-12-02

1 Einleitung

In einer post-fossilen und von erneuerbaren Energien geprägten Zukunft entstehen erhebliche Flächenkonkurrenzen zwischen der Nahrungsmittelproduktion (Acker- und Grünland), der Energiegewinnung (Flächen für Energiepflanzenanbau, Windparks und Photovoltaikfreiflächenanlagen) und dem Bedarf nach Siedlungs- und Verkehrsflächen (Haber 2007; Jaeger et al. 2018). Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) benennt die hohe Neuinanspruchnahme unbebauter Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke angesichts geringer Trendverbesserungen in den vergangenen Jahrzehnten als ein persistentes Umweltproblem

in Deutschland (SRU 2016: 241, 2018: 7), denn bereits 1985 hatte die deutsche Bundesregierung eine „Trendwende im Landverbrauch“ und eine „Trendwende bei der Zerschneidung und Zersiedelung der Landschaft“ gefordert (Bodenschutzkonzeption, BMI 1985). Im Gegensatz zur Situation bei vielen anderen Umweltproblemen ist die Akzeptanz von Gegenmaßnahmen, die Einschränkungen oder Verzicht auf Flächenneuinanspruchnahme bedeuten, oftmals nur eingeschränkt gegeben, denn sie sind in ihrer Notwendigkeit und ihrem Nutzen für die Wirtschaft und Zivilgesellschaft nur schwer vermittelbar. Daher ist ein erhöhter Kommunikationsaufwand nötig (Jänicke, Volkery 2001: 50).

Die Flächenneuanspruchnahme ist ein vielschichtiges Umweltproblem. Es folgt keinen monokausalen Verursacherprinzipien und kann nur durch ein Bündel von Einflussgrößen erklärt werden (Hersperger, Bürgi 2009; Kretschmer et al. 2015; Colsaet et al. 2018; Siedentop 2018). Ein bemerkenswertes Phänomen besteht in Deutschland darin, dass die Neuanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke in vielen Regionen mit abnehmender Bevölkerung steigt, während sie in Regionen mit Bevölkerungswachstum relativ gering ausfällt (SRU 2016: 12). Relevante Einflussgrößen sind nicht nur die Unterschiede in den Miet- und Bodenpreisen, denn oft ist Flächenausweisungspolitik erstaunlich freizügig – in der Hoffnung auf eine Bevölkerungs- und Arbeitsplatzzunahme und eine damit verbundene Steigerung der Steuereinnahmen (SRU 2016: 252).

Bei der Verabschiedung der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie im Jahr 2002 hatte die Bundesregierung ursprünglich das Ziel vorgegeben, den durchschnittlichen täglichen Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis zum Jahr 2020 in Deutschland auf 30 ha zu reduzieren. Nachdem sich abzeichnete, dass dieses sog. 30-Hektar-Ziel bis 2020 nicht realisierbar sein würde, wurde es in der Neuauflage der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie von 2016 auf das Jahr 2030 verschoben, allerdings mit der Ergänzung, die Flächenneuanspruchnahme im Durchschnitt auf „weniger als 30 Hektar pro Tag“ zu reduzieren (Bundesregierung 2017: 159). In Bezug auf die bestehenden staatlichen Maßnahmen zur Trendverbesserung im Sinne einer nachhaltigen Flächennutzung führt die alleinige Orientierung an einem quantitativen Ziel zur Begrenzung der Flächenneuanspruchnahme (deutschlandweiter Durchschnittswert in ha pro Tag) zu einer reinen Mengenbetrachtung, ohne die räumliche Anordnung und den Grad der Ausnutzung der neu in Anspruch genommenen Flächen zu berücksichtigen. Die von der Bundesregierung weiterentwickelte Neufassung der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie von 2021 behandelt das Thema Flächenanspruchnahme mit drei Indikatoren (Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche, Freiraumverlust pro Kopf und Siedlungsdichte), jedoch wurde ein Indikator zur Quantifizierung der Zersiedelung nicht mit aufgenommen (Bundesregierung 2021).



Die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt legte bereits im Jahr 2007 als ein Ziel die Entwicklung eines geeigneten Zersiedelungsindikators „bis Ende 2008“ fest (BMU 2007: 130). Verschiedene Ansätze wurden daraufhin für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland vorgeschlagen (Ackermann, Schweppe-Kraft 2010; Siedentop, Fina 2010; Fina 2013: Anhang B-3). In der Schweiz wird seit geraumer Zeit der Indikator der gewichteten Zersiedelung (Jaeger, Schwick 2014) vom Bundesamt für Umwelt offiziell im Rahmen des nationalen Landschaftsmonitorings LABES verwendet (Kienast et al. 2015). Dieser Indikator ist mittlerweile auch für Deutschland sowohl im Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung des Leibniz-Instituts für ökologische Raumentwicklung (IÖR; <https://www.ioer-monitor.de/>) als auch im Umweltatlas des Umweltbundesamtes (UBA; <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltatlas>) verfügbar. Der Indikator basiert auf einer klaren Definition des Zersiedelungsbegriffs (urban sprawl; Jaeger et al. 2010) und liefert eine Grundlage für Ziele und Grenzwerte (Schwick et al. 2018), die auch für weitere amtliche Raumbeobachtungssysteme interessant sind. Weitere Details zu den Folgen der Zersiedelung sind in Abschnitt 1 im Online-Zusatzmaterial unter https://online.natur-und-landschaft.de/zusatz/12_2022_A_Behnisch aufgeführt.

Vor dem Hintergrund der Debatte über Spatial Big Data (Jiang, Shekhar 2017) und der Verfügbarkeit zahlreicher neuer Vektor- und Rasterdatensätze ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, um die räumliche Anordnung und den Grad der Ausnutzung von Flächen auf unterschiedlichen Maßstabsebenen stärker einzubeziehen und Zersiedelung in ihrer Veränderung über die Zeit multidimensional zu analysieren. Hierzu eignen sich einerseits Produkte der Fernerkundung – z. B. Global Human Settlement Layer (GHSL), Global

Urban Footprint (GUF), World Settlement Footprint (WSF), European Settlement Mask (ESM), High Resolution Settlement Layer (HRSL) – und andererseits neue amtliche Geobasisdatenbestände wie z. B. 3D-Gebäudemodelle, Hauskoordinaten, topographische Informationen und Landschaftsmodelle.

Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt auf der Anwendung einer international anerkannten Messmethode für die Zersiedelung (Jaeger, Schwick 2014) auf die deutschen Planungsregionen. Die Methode wurde bereits von Schwarzak, Behnisch (2017) sowie Behnisch et al. (2018) für Untersuchungen der Zersiedelung auf Ebene der Gemeinden in Deutschland angewendet und zuvor mit Testrechnungen an Geobasisdaten erprobt (Schwarzak et al. 2014). Weitere Testrechnungen erfolgten kürzlich bereits auf Ebene der deutschen Planungsregionen (Behnisch et al. 2021). Dieser Beitrag erfasst unter Verwendung einer revidierten Version des GHSL die Zersiedelung auf Ebene der deutschen Planungsregionen über einen Zeitraum von ca. 25 Jahren für drei Zeitpunkte (1990, 2000 und 2014), um die Trends der Zersiedelung und potenzielle Trendänderungen zu ermitteln. Der Fokus liegt auf den Planungsregionen, da die regionalen Planungsträger eine entscheidende Rolle für die Siedlungsentwicklung im bundesdeutschen Planungswesen haben. Während die übergeordneten Planungsebenen den rechtlichen Rahmen definieren – z. B. im Raumordnungsgesetz und in den Landesentwicklungsplänen sowie in sektoralen Fachplanungen des Bundes und der Länder – ist die regionale Ebene besonders relevant für die zeichnerische Festlegung von Planelementen und die räumliche Zuordnung von Steuerungsinstrumenten der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung (Fina 2021: 281).

Der Beitrag untersucht die folgenden Fragen:

- Wie hoch waren die Zersiedelung der Landschaft und die Zersiedelung pro Kopf in den Jahren 1990 und 2014 in den deutschen Planungsregionen und Gemeindeverbänden?
- Welche Unterschiede bestehen zwischen den Planungsregionen in Bezug auf die Zersiedelung der Landschaft, die Zersiedelung pro Kopf, die Dispersion, den Flächenbedarf und den Überbauungsgrad in den Jahren 1990, 2000 und 2014 sowie hinsichtlich der Trends und Trendänderungen?
- Welche Zusammenhänge bestehen bei den Messgrößen der Zersiedelung zwischen den Werten der Jahre 1990, 2000 und 2014?
- Welche Veränderungen zeigen sich in den Trends der beiden Zeiträume 1990–2000 und 2000–2014?

2 Messkonzepte und Daten zur Quantifizierung der Zersiedelung

Die meisten Definitionen für die Zersiedelung, die in der Literatur vorgeschlagen werden, berücksichtigen drei Dimensionen zur Charakterisierung der Zersiedelung:

1. Anteil der bebauten Flächen an der Fläche des Untersuchungsgebiets,
2. räumliche Verteilung der bebauten Flächen und
3. Nutzungsdichte der bebauten Flächen (Siedentop, Fina 2012; Jaeger, Schwick 2014; EEA, FOEN 2016).

In der Vergangenheit berichteten Messansätze meist nur über einzelne Komponenten der Zersiedelung (z. B. bebaut Fläche), vernachlässigten die räumliche Anordnung oder hatten Schwierigkeiten bei deren Quantifizierung (Razin, Rosentraub 2000; Yeh, Li 2001; Nazarnia et al. 2016), vermischten mehrere Ursachen oder Folgen der Zersiedelung mit dem eigentlichen Phänomen der Zersiedelung (Torrens 2008) oder integrierten zu viele Aspekte der Zersiedelung in einem intransparenten Index (Frenkel, Ashkenazi 2008). Schwarzak, Behnisch (2017) geben einen Überblick zu den bisher angewendeten Messkonzepten der Zersiedelung auf

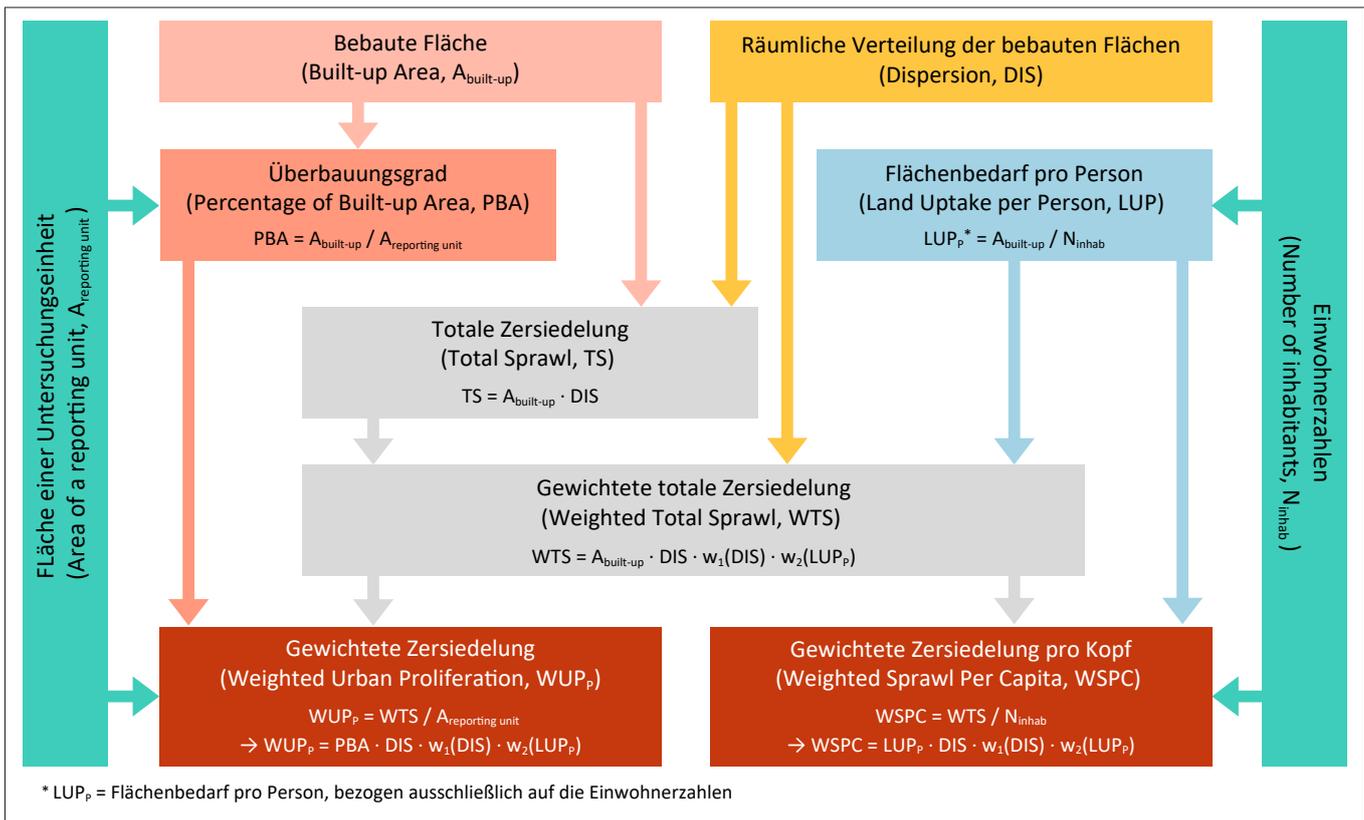


Abb. 1: Zusammenhang zwischen den Messgrößen für die Zersiedelung, deren Komponenten mit ihren Gewichtungsfunktionen (w_1 und w_2) sowie zwei Hilfsgrößen.

Fig. 1: Relationship between the measures of urban sprawl, their components with their respective weighting functions (w_1 and w_2) and two auxiliary measures.

dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (z. B. Ackermann, Scheppe-Kraft 2010; Siedentop, Fina 2010; Fina 2013). Da bisher keine Daten zur Siedlungsentwicklung über einen längeren Zeithorizont (mehrere Jahrzehnte) vorlagen, ließen sich bislang auch nur begrenzt Aussagen über den Zustand und Veränderungen der Zersiedelung in Deutschland machen.

2.1 Zwei Messgrößen für die Zersiedelung und deren Komponenten

Die Messung der Zersiedelung in diesem Beitrag nutzt die drei Dimensionen der Zersiedelung und verwendet hierbei zwei Messgrößen:

- **Landschaftsorientierte Zersiedelung = gewichtete Zersiedelung (Weighted Urban Proliferation, WUP_p)**, mit Index P für engl. population; Einheit: Durchsiedlungseinheiten pro Quadratmeter (DSE/m²), engl.: Urban Permeation Units per square metre (UPU/m²); Jaeger, Schwick (2014); Hennig et al. (2015); als landschaftsorientierte Messgröße und
- **Einwohnerorientierte Zersiedelung = gewichtete Zersiedelung pro Kopf (Weighted Sprawl Per Capita, WSPC)**; Einheit: DSE/Einwohner, engl.: UPU/inhabitant; als Messgröße, die den durchschnittlichen Beitrag pro Einwohner (Ew.) zur Zersiedelung bezieht (Behnisch et al. 2022).

Das Messkonzept hat eine breite Anwendung in vielen Regionen Europas und anderen Teilen der Welt erfahren (z. B. Hennig et al. 2015; EEA, FOEN 2016; Nazarnia et al. 2016; Torres et al. 2016; Jaeger et al. 2018; Schwick et al. 2018; Xie et al. 2020; Pourtaherian, Jaeger 2022). Es wurde durch verschiedene Tests bestätigt (Orlitová

et al. 2012) und erfüllt die 13 Eignungskriterien für Messgrößen der Zersiedelung (Jaeger et al. 2010) sowie die 34 Anforderungen, die zur Auswahl von Indikatoren für die Umweltberichterstattung von Niemeijer, de Groot (2008) vorgeschlagen wurden. Die beiden Messgrößen und ihre Komponenten werden in Abb. 1 zusammengefasst.

Der Anteil der bebauten Fläche (Size of built-up area, $A_{\text{built-up}}$) an der Gesamtfläche einer Untersuchungseinheit (Area of a reporting unit, $A_{\text{reporting unit}}$) gibt den Überbauungsgrad (Percentage of Built-up Area, PBA) an (in %). Der Flächenbedarf pro Person (Land Uptake per Person, LUP) enthält gemäß der ursprünglichen Definition dieser Komponente auch die Zahl der Erwerbstätigen (Jaeger, Schwick 2014). Bislang sind allerdings konsistente kleinräumige Daten über die Erwerbstätigen für längere Zeiträume in größeren Gebieten noch nicht verfügbar, sodass die Berechnung des Flächenbedarfs pro Person in diesem Beitrag ausschließlich auf die Einwohnerzahlen (Number of inhabitants, N_{inhab}) bezogen ist und daher mit LUP_p (mit Index P für engl. population) bezeichnet ist. Analog wird in dieser Studie die landschaftsorientierte Zersiedelung ebenfalls ausschließlich auf Einwohnerzahlen basierend bestimmt und entsprechend mit WUP_p bezeichnet. Eine ähnliche Vorgehensweise wurde in der europäischen Studie der Zersiedelung (Hennig et al. 2015; EEA, FOEN 2016) und einer globalen Untersuchung für größere Regionen sowie 2.500 1-km²-Gitterzellen gewählt (Behnisch et al. 2022). Zwei Gewichtungsfunktionen (w_1 und w_2) finden Anwendung, um die Werte der räumlichen Verteilung der bebauten Flächen (Dispersion, DIS) und LUP_p so zu charakterisieren, dass Landschaftsteile, in denen die Bebauung stärker gestreut ist, deutlicher wahrzunehmen sind ($0,5 < w_1(DIS) < 1,5$), und Orte mit einer hohen Dichte wie z. B. Innenstadtlagen als nicht zersiedelt betrachtet werden ($0 < w_2(LUP_p) < 1$) (Jaeger,

Schwick 2014; EEA, FOEN 2016). Zur Berechnung für kleinere Datenmengen stehen zwei ArcGIS-Tools frei zur Verfügung: Das USM Toolset auf der Website der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL Birmensdorf (Nazarnia et al. 2016) und ein Python-Tool in der Toolbox ZonalMetrics (Walz et al. 2021; das Toolset ist frei zugänglich unter <https://gitlab.com/simeonwetzell/landscape-metrics-tools>).

2.2 Datengrundlagen und -aufbereitung

Die Datenbasis für diesen Beitrag bildet der Global Human Settlement Layer (GHSL) in der Fassung von 2018 (GHS-BUILT R2018A, Corbane et al. 2018). Dieser weltweit verfügbare multitemporale Siedlungsdatensatz wird vom Joint Research Centre (JRC) der Europäischen Kommission herausgegeben. Grundlage bildet eine

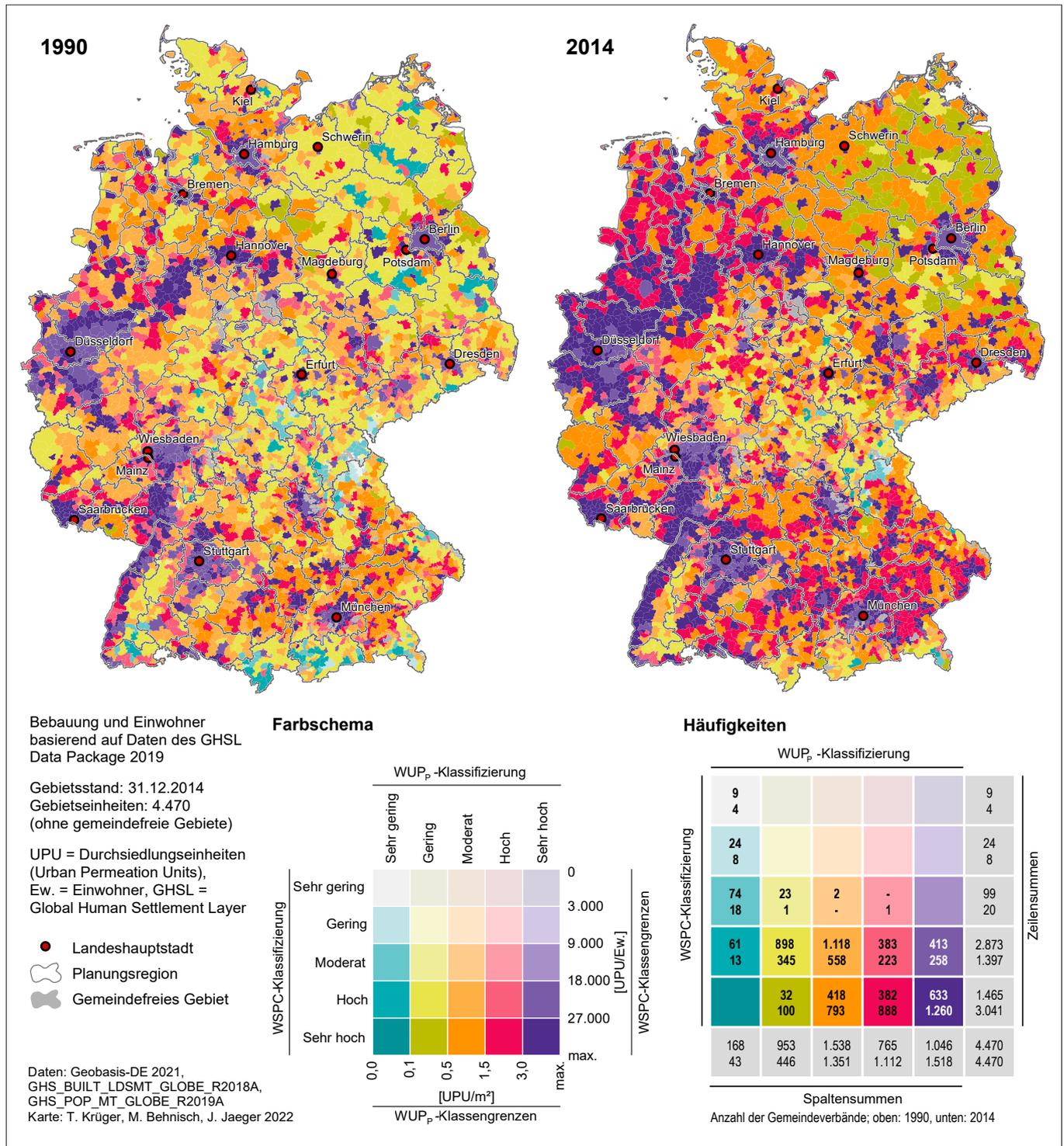


Abb. 2: Landschaftsorientierte Zersiedelung (WUP_p) und einwohnerorientierte Zersiedelung (WSPC) in Deutschland 1990 und 2014 auf der Ebene von Gemeindeverbänden mit überlagerten Grenzen der Planungsregionen. Die Klassifikation erfolgte über eine kombinierte WUP_p-WSPC-Farbmatrix. Die Zahlen in der Farbmatrix der Legende zeigen die Zahlen der zugeordneten Gemeindeverbände.

Fig. 2: Landscape-oriented sprawl (WUP_p) and inhabitant-oriented sprawl (WSPC) in Germany in 1990 and 2014 at the level of municipal associations with planning region boundaries superimposed. Classification was done using a combined WUP_p-WSPC colour matrix. The numbers in the colour matrix of the legend indicate the numbers of respective municipal associations.

konsolidierte Auswertung verschiedener Aufnahmesysteme der Landsat-Satelliten (MSS-, TM-, ETM-Sensoren) für die Jahre 1975, 1990, 2000 und 2014. Neben diesen hochaufgelösten Daten (30 m am Äquator) zur Bebauung wird die Verteilung der Bevölkerung auf globaler Ebene mit einer räumlichen Auflösung von 250 m bereitgestellt (GHS-POP R2019A). Der seit 2016 jährlich herausgegebene Atlas of the Human Planet (Pesaresi et al. 2016) stützt sich maßgeblich auf Daten des GHSL.

In Hinblick auf die Definition von Planungsregionen handelt es sich um regionale Planungsräume unterhalb der Landesebene, für die in der Regel jeweils ein Regionalplan aufgestellt und bedarfsorientiert aktualisiert wird. Planungsregionen setzen sich in den meisten Bundesländern aus mehreren Landkreisen und kreisfreien Städten zusammen. In Niedersachsen erfolgt die Regionalplanung unmittelbar auf der Ebene der Landkreise. Die Ebene der Regionalplanung existiert daher nicht in den kreisfreien Städten Niedersachsens Delmenhorst, Oldenburg, Wilhelmshaven, Osnabrück, Emden und Göttingen und darüber hinaus nicht in den Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen sowie im Saarland. Im Sinne einer flächendeckenden bundesweiten Untersuchung wurde ein Polygondatensatz erzeugt, der diese Gebietskörperschaften ebenfalls enthält und auf einer Ebene mit den Planungsregionen darstellt. Durch Aggregation der angehörenden Gebiete (Gemeinden, Kreise) wurde die regionale Differenzierung auf Ebene der Planungsregionen aus der Dokumentation der Verwaltungsgebiete im Maßstab 1 : 25.000 (VG25; BKG 2021) vorgenommen.

Einen Spezialfall bildet die Region Rhein-Neckar, die sich sowohl mit der Region Rheinhessen-Nahe (auf dem Gebiet der Stadt Worms) als auch mit der Region Südhessen (auf dem Gebiet des Kreises Bergstraße) überschneidet. In diesen Fällen wurden die betreffenden Flächen nur in die Region Rhein-Neckar einberechnet und aus den benachbarten Regionen geometrisch ausgeschnitten. Dadurch erhält man für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland 111 Planungsregionen (Stand 2014) bzw. mit äquivalenten Aufgaben betraute Gebietskörperschaften (siehe Abb. F in Abschnitt 7 im [Online-Zusatzmaterial](#)). Die siedlungsgeographischen Basisgrößen von Fläche, Einwohnerzahl und Bevölkerungsdichte bewegen sich zwischen 62,5 km² (Stadt Delmenhorst) und 8.290 km² (Planungsregion Nordhessen, entspricht Regierungsbezirk Kassel), zwischen ca. 48.400 Ew. (Landkreis Lüchow-Dannenberg) und über 5,1 Mio. Ew. (Regionalverband Ruhr – RVR) und zwischen 39 Ew./km² (Landkreis Lüchow-Dannenberg) und 4.118 Ew./km² (Berlin) (Stand: Dezember 2019). Innerhalb der Planungsregionen werden die Trends der Zersiedelung ergänzend auf Ebene der Gemeindeverbände (Stand: 31.12.2014, n = 4.684) räumlich differenziert.

Für alle genannten Untersuchungseinheiten wurden die Messgrößen der Zersiedelung und deren Komponenten (Überbauungsgrad, Dispersion, Flächenbedarf pro Ew.) aus den GHSL-Daten berechnet. Für die Plausibilisierung der GHSL-Daten wurden sowohl die bebauten Flächen aus der amtlichen Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung (FETN) als auch die Bevölkerungszahlen der amtlichen Bevölkerungsstatistik, die gebiets- und zensusbereinigt vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zur Verfügung gestellt wurden, verwendet (siehe Abschnitte 4–6 im [Online-Zusatzmaterial](#)).

3 Ergebnisse: Zersiedelung in den deutschen Planungsregionen

Die empirischen Befunde für die deutschen Planungsregionen für drei Zeitpunkte (1990, 2000, 2014) zeigen die räumliche Verteilung der landschaftsorientierten und der einwohnerorientierten Zersiedelung sowie der drei Komponenten (Dispersion, Überbauungsgrad und Flächenbedarf pro Ew.). Bezogen auf ganz Deutschland und die Werte des Jahres 1990 hat die landschaftsorientierte Zersiedelung seit 1990 jährlich um 1,45 % zugenommen und die einwohnerorientierte Zersiedelung jährlich um 1,36 %.

3.1 Kleinräumiger Vergleich von WUP_p und WSPC zwischen 1990 und 2014

Abb. 2 zeigt auf Ebene der kommunalen Gebietskörperschaften (Gemeindeverbände innerhalb der Planungsregionen) die Kombination von landschaftsorientierter Zersiedelung (WUP_p) und dem durchschnittlichen Beitrag pro Ew. zur Zersiedelung (WSPC) in den Jahren 1990 und 2014. Bereiche mit hohen Zersiedelungswerten, sowohl landschafts- als auch einwohnerorientiert, waren bereits 1990 sehr prominent in Teilen von Nordrhein-Westfalen (NRW), in den Planungsregionen Mittel- und Südhessen sowie entlang des Oberrheins zu finden, wobei diese besonders stark betroffenen Gebiete mit der Zeit deutlich zugenommen haben und sich 2014 auch verstärkt in Bayern und Ostdeutschland abzeichneten. Auffällig sind diese hohen Wertausprägungen auch in einigen Großstädten bzw. in deren kernstadtnahem Umland wie z. B. in München, Berlin, Stuttgart und Hamburg.

In zahlreichen Planungsregionen Mecklenburg-Vorpommerns, Schleswig-Holsteins sowie in der flächengrößten Planungsregion Nordhessen zeigt sich in beiden Karten ein charakteristisches divergierendes Muster von hoher Zersiedelung in den größeren Zentren und geringeren Ausprägungen im weiteren ländlichen Umland. Abb. G und H in Abschnitt 7 im [Online-Zusatzmaterial](#) zeigen Differenzierungskarten zu den absoluten und relativen Veränderungen der Zersiedelung zwischen 1990 und 2014, um deren räumliches Muster für die beiden Messgrößen (WUP_p, WSPC) gesondert zu visualisieren.

Die enorme Verschiebung hin zu einer stärkeren Zersiedelung wird auch besonders deutlich bei der Betrachtung der Farbmatrizen in [Abb. 2](#), die für jede Klasse von Zersiedelungsgraden die Anzahl der jeweils betroffenen Gemeindeverbände ausweisen. So belief sich z. B. die Anzahl der Gemeindeverbände mit sehr hohen landschaftsorientierten und einwohnerorientierten Zersiedelungswerten in Deutschland (dunkelviolette Einfärbung) im Jahr 1990 auf 633 (entspricht einem Anteil von 14,16 % bei insgesamt 4.470 Gemeindeverbänden) und stieg im Jahr 2014 auf 1.260 Gemeindeverbände (entspricht einem Anteil von 28,19 %). Dementsprechend enthalten weitaus mehr Planungsregionen nun Gemeindeverbände mit hoher oder sehr hoher Zersiedelung.

3.2 Planungsregionen im Vergleich der Messgrößen für Zersiedelung und deren Komponenten

Abb. 3, S. 556, zeigt die Messgrößen der Zersiedelung und deren Komponenten in den Planungsregionen in den Zeitschnitten 1990 und 2014 und deren Veränderungen im Zeitraum von 25 Jahren (1990–2014). Die Klassen entsprechen den Quartilen, d. h. jede Klasse enthält 25 % der Planungsregionen. Dadurch werden Verschiebungen in der räumlichen Verteilung relativ niedriger und relativ hoher Werte erkennbar. Die landschaftsorientierte Zersiedelung zeigte sowohl 1990 als auch 2014 hohe Werte in zahlreichen westlichen und südlichen Planungsregionen von NRW über Rheinland-Pfalz, Hessen und Baden-Württemberg. Auch die Planungsregionen Osnabrück, Oldenburg, Hamburg, Bremen, Berlin, Oberes Elbtal-Osterzgebirge, Nürnberg und München traten im Jahr 2014 durch höhere Zersiedelung hervor. Vergleichsweise hohe Veränderungen der Zersiedelung im Zeitraum 1990–2014 erfolgten u. a. in den Regionen des RVR, Rhein-Neckar, Köln, Düsseldorf sowie in Bremen und Hamburg. Im Zeitvergleich wird deutlich, dass 1990 bereits 50 Planungsregionen als hoch bis sehr hoch zersiedelt indiziert wurden, im Jahr 2000 waren es 72 und im Jahr 2014 waren es 85 (siehe Tab. C in Abschnitt 7 im [Online-Zusatzmaterial](#)).

In Bezug auf die Zersiedelung pro Kopf fällt auf, dass hohe bis sehr hohe Werte (WSPC > 18.000 UPU/Ew.) im Jahr 1990 nur in einer Planungsregion (Stadt Emden) auftraten. Im Jahr 2000 lagen zwei Planungsregionen (Heidekreis, Stadt Emden) und im Jahr 2014 16 Planungsregionen in dieser Klasse. Die höchsten

Werte im Jahr 2014 wiesen zahlreiche Planungsregionen in Niedersachsen, Niederbayern und vereinzelt in Brandenburg (Uckermark-Barnim, Oderland-Spree), Sachsen-Anhalt (Altmark) sowie Westmittelfranken und im Saarland auf. Die Zersiedelung pro Kopf stieg im bundesweiten Vergleich v.a. in zahlreichen ostdeutschen, niedersächsischen und teilweise bayerischen Planungsregionen an.

In Bezug auf den Überbauungsgrad zeigt sich: Planungsregionen mit vergleichsweise hoher Zersiedelung in den Jahren 1990 und 2014 (vorrangig im Westen gelegen) wiesen im bundesweiten Vergleich auch die stärksten Zunahmen des Überbauungsgrads auf. Der Flächenbedarf pro Person hat zwischen 1990 und 2014 gerade in Ostdeutschland und Teilen Niedersachsens die höchsten Zuwächse erfahren. Regionen, die 1990 schon durch hohe Dispersions-

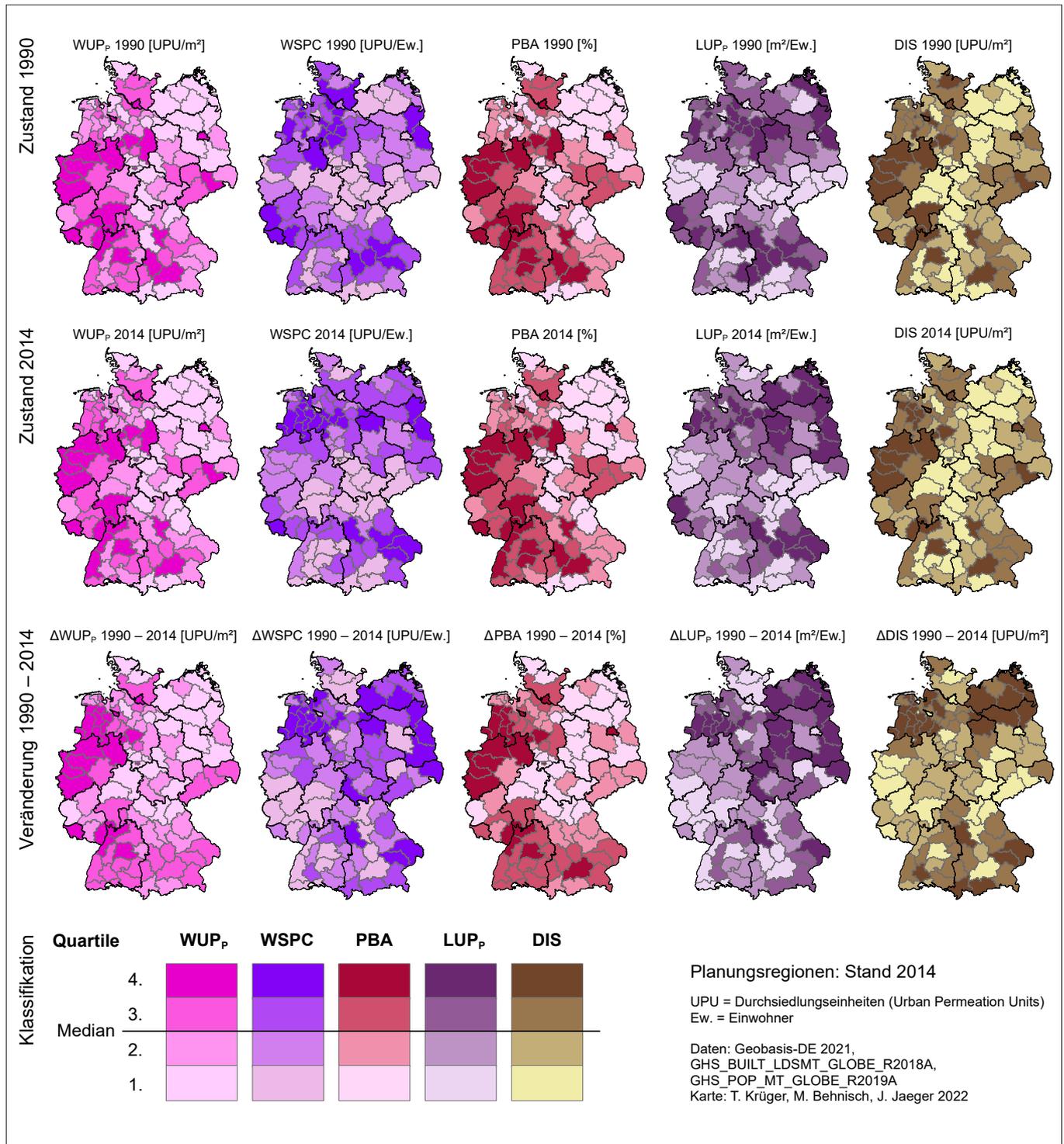


Abb. 3: Zustand in den Jahren 1990 und 2014 sowie Veränderung (1990–2014) der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p), der einwohnerorientierten Zersiedelung (WSPC) und ihrer Komponenten (Überbauungsgrad – PBA, Flächenbedarf pro Person bezogen auf die Einwohnerzahlen – LUP_p, räumliche Verteilung der bebauten Flächen – DIS) in den deutschen Planungsregionen (Quartilsklassifikation).

Fig. 3: Status in 1990 and 2014 and change (1990–2014) in landscape-oriented sprawl (WUP_p), inhabitant-oriented sprawl (WSPC) and their components (Percentage of Built-up Area – PBA, Land Uptake per Person in relation to the number of inhabitants – LUP_p, Dispersion – DIS) in the German planning regions (quartile classification).

werte gekennzeichnet waren, bewegen sich bei der Veränderung der Dispersion im bundesweiten Vergleich meist im unteren Bereich.

In Abschnitt 2 im [Online-Zusatzmaterial](#) werden Zusammenhänge der Zersiedelung zwischen den Messzeitpunkten vertiefend beschrieben, u. a. mithilfe von Streudiagrammen und statistischen Maßzahlen.

3.3 Trendänderungen der Zersiedelung in den Zeiträumen 1990–2000 und 2000–2014

Abb. 4 zeigt die Veränderungen der landschaftsorientierten und einwohnerorientierten Zersiedelung in den zwei Zeiträumen 1990–2000 und 2000–2014 auf Ebene der kommunalen Gebietskörperschaften (Gemeindeverbände innerhalb der Planungsregionen). Das zugrundeliegende Messkonzept hierfür ist in Abschnitt 3 im [Online-Zusatzmaterial](#) dokumentiert.

Für ganz Deutschland lag die jährliche prozentuale Zunahme der Zersiedelung ($r_{WUP,1990-2000}$) im Zeitraum 1990–2000 bei 1,81 % und im Zeitraum 2000–2014 bei 1,20 %. In Bezug auf die Zersiedelung pro Kopf zeigte sich im zweiten Zeitraum eine ähnlich hohe jährliche prozentuale Zunahme wie im ersten Zeitraum (1990–2000: 1,44 % pro Jahr und 2000–2014: 1,31 %).

Für 1.531 der 4.470 deutschen Gemeindeverbände (ca. 34,3 %) lag die jährliche mittlere Änderung der landschaftsorientierten Zersiedelung ebenfalls in beiden Zeiträumen auf ähnlichem Niveau. Beispiele finden sich in den Planungsregionen RVR, Regierungsbezirk Detmold, Großraum Braunschweig, Altmark, Nordhessen und Augsburg. Beispiele für eine Verringerung im zweiten Zeitraum zeigten viele Gemeindeverbände in den Planungsregionen Allgäu, Oberland, Südostoberbayern sowie Donau-Wald.

Der durchschnittliche Beitrag pro Ew. zur Zersiedelung hat in vielen Planungsregionen zugenommen. In 1.095 Gemeindeverbänden (ca. 24,5 %) wurde eine Steigerung der Zersiedelung

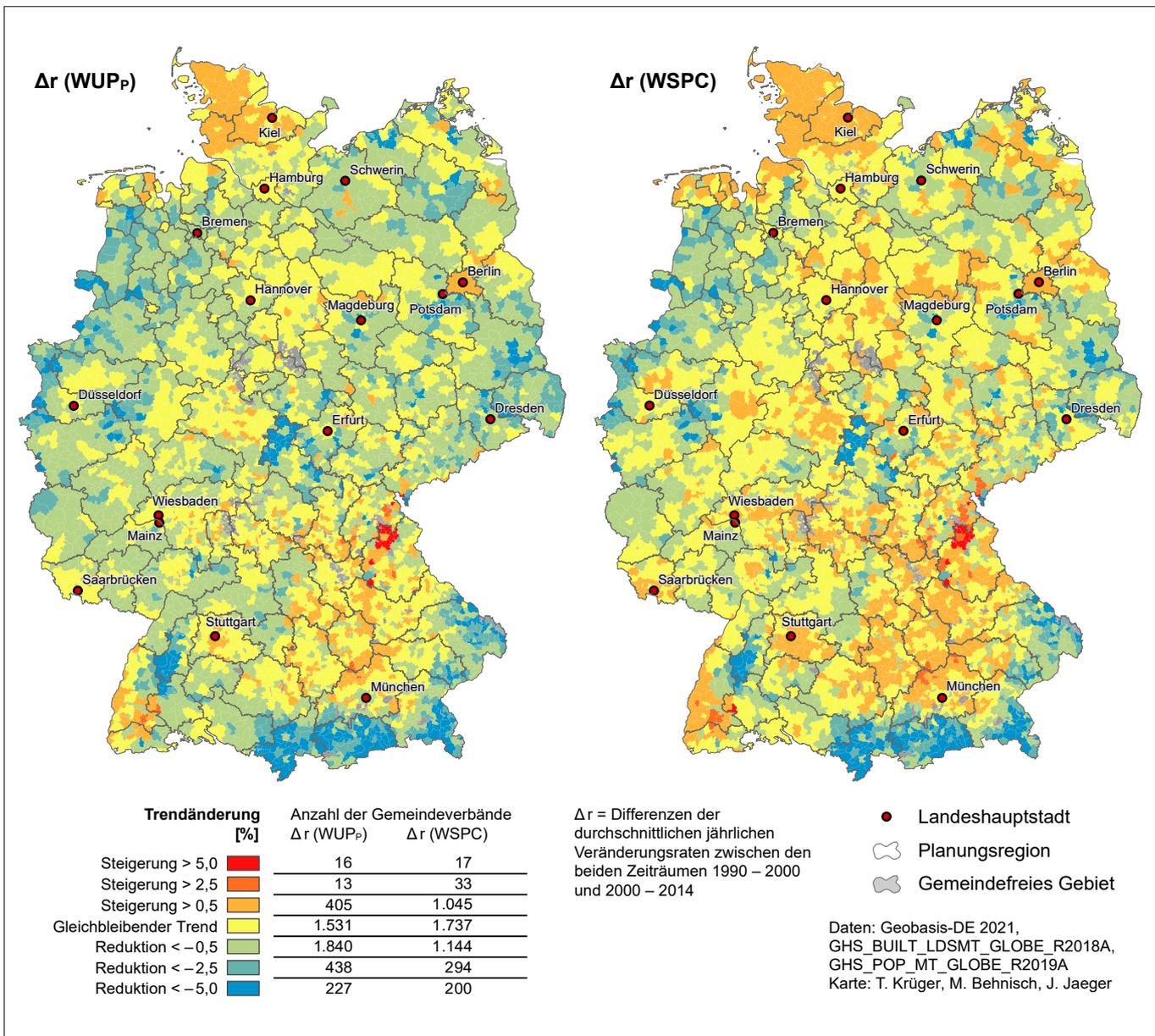


Abb. 4: Veränderungen der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) und der einwohnerorientierten Zersiedelung (WSPC) zwischen den beiden Zeiträumen 1990–2000 und 2000–2014 auf Ebene der Gemeindeverbände innerhalb der Planungsregionen in Deutschland. Gezeigt sind die Differenzen zwischen den durchschnittlichen jährlichen Veränderungsrate (Δr).

Fig. 4: Changes in landscape-oriented sprawl (WUP_p) and inhabitant-oriented sprawl (WSPC) between the two time periods 1990–2000 and 2000–2014 at the level of the municipal associations within the planning regions in Germany. The differences between the average annual rates of change (Δr) are shown.

pro Ew. im zweiten Untersuchungszeitraum beobachtet. Dies trifft für weite Teile Bayerns (z. B. Oberpfalz-Nord, München) und Schleswig-Holsteins (z. B. Planungsräume I und II) zu. In 1.638 Gemeindeverbänden (36,6 %) ist im zweiten Abschnitt des Untersuchungszeitraums eine Reduktion der einwohnerorientierten Zersiedelungsdynamik nachweisbar. Insbesondere wird dies in den Planungsregionen Allgäu und Oberland in Bayern sichtbar. Einen mehr oder weniger gleichbleibenden Trend weisen 1.737 (38,9 %) Gemeindeverbände auf.

Sowohl die Kartenbilder in [Abb. 4](#), S. 557, als auch eine weitere Darstellung auf Ebene der Planungsregionen (siehe [Abb. I](#) in Abschnitt 7 im [Online-Zusatzmaterial](#)) zeigen, dass von einer deutschlandweiten Trendumkehr hin zu weniger Zersiedelung nicht zu sprechen ist, und ergänzen die Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen den beiden Zeiträumen.

4 Diskussion

Die empirischen Befunde zeigen, dass nach wie vor ein erhebliches und weiter steigendes Zersiedelungsproblem in Deutschland besteht und dringend bessere Maßnahmen zu dessen Eindämmung erforderlich sind. Auch wenn die jährliche prozentuale Zunahme der landschaftsorientierten Zersiedelung im Vergleich der Zeiträume 1990–2000 und 2000–2014 etwas an Intensität verloren hat (von 1,81 % auf 1,20 %), so kann bei der jährlichen prozentualen Veränderung der Zersiedelung pro Kopf eine ähnlich deutliche Reduktion nicht beobachtet werden (von 1,44 % auf 1,31 %). Charakteristisch für hohe Ausprägungen der Zersiedelung sind eine relativ starke Überbauung der Landschaft (vgl. [Behnisch et al. 2019](#)), viele Siedlungsgebiete mit geringer Nutzungsdichte – wie z. B. typische Einfamilienhausgebiete – und eine sehr disperse Verteilung der Bebauung.

Durch die Nutzung der o. g. neuen Datenprodukte ist es besser möglich, die Zersiedelungsdynamik über längere Zeiträume zu beobachten und quantitative Grundlagen für die Bewertung der kumulativen Wirkung von Zersiedelung bereitzustellen. Quantitative Angaben getrennt nach bestimmten Gebieten und verschiedenen Zeitpunkten ermöglichen differenzierte Aussagen darüber, wie sich die Zersiedelung in verschiedenen Raumeinheiten zeitlich und räumlich verändert hat, und bieten Ansatzpunkte für Folgeuntersuchungen bspw. zu Einflussgrößen (driving forces), Belastungen (pressures) und Auswirkungen (impacts) der Zersiedelung. Darüber hinaus lässt sich untersuchen, welcher Stellenwert dem Problem der Landschaftszersiedelung in Regionalplänen und Raumordnungsprogrammen beigemessen wurde und welche Bedeutung Planungsentscheidungen der Vergangenheit für die Ausprägung der Zersiedelung hatten ([Fina 2021: 297](#)). Weitere Anknüpfungspunkte und Vertiefungsmöglichkeiten bieten sich diesbezüglich auch zu Studien, die die Wirkungen der Regionalplanung bei der Steuerung der Siedlungsentwicklung untersuchen ([Pehlke et al. 2021](#); [Eichhorn et al. 2022](#)) sowie zu Urban-Growth-Management-Strategien ([Bengston et al. 2004](#); [Siedentop et al. 2016](#)). Ein neueres Beispiel ist die Untersuchung der Wirksamkeit von Grüngürteln zur Eindämmung der Zersiedelung in europäischen Städten ([Siedentop et al. 2016](#); [Xie et al. 2020](#); [Pourtaherian, Jaeger 2022](#)).

Neben der Bezugnahme auf den jeweiligen lokalen und regionalen Planungskontext sind rechtliche und sozioökonomische Rahmenbedingungen einzubeziehen. Solche Studien zu den Einflussgrößen und Ursachen der Zersiedelung können bestehende Planungskulturen hinterfragen, Schrumpfs- und Wachstumsprozesse miteinander vergleichen und baukulturelle sowie geographische und naturräumliche Bedingungen berücksichtigen ([EEA, FOEN 2016](#); [OECD 2018](#); [Siedentop 2018](#); [Mahtta et al. 2019](#)). Darüber hinaus lassen sich Zielvorgaben und Grenzwerte erarbeiten ([Schwick et al. 2018](#); [Jaeger, Schwick 2021](#)), um die Wirksamkeit von Instrumenten zur Eindämmung der Zersiedelung durch

Monitoring kontinuierlich einer Bewertung zu unterziehen. Auch können alternative Planungsvarianten hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Zersiedelung miteinander verglichen werden, um die beste von diesen auszuwählen ([Jaeger et al. 2018](#)).

Vor dem Hintergrund einer notwendigen Nachhaltigkeitstransformation stellt sich die Frage, wie die öffentliche Problemwahrnehmung durch Schulungsmaßnahmen und mediale Kampagnen gestärkt werden könnte. Neben der Entwicklung adressatengerechter Werkzeuge für die Berechnung, Bewertung und Visualisierung der Zersiedelung (z. B. für Behörden und Planungsbüros) sind eine bessere Nutzung und Stärkung der urbanen transformativen Kapazität von Städten ([Wolfram et al. 2019](#)) nötig. Sowohl bestehende Wohnpräferenzen für gering verdichtete Wohnformen (u. a. Ein- und Zweifamilienhausgebiete) als auch Festlegungen zur Gebäudehöhe sind zu hinterfragen ([OECD 2018](#)). Flächenausweisungen zur Generierung von Einkommens- oder Gewerbesteuern müssen kritisch diskutiert und Verteilungsprinzipien der nationalen Steuereinnahmen in ihren Folgewirkungen auf die Siedlungsentwicklung grundlegend überprüft werden. Planungsverwaltungen und Investoren müssen für das Problem stärker sensibilisiert und in ihren Möglichkeiten zur Eindämmung des Problems gestärkt werden.

5 Fazit für die Praxis

Das Messkonzept der gewichteten Zersiedelung (WUP_p und $WSPC$) eignet sich, um über das persistente Problem der Flächenneuanspruchnahme und deren Beitrag zur Zersiedelung detaillierte quantitative Analysen von Raumeinheiten zu erstellen und die Wirkung ergriffener Gegenmaßnahmen zu beurteilen.

Die Verfügbarkeit neuer georeferenzierter Datenquellen hat die Möglichkeiten deutlich verbessert, um die Zersiedelung quantitativ zu erfassen und zu bewerten. Eine Abstimmung über eine allgemein anerkannte Definition der Zersiedelung in Deutschland würde die Entwicklung entscheidungsunterstützender Werkzeuge befördern, die speziell für das Monitoring und die zielgerichtete Bewertung von Planungsvorhaben durch Behörden und Planungsbüros konzipiert sind.

Weitaus größere Anstrengungen als bisher sind notwendig, um die Zersiedelung in Deutschland auf ein sinnvolles und intergenerationell gerechtes Maß zu begrenzen. Die angestrebte Nachhaltigkeitstransformation erfordert für die Zersiedelung und andere persistente Probleme wirksamere Lösungsansätze als bisher, die nicht nur auf die Politik abzielen, sondern auch auf Lernprozesse, neuartige Interaktionen, verbesserte Planungsinstrumente und ein Experimentieren auf gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Ebene.

6 Literatur

- [Ackermann W., Schweppe-Kraft B. \(2010\)](#): Zersiedelung der Landschaft – Indikator und erste Ergebnisse. In: Meinel G., Schumacher U. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring II. Konzepte – Indikatoren – Statistik. IÖR Schriften 52: 129 – 141.
- [BBR/Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung \(Hrsg.\) \(2006\)](#): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung. BBR-Online-Publikation 3/2006. BBR. Bonn: 405 S.
- [Behnisch M., Jaeger J.A., Krüger T. \(2018\)](#): Welche Vorteile bietet die Quantifizierung der Zersiedelung? Nachrichten der Akademie für Raumentwicklung in der Leibniz-Gemeinschaft (ARL) 48: 25 – 30.
- [Behnisch M., Krüger T., Jaeger J.A. \(2021\)](#): Trends der Zersiedelung in den deutschen Planungsregionen seit 1990. In: Meinel G., Krüger T. et al. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik – Konzepte – Analysen – Tools. IÖR Schriften 79: 113 – 126.
- [Behnisch M., Krüger T., Jaeger J.A. \(2022\)](#): Rapid rise in urban sprawl: Global hotspots and trends since 1990. PLOS Sustainability and Transformation: im Druck.

- Behnisch M., Schorcht M. et al. (2019): Settlement percolation: A study of building connectivity and poles of inaccessibility. *Landscape and Urban Planning* 191: 103631. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2019.103631
- Bengston D.N., Fletcher J.O., Nelson K.C. (2004): Public policies for managing urban growth and protecting open space: Policy instruments and lessons learned in the United States. *Landscape and Urban Planning* 69(2–3): 271–286. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2003.08.007
- BKG/Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2021): Dokumentation Verwaltungsgebiete 1 : 25.000, VG25. Stand: 14.9.2021. BKG, Frankfurt am Main: 19 S.
- BMI/Bundesminister des Innern (Hrsg.) (1985): Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung. Bundestags-Drucksache 10/2977 vom 7. März 1985. Kohlhammer. Stuttgart: 229 S.
- BMU/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. BMU. Berlin: 178 S.
- Bundesregierung (Hrsg.) (2017): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Bundesregierung. Berlin: 258 S.
- Bundesregierung (Hrsg.) (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. Bundesregierung. Berlin: 384 S.
- Burchell R.W., Mukherji S. (2003): Conventional development versus managed growth: The costs of sprawl. *American Journal of Public Health* 93(9): 1.534–1.540.
- Colsaet A., Laurans Y., Levrel H. (2018): What drives land take and urban land expansion? A systematic review. *Land Use Policy* 79: 339–334.
- Corbane C., Florczyk A. et al. (2018): GHS-BUILT R2018A – GHS built-up grid, derived from Landsat, multitemporal (1975–1990–2000–2014) – Obsolete release. European Commission. Joint Research Centre Data Catalogue. DOI: 10.2905/jrc-ghsl-10007 PID
- Cumming G.S., Buerkert A. et al. (2014): Implications of agricultural transitions and urbanization for ecosystem services. *Nature* 515(7.525): 50–57. DOI: 10.1038/nature13945
- Dupras J., Alam M. (2015): Urban sprawl and ecosystem services: A half century perspective in the Montreal area (Quebec, Canada). *Journal of Environmental Policy and Planning* 17(2): 180–200. DOI: 10.1080/1523908X.2014.927755
- EEA, FOEN/European Environment Agency, Swiss Federal Office for the Environment (2016): Urban sprawl in Europe. Joint EEA-FOEN report. EEA Report 11/2016. Publication Office of the European Union. Luxembourg: 135 S.
- 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., Braunschweig B., Zimmermann T. (Hrsg.): *Stadtregionales Flächenmanagement*. Springer Spektrum. Berlin: 1–30.
- Fina S. (2013): Indikatoren der Raumentwicklung. Flächeninanspruchnahme und Landschaftszersiedelung. Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. Tübingen: 267 S.
- Fina S. (2021): Nachhaltigkeitslücke Landschaftszersiedelung. Bedeutung und Stellenwert in bundesdeutschen Regionalplänen und Raumordnungsprogrammen. *Berichte Geographie und Landeskunde* 94(4): 278–299. DOI: 10.25162/bgl-2021-0014
- Frenkel A., Ashkenazi M. (2008): Measuring urban sprawl: How can we deal with it? *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(1): 56–79. DOI: 10.1068/b32155
- Haber W. (2007): Energy, food, and land – The ecological traps of humankind. *Environmental Science Pollution Research* 14(6): 359–365. DOI: 10.1065/espr2007.09.449
- Hennig E.I., Schwick C. et al. (2015): Multi-scale analysis of urban sprawl in Europe: Towards a European de-sprawling strategy. *Land Use Policy* 49(1): 483–498. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.08.001
- Hersperger A.M., Bürgi M. (2009): Going beyond landscape change description: Quantifying the importance of driving forces of landscape change in a Central Europe case study. *Land Use Policy* 26(3): 640–648. DOI: 10.1016/j.landusepol.2008.08.015
- Jaeger J.A., Bertiller R. et al. (2010): Suitability criteria for measures of urban sprawl. *Ecological Indicators* 10(2): 397–406. DOI: 10.1016/j.ecolind.2009.07.007
- Jaeger J.A., Schwick C. (2014): Improving the measurement of urban sprawl: Weighted Urban Proliferation (WUP) and its application to Switzerland. *Ecological Indicators* 38: 294–308.
- Jaeger J.A., Schwick C. (2021): Zielwerte und Grenzwerte für die Zersiedelung. In: Meinel G., Krüger T. et al. (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring XIII*. IÖR Schriften 79: 103–112. DOI: 10.26084/13dfns-p010
- Jaeger J.A., Schwick C. et al. (2018): Messung der Zersiedelung ermöglicht Monitoring und stärkere Berücksichtigung in der Planung. In: Behnisch M., Kretschmer O., Meinel G. (Hrsg.): *Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung*. Springer Spektrum. Berlin: 245–267. DOI: 10.1007/978-3-662-50305-8_6
- Jänicke M., Volkery A. (2001): Persistente Probleme des Umweltschutzes. *Natur und Kultur* 2(2): 45–59.
- Jiang Z., Shekhar S. (2017): Spatial big data science. Classification techniques for earth observation imagery. Springer. Berlin: 146 S.
- Jones C., Kammen D.M. (2014): Spatial distribution of U.S. household carbon footprints reveals suburbanization undermines greenhouse gas benefits of urban population density. *Environmental Science and Technology* 48(2): 895–902. DOI: 10.1021/es4034364
- Kienast F., Frick J. et al. (2015): The Swiss Landscape Monitoring Program – A comprehensive indicator set to measure landscape change. *Ecological Modelling* 295: 136–150. DOI: 10.1016/J.ECOLMODEL.2014.08.008
- Kretschmer O., Ultsch A., Behnisch M. (2015): Towards an understanding of land consumption in Germany – Outline of influential factors as a basis for multidimensional analyses. *Erdkunde* 69(3): 267–279. DOI: 10.3112/erdkunde.2015.03.05
- Mahтта R., Mahendra A., Seto K.C. (2019): Building up or spreading out? Typologies of urban growth across 478 cities of 1 million+. *Environmental Research Letters* 14(12): 124077. DOI: 10.1088/1748-9326/ab59bf
- Malburg-Graf B. (2018): Herausforderungen für das Flächenmanagement im ländlichen Raum – Handlungsoptionen für die Praxis. In: Behnisch M., Kretschmer O., Meinel G. (Hrsg.): *Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung*. Springer Spektrum. Berlin: 95–108. DOI: 10.1007/978-3-662-50305-8_6
- Nazarnia N., Schwick C. et al. (2016): Urban Sprawl Metrics (USM) toolset – User manual. First edition, 8. September 2016. Concordia University Montreal. Montreal: 19 S.
- Niemeijer D., de Groot R.S. (2008): A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. *Ecological Indicators* 8(1): 14–25. DOI: 10.1016/j.ecolind.2006.11.0126
- OECD/Organisation for Economic Co-operation and Development (2018): Rethinking urban sprawl: Moving towards sustainable cities. OECD. Paris: 168 S. DOI: 10.1787/9789264189881-en
- Orlitová E., Soukup T. et al. (2012): Urban sprawl typology: Critical analysis of input datasets, indicators calculated and dataflows proposal. Working document. European Environment Agency. Copenhagen: 137 S.
- 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* 79(5): 484–500. DOI: 10.14512/RUR.74
- Pesaresi M., Melchiorri M. et al. (2016): Atlas of the human planet 2016. Mapping human presence on earth with the global human settlement layer. JRC Science for Policy Report. JRC 103150. Publications Office of the European Union. Ispra: 137 S. DOI: 10.2788/889483
- Pourtaherian P., Jaeger J.A. (2022): How effective are greenbelts at mitigating urban sprawl? A comparative study of 60 European cities. *Landscape and Urban Planning* 227: 104532. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2022.104532

Razin E., Rosentraub M. (2000): Are fragmentation and sprawl interlinked? *Urban Affairs Review* 35(6): 821–836. DOI: 10.1177/10780870022184697

Schwarzak M., Behnisch M. (2017): Zersiedelung in Deutschland messen und beschreiben – Anwendung der Schweizer Methode der gewichteten Zersiedelung. In: Wende W., Walz U. (Hrsg.): Die räumliche Wirkung der Landschaftsplanung. Evaluation, Indikatoren und Trends. Springer Spektrum, Wiesbaden: 77–96. DOI: 10.1007/978-3-658-13556-0

Schwarzak M., Behnisch M., Meinel G. (2014): Zersiedelung in Deutschland – erste Ergebnisse nach Schweizer Messkonzept. In: Meinel G., Schumacher U., Behnisch M. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring VI. Innenentwicklung – Prognose – Datenschutz. IÖR Schriften 65: 213–222.

Schwick C., Jaeger J. et al. (2018): Zersiedelung messen und begrenzen. Massnahmen und Zielvorgaben für die Schweiz, ihre Kantone und Gemeinden. *Bristol-Schriftenreihe* 57: 238 S.

Seto K.C., Dhakal S. et al. (2014): Human settlements, infrastructure and spatial planning. In: Edenhofer O., Pichs-Madruga R. et al. (Hrsg.): *Climate change 2014. Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge: 923–1.000.

Sidentop S. (2018): Ursachen der Flächeninanspruchnahme in Deutschland – eine Zwischenbilanz. In: Behnisch M., Kretschmer O., Meinel G. (Hrsg.): *Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung*. Springer Spektrum, Berlin: 45–55. DOI: 10.1007/978-3-662-50305-8_6

Sidentop S., 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. DOI: 10.1080/1747423X.2010.481075

Sidentop S., Fina S. (2012): Who sprawls most? Exploring the patterns of urban growth across 26 European countries. *Environment and Planning A: Economy and Space* 44(11): 2.765–2.784. DOI: 10.1068/a4580

Sidentop S., Fina S., Krehl A. (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

Speir C., Stephenson K. (2002): Does sprawl cost us all? Isolating the effects of housing patterns on public water and sewer costs. *Journal of the American Planning Association* 68(1): 56–70. DOI: 10.1080/01944360208977191

SRU/Sachverständigenrat für Umweltfragen (2016): *Umweltgutachten 2016. Impulse für eine integrative Umweltpolitik*. SRU, Berlin: 462 S.

SRU/Sachverständigenrat für Umweltfragen (2018): *Wohnungsneubau langfristig denken. Für mehr Umweltschutz und Lebensqualität in den Städten*. Stellungnahme, November 2018. SRU, Berlin: 103 S.

Torrens P.M. (2008): A toolkit for measuring sprawl. *Applied Spatial Analysis and Policy* 1(1): 5–36. DOI: 10.1007/s12061-008-9000-x

Torres A., Jaeger J.A., Alonso J.C. (2016): Multi-scale mismatches between urban sprawl and landscape fragmentation create windows of opportunity for conservation development. *Landscape Ecology* 31(10): 2.291–2.305. DOI: 10.1007/s10980-016-0400-z

Walz U., Wetzl S., Behnisch M. (2021): Implementierung von Landschaftsstrukturmaßen zu Zersiedelung, Zerschneidung und Konnektivität in die Open-Source-Arcpy-Toolbox „Zonalmetrics“. *GIS.Science* 34(1): 22–37.

WBGU/Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung *Globale Umweltveränderungen (2020): Landwende im Anthropozän: Von der Konkurrenz zur Integration*. Hauptgutachten. WBGU, Berlin: 389 S.

Wolfram M., Borgström S., Farrelly M. (2019): Urban transformative capacity: From concept to practice. *Ambio* 48: 437–448.

Xie X., Kang H. et al. (2020): To what extent can the green belts prevent urban sprawl? A comparative study of Frankfurt am Main, London and Seoul. *Sustainability* 12(2): 679. DOI: 10.3390/su12020679

Yeh A.G., Li X. (2001): Measurement and monitoring of urban sprawl in a rapidly growing region using entropy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67(1): 83–90.

Dank

Der Beitrag ist im Rahmen des Projekts GeoDS – Geographische Datenwissenschaft am Beispiel der Zersiedelung entstanden. Die Studie wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG; BE4234/5-1 – Aufbau internationaler Kooperationen) und dem Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) unterstützt. Wir bedanken uns ganz herzlich bei Ulrich Schumacher für die Anfertigung der Karte der Planungsregionen (Abb.F in Abschnitt 7 im [Online-Zusatzmaterial](#)). Darüber hinaus gilt unser Dank Ulrike Schinke für Vorarbeiten am kartographischen Layout.

Dr. Martin Behnisch
Korrespondierender Autor
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)
Forschungsbereich Raumbezogene Information
und Modellierung
Weberplatz 1
01217 Dresden
E-Mail: m.Behnisch@ioer.de



Der Autor ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) im Forschungsbereich Raumbezogene Information und Modellierung. Er studierte Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Geographical Information Science and Systems mit Auszeichnung an der Paris Lodron Universität Salzburg. Er promovierte zum Dr.-Ing. (summa cum laude) zur Thematik des Urban Data Mining am KIT. Forschungsfelder sind u. a. Flächenneuanspruchnahme, Erneuerbare Energien, Nachhaltige Gebäudebestands- und Siedlungsentwicklung.

Dr. Tobias Krüger
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)
Forschungsbereich Raumbezogene Information
und Modellierung
Weberplatz 1
01217 Dresden
E-Mail: t.krueger@ioer.de

Dr. sc. nat. Jochen Jaeger, Associate Professor
Concordia University Montreal
Department of Geography, Planning and Environment
1455 de Maisonneuve Blvd. West, Suite H1255
Montréal, Québec, H3G 1M8
KANADA
E-Mail: jochen.jaeger@concordia.ca

Anzeige

**11 qm
 Deutschland.
 Jede
 Sekunde.**

Siedlungsbau zerstört Natur- und Erholungs-räume. Der NABU setzt sich für eine intelligente Flächennutzung ein. Infos unter www.nabu.de

NABU

Zusatzmaterial zu:

Wie hoch zersiedelt sind die deutschen Planungsregionen?
Räumliche Analyse und Trends 1990–2014

Supplement to:

What is the extent of urban sprawl in Germany's planning regions?
Spatial analysis and trends 1990–2014

Martin Behnisch, Tobias Krüger und Jochen Jaeger

Natur und Landschaft — 97. Jahrgang (2022) — Ausgabe 12: 551–560

Zusammenfassung

Die hohe Flächenneuinanspruchnahme in Deutschland wurde kürzlich vom Sachverständigenrat für Umweltfragen als persistentes Umweltproblem benannt. Zur Bewertung der räumlichen Anordnung und der Ausnutzung der neu in Anspruch genommenen Flächen eignen sich multidimensionale Indikatoren. Hierfür hat sich die Messgröße der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) international etabliert. Erst über längere Zeiträume (Jahrzehnte) und mit Trendfortschreibungen in die Zukunft werden die ökologischen, ökonomischen und sozialen Folgen sowie irreversible Schäden infolge der Zersiedelung sichtbar. Neue innovative Produkte der Fernerkundung wie der Global Human Settlement Layer (GHSL) haben die Möglichkeiten zur Beobachtung und Bewertung von Prozessen der Zersiedelung über lange Zeiträume verbessert. Der Beitrag zeigt eine räumliche Analyse der deutschen Planungsregionen hinsichtlich deren Zersiedelung in den Jahren 1990, 2000 und 2014 sowie hinsichtlich von Trends und Trendänderungen der Zersiedelung. Zwischen 1990 und 2014 hat die Zersiedelung in Deutschland jährlich um durchschnittlich 1,45 % zugenommen. Viele Planungsregionen in Deutschland sind von hohen Werten der Zersiedelung betroffen. Im Zeitraum 1990–2000 betrug die jährliche prozentuale Zunahme von WUP_p im Durchschnitt 1,81 % und im Zeitraum 2000–2014 noch immer 1,20 %. Bezogen auf die einwohnerorientierte Zersiedelung (WSPC) lag die jährliche prozentuale Zunahme im Durchschnitt im zweiten Zeitraum auf ähnlichem Niveau wie im ersten Zeitraum (1990–2000: 1,44 % p. a. und 2000–2014: 1,31 %; insgesamt 1990–2014: 1,36 %). Von einer grundlegenden Trendumkehr hin zu weniger Zersiedelung kann auf Basis der empirischen Befunde nicht gesprochen werden. Es besteht dringender Handlungsbedarf zur Eindämmung des Problems mit dem Ziel einer nachhaltigen Landnutzung als einem der wichtigsten Schlüssel für die Große Transformation.

Zersiedelung – Siedlungsflächenentwicklung – Fernerkundungsdaten – Global Human Settlement Layer – Planungsregionen

Abstract

The German Advisory Council on the Environment recently identified the high level of land take as a persistent environmental problem. Multi-dimensional indicators are suitable for assessing the spatial arrangement and degree of utilisation of newly taken-up areas. For this purpose, the measure of weighted urban proliferation (WUP_p) is an internationally established approach. The ecological, economic and social consequences of urban sprawl and irreversible damage can be detected only over long periods of time (decades) and by extrapolating current trends into the future. New innovative remote sensing products such as the Global Human Settlement Layer (GHSL) have improved the possibilities for observing and evaluating urban sprawl over long periods of time. This paper presents a spatial analysis of the German planning regions with regard to their degree of urban sprawl in the years 1990, 2000 and 2014 as well as their trends and changes in trends of urban sprawl. Between 1990 and 2014, urban sprawl in Germany increased on average by 1.45 % per year. Many planning regions in Germany are affected by high levels of sprawl. In the period from 1990 to 2000, the average annual percentage increase in WUP_p was 1.81 %. In the period from 2000 to 2014 it was still 1.20 %. In terms of inhabitant-oriented sprawl (WSPC), the average annual percentage increase in the second period was at a level similar to that in the first period (1990–2000: 1.44 % p. a.; 2000–2014: 1.31 %; overall 1990–2014: 1.36 %). Based on the empirical findings presented here, we can not speak of a trend reversal towards lower levels of urban sprawl. There is an urgent need for action to mitigate this issue, considering that sustainable land use is one of the most important keys for a comprehensive sustainability transformation.

Urban sprawl – Settlement development – Remote sensing data – Global Human Settlement Layer – Planning regions

Manuskripteinreichung: 11.2.2022, Annahme: 14.9.2022

DOI: 10.19217/NuL2022-12-02

Inhalt

1. Folgen der Zersiedelung
2. Zusammenhänge der Zersiedelung zwischen den Messzeitpunkten
3. Ansatz zur Messung der Differenzen der jährlichen prozentualen Änderung der Zersiedelung zwischen den Zeiträumen 1990–2000 und 2000–2014
4. Vergleich der GHSL-basierten Flächen- und Einwohnerdaten mit korrespondierenden Daten der amtlichen Statistik
5. Verschiebung der Klassenzugehörigkeit von Gemeindeverbänden auf die Klassen der Zersiedelung bei Verwendung der neuesten Revision der GHSL-Daten im Vergleich zur Vorgängerversion
6. Verschiebung der Klassenzugehörigkeit von Gemeindeverbänden auf die Klassen der Zersiedelung bei Verwendung amtlicher zensusbereinigter Einwohnerzahlen
7. Weitere Abbildungen und Tabellen

1 Folgen der Zersiedelung

Disperse Siedlungsentwicklung mit geringer Dichte – die meist mit dem Begriff der Zersiedelung der Landschaft gemeint ist (Jaeger et al. 2010; Siedentop, Fina 2012) – widerspricht den Grundsätzen einer nachhaltigen Landnutzung als einem der wichtigsten Schlüssel für die Große Transformation hin zu einer nachhaltigen Entwicklung (WBGU 2020). Viele Folgen der Zersiedelung sind langfristig problematisch und umfassen ökologische, ökonomische und soziale Aspekte, die in der Literatur ausführlich dokumentiert sind (EEA, FOEN 2016). Beispiele sind die Bodenversiegelung und der Verlust wertvoller Böden und wichtiger ökologischer Bodenfunktionen. Die Umwandlung von Freiflächen zu bebauten Flächen reduziert die verbliebenen Habitate von Pflanzen und Tieren, erhöht die Landschaftsfragmentierung und befördert die Ausbreitung invasiver Arten. Weitere Folgen sind höhere Treibhausgasemissionen (Jones

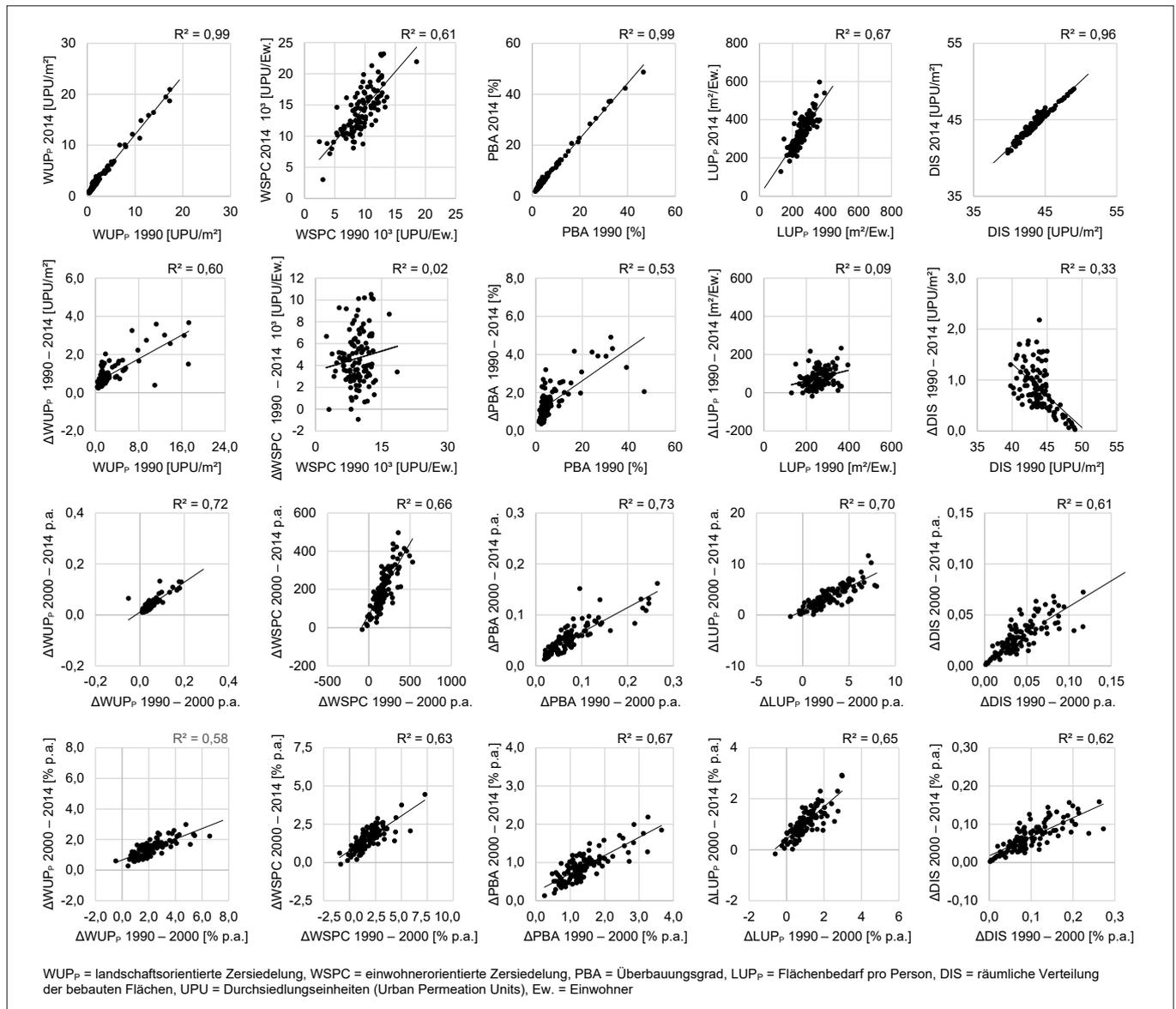


Abb. A: Zusammenhänge (Streudiagramme und Bestimmtheitsmaße) von Messgrößen der Zersiedelung auf Ebene der deutschen Planungsregionen zwischen den Zuständen 1990 und 2014 (erste Reihe), zwischen dem Zustand 1990 und den Veränderungen 1990–2014 (zweite Reihe), zwischen den Veränderungen in den beiden Zeiträumen 1990–2000 und 2000–2014, die einmal als jährliche absolute Veränderung (dritte Reihe) dargestellt sind und einmal als jährliche prozentuale Veränderung (vierte Reihe). Wenn nicht anders angegeben, sind die Einheiten auf den y-Achsen identisch zu denen der x-Achsen.

Fig. A: Correlations (scatter plots and coefficients of determination) of measures of urban sprawl at the level of planning regions in Germany between the states in 1990 and 2014 (first row), between state in 1990 and changes from 1990 to 2014 (second row), between changes in the two time periods 1990–2000 and 2000–2014, shown once as annual absolute change (third row) and once as annual percentage change (fourth row). Unless otherwise stated, the units on the y-axes are identical to those on the x-axes.

und Kammern 2014; Seto et al. 2014), höhere Infrastrukturkosten für Verkehr, Wasser und Strom (Speir, Stephenson 2002; Burchell, Mukherji 2003; BBR 2006; Malburg-Graf 2018) sowie der Verlust offener Landschaften (EEA, FOEN 2016). Viele lebenswichtige Ökosystemleistungen und andere Ressourcen sind durch die fortschreitende Zersiedelung bedroht (Cumming et al. 2014; Dupras, Alam 2015). Die kumulativen Wirkungen der Zersiedelung haben irreversible Konsequenzen für künftige Generationen und sind daher hinsichtlich intergenerationaler Gerechtigkeit höchst relevant.

2 Zusammenhänge der Zersiedelung zwischen den Messzeitpunkten

Um Zusammenhänge der Zersiedelung zwischen den drei Zeitpunkten zu analysieren, wurden Streudiagramme und das Be-

stimmtheitsmaß (R^2) linearer Regressionen verwendet (Abb. A). Es war zu vermuten, dass Planungsregionen, die im Jahr 1990 bestimmte Aspekte von Zersiedelung aufwiesen, auch in den Jahrzehnten danach durch Zersiedelungsprozesse gekennzeichnet waren. Gerade in solchen Regionen könnte sich die Zersiedelung verstärkt haben, in denen bereits zuvor ein hohes Siedlungswachstum stattfand. Die Gründe für ein fortgesetztes Siedlungswachstum können bspw. in einer hohen Attraktivität der Region bestehen, in den sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen als Wohn- und Arbeitsstandort sowie im Pendlerverhalten ins erweiterte Umland aufgrund hoher Miet- und Grundstückspreise im Kernstadtbereich. Alternativ hätte aufgrund verstärkter Bemühungen um eine nachhaltige Siedlungsentwicklung in den vergangenen Jahren eine deutliche Trendabschwächung stattfinden können. Dann wäre zu erwarten, dass die Messgrößen im ersten Untersuchungszeitraum 1990–2000 deutlich stärker zugenommen hätten als in der

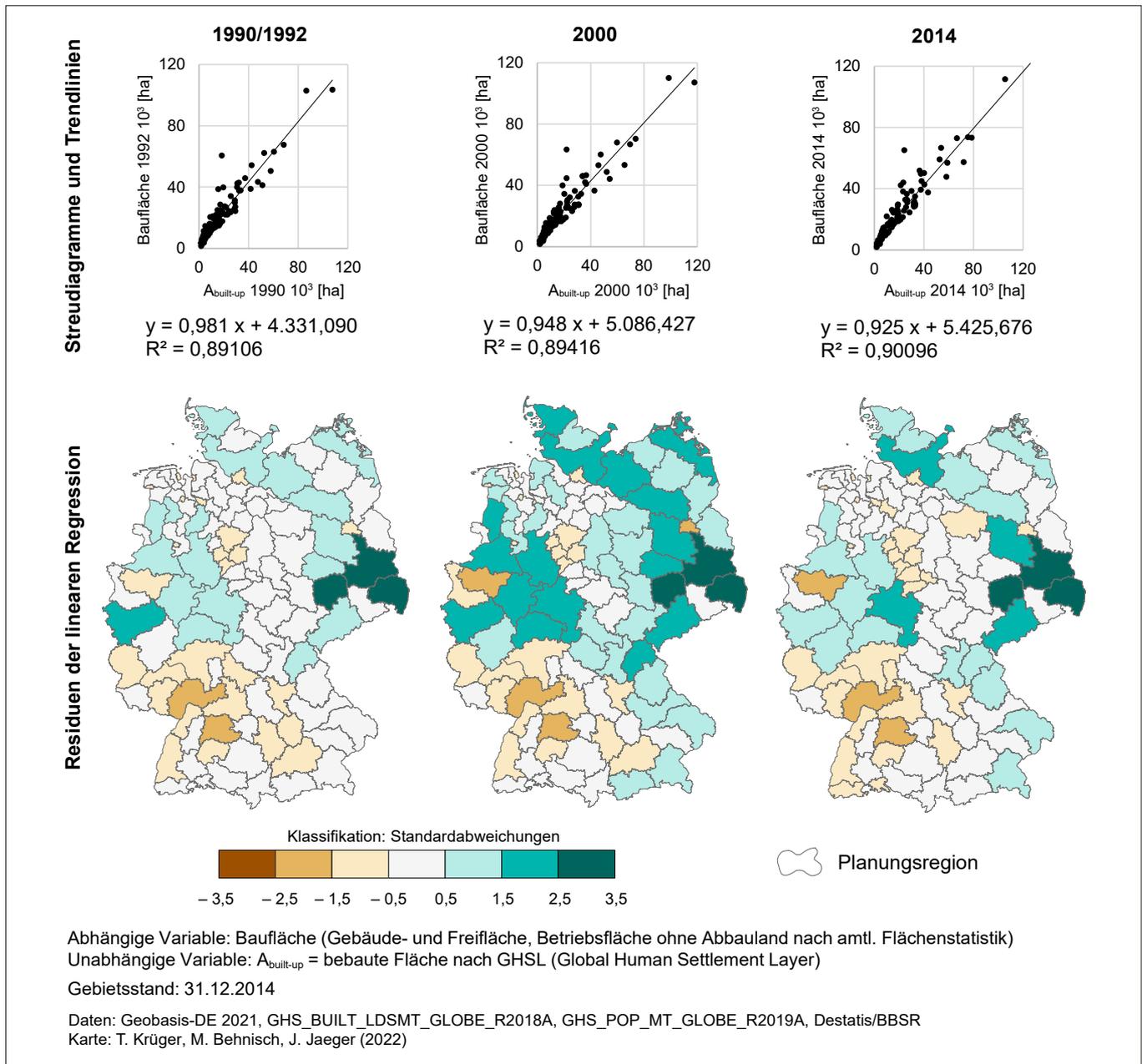


Abb. B: Linearer Zusammenhang zwischen bebauter Fläche (basierend auf Daten des Global Human Settlement Layer – GHSL) und baulich geprägter Siedlungs- und Verkehrsfläche (basierend auf Daten von Destatis/BBSR) für die Planungsregionen in Deutschland.

Fig. B: Linear relationship between built-up area (based on data of the Global Human Settlement Layer – GHSL) and built-up settlement and transport area (based on data from Destatis/BBSR) for the planning regions in Germany.

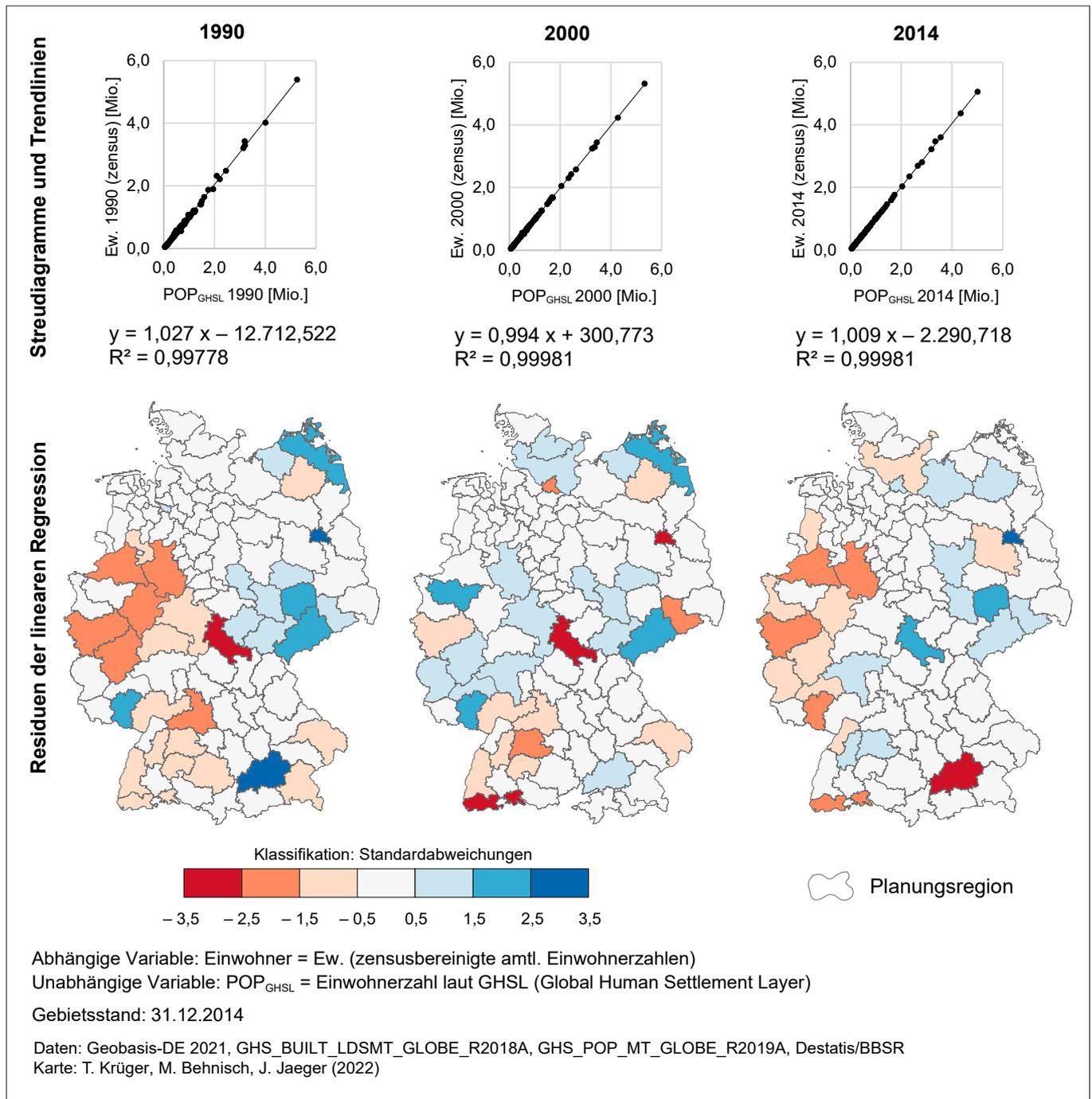


Abb. C: Linearer Zusammenhang zwischen der Einwohnerzahl, die auf Daten des Global Human Settlement Layer basiert, und der zensus- und gebietsstands-bereinigten amtlichen Einwohnerzahl (basierend auf Daten von Destatis/BBSR) für die Planungsregionen in Deutschland.

Fig. C: Linear relationship between inhabitant number based on data of the Global Human Settlement Layer (GHSL) and census- and area-adjusted official numbers of inhabitants (based on data from Destatis/BBSR) for the planning regions in Germany.

Folgezeit 2000–2014. Eine Abnahme der Flächeninanspruchnahme pro Person würde dann in einer Abschwächung der Veränderungen oder sogar einem Rückgang der Zersiedelungswerte WUP_p und WSPC sichtbar sein.

Es zeigt sich ein bemerkenswertes Bild, wenn man die Veränderungen der Messgrößen der Zersiedelung für die beiden Untersuchungszeiträume gegeneinander aufträgt (Abb. A, S. 2). Für keine der fünf betrachteten Messgrößen (WUP_p, WSPC, DIS, PBA, LUP_p) sind Anzeichen einer Trendumkehr erkennbar. Die Zusammenhänge zwischen den Werten zur Veränderung der Messgrößen sind weitgehend linear, sowohl bei den absoluten wie auch bei den

relativen mittleren jährlichen Änderungen der Werte. Bei der landschaftsorientierten Zersiedelung bestand ein sehr starker linearer Zusammenhang ($R^2 = 0,99$) zwischen den Jahren 1990 und 2014. Bei der einwohnerorientierten Zersiedelung fällt der Zusammenhang weniger deutlich aus ($R^2 = 0,61$). Mögliche Ursachen könnten im eingangs geschilderten Phänomen liegen, dass gerade Regionen, die durch Schrumpfungstendenzen der Bevölkerung gekennzeichnet waren, sich besonders großzügig bei der weiteren Siedlungsflächenausweisung zeigten.

Klare lineare Zusammenhänge bestanden für den Überbauungsgrad und die Dispersion zwischen den Werten der Jahre 1990 und

Tab. A: Verschiebung der Klassenzugehörigkeit der Gemeindeverbände nach Aktualisierung der Daten des Global Human Settlement Layers (GHSL). Vergleich der resultierenden Werte zur a) landschaftsorientierten und b) einwohnerorientierten Zersiedelung.

Table A: Shift in class membership of municipality associations after updating Global Human Settlement Layer (GHSL) data. Comparison of the resulting values for a) landscape-oriented and b) inhabitant-oriented sprawl.

	Verschiebung der Klassenzugehörigkeit GHSL[2016] → GHSL[2019]								
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
a) Änderung WUP_p:									
WUP _p 1990	0	1	64	1.060	3.090	252	3	0	0
WUP _p 2000	0	4	62	881	3.206	311	6	0	0
WUP _p 2014	1	7	105	883	3.064	397	13	0	0
b) Änderung WSPC:									
WSPC 1990	0	7	28	996	3.236	198	5	0	0
WSPC 2000	2	4	17	890	3.271	283	3	0	0
WSPC 2014	0	10	8	740	3.442	265	5	0	0

2014. Ein schwacher negativer Zusammenhang ($R^2 = 0,33$) konnte nur zwischen den Werten der Dispersion im Jahr 1990 und der Veränderung im Zeitraum 1990 – 2014 beobachtet werden. Stärkere Zunahmen der Dispersion erfolgten in den Regionen, die zuvor durch relativ niedrige Dispersionswerte gekennzeichnet waren. Es trat ab einem gewissen Punkt (knapp unter $50,0 \text{ UPU/m}^2$) eine Sättigung ein, ab dem Siedlungserweiterungen zu keiner weiteren Erhöhung der Dispersion führten. Dieser Wert liegt nahe am Wert maximaler Streuung ($49,7 \text{ UPU/m}^2$); noch höhere Werte sind nur in extremen Ausnahmefällen möglich (EEA, FOEN 2016: 39; Schwick et al. 2018: 29).

Eine Verringerung der Dispersion wurde in keiner einzigen Planungsregion ermittelt. Sowohl für WSPC ($R^2 = 0,02$) als auch für den Flächenbedarf ($R^2 = 0,09$) ließen sich keine linearen Zusammenhänge zwischen dem Zustand 1990 und den Veränderungen 1990 – 2014 ablesen. Die linearen Zusammenhänge zwischen den Veränderungen 1990 – 2000 und den Veränderungen 2000 – 2014 (dritte und vierte Reihe in Abb. A, S. 2) hatten aber allesamt Bestimmtheitsmaße zwischen 0,61 und 0,73 (für die Absolutwerte) bzw. zwischen 0,58 und 0,67 (für die relativen Werte).

3 Ansatz zur Messung der Differenzen der jährlichen prozentualen Änderung der Zersiedelung zwischen den Zeiträumen 1990 – 2000 und 2000 – 2014

Gemessen wurden dafür die Differenzen der jährlichen prozentualen Änderung der Zersiedelung (WUP_p und WSPC) zwischen den beiden Zeiträumen. Dazu wurden zunächst über die nachfolgenden Formeln die jährlichen relativen Änderungen r_1 und r_2 für die Zeiträume $n_1 = 10$ Jahre (1990 – 2000) und $n_2 = 14$ Jahre (2000 – 2014) jeweils für die beiden Größen WUP_p und WSPC berechnet und deren Differenz Δr bestimmt:

- $WUP_{p,2000} = WUP_{p,1990} \cdot (1 + r_{WUPp,1990-2000})^{10}$
- $WUP_{p,2014} = WUP_{p,2000} \cdot (1 + r_{WUPp,2000-2014})^{14}$
- $WSPC_{2000} = WSPC_{1990} \cdot (1 + r_{WSPC,1990-2000})^{10}$
- $WSPC_{2014} = WSPC_{2000} \cdot (1 + r_{WSPC,2000-2014})^{14}$

Daraus wurden die Unterschiede Δr der Wachstumsraten r_1 und r_2 berechnet:

- $\Delta r_{WUPp} = r_{WUPp,2000-2014} - r_{WUPp,1990-2000}$
- $\Delta r_{WSPC} = r_{WSPC,2000-2014} - r_{WSPC,1990-2000}$

Als „gleichbleibender Trend“ wurde für beide Messgrößen ein Intervall der Differenz der mittleren jährlichen Veränderungsraten von $-0,5$ bis $+0,5$ Prozentpunkten definiert. Sechs weitere Klassen zeigen die Steigerungen oder Verringerungen der jährlichen Änderungsraten im Vergleich der beiden Zeiträume 1990 – 2000 und 2000 – 2014.

4 Vergleich der GHSL-basierten Flächen- und Einwohnerdaten mit korrespondierenden Daten der amtlichen Statistik

Mithilfe von Streudiagrammen wurde zunächst der Zusammenhang der auf dem Global Human Settlement Layer (GHSL) basierenden Flächendaten mit korrespondierenden Daten der amtlichen Statistik untersucht (Abb. B, S. 3). Da die amtliche Flächenstatistik zu Beginn nur alle vier Jahre erhoben wurde, musste für das Jahr 1990 als Vergleichsdatensatz der Zeitpunkt 1992 herangezogen werden.

Es konnte ein deutlicher linearer Zusammenhang festgestellt werden. Die amtliche Fläche wurde auf Grundlage der GHSL-basierten Flächendaten geschätzt. Das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression ist bei allen drei Zeitschnitten 1990, 2000 und 2014 größer als 0,89. Die Abweichungen (Residuen) sind in den dargestellten Karten unter Verwendung einer Klassifizierung mit Standardabweichung dokumentiert. Überschätzungen zeigen sich bspw. in den drei ostdeutschen Planungsregionen Leipzig-West Sachsen, Lausitz-Spreewald und Oberlausitz-Niederschlesien in allen drei Zeitschnitten. Größere Abweichungen können durch die Inhomogenität des Liegenschaftskatasters erklärt werden, das die Grundlage für die amtliche Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung (FETN) bildet. Aufgrund der homogenen satellitenbasierten Erfassungsmethodik der GHSL-Datenserie gibt es in dieser Zeitreihe keine Datenmigrationseffekte, wie sie bei Geobasisdaten bzw. der FETN anzutreffen sind.

Weiterhin wurde mithilfe von Streudiagrammen auch der Zusammenhang der GHSL-basierten Einwohnerdaten mit korrespondierenden zensus- und gebietsstandsbereinigten Einwohnerzahlen der amtlichen Statistik untersucht (Abb. C). Auch hier konnte ein linearer Zusammenhang festgestellt werden. Das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression ist bei allen drei Zeitschnitten größer als 0,99. Die Abweichungen (Residuen) sind ebenfalls kartographisch unter Verwendung einer Klassifizierung mit Standardabweichung abgebildet.

5 Verschiebung der Klassenzugehörigkeit von Gemeindeverbänden auf die Klassen der Zersiedelung bei Verwendung der neuesten Revision der GHSL-Daten im Vergleich zur Vorgängerversion

Zur Validierung der verwendeten Eingangsdaten (hier: Siedlungsfläche und Bevölkerungszahlen basierend auf Daten des GHSL) wurden die landschafts- und einwohnerorientierten Zersiedelungseigenschaften (landschaftsorientierte Zersiedelung – WUP_p und einwohnerorientierte Zersiedelung WSPC) unter Verwendung sowohl einer revidierten Version der GHSL-Daten (Data Package 2019) als auch der Vorgängerversion (Data Package 2016) berechnet.

Tab. A und Abb. D, S. 6, zeigen für die Gemeindeverbände die resultierenden Verschiebungen bezüglich ihrer Zugehörigkeiten zu

den definierten Klassen der Zersiedelung. Es konnten keine wesentlichen Abweichungen festgestellt werden, die die empirischen Befunde auch früherer Untersuchungen, die auf dem älteren Datenstand basieren, in Frage stellen.

Die Versionsnummern der Siedlungs- und Bevölkerungsdaten des GHSL lauten wie folgt:

- GHSL Data Package 2016: a) Siedlungsdaten: GHS-BU R2016A; b) Bevölkerungsdaten: GHS-POP R2015A;
- GHSL Data Package 2019: a) Siedlungsdaten: GHS-BU R2018A; b) Bevölkerungsdaten: GHS-POP R2019A.

6 Verschiebung der Klassenzugehörigkeit von Gemeindeverbänden auf die Klassen der Zersiedelung bei Verwendung amtlicher zensusbereinigter Einwohnerzahlen

Zur Validierung der verwendeten Eingangsdaten (hier: Bevölkerungszahlen basierend auf Daten des GHSL) wurden die landschafts- und einwohnerorientierten Zersiedelungseigenschaften unter Verwendung zensusbereinigter Einwohnerzahlen berechnet, die gebietsstandsberichtigt vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) zur Verfügung gestellt wurden.

Tab.B und Abb.E zeigen für die Verbandsgemeinden die resultierenden Verschiebungen bezüglich ihrer Zugehörigkeiten zu den definierten Klassen der Zersiedelung. Es konnten keine wesentlichen Abweichungen festgestellt werden, die die empirischen Befunde auf Basis der GHSL-Daten grundlegend in Frage stellen.

7 Weitere Abbildungen und Tabellen

Abb.F, Abb.G, Abb.H, Abb.I, Tab.C

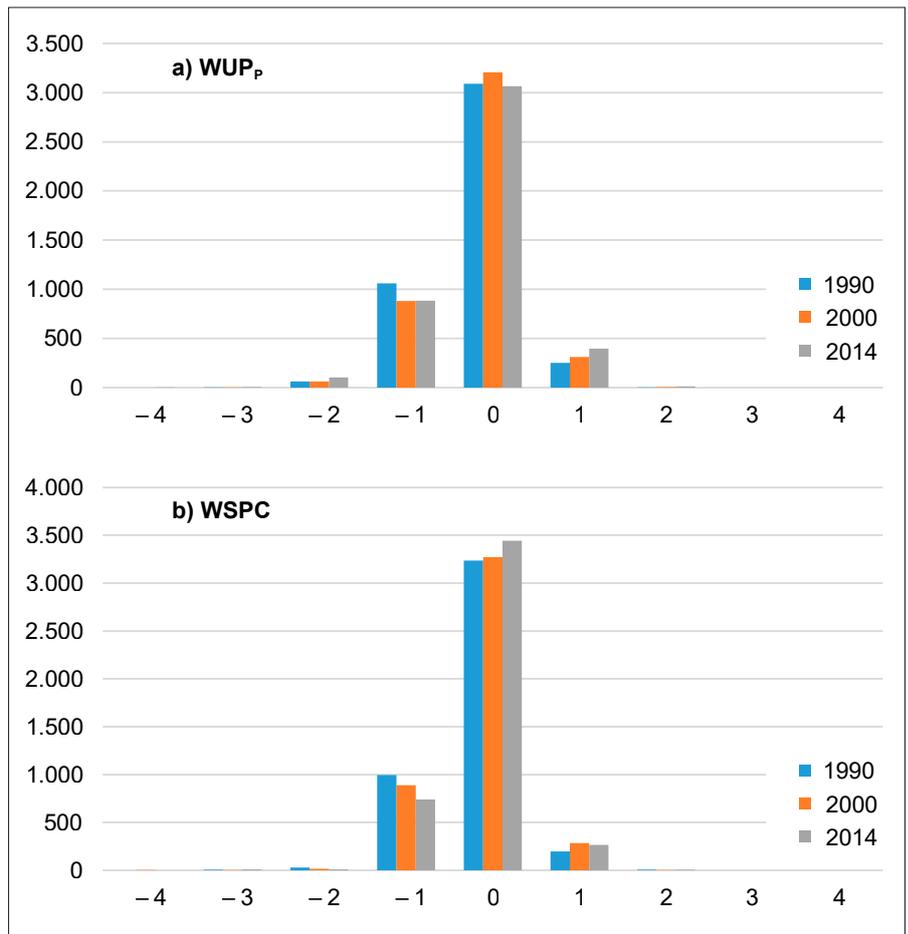


Abb. D: a) Verschiebung der Klassenzugehörigkeit der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) und b) Verschiebung der Klassenzugehörigkeit der einwohnerorientierten Zersiedelung (WSPC) der Gemeindeverbände nach Aktualisierungen der Daten des Global Human Settlement Layer (GHSL).

Fig. D: a) Shift in class membership of municipality associations for landscape-oriented sprawl (WUP_p) and b) for inhabitant-oriented sprawl (WSPC) after updates of the Global Human Settlement Layer (GHSL).

Tab. B: Verschiebung der Klassenzugehörigkeit der Gemeindeverbände bei Verwendung amtlicher zensusbereinigter Einwohnerzahlen. Vergleich der resultierenden Werte zur a) landschaftsorientierten und b) einwohnerorientierten Zersiedelung.

Table B: Shift in class membership of municipality associations using official census-adjusted population figures. Comparison of resulting values for a) landscape-oriented and b) inhabitant-oriented sprawl.

	Verschiebung der Klassenzugehörigkeit									
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	
a) Änderung WUP_p:										
WUP _p -Klasse 1990	0	0	0	58	4.286	123	3	0	0	
WUP _p -Klasse 2000	0	0	0	30	4.405	34	1	0	0	
WUP _p -Klasse 2014	0	0	0	6	4.458	6	0	0	0	
b) Änderung WSPC:										
WSPC-Klasse 1990	0	0	0	119	4.045	305	1	0	0	
WSPC-Klasse 2000	0	0	0	72	4.306	92	0	0	0	
WSPC-Klasse 2014	0	0	0	50	4.367	53	0	0	0	

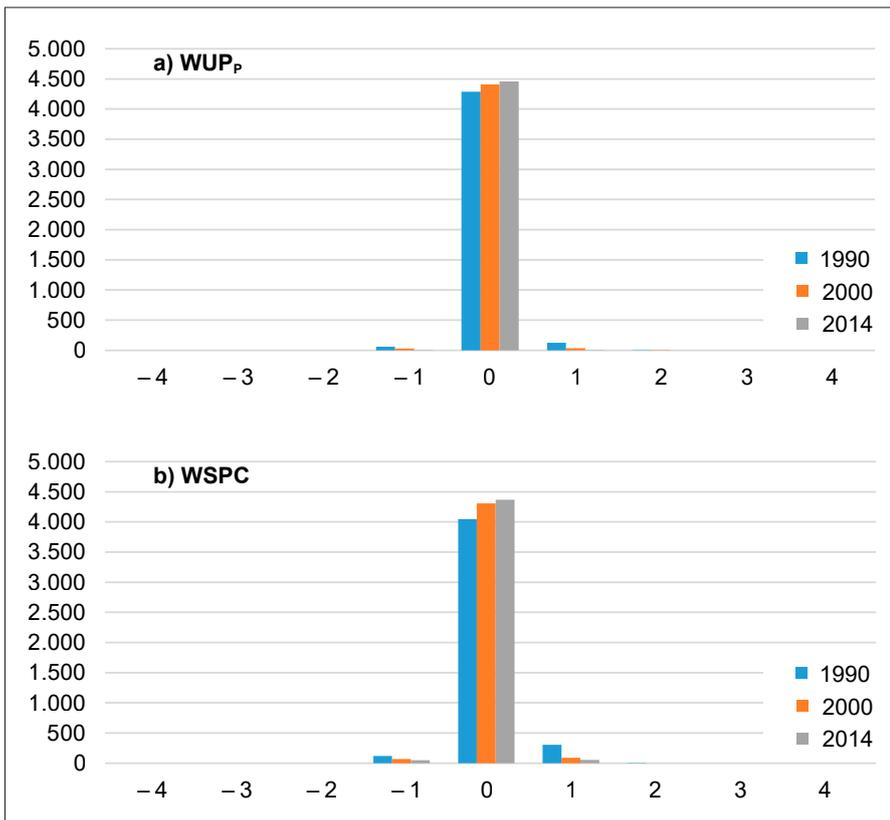


Abb. E: a) Verschiebung der Klassenzugehörigkeit der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) und b) Verschiebung der Klassenzugehörigkeit der einwohnerorientierten Zersiedelung (WSPC) der Gemeindeverbände in Deutschland bei Verwendung amtlicher zensusbereinigter Einwohnerzahlen.

Fig. E: a) Shift in class membership of municipality associations in Germany for landscape-oriented sprawl (WUP_p) and b) for inhabitant-oriented sprawl (WSPC) based on official census-adjusted inhabitant numbers.

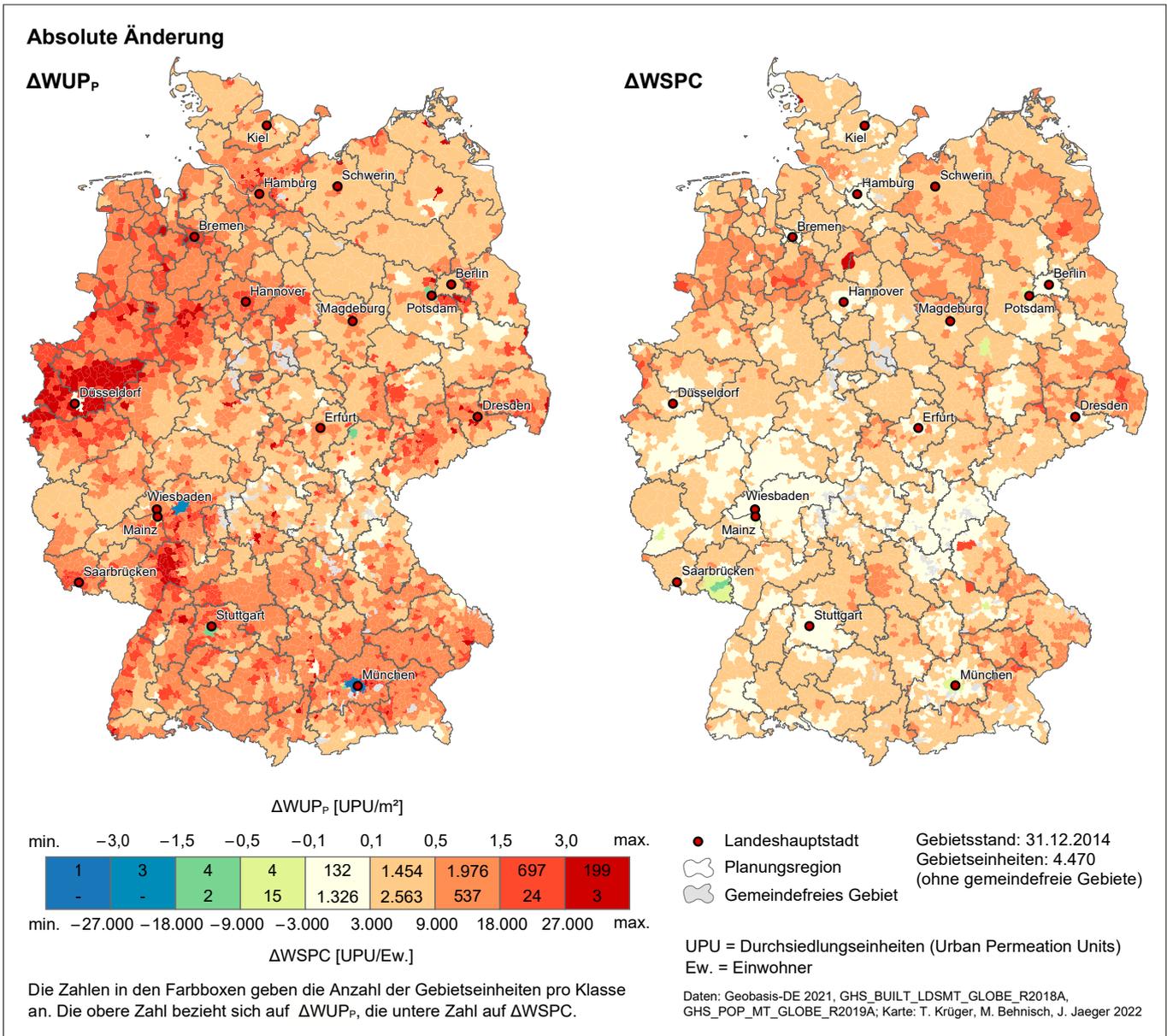


Abb. G: Absolute Veränderung der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) und der einwohnerorientierten Zersiedelung (WSPC) 1990 – 2014 innerhalb der deutschen Planungsregionen.

Fig. G: Absolute change in landscape-oriented sprawl (WUP_p) and inhabitant-oriented sprawl (WSPC) 1990–2014 within the German planning regions.

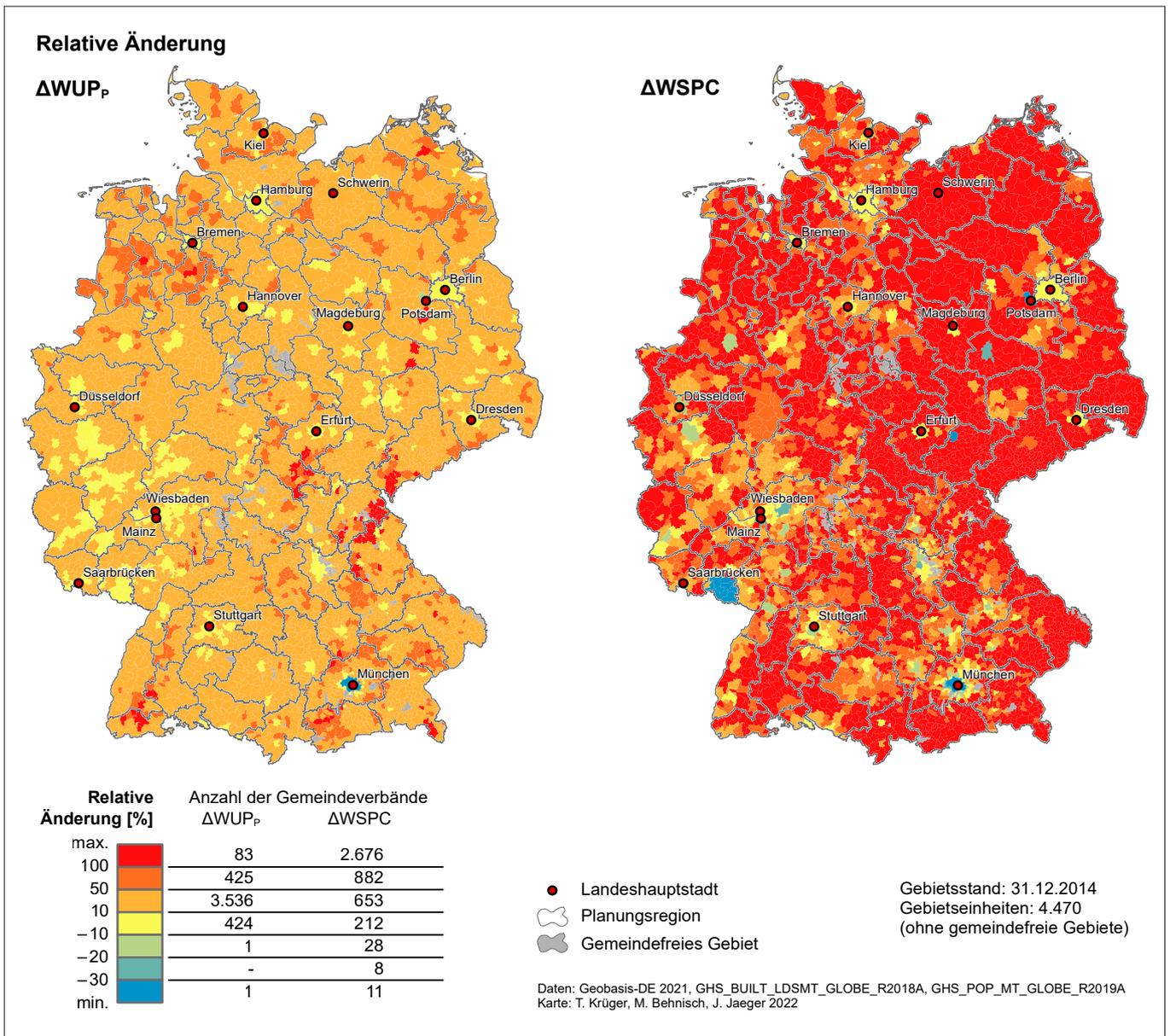


Abb. H: Relative Veränderung der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) und der einwohnerorientierten Zersiedelung (WSPC) 1990–2014 innerhalb der deutschen Planungsregionen.

Fig. H: Relative change in landscape-oriented sprawl (WUP_p) and inhabitant-oriented sprawl (WSPC) 1990–2014 within the German planning regions.

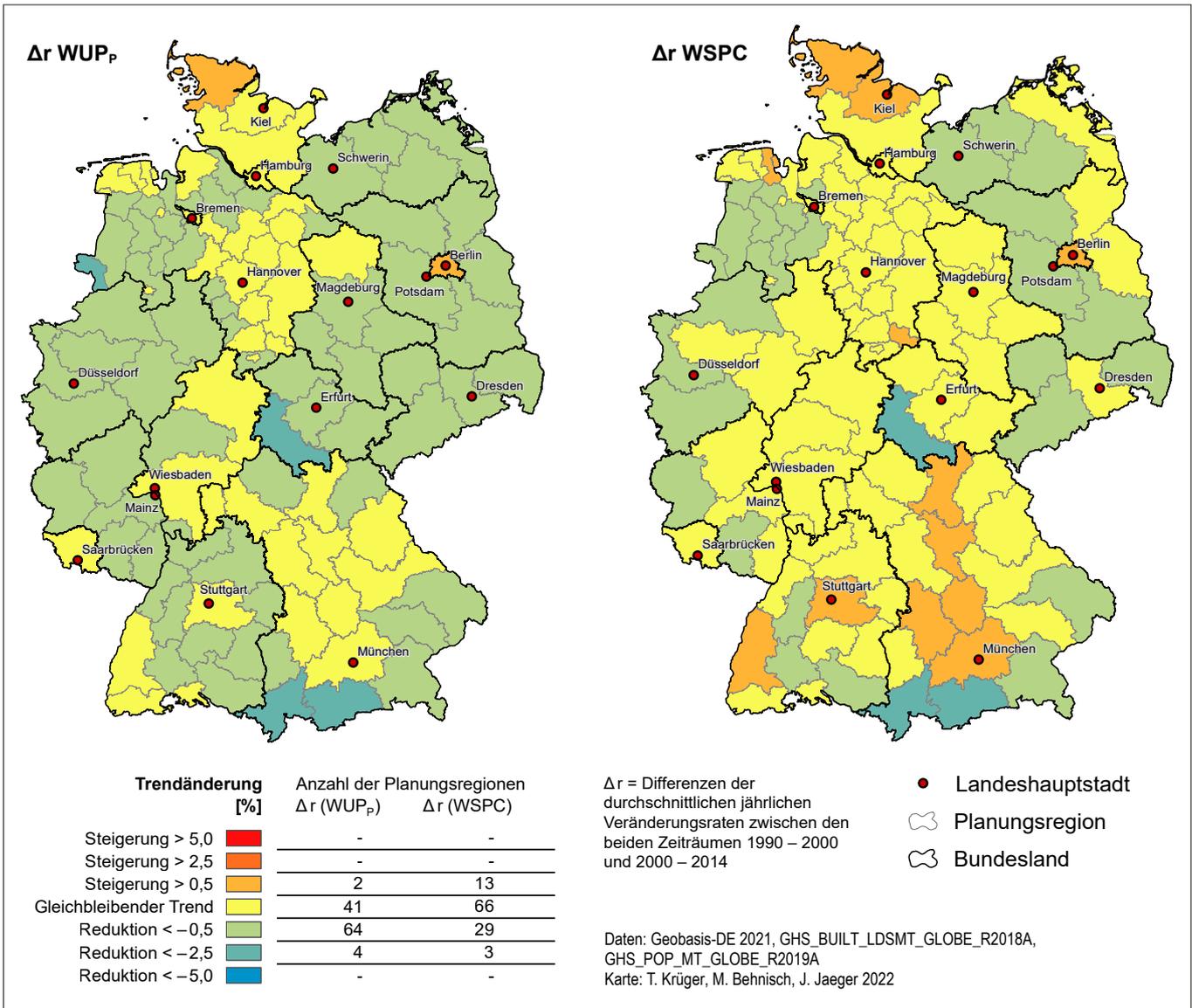


Abb. I: Veränderungen der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) und der einwohnerorientierten Zersiedelung (WSPC) in den zwei Zeiträumen 1990 – 2000 und 2000 – 2014 auf Ebene der deutschen Planungsregionen. Gezeigt sind die Differenzen zwischen den durchschnittlichen jährlichen Veränderungsrate (Δr).

Fig. I: Changes in landscape-oriented sprawl (WUP_p) and inhabitant-oriented sprawl (WSPC) in the two time periods 1990 – 2000 and 2000 – 2014 at the level of the German planning regions. The differences between the average annual rates of change (Δr) are shown.

Tab. C: Werte der landschaftsorientierten Zersiedelung (WUP_p) und der einwohnerorientierten Zersiedelung (WSPC) in Deutschland, den Bundesländern und den Planungsregionen.Table C: Values of landscape-oriented sprawl (WUP_p) and inhabitant-oriented sprawl (WSPC) in Germany, its regional states (Länder) and planning regions.

Gebietseinheiten (Bund, Länder, Planungsregionen)	WUP _p in UPU/m ²			WSPC in UPU/Ew.		
	1990	2000	2014	1990	2000	2014
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND	2,0151	2,4113	2,8490	9.123,4	10.526,1	12.622,2
Berlin	10,9764	10,4574	11,3688	3.060,7	2.776,3	3.026,2
Hamburg	17,2172	18,0105	18,7137	8.083,4	7.930,1	8.077,5
Bremen	13,8419	15,1772	16,4151	9.177,4	9.553,7	10.279,2
Baden-Württemberg	2,3524	2,7981	3,3591	8.409,3	9.470,0	11.284,0
Region Bodensee-Oberschwaben	1,3700	1,7709	2,1614	8.469,4	10.329,4	12.453,6
Region Donau-Iller	1,7637	2,1458	2,6330	10.976,2	12.462,2	14.874,6
Region Heilbronn-Franken	1,7484	2,1680	2,6540	10.011,1	11.831,9	14.540,0
Region Hochrhein-Bodensee	1,8855	2,2112	2,6777	8.144,9	9.032,6	10.773,6
Region Mittlerer Oberrhein	4,1815	4,9702	5,7101	9.924,4	10.936,3	12.093,4
Region Neckar-Alb	2,0185	2,4305	2,8928	7.845,0	9.028,3	10.830,9
Region Nordschwarzwald	1,1906	1,6892	2,2097	4.803,8	6.649,7	9.039,2
Region Ostwürttemberg	1,3225	1,6853	2,1026	6.410,6	7.989,4	10.397,9
Region Schwarzwald-Baar-Heuberg	1,2182	1,6290	2,0939	6.566,7	8.492,1	11.203,0
Region Stuttgart	5,4210	5,8328	6,6290	8.049,3	8.146,4	9.110,6
Region Südlicher Oberrhein	2,3186	2,6804	3,3623	10.115,3	10.835,9	13.083,5
Bayern	1,5801	1,8901	2,3141	9.826,6	10.927,4	12.876,2
Region Allgäu	0,6916	1,1385	1,4389	5.458,9	8.336,6	10.153,7
Region Augsburg	2,3430	2,6915	3,2961	12.273,8	13.062,2	15.375,8
Region Bayerischer Untermain	2,0866	2,4455	2,9781	8.727,9	9.731,4	11.866,7
Region Donau-Wald	1,1705	1,6190	2,0421	10.445,7	13.924,7	17.888,0
Region Ingolstadt	1,8883	2,1721	2,6897	13.628,8	14.171,1	16.259,0
Region Landshut	1,3590	1,7619	2,3503	12.794,8	15.374,7	19.710,3
Region Main-Rhön	0,7323	0,9005	1,0910	6.530,9	7.910,7	10.107,3
Region München	3,6730	3,9181	4,4843	9.678,5	8.882,1	8.736,9
Region Nürnberg	4,4935	4,7477	5,2298	11.137,7	10.996,8	11.803,1
Region Oberfranken-Ost	0,6000	0,7397	0,9257	4.198,1	5.239,7	7.193,3
Region Oberfranken-West	1,2499	1,3863	1,6087	7.957,5	8.463,7	9.931,3
Region Oberland	0,3741	0,7068	0,9622	3.737,1	6.611,3	8.794,5
Region Oberpfalz-Nord	0,9926	1,1905	1,5118	10.462,4	12.249,8	16.176,1
Region Regensburg	1,4752	1,7501	2,2050	12.834,3	14.075,2	16.955,7
Region Südostoberbayern	1,2997	1,7396	2,1984	9.263,3	11.644,1	14.439,6
Region Westmittelfranken	0,9282	1,1960	1,6018	9.996,9	12.388,3	16.891,1
Region Würzburg	1,4485	1,6853	2,0528	9.027,7	10.130,1	12.604,1
Brandenburg	0,8601	1,0877	1,3008	9.858,6	12.441,0	15.697,2
Region Havelland-Fläming	0,9059	1,1352	1,3625	9.300,4	10.767,7	12.189,9
Region Lausitz-Spreewald	0,8615	1,1546	1,3462	8.387,6	11.961,7	16.240,4
Region Oderland-Spree	1,2329	1,4921	1,7531	12.220,3	14.877,8	18.934,6
Region Prignitz-Oberhavel	0,5346	0,6911	0,8538	8.782,2	11.243,7	14.565,1
Region Uckermark-Barnim	0,8698	1,0607	1,3031	12.208,9	15.154,1	20.317,0
Hessen	2,2296	2,5329	2,8932	8.227,0	8.876,4	10.101,8
Planungsregion Nordhessen	1,1703	1,3607	1,6281	7.833,5	8.958,4	11.264,8
Planungsregion Mittelhessen	1,5220	1,7730	1,9939	7.944,2	9.002,2	10.473,4
Planungsregion Südhessen	3,9314	4,3230	4,7944	8.249,5	8.440,3	9.051,4
Mecklenburg-Vorpommern	0,5718	0,7535	0,9483	7.425,2	10.025,8	14.035,9
Region Mecklenburgische Seenplatte	0,3575	0,5158	0,6674	5.354,4	8.728,3	14.630,4
Region Rostock	0,8743	1,1335	1,4017	7.713,3	9.654,0	12.224,6
Region Vorpommern	0,5842	0,7412	0,9211	8.408,3	10.695,3	14.358,8
Region Westmecklenburg	0,5707	0,7571	0,9604	7.711,2	10.518,3	15.005,8
Niedersachsen	1,7265	2,1349	2,6372	10.837,3	12.867,9	16.098,8
Grafschaft Bentheim	1,2083	2,0344	2,8128	9.771,7	15.075,7	19.882,5
Heidekreis	1,2322	1,4826	1,8330	16.744,9	19.706,9	25.433,9
Landkreis Ammerland	1,6790	2,4725	3,2270	12.470,2	16.335,4	19.326,9
Landkreis Aurich	1,3372	1,6079	2,0507	9.848,3	11.172,0	14.096,2
Landkreis Celle	1,3677	1,5987	1,9624	12.095,7	13.688,9	17.281,8
Landkreis Cloppenburg	1,0291	1,6416	2,4754	11.115,7	15.702,3	21.308,0
Landkreis Cuxhaven	0,9414	1,1569	1,5258	9.642,0	11.536,6	15.789,4
Landkreis Diepholz	0,9424	1,3613	1,8929	9.324,6	12.817,4	17.865,4
Landkreis Emsland	1,2287	1,8687	2,5744	12.757,0	17.694,0	22.949,5
Landkreis Friesland	1,8483	2,1650	2,7266	11.659,7	13.264,3	17.254,9
Landkreis Göttingen	0,6358	0,8108	1,0377	4.511,3	5.766,5	7.987,0
Landkreis Hameln-Pyrmont	1,7404	2,1042	2,4826	8.411,3	10.341,9	13.505,8

Tab. C: Fortsetzung.

Table C: Continued.

Gebietseinheiten (Bund, Länder, Planungsregionen)	WUP _p in UPU/m ²			WSPC in UPU/Ew.		
	1990	2000	2014	1990	2000	2014
Landkreis Harburg	2,0663	2,5162	2,9841	11.982,5	13.455,5	15.250,1
Landkreis Hildesheim	2,1484	2,4927	2,9840	8.925,8	10.292,3	13.175,5
Landkreis Holzminden	0,9099	1,0902	1,2756	7.577,5	9.379,6	12.430,6
Landkreis Leer	1,2799	1,9075	2,4327	9.040,9	12.567,1	15.522,5
Landkreis Lüchow-Dannenberg	0,4093	0,5317	0,6788	9.846,3	12.637,9	17.098,6
Landkreis Lüneburg	1,0032	1,2160	1,5224	8.667,0	9.589,1	11.299,6
Landkreis Nienburg (Weser)	1,0984	1,4493	2,0026	12.618,7	16.187,2	23.142,8
Landkreis Northeim	0,7828	0,9467	1,1679	6.425,9	7.996,6	11.118,6
Landkreis Oldenburg	1,1391	1,6047	2,2453	10.860,8	14.052,4	18.674,6
Landkreis Osnabrück	1,3840	2,0713	2,8115	8.759,6	12.447,1	16.885,2
Landkreis Osterholz	1,1462	1,5800	2,0126	7.260,7	9.407,5	11.801,6
Landkreis Osterode am Harz	0,8702	0,9884	1,1926	6.316,0	7.451,8	10.270,2
Landkreis Rotenburg (Wümme)	0,7170	0,9356	1,2112	9.801,5	12.020,2	15.299,8
Landkreis Schaumburg	3,1294	3,8160	4,4700	12.752,6	15.489,8	19.453,2
Landkreis Stade	1,5944	1,9552	2,3724	11.452,8	12.961,1	15.055,6
Landkreis Uelzen	0,7050	0,8419	1,0355	10.867,5	12.693,4	16.298,3
Landkreis Vechta	1,8563	2,7182	3,8885	13.097,6	17.392,1	23.186,4
Landkreis Verden	2,0566	2,4997	3,0926	13.028,0	14.969,1	18.369,4
Landkreis Wesermarsch	1,2132	1,5311	1,9254	10.904,5	13.568,1	18.028,0
Landkreis Wittmund	0,7171	0,9339	1,3069	8.734,0	10.811,3	15.125,6
Region Hannover	5,5992	6,2324	6,8911	12.147,2	12.845,7	14.198,9
Zweckverband Großraum Braunschweig	2,5592	2,8799	3,3501	11.425,9	12.623,8	15.359,8
Stadt Delmenhorst	12,8215	14,4884	15,844	10.952,2	11.995,1	13.513,8
Stadt Emden	8,0556	8,7873	9,7245	18.525,4	19.450,8	21.939,1
Stadt Göttingen	7,8603	8,8432	10,0906	7.400,6	8.338,6	10.299,1
Stadt Oldenburg (Oldb)	16,4564	17,9365	19,4579	11.775,8	11.931,9	12.509,1
Stadt Osnabrück	17,2889	19,1477	20,9570	12.650,5	13.998,1	16.507,0
Stadt Wilhelmshaven	9,4284	10,3213	12,1728	11.442,3	13.002,6	17.488,9
Nordrhein-Westfalen	4,7908	5,8031	6,6983	9,449,0	11,038,9	12,986,9
Regierungsbezirk Detmold	3,5870	4,2641	5,0038	11.979,5	13.582,3	15.998,0
Regierungsbezirk Köln	5,0325	6,0598	6,7357	9.229,9	10.454,3	11.411,7
Regionalverband Ruhr (RVR)	11,2619	13,0346	14,8583	9.507,7	10.879,9	13.147,2
Regierungsbezirk Arnsberg außerhalb RVR	1,8262	2,2776	2,7157	7.660,3	9.518,8	12.178,2
Regierungsbezirk Düsseldorf außerhalb RVR	6,7707	8,5628	10,0285	7.835,6	9.556,8	11.409,1
Regierungsbezirk Münster außerhalb RVR	2,5567	3,4483	4,2405	10.503,6	13.189,5	15.664,6
Rheinland-Pfalz	2,2054	2,6022	2,9144	11,743,9	13,046,7	14,297,8
Region Mittelrhein-Westerwald	1,9125	2,2333	2,4595	10.074,1	11.324,4	12.705,7
Region Rheinhessen-Nahe	2,3202	2,7514	3,0769	9.867,9	10.820,0	11.546,7
Region Rhein-Neckar	4,3428	5,1484	5,9976	11.053,8	12.465,5	14.520,9
Region Trier	1,2429	1,4931	1,6729	13.163,3	14.598,3	15.608,6
Region Westpfalz	1,9848	2,3038	2,5720	13.321,2	14.267,6	14.645,1
Saarland	5,0912	5,5696	6,2460	12,278,4	13,455,0	16,317,3
Sachsen	1,6230	2,0855	2,4752	6,690,7	8,754,4	11,441,1
Region Chemnitz	1,4346	1,8777	2,3261	5.327,1	7.320,0	10.515,0
Region Leipzig-Westsachsen	1,6773	2,0707	2,3449	6.881,8	8.247,2	9.595,6
Region Oberes Elbtal/Ost erzgebirge	2,5233	3,0289	3,4209	8.585,0	10.014,9	11.616,1
Region Oberlausitz-Niederschlesien	1,1399	1,6322	2,0186	6.964,0	10.779,9	16.157,2
Sachsen-Anhalt	1,1322	1,3485	1,5588	8,497,5	10,752,3	14,542,9
Region Altmark	0,5293	0,6367	0,7767	9.636,0	12.578,5	18.713,7
Region Magdeburg	1,1850	1,4578	1,7146	7.975,3	10.366,8	14.096,7
Planungsregion Anhalt-Bitterfeld-Wittenberg	1,1220	1,2914	1,4550	8.293,9	10.448,3	14.229,8
Planungsregion Halle	2,1444	2,4922	2,7927	9.800,6	11.908,5	15.325,0
Planungsregion Harz	0,7756	0,9411	1,1148	6.529,5	8.365,1	11.589,8
Schleswig-Holstein	1,7617	2,0019	2,4109	10,708,4	11,407,8	13,436,0
Planungsraum I (SH)	0,9703	1,0841	1,3605	9.728,6	10.327,0	12.949,3
Planungsraum II (SH)	1,8121	1,9498	2,3008	9.339,1	9.498,3	11.099,4
Planungsraum III (SH)	2,1442	2,4907	2,9928	11.561,7	12.499,0	14.524,9
Thüringen	0,8759	1,1135	1,3494	5,397,0	7,319,3	10,337,8
Planungsregion Nordthüringen	0,7256	0,8965	1,0908	5.971,6	7.790,5	11.096,2
Planungsregion Mittelthüringen	1,2872	1,5695	1,8442	6.966,7	8.412,4	10.463,5
Planungsregion Ostthüringen	1,0707	1,2931	1,5147	6.224,2	7.903,9	10.666,7
Planungsregion Südwestthüringen	0,4110	0,6979	0,9532	2.458,2	4.957,3	9.120,6

UPU = Urban Permeation Units, Ew. = Einwohner

Dr. Martin Behnisch

Korrespondierender Autor

**Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)
Forschungsbereich Raumbezogene Information
und Modellierung**

Weberplatz 1

01217 Dresden

E-Mail: m.Behnisch@ioer.de



Der Autor ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) im Forschungsbereich Raumbezogene Information und Modellierung. Er studierte Architektur am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Geographical Information Science and Systems mit Auszeichnung an der Paris Lodron Universität Salzburg. Er promovierte zum Dr.-Ing. (summa cum laude) zur Thematik des Urban Data Mining am KIT. Forschungsfelder sind u. a. Flächenneuinanspruchnahme,

Erneuerbare Energien, Nachhaltige Gebäudebestands- und Siedlungsentwicklung.

Dr. Tobias Krüger

**Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)
Forschungsbereich Raumbezogene Information
und Modellierung**

Weberplatz 1

01217 Dresden

E-Mail: t.krueger@ioer.de

Dr. sc. nat. Jochen Jaeger, Associate Professor

Concordia University Montreal

Department of Geography, Planning and Environment

1455 de Maisonneuve Blvd. West, Suite H1255

Montréal, Québec, H3G 1M8

KANADA

E-Mail: jochen.jaeger@concordia.ca