

Monitoring von Siedlungsflächen auf Basis von Sentinel-2

Eichfuss, Silas; Hollen, Martina; Riembauer, Guido; Xu, Shaojuan

Veröffentlichungsversion / Published Version

Sammelwerksbeitrag / collection article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

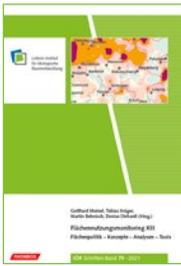
Eichfuss, S., Hollen, M., Riembauer, G., & Xu, S. (2021). Monitoring von Siedlungsflächen auf Basis von Sentinel-2. In *Flächennutzungsmonitoring XIII: Flächenpolitik - Konzepte - Analysen - Tools* (S. 189-200). Berlin: Rhombos-Verlag. <https://doi.org/10.26084/13dfns-p017>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY Lizenz (Namensnennung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY Licence (Attribution). For more information see: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Flächennutzungsmonitoring XIII Flächenpolitik – Konzepte – Analysen – Tools

IÖR Schriften Band 79 · 2021

ISBN: 978-3-944101-79-8

Monitoring von Siedlungsflächen auf Basis von Sentinel-2

*Silas Eichfuss, Martina Hollen, Guido Riembauer,
Shaojuan Xu*

Eichfuss, S.; Hollen, M.; Riembauer, G.; Xu, S. (2021):
Monitoring von Siedlungsflächen auf Basis von Sentinel-2.
In: Meinel, G.; Krüger, T.; Behnisch, M.; Ehrhardt, D. (Hrsg.):
Flächennutzungsmonitoring XIII. Flächenpolitik – Konzepte –
Analysen – Tools. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 79,
S. 189-200.

DOI: <https://doi.org/10.26084/13dfns-p017>

Monitoring von Siedlungsflächen auf Basis von Sentinel-2

Silas Eichfuss, Martina Hollen, Guido Riembauer, Shaojuan Xu

Zusammenfassung

Siedlungsflächen entwickeln sich dynamisch. Ein Monitoring, um aktuelle Entwicklungstrends der Siedlungsflächen zu beurteilen, ist für die Raubeobachtung eine große Herausforderung. Angesichts aktueller Stadtentwicklungsimpulse ist die Nutzung neuer Datenquellen zur Planung und flächensparender Steuerung aktueller sowie künftiger Flächenansprüche umso wichtiger. Der Aussagekraft der Flächenstatistik nach Art der Tatsächlichen Nutzung als entscheidende amtliche Datengrundlage sind durch zeitliche und räumliche Inkonsistenzen Grenzen gesetzt. Frei verfügbare Fernerkundungsdaten bieten hinsichtlich besserer zeitlicher und räumlicher Auflösung eine potenziell verlässliche und kostengünstige Quelle. So stehen seit 2015 mit der Verfügbarkeit des multispektralen Erdbeobachtungssatelliten Sentinel-2-Daten mit hoher Wiederholungsrate und weltweiter Abdeckung zur Verfügung, womit sich neue Möglichkeiten der landesweiten Kartierung der Landoberfläche ermöglichen. Der Artikel stellt erste Ergebnisse des Projektes „Inwertsetzung von Copernicus-Daten zur Raubeobachtung“ (*incora*) vor. Es werden die Notwendigkeit von Fernerkundungsdaten, der Mehrwert sowie Limitationen eines satellitenbasierten Siedlungsflächenmonitorings anhand von Landbedeckungsklassifikationen und Indikatoren zur Siedlungsflächenentwicklung dargestellt.

Schlagwörter: Siedlungsflächenmonitoring, Flächennutzung, Fernerkundung, Copernicus, 30-ha-Ziel

1 Einführung

Mit der Verringerung des Flächenverbrauchs, dem Schutz des Freiraums und der Vermeidung der Landschaftszerschneidung werden von der Bundesregierung wichtige Nachhaltigkeitsziele zum nachhaltigen Umgang mit Fläche umgesetzt (Bundesregierung 2021). Ein detailliertes Monitoring und eine datenbasierte Steuerung der Flächenentwicklungen benötigt Kenntnisse der räumlichen Verteilung und Entwicklung der Siedlungsflächen (vgl. Behnisch et al. 2018). Die Datenbasis dieser Analysen ist mit der Flächenstatistik nach Art der Tatsächlichen Nutzung als entscheidende amtliche Datengrundlage in zeitlicher und räumlicher Auflösung begrenzt. Die Zielgrößen der Siedlungsflächenentwicklung auf andere Weise zu erfassen, gilt als große Herausforderung und kann durch die Ergänzung etablierter Daten mit Fernerkundungsdaten erfolgen. In diesem Kontext ist das Projekt *incora* angesiedelt, in dessen Rahmen Informationsbedarfe für ein Monitoring in Theorie und Praxis ermittelt und die Möglichkeit analysiert werden soll, bestehende Lücken in räumlicher und zeitlicher Genauigkeit durch die Fernerkundungs-Analyse von Landbedeckungsänderungen zu schließen.

1.1 Monitoring von Siedlungsflächen

Zur zeiträumlichen Analyse der Entwicklungen des Flächenverbrauchs der Siedlungsflächen ist ein Siedlungsflächenmonitoring hilfreich. Für ein dauerhaftes Monitoring müssen die Daten flächendeckend, vergleichbar, georeferenziert, regional differenzierbar und zeitreihenfähig vorliegen. Das amtliche Flächenmonitoring Deutschlands nutzt dabei die „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung“ (Beckmann, Dosch 2018). Aufgrund der mehrjährigen Umstellungsphase der Datenbasis von ALB/ALK zu ALKIS kam es in den letzten Jahren zu Brüchen in der Statistik und somit in der Zeitreihenvergleichbarkeit (vgl. Destatis 2020). Die größte Herausforderung liegt in der Unterscheidung realer und umstellungsbedingter Änderungen, die aufgrund der Umstellung und Aggregation bestimmter Nutzungskategorien aufkommen (Deggau 2009; Destatis 2020). Eine Weiterführung der Zeitreihen ist daher seit 2016 nicht mehr einwandfrei möglich. Dies zeigt sich vor allem in dem Kernindikator „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche“ der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Die jährlichen Zahlen zur Zielerreichung 30 ha/Tag haben dabei starke Schwankungen, zur plausiblen Interpretation sind Kenntnisse der Effekte, die sich durch die Umstellung der Statistik ergeben, unerlässlich (Destatis 2019). Die Unterstützung durch räumlich und zeitlich genauere Datensätze u. a. aus der Fernerkundung, bietet einen Mehrwert gegenüber den statistisch aggregierten Daten.

1.2 Fernerkundliches Monitoring von Siedlungsflächen

Beim Monitoring von Siedlungsflächen gilt eine gute Datenqualität der Datengrundlage als unabdingbar, denn Indikatoren werden durch Schwankungen in der Qualität stark beeinflusst (vgl. Fina 2013; Beckmann, Dosch 2018). Räumliche Auflösungen, wie z. B. beim FTS-Soil-Sealing-Datensatz (20 x 20 m) oder CORINE Land-Cover-Datensatz (25 ha Mindest erfassungsgröße) der ESA, und hohe und/oder nicht periodisch zeitliche Abstände zwischen den Datensätzen bedingen Unsicherheiten bei Erfassung und Interpretation. Generalisierungen sind für viele Auswertungen herausfordernd, beim ATKIS Basis-DLM werden Teilnutzungen kleinerer Flächen unterhalb der Mindest erfassungsgröße den dominierenden Nachbarflächen zugeordnet, wobei Details verloren gehen (Siedentop, Fina, 2010; Feranec et al. 2016).

In der Planung ist der Drang, neue hochauflösende Daten zur Steuerung der Flächeninanspruchnahme und Klimaanpassung in räumlicher und zeitlicher Genauigkeit zu nutzen, hoch (vgl. Taubenböck, Dech 2010; Taubenböck et al. 2015). Ein Ziel ist die Erfassung von Flächenreserven in einer Realnutzungskartierung neben den Flächennutzungsplänen (Osterhage et al. 2015).

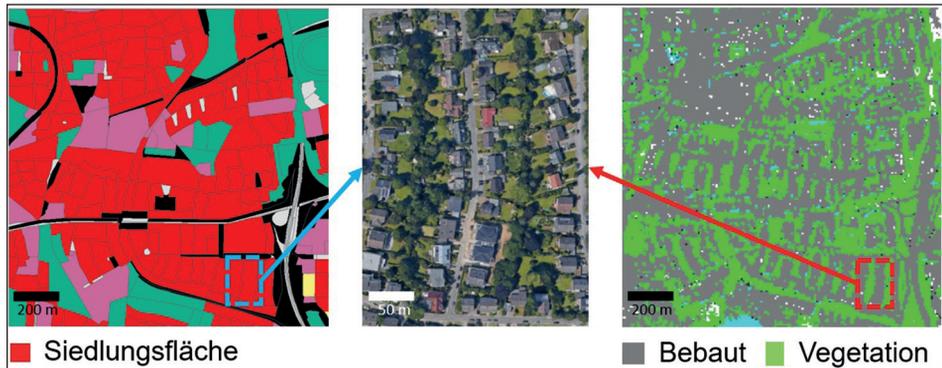


Abb. 1: Gegenüberstellung ATKIS Basis-DLM (l.), Luftbild (m.), *incora* Landbedeckungsklassifikation 2019 (r.) in Dortmund (Quelle: eigene Abbildung)

Abbildung 1 zeigt mittig Einfamilienhäuser mit ihren Hausgärten, diese fallen in der Abbildung links weg und werden den generalisierten Flächen der Klasse Siedlungsfläche-Wohnbau zugeordnet. Die Abbildung rechts zeigt die Bebauung und die Hausgärten in einer detaillierten rasterbasierten Landbedeckungsklassifikation. Für aktuelle Fragestellung, die ein räumlich und zeitlich genaues Monitoring benötigen, ist der Fernerkundungsansatz zukunftsfruchtig, gilt aber durch atmosphärische Störungen und Schwankungen in den Berechnungsgrundlagen der Klassifikation als fehleranfällig. Zur Darstellung der Art der Landnutzung sind Geobasisdaten wie ALKIS und ATKIS im Vergleich zu den Fernerkundungsdaten Quellen mit zeitlich und räumlich begrenzter Auflösung, aber hohem Informationsgehalt. Eine niedrigschwellige Bereitstellung der Datensätze und Indikatoren mit einem einheitlichen Berechnungsalgorithmus gilt als wichtiger Ansatz, der im *incora*-Projekt erforscht wird.

2 Fernerkundliche Methodik und Klassifikationsergebnisse

Im Projekt *incora* wird eine Methodik zur jährlichen Berechnung deutschlandweiter Landbedeckungsklassifikationen entwickelt. Diese können als Grundlage zur Berechnung von Indikatoren des Siedlungsflächenmonitoring verwendet werden. Die entwickelte Methodik wurde beispielhaft für die Referenzjahre 2016 und 2019 angewandt.

2.1 Datenbasis

Grundlage der Landbedeckungsklassifikation sind Sentinel-2 Aufnahmen des jeweiligen Referenzjahres. Um den Vorprozessierungsaufwand zu reduzieren, wurde auf Level-3A WASP Daten vom DLR zurückgegriffen (DLR 2019). Dabei handelt es sich um wolkenfreie, atmosphärenkorrigierte Sentinel-2-Reflektanzdaten, die zu monatlichen Mosaiken aggregiert wurden. Durch Wolkenbedeckung treten mitunter größere Datenlücken

auf, sodass bei weitem nicht für jeden Monat eine wolkenfreie Komplettabdeckung zur Verfügung steht. Besonders trifft dies auf das Referenzjahr 2016 zu: Zu diesem Zeitpunkt war erst einer der beiden Sentinel-2-Satelliten im Orbit, sodass im Vergleich zur heutigen Konfiguration nur halb so viele Aufnahmen zur Verfügung stehen. Für jedes Bezugsjahr wurden möglichst große zusammenhängende Teilgebiete identifiziert, für die viele lückenfreie Monatsmosaiken vorliegen. Aus den Spektralkanälen der Monatsmosaiken wurden diverse spektrale Indizes (NDVI, NDWI, NDBI, BSI) und Texturparameter berechnet. Es wurde ein Hauptmosaik zur Klassifikation ausgewählt, während die Zeitreihe der restlichen Monatsmosaiken zur Berechnung von Maßen der zeitlichen Variabilität der Indizes (vor allem NDVI) im Jahresverlauf genutzt wurde. Neben den Sentinel-2 selbst wurden folgende Hilfsdatensätze für die Erstellung von Trainingsgebieten verwendet: OpenStreetMap (OSM): Wasser, Gebäude und Straßen, zu einem Raster mit 10 m-Auflösung umgewandelt (OpenStreetMap 2020); Copernicus HRL Imperviousness Status Map 2018: Rasterdatensatz des Bodenversiegelungsgrades mit 10 m-Auflösung (EEA 2018); S2GLC Land Cover Map of Europe 2017: Europaweite Sentinel-2-Landbedeckungsklassifikation des Jahres 2017 (Malinowski et al. 2020).

2.2 Klassifikation

Aufgrund des großen Untersuchungsgebiets wurde ein Verfahren entwickelt, um automatisch Trainingsdaten aus den Hilfsdatensätzen sowie den Sentinel-2-Zeitreihen selbst zu extrahieren. Zunächst wurden die sechs Zielklassen „Wald“, „niedrige Vegetation“, „Wasser“, „bebaute Fläche“, „offener Boden“ und „Ackerfläche“ für die spätere Indikatorberechnung definiert. Im Anschluss wurden für jede der Klassen Regeln zur Extraktion potenzieller Trainingsgebiete erstellt. Am Beispiel der Klasse „Wasser“ lässt sich die Regeldefinition erläutern. Es werden nur solche Pixel als potenzielle Trainingsgebiete für diese Klasse extrahiert, die die folgenden Kriterien erfüllen:

- Pixel liegt innerhalb der OSM-Wasserflächen
- Pixel liegt außerhalb der um 20 Meter gepufferten OSM-Straßen
- der NDWI (Normalized Difference Water Index) des Pixels liegt oberhalb des 1. Quartils
- die Helligkeit (maximale Reflektanz der RGB-Bänder) liegt unter 0,5

Auf diese Weise lässt sich für jede Klasse ein Trainingsraster erstellen. Aus diesem Datensatz werden pro Klasse 50 000 Pixel zufällig gezogen und als Trainingsdaten für die Klassifikation der Sentinel-2-Zeitreihe verwendet. Dazu wurde ein Random-Forest-Klassifikator genutzt, der individuell für die zuvor identifizierten Teilgebiete trainiert wurde. Die Klassifikationsergebnisse wurden abschließend zusammengesetzt und kleine Postprozessierungsschritte, wie die Reduktion von Fehlklassifikationen an Bergschatten und im Wattenmeer, angewandt. Zur Analyse von Veränderungen wurde eine Differenz der Klas-

sifikationen der Referenzjahre 2016 und 2019 berechnet. Das Ergebnis wurde anschließend mit einem Modalwertfilter geglättet und Veränderungen kleiner als 0,5 ha entfernt.

2.3 Ergebnisse und Validierung

Abbildung 2 zeigt das Klassifikationsergebnis für ganz Deutschland (a) sowie einen Teilausschnitt des Raums Köln-Bonn (b) für das Jahr 2019.

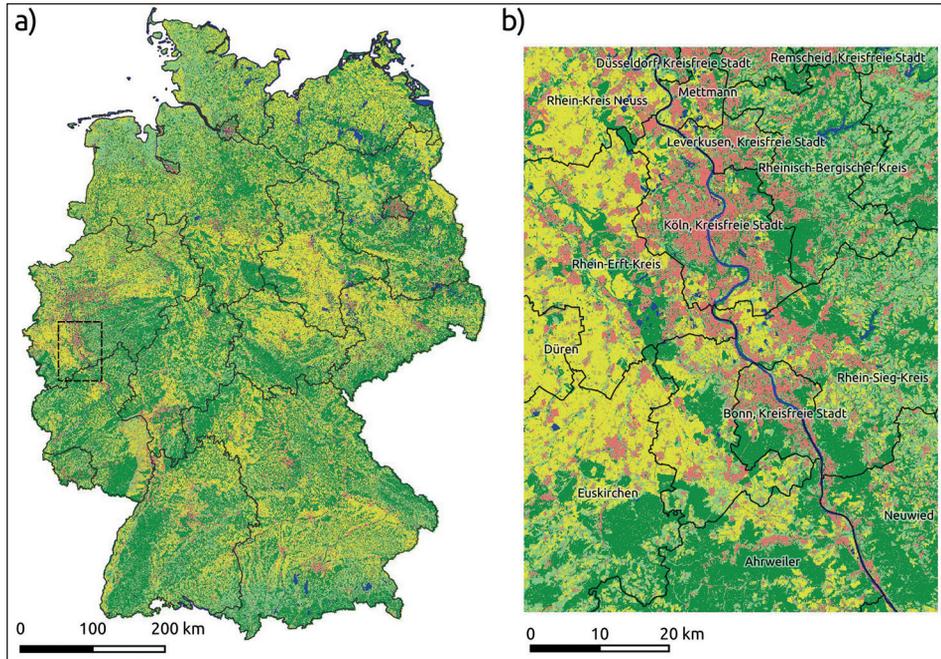


Abb. 2: Klassifikationsergebnis für das Referenzjahr 2019 (Quelle: eigene Abbildung)

Zur Bewertung der Klassifikationsgenauigkeit wurde ein beispielhafter Validierungsdatensatz mit Hilfe des ATKIS Basis-DLM von Nordrhein-Westfalen erstellt. Dieses Bundesland wurde ausgewählt, da zum einen das offene Datenportal leichten Zugang zu relevanten Datensätzen ermöglicht, zum anderen, da der hohe Anteil an bebauter Fläche in NRW belastbare Aussagen zur erzielten Genauigkeit dieser Klasse, die am relevantesten zur Ableitung von Indikatoren zum Siedlungsflächenmonitoring ist, ermöglicht. Da die Validierung nur das Gebiet Nordrhein-Westfalens abdeckt, ist sie nur als beispielhaft anzusehen und kann nicht ohne Weiteres auf die Ergebnisse für die verbleibende Fläche Deutschlands übertragen werden. 5 000 Punkte wurden zufällig aus dem Basis-DLM extrahiert, regelbasiert den sechs *incora*-Klassen zugewiesen und anhand von Sentinel-2- und Luftbildaufnahmen visuell überprüft. Die beiden Klassifikationen der Jahre 2016 und 2019 wurden anschließend anhand dieses Datensatzes validiert. Tabelle 1 fasst die Ergebnisse zusammen.

Tab. 1: Validierung der Klassifikationsergebnisse. PA = Producer's Accuracy, UA = User's Accuracy, OA = Overall Accuracy, n = Anzahl der Referenzpunkte (Quelle: eigene Darstellung)

Klasse	PA (2016/2019) in %	UA (2016/2019) in %	n
Wald	94,3/95,9	96,9/98,1	1 410
Niedrige Vegetation	84,0/91,5	70,6/76,4	844
Wasser	94,3/92,8	98,5/98,5	69
Bebaute Fläche	89,8/97,3	98,2/99,3	983
Boden	58,5/95,1	19,7/35,1	41
Ackerfläche	85,3/85,3	91,7/95,9	1 653
OA (2016/2019)	88,4/91,9		

In beiden Jahren liegt die Gesamtgenauigkeit (Overall Accuracy) bei ca. 90 %. Die Klasse „bebaute Fläche“ erzielt vor allem im Bezugsjahr 2019 sehr gute Ergebnisse – im Bezugsjahr 2016 liegt die Producer's Accuracy mit 89,8 % jedoch nicht mehr im sehr guten Bereich. Dies ist auf die bereits angesprochene geringere Abdeckung mit Sentinel-2-Daten zurückzuführen, die das Klassifikationsergebnis etwas instabiler macht.

Diese Limitierung zeigt sich auch in der Veränderungsanalyse: Da diese als Differenzraster die Ungenauigkeiten der beiden Klassifikationsergebnisse kombiniert, finden sich einige Gebiete, bei denen in der Veränderungsanalyse von bebauten Flächen vermehrt Fehlalarme auftreten. Eine bereits erfolgte Klassifikation des Bezugsjahres 2020 legt jedoch nahe, dass sich diese Ungenauigkeiten in Bezugsjahren mit besserer Sentinel-2-Datenlage reduzieren lassen.

Die statischen Klassifikationsergebnisse sowie die Veränderungsanalyse wurden anschließend als Grundlage für die Berechnung der Indikatoren verwendet. Diese Datensätze stehen zum Download auf der *mundialis*-Homepage¹ sowie auf der Plattform CODE-DE² zur Verfügung.

3 Indikatoren

Das angestrebte Siedlungsflächenmonitoring im Projekt *incora* beinhaltet eine Auswahl von 30 Indikatoren, die in einem ausführlichen Prozess ausgewählt und hinsichtlich der theoretischen Umsetzbarkeit mit der im Projekt erstellten Landbedeckungsklassifikation bewertet wurden. Anhand der theoretischen Bewertung wurden die Indikatoren in vier Ebenen eingeordnet, die in Form einer Pyramide aufgebaut sind (Abb. 3).

¹ <https://www.mundialis.de/de/deutschland-2019-landbedeckung-auf-basis-von-sentinel-2-daten/>

² <https://code-de.org/de/portfolio/69?q=all>

Die Spitze bildet die Gruppe der Kernindikatoren, die für das Flächenmonitoring essenziell sind und sich an den Nachhaltigkeitsindikatoren Deutschlands u. a. SDG 11.1a-c orientieren (vgl. Bundesregierung 2021; Destatis 2021). Weitere Ebenen bilden Zusatzindikatoren mit bundesweiten Raumstrukturindikatoren und Fallbeispielindikatoren mit regionalen und lokalen Raumbezug ab. Die Fernerkundungsdaten werden für die jeweiligen Berechnungen unterschiedlich genutzt, so nutzt ein großer Teil der Indikatoren die Daten vollumfänglich, andere nutzen diese ergänzend zu bestehenden Geodaten. Folgende Darstellungen sind Auszüge aus den laufenden Arbeiten zur praktischen Anwendung der *incora* Landbedeckungsklassifikation und sollen einen Eindruck der Möglichkeiten geben.

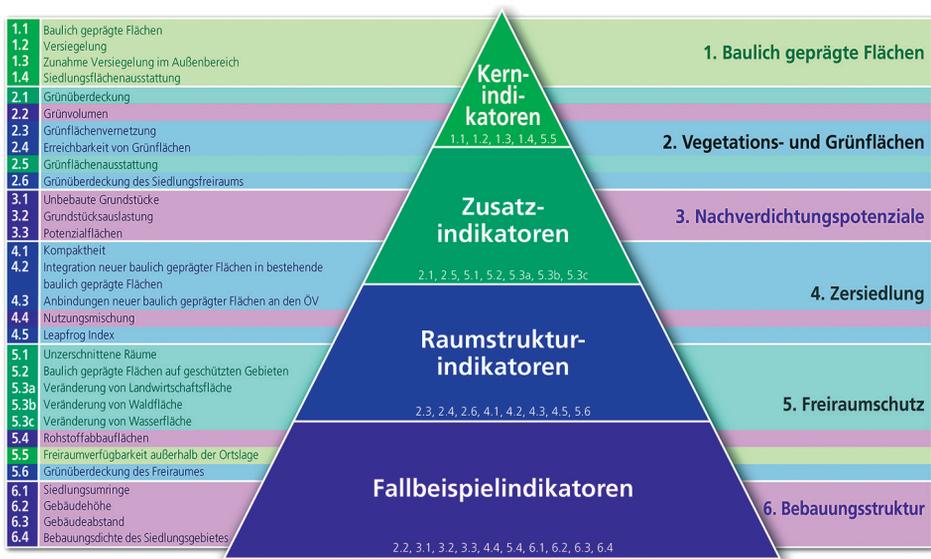


Abb. 3: Indikatoren-Set des Projekts *incora* (Quelle: eigene Abbildung)

3.1 Kernindikatoren

Als wichtigster Kernindikator ist der Indikator 1.1 „Baulich geprägte Fläche“ zu nennen. Der Indikator wird aus der Klasse „bebaute Fläche“ der Landbedeckungsklassifikation gewonnen und beschreibt den Anteil der baulich geprägten Fläche in der Gebietseinheit (Abb. 4). Er dient außerdem als Grundlage für viele weitere Indikatoren, wie dem Indikator 1.4 „Siedlungsflächenausstattung“ (Abb. 4). Der einwohnergewichtete Indikator beschreibt die verfügbare baulich geprägte Fläche pro Einwohner in m².

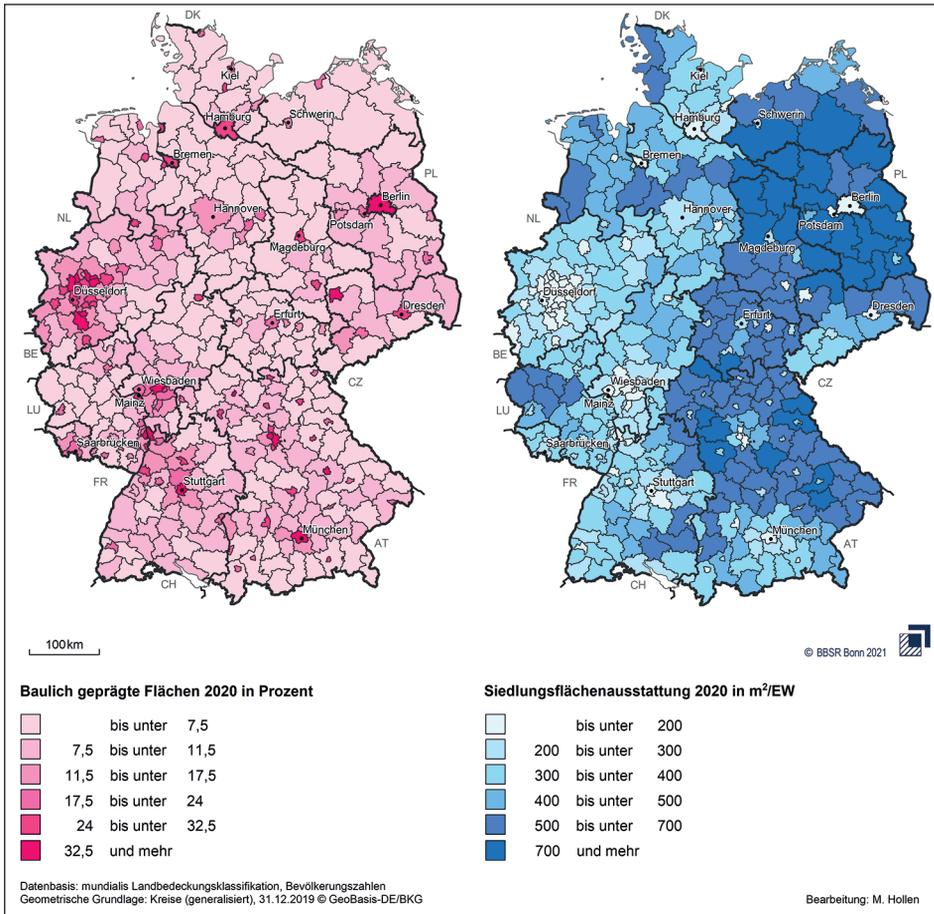


Abb. 4: Deutschlandweite kartographische Darstellung der Indikatoren 1.1 (l.) und 1.4 (r.) auf Kreisebene (Quelle: s. Abbildung)

3.2 Zusatzindikatoren

Der Indikator 2.1 „Grün­ausstattung“ gilt als wichtiger Indikator der Gruppe Zusatzindikatoren (Abb. 5). Dieser setzt sich aus den Klassen „niedrige Vegetation“ und „Wald“ der Landbedeckungsklassifikation zusammen und wird als Anteil der Grünüberdeckung auf der Gebietseinheit angegeben. Teilweise werden kleinräumige urbane Grünflächen in aggregierten Geobasis-Daten wie ALKIS nicht dargestellt, durch die Nutzung von Satellitenbilddaten können diese kleinräumigeren Strukturen erkannt werden. Ebenso sind Grünflächen förderlich für eine Verbesserung der Gesundheit der Bevölkerung. Daher ist es nicht nur wichtig, den Anteil der Grünflächen auf der Gebietseinheit anzugeben, sondern auch die einwohnergewichtete Grünflächenausstattung (Abb. 5).

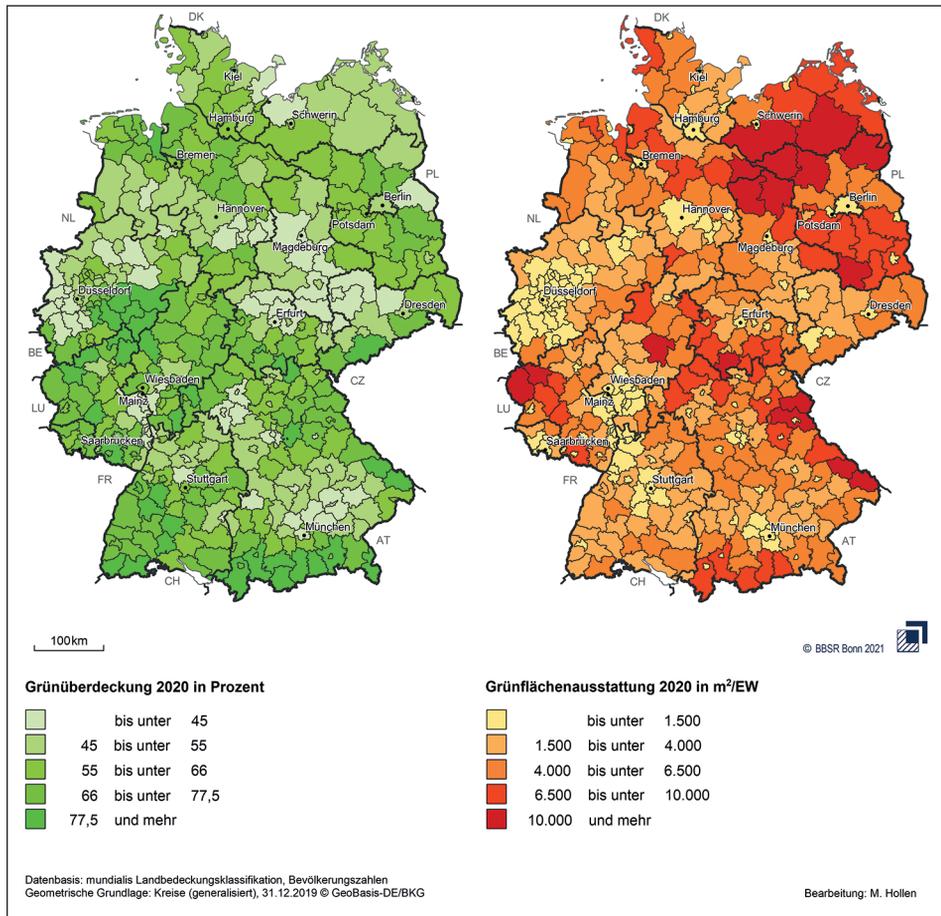


Abb. 5: Deutschlandweite kartographische Darstellung der Indikatoren 2.1 (l.) und 2.5 (r.) auf Kreisebene (Quelle: s. Abbildung)

3.3 Raumstruktur- und Fallbeispielindikatoren

Wichtig für eine nachhaltige Flächennutzung sind Kenntnisse über die Raumstruktur. Disperse Siedlungsstrukturen sind z. B. ein Grund für eine fragmentierte Freiraumstruktur. Als Maß kann u. a. der Indikator 4.1 „Kompaktheit“ genutzt werden. Der zu berechnende Index beruht auf der Annahme, dass der Siedlungskörper einer Gebietseinheit aus einer Menge von Polygonen unterschiedlicher Form besteht. Zur Berechnung wird der Umfang der Siedlungsfläche ins Verhältnis zum Umfang eines Kreises mit gleich großem Flächeninhalt gesetzt (vgl. Thinh 2004; McGarigal; Marks 1995). Mit der Landbedeckungsklassifikation kann dieses Maß flächendeckend berechnet werden. Dies zeigt sich vor allem im Unterschied von kreisfreien Großstädten zu Landkreisen, wobei die hohe

räumliche und zeitliche Auflösung der Fernerkundungsdaten als Vorteil gegenüber der Berechnung des Indikators mit Geobasisdaten gilt und kleinste Flächen hervorhebt.

Anhand der Fallbeispielindikatoren werden spezielle Themenbereiche der Siedlungsflächenentwicklung auf lokaler Ebene betrachtet. Ein Indikator ist der Indikator 3.1 „Unbebaute Grundstücke“. Unbebaute Grundstücke spielen im politischen Diskurs bezüglich der Begrenzung des Zuwachses der Siedlungs- und Verkehrsfläche eine wichtige Rolle. Dafür sind u. a. Kenntnisse über den Umfang von unbebauten Grundstücken essenziell (vgl. Hecht, Meinel 2014). Informationen über die tatsächliche Landbedeckung aus der *incora*-Landbedeckungsklassifikation können Untersuchungen zu detektierten unbebauten Grundstücken um wichtige Zusatzinformationen ergänzen.

4 Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Landbedeckungsklassifikation ist mit leichten Abzügen in der zeitlichen Vergleichbarkeit für die Erstellung von Indikatoren bebauter Flächen und grüner Infrastruktur erfolgreich nutzbar, wobei einzelne Indikatorengruppen gut, andere weniger gut mit den Daten berechnet werden können. Die Kernindikatoren der baulich geprägten Fläche, Strukturindikatoren v. a. für den Status quo, sind dabei gut abbildbar. Auflösungsbedingte Unschärfen (v. a. bei kleinräumigen Strukturen, wie Indikatoren für Nachverdichtungspotenziale, Bebauungsstruktur) gelten als wichtige Erkenntnis, die eine tiefgreifende Forschung mit höher aufgelösten Daten begründen. Das vorgestellte Indikatoren-Set der *incora*-Indikatoren-Pyramide stellt eine vielschichtige Grundlage für ein Monitoring dar und soll zu weiteren Arbeiten anregen.

Der automatische Workflow bietet schnelle und reproduzierbare Ergebnisse und ist ein wichtiger Baustein zur schnellen und fehlerfreien Produktion der Daten. Eine künftige freie Verfügbarkeit der Berechnungsgrundlagen, wie auch die Verfügbarkeit der Daten auf der Website der Firma Mundialis und CODE-DE stellt dabei einen weiteren Schritt zur einfachen, niedrighschwelligen Nutzung von Fernerkundungsdaten in der Planung dar.

Das primäre Ziel ist eine möglichst exakte, verlässliche Erfassung der baulich geprägten Flächen und den darauf basierenden Indikatoren. Das sekundäre Ziel, *incora*-Daten als Ergänzung zu anderweitig berechneten Indikatoren zu nutzen, gilt es weiter zu verfolgen. Die Kombination der Landbedeckungsklassifikation mit Geobasisdaten, frei verfügbaren Geodaten oder anderen Fernerkundungsdaten gilt als Schlüssel, einen Mehrwert gegenüber anderen Quellen zu schaffen. Die Landbedeckungsklassifikation liefert eine räumlich und zeitlich hohe Auflösung, es ist vom Nutzer abzuwägen, ob die Daten auch in der thematischen Auflösung für den Zweck nutzbar sind.

Die Indikatoren zeigen vielversprechende Ergebnisse, wobei die auf der Veränderungsanalyse basierenden Indikatoren mit Vorsicht zu behandeln sind. Hier zeigen sich Schwächen, die es gilt, im Projektverlauf zu identifizieren. Die Landbedeckungsklassifikation von 2020 kann dies noch verbessern.

5 Literatur

- Beckmann, G.; Dosch, F. (2018): Monitoring der Siedlungsflächenentwicklung zwischen Wunsch und Wirklichkeit. In: Behnisch, M.; Kretschmer, O.; Meinel, G. (Hrsg.): Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung. Heidelberg: Springer, 3-24.
- Behnisch, M.; Kretschmer, O.; Meinel, G. (Hrsg.) (2018): Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung Springer Spektrum. Berlin.
- Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Weiterentwicklung 2021.
- Deggau, M. (2009): Die amtliche Flächenstatistik – Grundlage, Methode, Zukunft. In: Meinel, G.; Schumacher, U. (Hrsg.). Flächennutzungsmonitoring. Konzepte – Indikatoren – Statistik. Aachen 2009.
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2019): Methodenbericht zur Flächenerhebung 2018.
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2020): Qualitätsbericht zur Flächenerhebung.
- Destatis – Statistisches Bundesamt (2021): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland, Indikatorenbericht 2021.
- DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2019): Sentinel-2 MSI – Level 2A (MAJA Tiles) – Germany. <https://geoservice.dlr.de/data-assets/ifczsszkc63.html> (Zugriff: 21.07.2020).
- EEA – Europäische Union, Copernicus Land Monitoring Service, Europäische Umweltagentur (2018): Copernicus High Resolution Layer: Imperviousness Status Map.
- Fina, S. (2013): Indikatoren der Raumentwicklung. Flächeninanspruchnahme und Landschaftszersiedelung. Dissertation an der Eberhard Karls Universität Tübingen, Geographisches Institut.
- Hecht, R.; Meinel, G. (2014): Automatisierte Baulückendetektion in Geobasisdaten – Möglichkeiten und Grenzen der Ermittlung von Innenentwicklungspotenzialen. Vermessung Brandenburg 2, 17-25.
- Malinowski, R.; Lewiński, S.; Rybicki, M.; Gromny, E.; Jenerowicz, M.; Krupiński, M.; Nowakowski, A.; Wojtkowski, C.; Krupiński, M.; Krätzschmar, E.; Schauer, P. (2020): Automated Production of a LandCover/Use Map of Europe Based on Sentinel-2 Imagery. In: Remote Sensing, 21 (2020) 12.
- McGarigal, K.; Marks, B. J. (1995): Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNWGTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1-122.

- OpenStreetMap (2020): Planet dump retrieved from <https://planet.osm.org>.
<https://www.openstreetmap.org> (Zugriff: 20.07.2021).
- Osterhage, F.; Eichorn, S.; Rönsch, J. (2015): Siedlungsflächenmonitoring Nordrhein-Westfalen. Ergebnisbericht Erhebung der Siedlungsflächenreserven 2014. Hg. v. Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen. ILS Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH, Düsseldorf.
- Siedentop, S.; Fina, S. (2010): Datengrundlagen zur Siedlungsentwicklung. Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen. Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung. Stuttgart.
- Taubenböck, H.; Dech, S. (2010): Fernerkundung im urbanen Raum: Erdbeobachtung auf dem Weg zur Planungspraxis. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Taubenböck, H.; Wurm, M.; Esch, T.; Dech, S. (2015): Globale Urbanisierung: Perspektive aus dem All. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Thinh, N. (2004). Entwicklung von Maßen zur Charakterisierung und Bewertung der physischen und funktionalen Kompaktheit von Stadtregionen. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, (3), 225-236.