

DAS DASHBOARD INCORA-FLAECHE.DE ZUM VERGLEICH VON FLÄCHENNUTZUNGS- UND LANDBEDECKUNGSDATEN¹

Stefan Fina, Silas Eichfuss, Shaojuan Xu, Guido Riembauer, Fabian Dosch

Zusammenfassung: Im Projekt *incora – Inwertsetzung von Copernicus-Daten für die Raumbearbeitung* wurde im Frühsommer 2022 eine Dashboard-Anwendung zum Monitoring von Nachhaltigkeitszielen der Flächeninanspruchnahme veröffentlicht. Im Fokus der Anwendung steht das Monitoring der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung und baulich geprägter Flächen. Im Projekt wurde hierfür eine neue Datenquelle aus Sentinel-2-Landbedeckungsklassifikationen erstellt und weiteren Datenquellen aus dem amtlichen Geobasisdatenwesen und Erdbeobachtungsdaten der Europäischen Union gegenübergestellt. Mit ausgewählten Indikatoren werden die Menge der neu in Anspruch genommenen Fläche sowie die Lageeigenschaften dieser Flächen im Hinblick auf städtebauliche und umweltbezogene Zielsetzungen bewertet. Das *incora*-Dashboard bietet mithilfe von datenjournalistischen Visualisierungen von Indikatoren in thematischen Karten und der Gegenüberstellung der Geoobjekte der Eingangsdaten die Möglichkeit, gesellschaftspolitische Fragestellungen zur Interpretation der Flächeninanspruchnahme in Deutschland zu veranschaulichen und zu versachlichen.

Schlüsselwörter: Flächeninanspruchnahme, Siedlungs- und Verkehrsflächen, Sentinel-2, Geobasisdaten

COMPARING LAND USE AND LAND COVER DATA IN THE INCORA-FLAECHE.DE DASHBOARD

Abstract: In early summer 2022 a new dashboard application on monitoring targets related to sustainable land take was published. The dashboard is a main product of the project *incora – Adding value to spatial monitoring with Copernicus data*. The project focused on the analysis of land take for new urban land and transport infrastructure and the monitoring of built-up-areas. The dashboard contrasts the possibilities of a new data source derived from Sentinel-2 land cover classifications developed in the project against data sources from official institutional geodata and earth observation data sourced from the European Union. Selected indicators help to assess the quantity and locational qualities of newly developed land in terms of town planning and environmental objectives. The *incora*-dashboard offers visualizations of thematic maps and their underlying geo-objects based on methods of data journalism. It therefore helps to objectify and make sociopolitical questions for the interpretation of land take data in Germany more tangible.

Keywords: Land take, urban and transport areas, Sentinel-2, institutional geodata

Autoren

Prof. Dr. Stefan Fina
Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Augsburg
Professur für klimaneutrale Stadtentwicklung
An der Hochschule 1
D-86161 Augsburg
E: stefan.fina@hs-augsburg.de

Silas Eichfuss
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und
Raumforschung (BBSR)
Referat Stadt-, Umwelt- und Raumbearbeitung
Deichmanns Ave 31-37
D-53179 Bonn
E: silas.eichfuss@bbr.bund.de

Dr. Shaojuan Xu
Institut für Landes- und Stadtentwicklungs-
forschung gGmbH (ILS)
Bereich Geoinformation und Monitoring
Brüderweg 22-24
D-44135 Dortmund
E: shaojuan.xu@ils-forschung.de

Guido Riembauer
mundialis GmbH & Co. KG
Kölnstraße 99
D-53111 Bonn
E: riembauer@mundialis.de

Dr. Fabian Dosch
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumfor-
schung (BBSR)
Referat Stadt-, Umwelt- und Raumbewachung
Deichmanns Aue 31-37
D-53179 Bonn
E: fabian.dosch@bbr.bund.de

1 FLÄCHENMONITORING MIT DEM INCORA-DASHBOARD INCORA-FLAECHE.DE

Deutschland hat eine zu hohe Flächeninanspruchnahme im Ausbau von Siedlungs- und Verkehrsflächen. Zwar sind die Raten der Neuinanspruchnahme entsprechender Flächen seit dem Jahr 2000 deutlich gesunken, von 129 Hektar pro Tag auf 54 Hektar pro Tag 2017-2020². Nicht erreicht werden konnte allerdings das ursprüngliche Nachhaltigkeitsziel „30 Hektar pro Tag bis 2020“, das bereits 2002 formuliert und über mehrere Legislaturperioden von der Bundesregierung bestätigt wurde (Herrmann 2019, S. 19 f.). Damit sollte die tägliche Flächeninanspruchnahme in Deutschland auf höchstens 30 ha pro Tag begrenzt werden. Noch Mitte der 2010er-Jahre sah die Trendkurve so aus, also ob das Ziel erreicht werden könnte. Doch der Mittelwert der aktuellen Zahlen für die Jahre 2017-2020, die zum Ausgleich kurzfristiger Schwankungen als gleitender Durchschnitt angegeben wird, zeigte eine Trendumkehr gegenüber den vier Jahren zuvor: Die Flächeninanspruchnahme stieg wieder leicht an (UBA 2020).

Diese Zahlen basieren auf einer Zusammenfassung von Nutzungsänderungen, die im Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) neu als Siedlungs- und Verkehrsfläche erfasst werden. Dazu gehören auch urbane Erholungs- und andere Siedlungsfreiflächen, die nicht versiegelt sind. Die Umweltfolgenwirkungen der Flächeninanspruchnahme sind deshalb differenziert zu betrachten. Darüber hinaus führen Umstellungseffekte in der ALKIS-Fortführung zu Interpretationsschwierigkeiten, sodass im Flächenmonitoring häufig weitere Datengrundlagen, z. B. aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) oder aus der satellitengestützten Erdbeobachtung als Grundlage für die Plausibilisierung einer umweltwirksamen Flächeninanspruchnahme zurückgegriffen wird.

Das incora-Dashboard stellt diesbezüglich eine neuartige Möglichkeit dar, ausgewählte Datensätze für eine weiterführende Analyse der Flächeninanspruchnahme einander gegenüberzustellen und nutzerfreundliche Auswertungen zu ermöglichen. Hierfür wurden im Projekt wissenschaftlich hergeleitete Indikatoren konzipiert und umgesetzt, die über siedlungs- und vegetationsbezogene Aspekte der Flächeninanspruchnahme informieren. Registrierte Flächenveränderungen können zudem als Geoobjekte visualisiert und mithilfe historischer und aktueller Luftbilder³ einem „Reality-Check“ unterzogen werden.

2 ERGÄNZENDE DATENGRUNDLAGEN FÜR DAS FLÄCHENMONITORING

Mit der Neuauflage der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wurde im Jahr 2021 das Nachhaltigkeitsziel der Bundesregierung zur Flächeninanspruchnahme fortgeschrieben. Bis zum Jahr 2030 soll die tägliche Flächeninanspruchnahme bei deutlich unter 30 Hektar bis 2030 liegen und bis 2050 auf null zurückgeführt werden. Dies entspricht einer vollständigen Flächenkreislaufwirtschaft („Netto-Null der Flächeninanspruchnahme“), bei der jede Neuausweisung von Siedlungs- und Verkehrsflächen durch einen entsprechenden Nutzungswandel anderer Flächen (z. B. durch Renaturierung) ausgeglichen wird (Die Bundesregierung 2021, S. 269).

Eine derartige Kontingentierung der Flächeninanspruchnahme bedarf einer Raumbewachung, die zuverlässige, zeitstabile und belastbare Daten zur Verfügung hat. Unter der Nomenklatur der „Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung“³, die dem Nutzungsartenkatalog von ALKIS entnommen ist, widmet sich das Statistische Bundesamt dieser Aufgabe. Die im Kataster erfassten Flächeninformationen werden von den 16 Statistischen Landesbehörden gesammelt und mittlerweile jährlich veröffentlicht (bis 2004 im vierjährigen Rhythmus). Zum Ausgleich kurzfristiger Schwankungen werden die Zahlen als gleitender Durchschnitt angegeben. Unterschiede zwischen den Bundesländern, u. a. bei der Datenerfassung oder beim Stand der ALKIS-Einführung, bedingen jedoch statistische Ungenauigkeiten bei der bundesweiten Betrachtung der Flächendaten. Die Zeitreihenfähigkeit der Flächenstatistik wird dadurch erheblich eingeschränkt, sodass das Statistische Bundesamt die Flächenstatistik mittlerweile für Daten vor 2016 und nach 2016 in eigenen Tabellenformaten herausgibt.

Die Hintergründe dieser veränderten Bereitstellungslogik gehen auf die Einführung von ALKIS zurück, wie sie von Hans-Joachim Georg schon 2016 in einem Fachbeitrag des Bayerischen Landesamts für Statistik beschrieben wurde:

„Seit mehreren Jahren erfolgen bundesweit in der Vermessungsverwaltung vorbereitende Arbeiten für die Umstellung des Liegenschaftskatasters vom ALB [Amtliches Liegenschaftsbuch] auf das Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS). Während beim ALB die Flurstücke mit teils veralteten Nutzungsartenordnungen die Datengrundlage bildeten, basiert ALKIS auf aktuellen digital ermittelten geometrischen Flächen, bei denen überwie-

gend Luftbildaufnahmen genutzt werden. An die Stelle der Flurstücke treten nun digital ausgemessene Flächen gleicher Nutzung, die sogenannten Objekte. Mit der Umstellung auf ALKIS wird auch eine neue Nutzungsartensystematik eingeführt, die sich am ALKIS-Objektartenkatalog orientiert und sich merklich vom bisherigen Nutzungsartenkatalog unterscheidet. Da im Verlauf des Jahres 2016 die Umstellung des Liegenschaftskatasters auf ALKIS in allen Bundesländern abgeschlossen wurde, werden die Ergebnisse der Flächenerhebung zum Stichtag 31. Dezember 2016 bundesweit erstmals nach der neuen Nutzungsartensystematik veröffentlicht“ (Georg 2016, S. 771).

Hinweise, dass die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächenzunahme mit dieser Umstellung nicht mehr durchgehend als konsistente Zeitreihe abgebildet werden kann, wurden von der deutschen Raumbewertung zwar vielfach diskutiert⁴, aber erst im Nachgang der Umstellung in vollem Umfang sichtbar. Das Zitat weist diesbezüglich nicht nur auf die Effekte der Umstellung des Nutzungsartenkatalogs hin, sondern auch auf die Neuerfassung von Objekten mit einer Neudigitalisierung von Flächen jenseits amtlicher Flurstücksbezüge. Problematisch ist dabei, dass wichtige Referenzdaten wie das Digitale Landschaftsmodell von ATKIS (ATKIS Basis-DLM), mit dem die Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung mit der Flächenstatistik nachvollzogen werden könnte, von diesen Umstellungseffekten ebenfalls betroffen sind. Der Grund ist, dass parallel zur Einführung von ALKIS eine Vereinheitlichung von Datenerfassungsmethoden der Vermessungsverwaltung im sogenannten AAA-Modell angestrebt wurde, unter anderem mit einem übergreifenden Nutzungsartenkatalog zwischen ALKIS und ATKIS und dem Austausch neu erfasster Objektarten in beiden Systemen.

Aus wissenschaftlicher Sicht problematisch sind diesbezüglich Raumbewertungsstrategien, die eine möglichst wenig disruptive Berichterstattung zur Flächeninanspruchnahme zum übergeordneten Ziel erheben. In diesem Zusammenhang beklagen Mitarbeiter aus der Planungspraxis, dass ein plötzlicher starker Rückgang der Flächeninanspruchnahme, wie er in vielen Kommunen Deutschlands nach der Einführung von ALKIS festgestellt wurde, das kommunale Flächenmanagement und einen nachhaltigkeitsorientierten sparsamen Umgang mit der Ressource Fläche vor Argumentationsprobleme stellt⁵. Dies gilt in besonderem Maße für Stadtverwaltungen, die unter hohem Zuwanderungsdruck neue Bauflächenbedarfe bei schwindenden Flächenressourcen in geeigneten Lagen zu befriedigen haben und gleichzeitig mit steigenden Flächenansprüchen z. B. für Maßnahmen der Klimaanpassung konfrontiert sind (Fina et al. 2020).

Umso wichtiger ist es deshalb, zeitstabile Konzepte für das Flächenmonitoring zu entwickeln. Die Zielsetzungen des Projekts *incora – Inwertsetzung von Copernicus Daten für die Raumbewertung (Laufzeit 2018-2022)* leisten hierzu einen Beitrag. Im Kern stand die Frage, welche Indikatoren des Flächenmonitorings durch Auswertungen von Sentinel-2-Satellitenbilddaten des Copernicus-Programms verbessert werden können. Die Beantwortung dieser Frage erfordert eine Eignungsprüfung im Hinblick auf konkrete Anwendungszwecke. Während der Projektlaufzeit starteten einige Bundesländer im Rahmen von Open-Data-Initiativen mit der Veröffentlichung von Rohdaten aus dem Katasterwesen, sodass flächenscharfe Referenzdaten genutzt werden konnten. Diese Entwicklungen wurden im Projektverlauf aufgegriffen, z. B. im Hinblick auf

die Veröffentlichung von Referenzdaten aus ALKIS für das Bundesland Nordrhein-Westfalen im *incora-Dashboard*.

3 FLÄCHENMONITORING MIT COPERNICUS UND SENTINEL⁶

Im Projekt wurden mehrere deutschlandweite Landbedeckungsklassifikationen und Versiegelungskarten inkl. Veränderungsanalyse erzeugt. Die folgenden Ausführungen beschreiben die Prozessierung der Daten zur Erstellung eines Datensatzes, der als *incora-Landbedeckung* im *incora-Dashboard* veröffentlicht ist⁷. Die Klassifikationen teilen die Landoberfläche in sechs diskrete Klassen ein: *Hohe Vegetation*, *Niedrige Vegetation*, *Wasser*, *Baulich geprägte Fläche*, *Vegetationslose Fläche* und *Landwirtschaft*. Sie sind in ihrem Maßstab abhängig von der Auflösung, bei Sentinel-2-Aufnahmen beispielsweise 10 Meter. Aus einer eigenständigen Veränderungsanalyse („Change Detection“) von Klassifikationen verschiedener Jahre lassen sich Veränderungen der Landbedeckung identifizieren, die für die Berechnung von dynamischen Indikatoren (z. B. Zunahme baulich geprägter Fläche) herangezogen werden können.

Zunächst wurden für das Untersuchungsgebiet Dortmund als Fallstudienkommune Tests durchgeführt, um eine sinnvolle Klassendefinition zu finden. Im nächsten Schritt wurde das Untersuchungsgebiet auf ganz Nordrhein-Westfalen ausgeweitet. Um den Vorverarbeitungsaufwand zu minimieren, wurden Sentinel-2-Monatskomposite (Level-3A WASP) vom Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) bezogen (DLR 2020). Diese wurden so vorprozessiert, dass der Einfluss der Atmosphäre auf die Reflexionswerte reduziert so-

Flächenmonitoring für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung

Siedlungsstrukturen mit hohen Einwohnerdichten und einer Mischnutzung von z. B. Wohnen, Gewerbe und Industrie, Dienstleistungen und Freizeit werden als nachhaltig und ressourceneffizient beschrieben. Sie entsprechen dem Leitbild der „Stadt der kurzen Wege“ mit weniger Bedarf an motorisiertem Verkehr. Sie können die Landschaftszersiedelung abmildern, wenn durch Nachverdichtung auf neue Baugebiete am Stadtrand und auf der grünen Wiese verzichtet werden kann. Ein wichtiges Ziel ist deshalb die behutsame Nachverdichtung mit durchgrünter Quartieren, öffentlichen Räumen, Begegnungsflächen und sozialer Infrastruktur mit hoher Aufenthalts- und Lebensqualität („doppelte Innenentwicklung“). Indikatoren aus dem Flächenmonitoring, die diese Aspekte aufgreifen und zu quantifizieren suchen, benötigen ergänzende Informationen zur Nutzungsintensität in der Raumentwicklung. Beispiele sind Einwohnermaße zur Siedlungsdichte, zur Flächennutzungseffizienz und zu den Flächenanteilen für unterschiedliche Nutzungskategorien. Aber auch Kenngrößen wie der Versiegelungsgrad und die Grünausstattung spielen unter anderem für Klimaanpassung und Flächengerechtigkeit eine bedeutende Rolle.

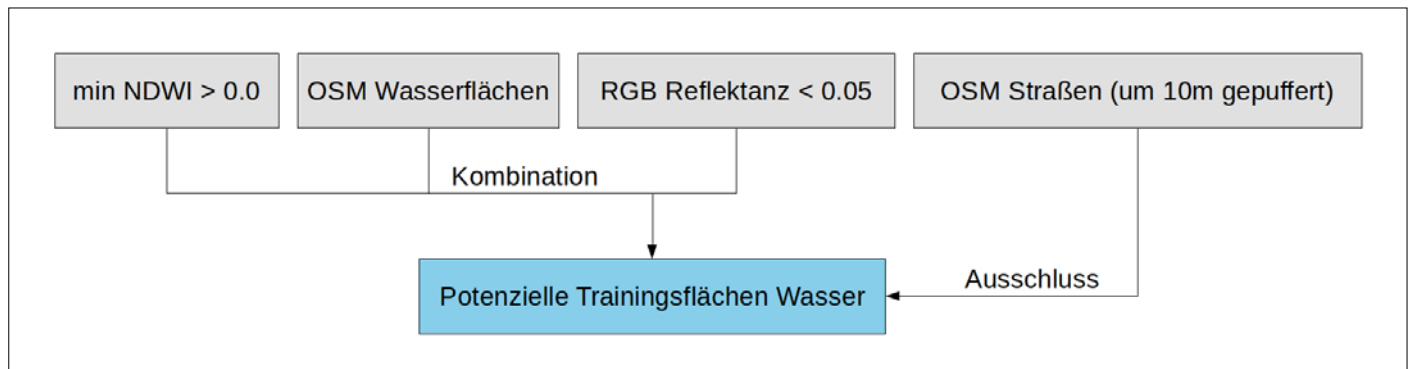


Abbildung 1: Beispiel für die regelhafte Trainingsgebietserstellung am Beispiel der Klasse Wasser (eigener Entwurf)

wie Wolken herausgerechnet und betroffene Pixel durch andere Zeitpunkte desselben Monats ersetzt wurden. Da es dennoch fehlende Daten aufgrund von durchgängiger Wolkenbedeckung je nach Gebiet und Monat geben kann, wurden lediglich Monate ausgewählt, für die eine vollständige Abdeckung Nordrhein-Westfalens gegeben war.

Aus den Sentinel-2-Spektralkanälen wurden verschiedene Indizes berechnet, deren zeitliche Statistiken im Jahresverlauf ebenfalls in die Klassifikationsgrundlage einfließen. Verwendet wurden NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index), BSI (Bare Soil Index) und NDBI (Normalized Difference Built-up Index). Trainingsdaten wurden auf Basis von Luftbildern erzeugt, welche die Bandbreite der sechs Zielklassen in Nordrhein-Westfalen abbilden sollten. In mehreren Feedback-Runden wurde die Klassifikation durch Anpassung der Trainingsgebiete verfeinert. Dennoch waren im Klassifikationsergebnis größere Fehlklassifikationen aufgrund von Verwechslungen der Klassen *Landwirtschaft* und *Baulich geprägte Fläche* enthalten. Diese ließen sich darauf zurückführen, dass offener Boden auf Agrarflächen und versiegelte Flächen einander spektral sehr ähnlich sind und die aufgrund von Wolkenbedeckung in manchen Gebieten limitierte Datenverfügbarkeit nicht ausreichte, um den vollen Vegetationszyklus auf landwirtschaftlichen Flächen abzubilden.

Eine Automatisierung der Trainingsdatenerstellung konnte das Problem der Klassenverwechslungen erheblich minimieren und auch ein Teilproblem der Skalierung auf ganz Deutschland lösen: Bei sehr großen und landschaftlich heterogenen Gebieten ist es nicht sinnvoll, manuell Trainingsgebiete zu erstellen. Verfügbare Referenzdatensätze zur Landbedeckung, beispielsweise die punkthaft erhobenen LUCAS-Daten (EUROSTAT 2021), benötigen hingegen umfangreiche Vorverarbeitung, um als Trainingsdaten verwendet werden zu können (Weigand et al. 2020). Die im incoRa-Projekt umgesetzte Lösung besteht darin, verschiedene externe Datenquellen sowie die Sentinel-2-Satellitendaten miteinander zu kombinieren, um die einzelnen in den Daten enthaltenen Unsicherheiten auszugleichen und nur solche Flächen als Trainingsgebiete zu verwenden, die sicher einer der sechs Zielklassen angehören. Dafür wurden Hilfsdatensätze aus OpenStreetMap (OSM; OpenStreetMap Contributors 2020) zu Wasserflächen, Gebäuden und Straßen, die Copernicus HRL Imperviousness Status Map 2018 mit 10 Meter Auflösung (EEA 2018) sowie die S2GLC Land Cover Map of Europe 2017 (Malinowski et al. 2020) mit 13 Klassen genutzt.

Für jede der sechs Zielklassen wurde ein Regelsatz erstellt, mithilfe dessen automatisch potenzielle Trainingsgebiete extrahiert werden können. Abbildung 1 zeigt dies am Beispiel der Klasse *Wasser*.

Als Grundlage dienen die aus OSM extrahierten Wasserflächen. Anschließend werden die Sentinel-2-Daten verwendet, um mithilfe des Wasserindizes NDWI sowie über die allgemeine Helligkeit Flächen auszuschließen, die in der Sentinel-2-Monatsszene nicht Wasser entsprechen (z. B. Schilfgürtel, Uferflächen). Anschließend dienen die aus OSM extrahierten Straßen (gepuffert um 10 Meter in beide Richtungen) dazu, eventuell verbliebene bauliche Strukturen wie Brücken aus dem Trainingsdatensatz zu eliminieren. Für jede Klasse der sechs Klassen wurden abschließend 50.000 Pixel zufällig aus den potenziellen Trainingsgebieten extrahiert und als Input in der Klassifikation verwendet.

Anschließend wurde die Berechnung für ganz Deutschland skaliert. Dazu wurden zunächst die Referenzjahre 2016 und 2019 für die Landbedeckungsklassifikation ausgewählt. 2019 war zu diesem Zeitpunkt das aktuellste abgeschlossene Jahr. Als Vergleich wurde mit 2016 das Jahr gewählt, in dem erstmalig Sentinel-2 im gesamten Jahr operativ war. Sentinel-2A wurde im Juni 2015, Sentinel-2B im März 2017 gestartet. Die 2016-2019-Kombination soll so einen möglichst mehrjährigen Zeitraum für Siedlungsveränderungen zulassen, die durch Klassifikationen detektiert werden. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde die deutschlandweite Klassifikation auch für 2020 sowie 2021 gerechnet.

Für die technische Implementierung der Datenaufbereitung und Trainingsgebietserstellung wurden Add-ons für das freie Geoinformationssystem GRASS (Neteler et al. 2012) in der Programmiersprache Python entwickelt. Die Automatisierung der Prozessierung wurde in der Open-Source-Geoprozessierungs-Engine actinia (Neteler et al. 2019) realisiert. Actinia basiert auf GRASS GIS und ermöglicht unter anderem die vollautomatische Bearbeitung von aus einzelnen GRASS-Methoden bestehenden Prozessketten. Außerdem lässt sich actinia beliebig skalieren, um z. B. im Fall von incoRa die zur Verfügung stehenden Rechenkapazitäten optimal auszunutzen.

Für die Referenzjahre 2016 und 2019 wurden jeweils vollständige Monatskomposite ohne Datenlücken aus den Sentinel-2-Daten für einzelne Blöcke aus Bundesländern (jeweils 3-4 Bundesländer zusammen) als Datengrundlage verwendet. Die Prozesskette umfasst die Datenaufbereitung, Indexberechnung, Trainingsgebietserstellung, Klassifikation nach dem Random-Forest

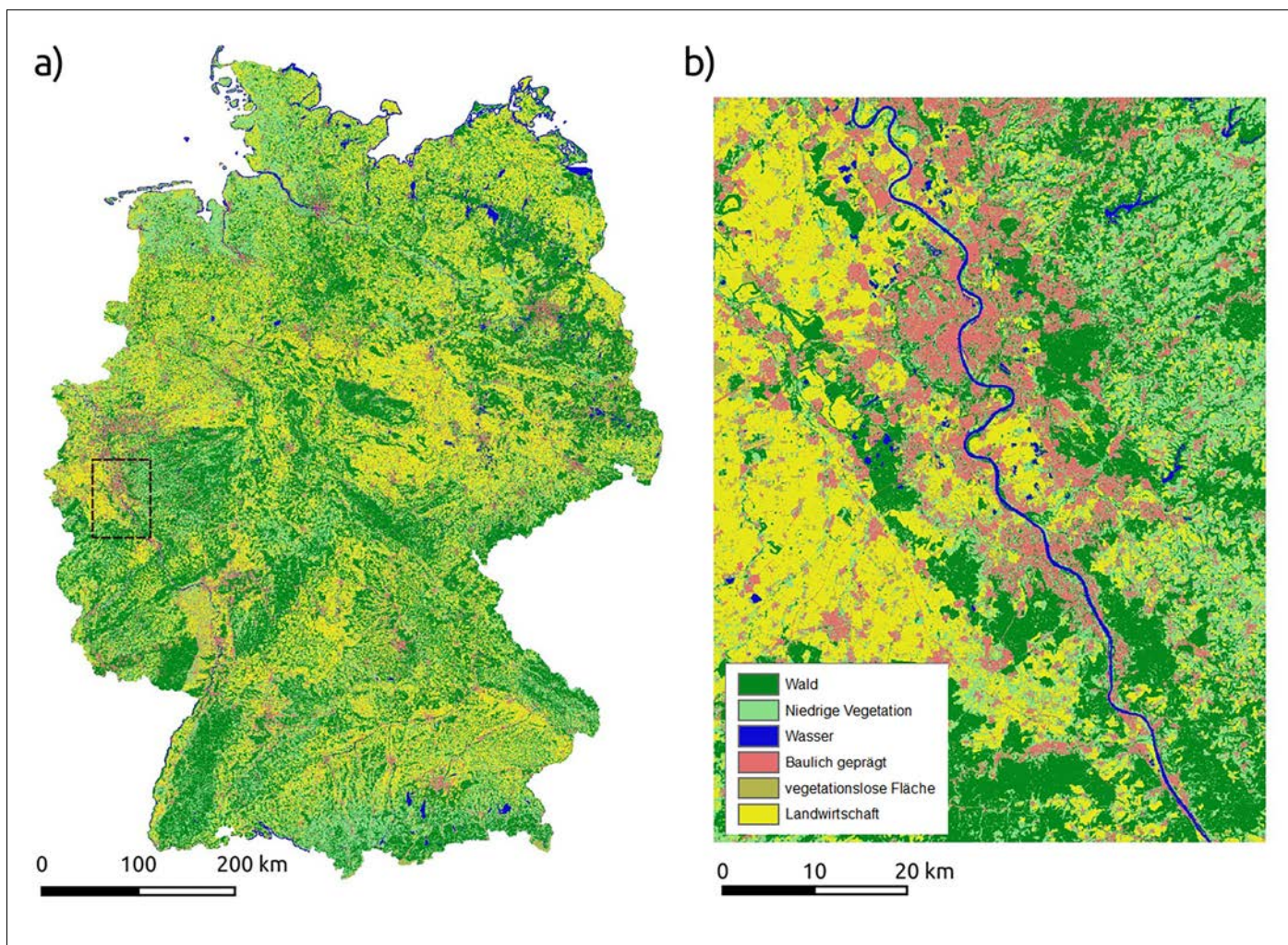


Abbildung 2: Ergebnis der Klassifikation für das Jahr 2019 für a) Deutschland sowie b) im Ausschnitt für den Raum Köln/Bonn (eigene Darstellung)

Verfahren (vgl. Riehbauer et al. 2021) und Nachbearbeitung. In Letzterer werden Fehlklassifikationen beseitigt, z. B. um Küstenlinien im Wattenmeer und Felsenflächen im Hochgebirge zu korrigieren. Die Ausführung für einen Block aus Bundesländern nahm ca. sechs Stunden auf einem Prozessor mit 64 Kernen und 128 GB Arbeitsspeicher in Anspruch (Riehbauer et al. 2021). Auf diesem Wege wurden nach und nach Landbedeckungsklassifikationen für ganz Deutschland für die Jahre 2016 und 2019 (später auch 2020) erstellt (Abbildung 2).

Da kein deutschlandweiter Datensatz zur Verfügung stand, der den Ansprüchen an eine unabhängige Validierung genüge, wurde diese beispielhaft für das Land Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Hier ist das ATKIS Basis-DLM über das Open-Data-Portal <https://open.nrw> frei verfügbar. Entsprechend des Objektartenkatalogs des Basis-DLM wurde eine Klassenübersetzung in die sechs incora-Klassen vorgenommen. Anschließend wurden 5.000 zufällige Punkte extrahiert. Für jeden dieser Punkte wurde mithilfe von ebenfalls über OpenNRW bezogenen Luftbildern sowie Sentinel-2-Daten des jeweiligen Referenzjahrs die korrekte Zuordnung der incora-Klasse aus dem ATKIS Basis-DLM visuell überprüft. Im Fall einer inkorrekten oder nicht eindeutigen Zuordnung wurden die Punkte einer anderen Klasse zugeordnet oder in die nächste zweifelsfrei zu einer der sechs Klassen gehörenden Fläche verschoben. Diese Punkte wurden anschließend mit den Landbedeckungsklassifikationen der Jahre 2016 und 2019 verglichen und bewertende Metriken berechnet.

Die „Overall Accuracy“, d. h. die Gesamtgenauigkeit der Klassifikation als Verhältnis zwischen den korrekt klassifizierten Referenzpixeln und allen Referenzpixeln, lag für 2016 bei 88,4%, für 2019 bei 91,9%. Weitere Qualitätsmaße sind die „Producer’s Accuracy“ (PA) und die „User’s Accuracy“ (UA). PA zeigt je Klasse an, wie verlässlich ein Referenzpixel der korrekten Klasse zugeordnet wird, UA dagegen steht für die Verlässlichkeit eines Ergebnispixels der Landbedeckungsklassifikation bzgl. der tatsächlich dargestellten Klasse. Insbesondere die Klassen *Baulich geprägte Fläche* (PA 2016: 89,8% bzw. PA 2019: 97,3%; UA 2016: 98,2% bzw. UA 2019: 99,3%), *Wasser* (PA 2016: 94,3% bzw. PA 2019: 92,8%; UA 2016 bzw. UA 2019: 98,5%) und *Wald* (PA 2016: 94,3% bzw. PA 2019: 95,9%; UA 2016: 96,9% bzw. UA 2019: 98,1%) weisen sehr hohe Klassifikationsgenauigkeiten auf. Größere Unsicherheiten bestehen einzig bei der Klasse *Vegetationslose Fläche* (PA 2016: 58,5% bzw. PA 2019: 95,1%; UA 2016: 19,7% bzw. UA 2019: 35,1%). Dies ist vor allem mit Verwechslungen mit der Klasse *Landwirtschaft* (z. B. bei Ackerbrachen) sowie der sehr geringen Gesamtfläche dieser Klasse im Untersuchungsgebiet zu erklären.

Weiterhin wird deutlich, dass die Landbedeckungsklassifikation 2019 im Vergleich zum Referenzjahr 2016 fast durchgängig hö-

here Genauigkeiten erzielt. Dies liegt an der deutlich besseren Datenverfügbarkeit für dieses Jahr: Im Jahr 2019 waren beide Sentinel-2-Satelliten operationell und konnten somit die zeitliche Wiederholrate der Überflüge im Vergleich zu nur einem Satelliten im Jahr 2016 verdoppeln. Damit erhöhte sich die Chance auf wolkenfreie Aufnahmen, sodass auch die Verfügbarkeit von kompletten, wolkenfreien Monatsmosaiken im Jahr 2019 deutlich höher ist.

Ausgehend von den deutschlandweiten Klassifikationen von 2016 und 2019 wurde eine Differenzkarte aus einer Veränderungsanalyse abgeleitet. Diese enthält alle möglichen Kombinationen der Landbedeckungsveränderung. Ein 3x3-Filter im Moving-Window-Modus wurde angewendet, um isolierte Veränderungspixel und Kanteneffekte zu eliminieren. Als nächstes wurde der „Information Gain“ berechnet (Quinlan 1986). Dieses Maß bewertet Änderungen der Werteverteilungen innerhalb des Fensters und nicht die pixelweisen Änderungen. Es kann verwendet werden, um vermeintliche Änderungen zu eliminieren, die höchstwahrscheinlich auf Klassifizierungsrauschen aufgrund der spektralen Mehrdeutigkeit eines beobachteten Bereichs zurückzuführen sind. Der „Information Gain“ ergibt Werte von 0 (keine Veränderung) bis 1 (vollständige Veränderung). Bildpunkte mit Werten kleiner als 0,5 werden ausgelassen. Schließlich wurden Änderungen, die kleiner als 0,5 ha waren, entfernt. Insgesamt wurde der Fokus auf die Zu- bzw. Abnahme der Klasse *Baulich geprägte Fläche* gelegt, da diese für die Berechnung von dynamischen Siedlungs- und Verkehrsflächenindikatoren am relevantesten ist.

Dennoch verblieben je nach Untersuchungsgebiet teilweise deutliche Fehldetektionen von vermeintlich hinzugekommenen bzw. reduzierten baulich geprägten Flächen. Die Gründe sind, wie oben bereits angesprochen, in den Verwechslungen von

vegetationsloser Fläche bzw. unbewachsener Landwirtschaftsfläche und baulich geprägter Fläche zu suchen. Diese wurde durch die Automatisierung der Trainingsgebietserstellung zwar reduziert, aber nicht komplett entfernt. Darüber hinaus hat die geringere Datenverfügbarkeit für die 2016er Klassifikation und die damit verbundene geringere Klassifikationsgenauigkeit Fehlklassifikationen und entsprechende Fehldetektionen in der Veränderungsanalyse begünstigt. Weiterhin führt die Pixelgröße von 10 x 10 m bei kleinen abgebildeten Objekten dazu, dass mehrere Oberflächentypen in einem Pixel auftreten. Jedoch wird zu mehreren Zeitpunkten eine diskrete Klassifikation erstellt, sodass bei starken Mischungen in einem Jahr Klasse 1 und in einem anderen Jahr Klasse 2 erkannt wird.

Aus diesen Gründen wurde die Veränderungsanalyse der baulich geprägten Flächen in einem Nachbearbeitungsschritt verfeinert (Eichfuss & Hollen 2022). Über den „Mean Square Shape Index“, einem Formindex aus der Landschaftsstrukturanalyse, der die Kompaktheit von Objekten beschreibt (Blaschke & Lang 2007 bzw. SAGA-GIS o. J.), wurden Fehldetektionen eliminiert, die aufgrund von Kanteneffekten auftraten. Zudem konnte der Formindex genutzt werden, um Veränderungsflächen innerhalb und außerhalb von Ortslagen zu unterscheiden. Innerhalb von Ortslagen wurden auch kleinere Veränderungen zugelassen (> 300 m²), während außerhalb von Ortslagen nur größere Objekte (> 500 m²) behalten wurden. Weiterhin wurde die Annahme getroffen, dass neu bebaute Flächen Anschluss an bestehende Infrastruktur haben müssen. Daher wurden Objekte eliminiert, die weiter als 200 Meter von ausgewählten Straßen aus dem OSM-Straßennetz entfernt waren. Außerdem wurden bestehende Windkraftanlagen ebenfalls aus OSM extrahiert und neu bebaute Flächen in ihrer Nähe zuge-

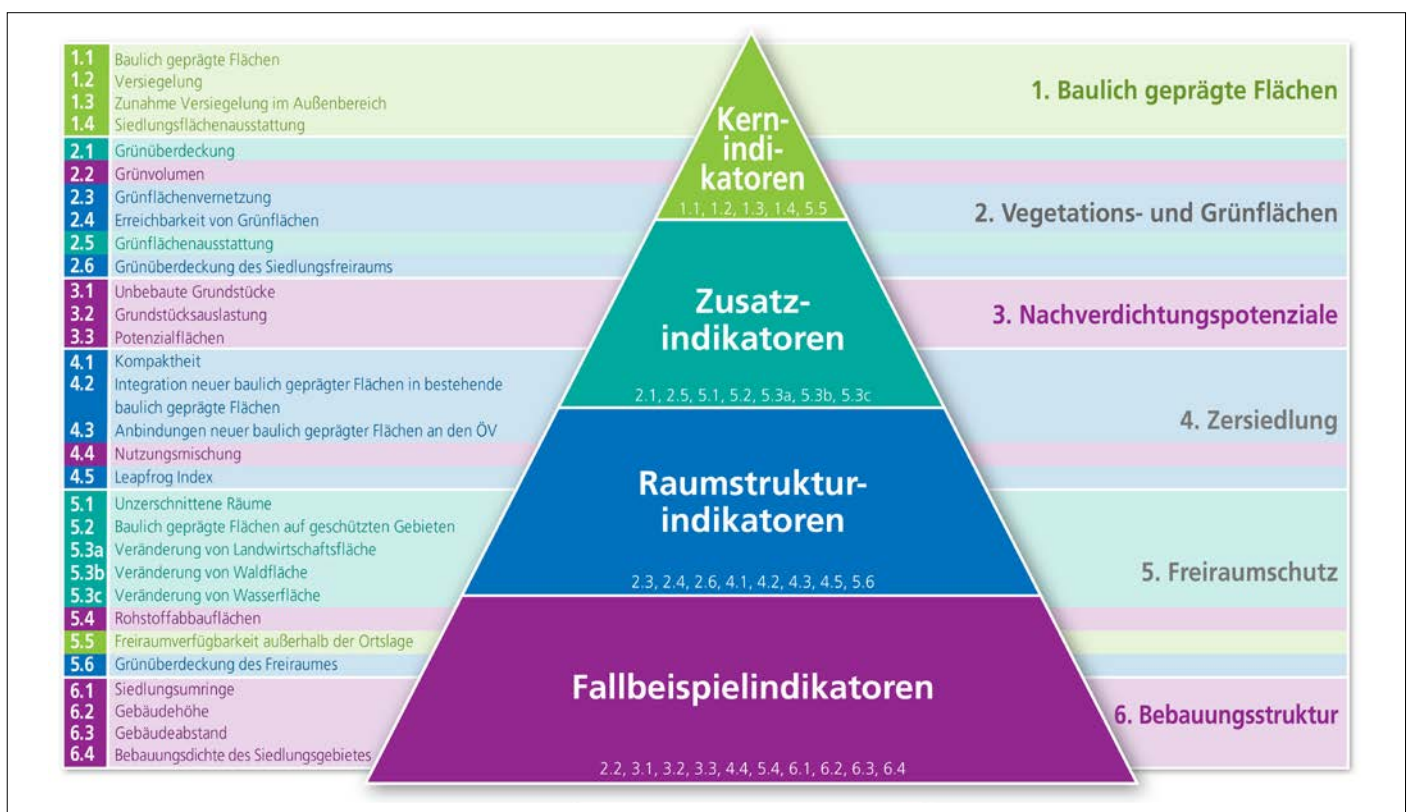


Abbildung 3: Die incore-Indikatorenpyramide (eigene Darstellung; Grafik: J. Rönsch)

lassen. Diese Schritte der Nachbearbeitung verbessern die Detektion von Veränderungen von baulich geprägten Flächen erheblich.

4 INDIKATOREN

Die Ausführungen zur Erstellung des incora-Datensatzes der Landbedeckungsklassifikation zeigen beispielhaft die herausfordernden Arbeitsschritte und notwendigen Entscheidungen, um methodische Optionen für die Aufbereitung von Datensätzen aus der Erdbeobachtung für das Flächenmonitoring auszuwählen und anzuwenden. Weitere Herausforderungen liegen in der Nutzung und Überführung dieser Datensätze in Indikatorkonzepte, die für ausgewählte Fachfragen der Flächeninanspruchnahme umzusetzen und zu interpretieren sind. So ist z. B. die Abgrenzung von Siedlungen als Ausgangspunkt für die Nachhaltigkeitsbewertung von Siedlungserweiterungen alles andere als trivial. Es gibt in Deutschland keine autorisierte Datenquelle zur baurechtlich festgelegten Abgrenzung des Innen- und Außenbereichs. Dennoch ist die Lage von Bautätigkeiten („Innen- vor Außenentwicklung“) für die Evaluierung von Flächensparzielen mithilfe von Indikatoren bedeutsam. Im Projektverlauf wurde auf die einheitliche Datenbasis der Ortslagen aus ATKIS Basis-DLM zurückgegriffen, um eine deutschlandweite Grundlage zu nutzen. Weiterführende Indikatoren, die z. B. die Nutzungseffizienz von Siedlungsstrukturen zu bewerten suchen, erfordern z. B. kleinräumige Bevölkerungszahlen zur Ermittlung von Nutzungsdichten in Siedlungserweiterungen. Hierfür gilt es wiederum, aus den verfügbaren Optionen die für den jeweiligen Anwendungszweck geeignetsten Daten zu evaluieren und einzusetzen. Im Projekt wurden deshalb alle konzipierten Indikatoren mithilfe von definierten Eignungskriterien und Expertenworkshops bewertet und ausgewählt. Sie sind im incora-Dashboard inkl. ausgewählter Anwendungszwecke ausführlich dokumentiert. Die Eignungsbewertung führte zu einer Priorisierung von Indikatorkandidaten, die wie eine Pyramide mit abschichtender Bedeutung aufgebaut ist (Abbildung 3):

- ▶ Kernindikatoren: Diese Indikatoren sind für das Flächenmonitoring essenziell. Sie werden bereits als Teil der Nachhaltigkeitsindikatoren Deutschlands für Berichtszwecke genutzt (SDG 11. 1 a-c Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche, Freiraumverlust, Siedlungsdichte). Sie werden um weitere für ein qualifizierendes Flächenmonitoring unentbehrliche Indikatoren (insbesondere Bodenversiegelung, Siedlungsflächenausstattung) ergänzt.
- ▶ Zusatzindikatoren: Diese Indikatoren haben zwar einen hohen Mehrwert für das Flächenmonitoring, können aber standardmäßig (noch) nicht alle für ein bundesweites Monitoring eingesetzt werden (z. B. Brachflächen, Grünvolumen).
- ▶ Raumstrukturindikatoren: Diese Indikatoren bilden raumstrukturelle Merkmale ab, wie z. B. Zersiedelungsmaße, Kompaktheitsmaße, Grünflächenvernetzung. Sie können aufgrund von Limitationen der Fernerkundungsdaten nicht immer hinreichend genau berechnet oder bundesweit flächendeckend abgebildet werden.
- ▶ Fallbeispielindikatoren: Dies sind Indikatoren, die regional von hoher Bedeutung sind oder aufgrund der Datenlage nur für Teilräume und nicht bundesweit (mit vertretbarem Aufwand) ermittelt werden können, z. B. Indikatoren zur Bebauungs- und Gebäudestruktur, Potenzialflächen, Grünvitalität.

Die Ergebnisse dieser Arbeitsschritte zeigen, dass die Landnutzungssicht des deutschen Flächenmonitorings nur mit deutlichen Einschränkungen mit Landbedeckungsdaten aus der Erdbeobachtung nachgebildet werden kann. So ist die Klasse *Bebaute Fläche* keineswegs gleichbedeutend mit der Zusammenfassung von Landnutzungsklassen der *Tatsächlichen Nutzung* zu Siedlungs- und Verkehrsflächen, da Letztere Siedlungsfreiflächen, wie z. B. Parks, öffentliche Plätze und Verkehrsbegleitgrün, enthält. Entsprechend wurden die im Projekt auf Basis von Landbedeckungsklassen erzeugten Indikatoren in ihrer Beschreibung, Definition und der Durchführung von Berechnungsschritten angepasst. Dies gilt auch für die Definition von Grün- und Vegetationsindikatoren, deren Zusammensetzung mit incora-Landbedeckungsklassen keine eindeutige Entsprechung in den Landnutzungskategorien der *Tatsächlichen Nutzung* (z. B. Erholungsflächen, Parks) findet.

Neben den konzeptionellen Unterschieden zwischen Landbedeckung und Landnutzung (Lucas et al. 2020) kommen weiterhin Unterschiede in der Datenhaltung zwischen Raster- und Vektordaten zum Tragen. Während in den Vektorgeometrien der Geobasisdaten (ALKIS, ATKIS) Mindest erfassungsgrößen der tatsächlichen Nutzung von Flächen nach länderspezifischen Schwellenwerten Anwendung finden, können Rasterdaten zumindest theoretisch in jeder Zelle eine Information abbilden. Limitierend ist hier allerdings die räumliche Auflösung zur Umsetzung von Indikatoren, die eine kleinteilige Unterscheidbarkeit von Bebauungs- und Oberflächenstrukturen in der spektralen Signatur benötigen (z. B. Indikatoren aus den Bereichen Nachverdichtungspotenzial und Bebauungsstruktur). Diese sind aufgrund der auflösungsbedingten Grenzen von Sentinel-2-Satellitenbildern nur sehr eingeschränkt umsetzbar bzw. interpretierbar. So reicht eine Auflösung von 10 x 10 m oft nicht, um bebaute Objekte hinreichend genau abzubilden.

Weiterhin sind Fehlklassifikationen (v. a. Ackerflächen) oftmals für unplausible Ergebnisse verantwortlich. Aus diesem Grund wurde in der Veränderungsanalyse („Change Detection“) der baulich geprägten Fläche eine regelbasierte Korrektur (Nachbearbeitung – „Postprocessing“) zur Filterung unplausibler Werte auf Ackerflächen erstellt. Dieser Schritt erfolgte erst, nachdem die Veränderungsanalyse der Landbedeckung für das gesamte Bundesgebiet vorlag. Mit diesen und den zuvor genannten Regeln wurden zum Beispiel Flächen ohne Zuweg oder mit kleinen irregulären Flächenformen („sliver polygons“) identifiziert und gelöscht (vgl. z. B. Bill 2023, S. 529), sodass die Indikatoren nachfolgend mit plausiblen Datengrundlagen berechnet werden konnten. Die Validierung der Ergebnisse wird durch den noch geringen zeitlichen Abstand zwischen den Landbedeckungsklassifikationen (2016-2019 bzw. 2019-2020) erschwert.

5 INCORA-FLAECHE.DE

Der teils hochkomplexe Aufbau von Datenmodellen wie der *Tatsächlichen Nutzung* im Katasterwesen oder der Nomenklatur von Erdbeobachtungsdaten und ihrer zugrunde liegenden Methoden und Validierungsmechanismen ist selbst für Fachleute schwer zu durchdringen. Deshalb wird mit dem incora-Dashboard eine Aufbereitung der Projektergebnisse angeboten, die einen möglichst intuitiven Zugang zum Themenkomplex ermöglichen und mit einer ausführlichen Dokumentation umfassende Interpretationshilfen anbieten. Hierfür erfolgte eine Auswahl von Indikatoren, die einheit-

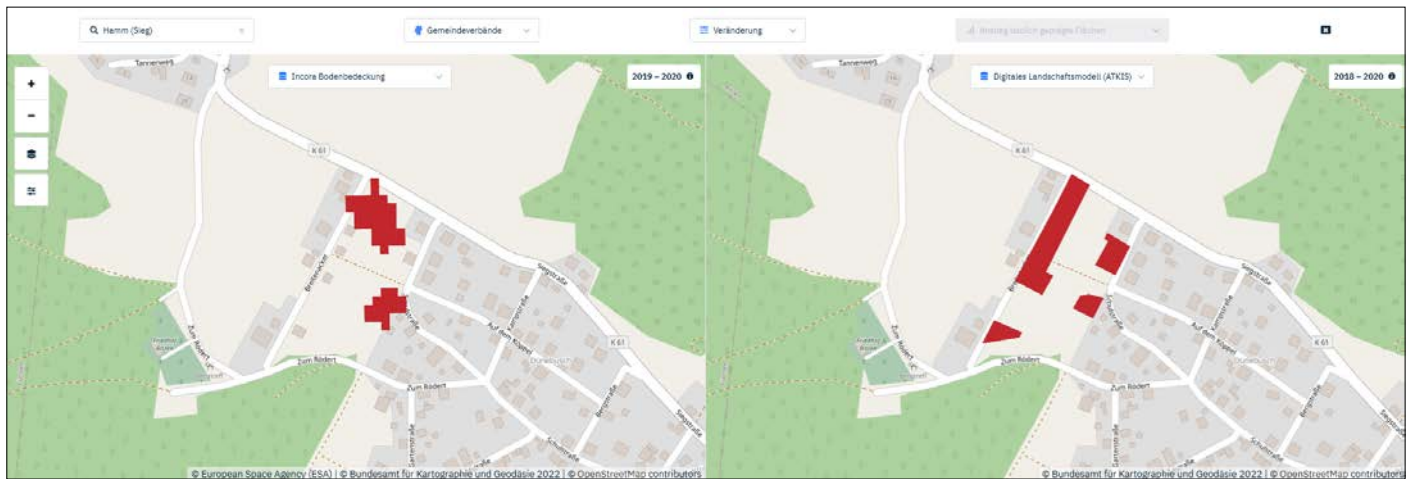


Abbildung 4: Gegenüberstellung von Veränderungen der incora-Bodenbedeckung 2019-2020 und des digitalen Landschaftsmodells ATKIS 2018-2020 im incora-Web-GIS; <https://incora-flaeche.de> (Konzept: ILS/BBSR/mundialis, Umsetzung: BoldGeo Berlin)

lich und deutschlandweit umgesetzt werden konnten. Die Umsetzung erfolgte durch die Firma Bold Geo Berlin (<https://boldgeo.de/>).

Das Ergebnis ist das sogenannte incora-Dashboard, das der Öffentlichkeit seit 2. Juni 2022 unter <https://incora-flaeche.de> zur Verfügung steht. Im Dashboard kann eine Auswahl von Indikatoren für die Bereiche Siedlung und Verkehr für ausgewählte Verwaltungshierarchien (Bund, Länder, Planungsregionen, Kreise und Städte bzw. Verwaltungsgemeinschaften) angezeigt werden. Die im Dashboard verfügbaren Indikatoren wurden mit verschiedenen Datengrundlagen gerechnet, um eine Gegenüberstellung von Ergebnissen und Informationsgehalten zu ermöglichen (Funktion „Datensätze vergleichen“).

Mittels historischer und aktueller Luftbilder können die im jeweiligen Datensatz enthaltenen Flächenentwicklungen flächenscharf inspiziert werden. Das Portal visualisiert hierfür für alle Datenquellen die Flächenveränderungen zwischen zwei Zeitständen (z. B. Veränderung der Landbedeckung von 2019-2020), und für einige Datenquellen den zuletzt erfassten Zustand (z. B. Landbedeckung 2020). Zudem können Statistiken zu Flächenanteilen nach Nutzungsart und Landbedeckungstyp abgerufen werden.

Zum Veröffentlichungsstart enthält die Plattform bundesweite Berechnungen der Indikatoren mit Datengrundlagen aus der Flächenstatistik, aus ATKIS und ALKIS⁹ (Nordrhein-Westfalen) sowie aus der Erdbeobachtung. Für Letzteres wurden die Landbedeckungsklassifikation und die Versiegelungskarte aus incora genutzt, weiterhin Vergleichsdaten aus Quellen der Europäischen Union (EEA Versiegelungslayer und CORINE Land Cover). Eine Besonderheit ist die erstmalige Präsentation von Indikatorergebnissen auf Grundlage von Geobjekten der *Tatsächlichen Nutzung* aus ALKIS für das Bundesland Nordrhein-Westfalen. Diese Möglichkeit ergibt sich durch die Veröffentlichung historischer ALKIS-Daten, die von der Bezirksregierung Köln seit Oktober 2021 im Geoportal.NRW angeboten werden. Abbildung 4 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus dem Portal.

6 DISKUSSION

In der Gesamtbetrachtung der Projektergebnisse ist festzuhalten, dass die Datenbereitstellung für ein effizientes Flächenmonitoring

der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung in Deutschland eine besondere Herausforderung ist und bleibt. Die im Projekt erzielten Ergebnisse liefern eine neuartige Aufbereitung von Indikatoren der Raumbewertung auf Basis verschiedener Datenquellen. Auf den ersten Blick werden damit die methodisch begründeten Unterschiede in den Werteausprägungen von Indikatoren deutlich, wenn diese mit unterschiedlichen Datengrundlagen berechnet werden. Auf den zweiten Blick erschließen sich Fachanwendern und Experten mit den Ergänzungsdaten aus der Sentinel-2-Erdbeobachtung neue Erkenntnisse zur Validität von Geobasisdaten, die im Flächenmonitoring eingesetzt werden. Weiterhin wird mit neuen Daten aus der Erdbeobachtung eine aktuellere Informationsbereitstellung zu Flächenentwicklungen der jüngsten Vergangenheit ermöglicht, als es die bundesweit meist mit 2-jähriger Verzögerung berichtende Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung erlaubt. An diese Erkenntnisse gilt es anzuknüpfen.

Die zugrunde liegenden Probleme im Monitoring der Flächeninanspruchnahme werden seit vielen Jahren auch im politischen Raum thematisiert. Einschränkungen in der Interpretationsfähigkeit von Flächendaten sind Thema von Initiativen wie dem Bundesländer-Dialog zum Flächensparen und begleitenden Forschungsprojekten z. B. des Umweltbundesamts, aber auch in den Arbeitsgemeinschaften von Bund und Ländern zur Weiterentwicklung von Geobasisdaten für das Flächenmonitoring. Problematisch sind weiterhin die Defizite in der Zeitreihenkonsistenz amtlicher Geobasisdaten, aber auch auflösungsbedingte Genauigkeitsgrenzen und Inkonsistenzen in der Erhebung von Erdbeobachtungsdaten in der europäischen Raumbewertung.

Auf Ebene der Europäischen Union kommen wissenschaftliche Fachveröffentlichungen deshalb zum Schluss, dass die bislang verfügbaren Datengrundlagen kaum geeignet sind, um die Nachhaltigkeitsziele der Europäischen Union für die Flächeninanspruchnahme („zero land take by 2050“) zielführend zu überprüfen (Decoville & Schneider 2015). Dieser Befund wird für Deutschland konkretisiert durch die Erkenntnisse des ESPON-SUPER-Projekts, in dem die Datenlage für das deutsche 30-Hektar-Ziel analysiert wird. Die Besonderheit in Deutschland ist, dass eine Mengensteuerung des Nachhaltigkeitsziels (d. h. 30 Hektar minus x bis 2030)



Abbildung 5: Darstellung von Veränderungsdaten im incora-Web-GIS; <https://incora-flaech.de> (Konzept: ILS/BBSR/mundialis, Umsetzung: BoldGeo Berlin)

zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme für die Bundesebene zwar trotz datentechnischer Probleme zielführend sein kann. Die Umsetzung der Flächensparziele für nachgelagerte institutionelle Settings in den Ländern, Planungsregionen und Kommunen ist bislang allerdings unzureichend koordiniert. Der Bericht kommt zu dem Schluss, dass ein größerer Aufwand für die Bereitstellung maßgeschneiderter Informationen und Indikatoren betrieben werden müsste, um Umsetzung und Überwachung differenzierter Flächensparziele besser durchführen zu können (ESPON 2020).

Diese Aussage trifft auf eine Neuformulierung der Flächensparziele des Bundes in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie von 2021: „Bis zum Jahr 2050 wird eine Flächenkreislaufwirtschaft angestrebt. Das heißt, es sollen netto keine weiteren Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke beansprucht werden“ (Die Bundesregierung 2021, S. 269). Neben bundesweit einheitlich zu führenden Brachflächenkatastern für das Flächenrecycling erfordert diese Neuformulierung der Flächensparziele, dass qualifizierte Daten zum Rückbau von Siedlungs- und Verkehrsflächen in das Flächenmonitoring integriert werden müssen. Denn nur mit einer vorausschauenden Planung unter Einbezug von Kompensationsmechanismen kann verhindert werden, dass eine derart mengen-gesteuerte Flächenplanung ihre Handlungsspielräume für eine Optimierung von Siedlungsstrukturen behält.

Die Weiterentwicklung des Flächenmonitorings spielt diesbezüglich eine bedeutende Rolle für die Bilanzierungsmöglichkeiten einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung und ihrer räumlich gerechten Ausgestaltung im Dialog zwischen Akteuren aus Politik, Verwaltung und Zivilgesellschaft. Die möglichst bundesweite Freigabe von Geobjekten aus dem Katasterwesen über Open-Data-Strategien, auch für historische ALKIS-Daten, ist ein erster Schritt zu einer neuen Form der Transparenz, die den Aushandlungsprozess über die Transformationspfade der Flächenentwicklung mit maßgeschneiderten Informationen unterstützt. Die Qualifizierung

und Vernetzung von Datenquellen aus der Erdbeobachtung, aus Geobasisdaten, aber auch aus nutzergenerierten Zusatzinformationen bietet zudem die theoretische Möglichkeit, konsistentere und aussagefähigere Flächendaten für die Raubeobachtung zu erhalten.

Darüber hinaus schöpft das Flächenmonitoring seine Möglichkeiten für eine effizientere Steuerung der Flächeninanspruchnahme nicht vollständig aus, wenn der Blick mit der Bilanzierung der zuletzt entstandenen Flächenveränderungen ausschließlich in die Vergangenheit geht. Im Hinblick auf die Anforderungen einer nachhaltigen Siedlungs- und Verkehrsentwicklung erscheint es dringend notwendig, neben Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten auch Baulandpotenziale im Bestand (Brachen, Baulücken, ggf. auch Nachverdichtungspotenziale) und Planflächen (Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für die Siedlungsentwicklung, Flächennutzungspläne, Bebauungspläne) in ein umfassendes Flächenmonitoring einzu-beziehen. Denn letztlich wird auf dieser Ebene über Flächenveränderungen der Zukunft verhandelt, hier sind die planerischen und politischen Handlungsspielräume für die Zielerreichung eines nachhaltigen Flächenmanagements zu realisieren. Diesbezüglich kann die Integration digitaler Potenzialflächenkataster sowie Bau-leit- und Flächennutzungsplanungen im Zusammenhang mit einer transparenten Informationsbereitstellung zum „Game-Changer“ für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung werden.

Zusammenfassend bleibt zu konstatieren, dass die Projekt-ergebnisse von incora und die im Dashboard vorgestellten Daten-inhalte Inkonsistenzen im Flächenmonitoring nicht beseitigen können. Die Interpretation von Indikatoren wird weiterhin erhebliche fachliche Sachkenntnis erfordern. Der Mehrwert des Portals liegt vielmehr in einer verbesserten Informationsbereitstellung mit folgen-den Kernfunktionen:

- ▶ Abrufen des Zustands und die Veränderung der Landbedeckung mit verschiedenen Indikatoren zur Siedlungsflächen- und

Vegetationsentwicklung aus unterschiedlichen Erdbeobachtungsdaten.

- ▶ Gegenüberstellen und Vergleichen dieser Informationen mit amtlichen Geobasisdaten der Landnutzung für frei wählbare Verwaltungseinheiten von Bund bis zur Verwaltungsgemeinde. Darüber hinaus erklären ergänzende Informationen im Portal die Zusammenhänge zwischen der Genese und der Entwicklung unterschiedlicher Datenquellen im Zeitverlauf. Die angezeigten Indikatorwerte können mit diesem Hintergrundwissen und dem Abgleich mit den in Luftbildern ersichtlichen Flächenänderungen umfassend kontextualisiert und somit besser interpretiert werden. Nicht zuletzt zeigt auch die offene Bereitstellung von Verarbeitungsroutinen und Ergebnisdaten aus dem Projektkontext, inwiefern kostenfreie Landbedeckungsdaten aus der Copernicus-Erdbeobachtung das Monitoring und die Planung einer flächensparamen Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung unterstützen können.

DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Digitales und Verkehr sowie dem Projektträger Jülich für die Projektförderung im Rahmen des Modernitätsfonds 4.0 (FKZ: 19F2079A).

- ¹ Dieser Beitrag enthält Textpassagen aus dem Abschlussbericht des Projekts „incora-Inwertsetzung von Copernicus-Daten für die Raumbbeobachtung“, gefördert mit Mitteln des Modernitätsfonds des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr.
- ² https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/_inhalt.html (21.09.2022).
- ³ Vgl. <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online?operation=statistic&levelindex=0&levelid=1663771408283&code=33111#abreadcrumb> (21.09.2022).
- ⁴ Z. B. unter Beteiligung von Autoren dieses Berichts auf dem seit 2008 jährlich stattfindenden Dresdener Flächennutzungssymposium; <http://dfns2021.ioer.info/> sowie <https://dfns2022.ioer.info/> (21.09.2022).
- ⁵ Vgl. hierzu unveröffentlichte E-Mail-Anfragen der Stadt Münster an das ILS vom 21.11.2019.
- ⁶ Der im incora-Projekt entwickelte Programmcode wurde unter <https://github.com/mundialis/incora> veröffentlicht. Die Ergebnisdaten stehen unter <https://mcloud.de/web/guest/suche/-/results/detail/80619D20-7BE5-4D32-8783-FC3278977E6B> zum Download zur Verfügung (18.09.2022).
- ⁷ Weiterführende Informationen zur Erstellung des Datensatzes der incora-Bodenversiegelung im incora-Dashboard werden derzeit für eine englischsprachige wissenschaftliche Fachveröffentlichung aufbereitet.
- ⁸ Orthophotos vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie wurden lizenziert und vom Projektteam zu WMS-Diensten auf eigenen Servern verarbeitet.
- ⁹ Es werden ALKIS-Daten für zwei Zeitstände benötigt, um Veränderungen der Siedlungs- und Verkehrsflächen zu ermitteln. Das Bundesland Nordrhein-Westfalen bietet hierfür historische ALKIS-Daten als Geoobjekte im Open-Data-Format an; <https://open.nrw/dataset/905d7357-84b9-44f7-92bb-641fb3cbe21f> (18.09.2022).

IMPRESSUM // PUBLICATION INFORMATION

gis.Science – Die Zeitschrift für Geoinformatik
ISSN 1869-9391

Redaktion:

Gerald Olbrich,
olbrich@vde-verlag.de,
Tel.: +49(0)69-840006-1121

Hauptschriftleiter:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill,
ralf.bill@uni-rostock.de

Editorial Board:

Prof. Dr. Lars Bernard, TU Dresden; Prof. Dr. Thomas Brinkhoff, Jade Hochschule Oldenburg; Dr. Andreas Donaubaier, TU München; Prof. Dr. Max Egenhofer, University of Maine Orono; Prof. Dr. Manfred Ehlers, Universität Osnabrück; Prof. Dr. Klaus Greve, Universität Bonn; Prof. Dr. Martin Kada, Technische Universität Berlin; Dr. Stefan Lang, Universität Salzburg; Prof. Dr. Stephan Nebiker, Fachhochschule Nordwestschweiz; Prof. Dr. Pascal Neis, Hochschule Mainz; Prof. Dr. Josef Strobl, Universität Salzburg

Internet:

www.gisPoint.de

Anzeigen:

Tommy Rößler,
VDE VERLAG GMBH,
Tel.: +49(0)69/840006-1341,
roessler@vde-verlag.de

Verlag:

Wichmann Verlag im VDE VERLAG GMBH,
Bismarckstraße 33, 10625 Berlin,
Tel.: +49(0)30/34 80 01-0,
Fax +49(0)30/34 80 01-9088,
www.vde-verlag.de

Geschäftsführung:

Dr.-Ing. Stefan Schlegel

Verlagsleiter Zeitschriften:

Dipl.-Ing Ronald Heinze

Druck:

Druck- und Verlagshaus Thiele & Schwarz
GmbH, Kassel

Anschrift für Zeitschriftenabonnements:

Vertriebsunion Meynen GmbH & Co. KG,
Große Hub 10, 63344 Eltville am Rhein,
Tel.: +49(0)61 23/92 38-234,
Fax +49(0)61 23/92 38-244,
vde-leserservice@vuservice.de

Erscheinungsweise:

10 x jährlich, davon 4 Ausgaben gis.Science,
6 Ausgaben gis.Business

Jahresabonnement (4 Hefte):

143,00 EUR zzgl. Versandkosten, Studenten/
Auszubildende 61,50 EUR zzgl. Versandkosten,
Mitglieder des Deutschen Dachverbands
für Geoinformation e.V. (DDGI) erhalten das
Abo im Rahmen ihrer Mitgliedschaft

Bezugszeitraum:

Ein Abonnement gilt für mindestens ein Jahr
und verlängert sich jeweils um weitere 12 Mo-
nate, wenn es nicht bis spätestens 6 Wochen
vor Ablauf des Bezugszeitraums gekündigt
wurde. Reklamationen für nicht erhaltene Hefte
können nur innerhalb von drei Monaten nach
Erscheinen angenommen werden.

© 2023 VDE VERLAG GMBH,
Berlin · Offenbach. Alle in gis.Science er-
scheinenden Beiträge, Abbildungen und Fotos
sind urheberrechtlich geschützt. Reproduktion,
gleich welcher Art, können nur nach schriftli-
cher Genehmigung des Verlags erfolgen.

Die gis.Science ist seit 2004 in der internati-
onalen Zitationsdatenbank Scopus gelistet.

Literatur

- Bill, R. (2023): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. 7. Auflage. Wichmann, Berlin/Offenbach.
- Blaschke, T.; Lang, S. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS. Ulmer, Stuttgart.
- Blum, A.; Atci, M. M.; Roscher, J.; Henger, R.; Schuster, F. (2022): Bauland- und Innenentwicklungspotenziale in deutschen Städten und Gemeinden. BBSR-Online-Publikation, 11/2022. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2022/bbsr-online-11-2022.html> (27.09.2022).
- Decoville, A.; Schneider, M. (2015): Can the 2050 zero land take objective of the EU be reliably monitored? A comparative study. In: *Journal of Land Use Science*, 11 (3), S. 331-349. DOI: 10.1080/1747423X.2014.994567.
- Die Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung 2021. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/992814/1875176/3d3b15cd92d0261e7a0bc8f43b7839/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-2021-langfassung-download-bpa-data.pdf?download=1> (11.06.2021).
- DLR (2020): Sentinel-2 MSI – Level 3A (MAJA/WASP Tiles) – Germany. DOI: 10.15489/4hcq6dgkj648. <https://geoservice.dlr.de/data-assets/4hcq6dgkj648.html> (27.09.2022).
- EEA – Europäische Umweltagentur (2018): Copernicus Land Monitoring Service – High Resolution Layer Imperviousness Product Specifications. <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/hrl-imperviousness-technical-document-prod-2015> (28.06.2018).
- Eichfuss, S.; Hollen, M. (2022): Unplausibilitäten filtern: Ein Ansatz zur Verbesserung fernerkundungsbasierter Landbedeckungsdaten. In: Meinel, G.; Krüger, T.; Behnisch, M.; Erhardt, D. (Hrsg.): *Flächennutzungsmonitoring XIV. IÖR Schriften*, 80. Rhombos, Berlin.
- Engelhardt, L. (2022): Entwicklung und Konzeption eines Dashboards zur Präsentation eines Grünraum-Indikatorsystems für europäische Städte. In: *gis.Science*, 3/2022, S. 97-108.
- ESPON (2020): SUPER – Sustainable Urbanization and land-use Practices in European Regions. Final Report – Annex 3.13: Case study comparative analysis. ESPON, Luxembourg.
- EUROSTAT (2021): LUCAS: Erhebung zur Landnutzung und Landbedeckung in der EU. Ausgabe 2021. DOI: 10.2785/055753.
- Fina, S.; Henger, R.; Siedentop, S. (2020): Erfolgreiche Wege für mehr Wohnungsbau. Eine Analyse der Mobilisierung von Baulandpotenzialen in NRW. *IW-Berichte*, 41. Institut der deutschen Wirtschaft, Köln.
- Georg, H.-J. (2016): Die neue Nutzungsartensystematik in der Flächenerhebung ab 2016. Beiträge aus der Statistik. In: *Bayern in Zahlen*, 12, S. 771-778.
- Herrmann, A. (2019): Die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch das Bauplanungsrecht. Juristische Geltung und Realisierung im sozialen System. Nomos Verlag, Baden-Baden.
- Lucas, C.; Rattmann, S.; Kullmann, K.-H.; Sandmann, S.; Wiese, K.; Kurstedt, R.; Behr, C.; Käker, R. (2020): Landbedeckung und Landnutzung – Realisierung neuer Geobasisdatenprodukte. In: *Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement (zfv)*, 1/2020, S.56-66.
- Malinowski, R.; Lewiński, S.; Rybicki, M.; Gromny, E.; Jenerowicz, M.; Krupiński, M.; Nowakowski, A.; Wojtkowski, C.; Krätzschar, E.; Schauer, P. (2020): Automated Production of a Land Cover/Use Map of Europe Based on Sentinel-2 Imagery. In: *Remote Sensing*, 12 (21), S. 1-25.
- Neteler, M.; Bowman, M. H.; Landa, M.; Metz, M. (2012): GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. In: *Environmental Modelling & Software*, 31, S. 124-130. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014> (27.09.2022).
- Neteler, M.; Gebbert, S.; Tawalika, C.; Bettge, A.; Benelcadi, H.; Löw, F.; Adams, T.; Paulsen, H. (2019): Actinia: cloud based geoprocessing. In: Soille, P.; Loekken, S.; Albani, S. (Eds.): *Proceedings of the 2019 conference on Big Data from Space (BiDS'2019)*, S. 41-44. <http://doi.org/10.5281/zenodo.2631917> (27.09.2022).
- OpenStreetMap contributors (2020): Planet dump. <https://planet.osm.org>; <https://www.openstreetmap.org> (18.09.2022).
- Quinlan, J. R. (1986): Introduction of decision trees. In: *Machine Learning*, 1/1986, S. 81-106.
- Riembauer, G.; Weinmann, A.; Xu, S.; Eichfuss, S.; Eberz, C.; Neteler, M. (2021): Germany-wide Sentinel-2 based Land Cover Classification and Change Detection for Settlement and Infrastructure Monitoring. 2021 conference on Big Data from Space (BiDS'2021). <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ac7c57e5-b787-11eb-8aca-01aa75ed71a1> (20. Januar 2023).
- SAGA-GIS (o. J.): Tool Polygon Shape Indices. http://www.saga-gis.org/saga_tool_doc/7.2.0/shapes_polygons_7.htm (20.06.2022).
- UBA – Umweltbundesamt (2020): Flächenverbrauch in Deutschland und Strategien zum Flächensparen. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/bo-den-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten#flaechenverbrauch-in-deutschland-und-strategien-zum-flaechensparen> (30.10.2021).
- Weigand, M.; Staab, J.; Wurm, M.; Taubenböck, H. (2020): Spatial and Semantic Effects of LUCAS samples on Fully Automated Land Use/Land Cover Classification in High-Resolution Sentinel-2 data. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, S. 1-9.