

Melanie Brauchler

ist Umweltwissenschaftlerin mit einem Schwerpunkt auf Geoinformatik und Fernerkundung. Seit November 2024 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin im Referat „Erforschung neuer digitaler Daten“ des Statistischen Bundesamtes im Bereich Fernerkundungsdaten.

Maren Köhlmann

ist Volkswirtin und Soziologin. Der thematische Schwerpunkt der Referentin im Referat „Erforschung neuer digitaler Daten“ des Statistischen Bundesamtes liegt im Bereich Fernerkundungsdaten, in welchem sie in verschiedenen nationalen sowie internationalen Forschungsprojekten arbeitet.

Franziska Kraft

ist Geografin und seit 2024 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung für Georisiken und zivile Sicherheit des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen. Ihr Forschungsinteresse gilt der Entwicklung datengestützter Lösungen zur Verbesserung der Klimaresilienz und -anpassung.

Manuel Köberl

ist Geoinformatiker, M.Sc. mit Fokus auf Urbanisierung und Fernerkundung. Seit Oktober 2022 ist er in der Abteilung für Georisiken und zivile Sicherheit im Team „Stadt und Gesellschaft“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen tätig.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Klara Marie Schönenberger, die das Projekt organisatorisch und methodisch maßgeblich entwickelt und begleitet hat. Nur aufgrund ihres tatkräftigen Engagements konnte das Projekt zu diesem Entwicklungsstand gebracht werden.

ENTWICKLUNG VON STATISTISCHEN WIRTSCHAFTSINDIKATOREN UNTER VERWENDUNG DER COPERNICUS-SENTINEL-SATELLITEN

Melanie Brauchler, Maren Köhlmann, Franziska Kraft, Manuel Köberl

➤ **Schlüsselwörter:** experimentelle Statistik – Satellitendaten – neue digitale Daten – Konjunkturschnellschätzung – Automobilproduktion – Bautätigkeit

ZUSAMMENFASSUNG

Das Statistische Bundesamt hat gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt und unter Beratung der Europäischen Raumfahrtagentur das von Eurostat geförderte Forschungsprojekt „Satellite-based economic flash estimation“ (Sat4EC) durchgeführt. Darin wurde der Einsatz von Fernerkundungsdaten, speziell Satellitendaten, zur Berechnung von Wirtschaftsindikatoren für die ökonomischen Schnellschätzungen untersucht. Ziel war, unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen der Statistik, zwei satellitenbasierte Indikatoren zu erarbeiten, die ein Abbild der ökonomischen Entwicklungen in der Automobil- sowie der Baubranche zulassen.

➤ **Keywords:** *experimental statistics – satellite data – new digital data – economic flash estimate – automotive production – building activity*

ABSTRACT

In collaboration with the German Aerospace Center and in consultation with the European Space Agency, the Federal Statistical Office conducted a research project on “Satellite-based economic flash estimation” (Sat4EC) which was funded by Eurostat. The project investigated the use of remote sensing data, specifically satellite data, to calculate economic indicators for econometric flash estimation. The aim was to develop two satellite-based indicators that reflect the economic developments in the automotive and construction industries while considering the specific requirements of statistics.

1

Einleitung

Aufgrund der hohen Dynamik der Weltwirtschaft besteht eine große Nachfrage nach Wirtschaftsdaten am aktuellen Rand. Insbesondere in Krisenzeiten können traditionelle makroökonomische Indikatoren die kurzfristigen wirtschaftlichen Entwicklungen nur schwer abbilden, denn diese stehen aufgrund der aufwendigen Datenaufbereitung meist nur mit einer zeitlichen Verzögerung zur Verfügung. Fernerkundungsbasierte Ansätze eröffnen Möglichkeiten, diese Lücken zu schließen. Wirtschaftliche Aktivitäten können optische Spuren auf der Erdoberfläche hinterlassen, welche wiederum von Sensoren erfasst und quantifiziert werden können. Im Kontext der ökonometrischen Schnellschätzung könnten solche Daten das zeitnahe Beobachten von Wirtschaftstrends ermöglichen und somit Behörden, Unternehmen und Politik helfen, schneller auf Krisen oder Veränderungen zu reagieren.

Der Einsatz von Satellitendaten für (sozio-)ökonomische Fragestellungen ist weit verbreitet und reicht vom Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft bis zum Einsatz im Bereich der Urbanisierung und des Flächenverbrauchs (Wuepper und andere, 2024; Taubenböck und andere, 2024). Weiterhin gibt es eine Fülle an Studien, die mithilfe der nächtlichen Beleuchtung (die von Satelliten erfassbar ist) auf die ökonomische Entwicklung von Ländern oder größeren Regionen zu schließen versuchen (Kondmann und andere, 2021; Gibson und andere, 2020). Diese Studien sind für Volkswirtschaften geeignet, in denen der ökonomische Aufschwung auch mit der Elektrifizierung einhergeht und in denen entsprechende Statistiken nicht verfügbar oder sehr unzuverlässig sind.

Studien, die sich im Speziellen mit Satellitendaten für ökonometrische Schnellschätzungen beschäftigen, sind selten. In ihrer systematischen Literaturauswertung zu Datenquellen in der ökonometrischen Schnellschätzung erwähnen Stundziene und andere (2024) Satellitendaten zwar als eine alternative Quelle für die ökonometrische Schnellschätzung, benennen jedoch keine konkreten Anwendungen. Es existieren allerdings Studien, die sich mit der

Auslastung von Containerhäfen (Spelta und andere, 2025) oder der Auslastung von Parkplätzen im Einzelhandel beschäftigen (Drouyer/de Franchis, 2020).

Das Statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat) finanziert das Projekt „Satellite-based economic flash estimates“ (kurz: Sat4EC). In diesem Rahmen haben sich die Projektpartner Statistisches Bundesamt und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) zur Aufgabe gemacht, wirtschaftliche Indikatoren aus Satellitendaten zu entwickeln. Diese sollten so ausgestaltet sein, dass sie als Zuschätzer für die ökonometrische Schnellschätzung in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) eingesetzt werden können. In dem Projekt wurden ein Prototyp eines wirtschaftlichen Indikators der Europäischen Raumfahrtagentur (European Space Agency, kurz: ESA) zur Automobilindustrie weiterentwickelt und ein Indikator zur Detektion von Bautätigkeiten von Grund auf neu entwickelt.

Nach einer Einführung in die Quellen von Fernerkundungsdaten in Kapitel 2 stellt Kapitel 3 neben dem Copernicus-Programm, über welches die verwendeten Satellitendaten bezogen wurden, auch die bei der Analyse des Automobilindikators genutzte Datenplattform vor. Anschließend beleuchtet Kapitel 4 die Methoden zur Erstellung der satellitenbasierten Indikatoren im Detail. Abschließend folgen in Kapitel 5 eine Bewertung der aus dem Projekt heraus identifizierten Potenziale für den Einsatz von Satellitendaten für die ökonometrische Schnellschätzung und ein Ausblick.

2

Datengrundlage: Fernerkundungsdaten im Projekt Sat4EC

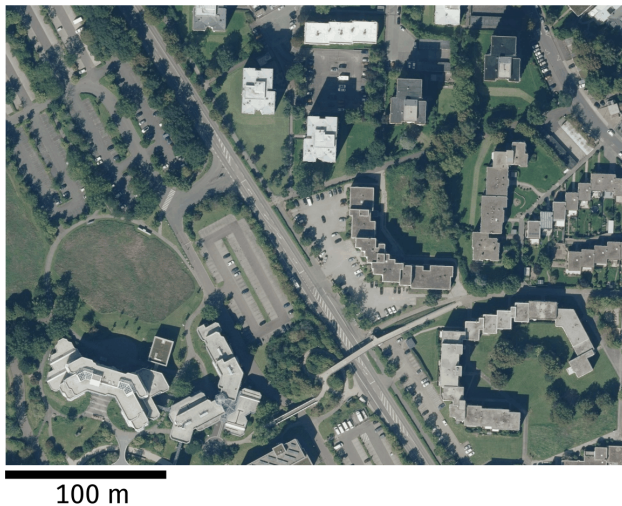
Fernerkundungsdaten werden mithilfe von Sensoren erfasst, die sich auf unterschiedlichen Trägersystemen¹ befinden. Eine bedeutende Quelle von Fernerkundungsdaten sind Luftbilder, die durch Bildflüge erfasst werden. Durch die geringe Flughöhe

1 Unter anderem Drohnen, Flugzeuge und Satelliten.

kann eine hohe Bodenauflösung¹² erreicht werden, die eine detaillierte Betrachtung der Erdoberfläche sicherstellt. Ein Beispiel dafür zeigt [Grafik 1](#) mit einem Luftbild, dessen Bodenauflösung 20 Zentimetern entspricht. Die Interpretation eines Luftbildes erlaubt es, visuell Strukturen (wie Gebäude, Bäume, Straßen) in den Aufnahmen zu erfassen. Aus diesem Grund sind Luftbilder für automatisierte Objekterkennungen grundsätzlich gut geeignet.

Grafik 1

Ausschnitt aus einem Digitalen Orthophoto (DOP20)



© GeoBasis-DE / LVermGeoRP (2025), dl-de/by-2-0

Ein Nachteil von Luftbildern besteht jedoch in der zeitlichen Verfügbarkeit der Daten. Aufgrund des hohen organisatorischen und finanziellen Aufwands sowie der großen Flächenausdehnung größerer Bundesländer können die Landesgebiete nicht in einem einzigen Bildflug erfasst werden. Stattdessen erfolgen die Bildflüge abschnittsweise über bestimmte fachliche Zeiträume hinweg. Entsprechend werden vollständige Datensätze in der Regel im Rhythmus von zwei bis drei Jahren produziert. Sie sind daher für die Detektion von Objekten zum Aufnahmezeitpunkt geeignet, wie sich im Projekt „Satelliten- und weitere Fernerkundungsdaten für das Gebäude und Wohnungsregister“ (Sat4GWR) darstellen ließ (Hen-

nig und andere, 2025). Aktuell wird dazu in dem von Eurostat geförderten Projekt „Earth Observation and AI for Construction Statistics“ (EO4ConStat¹³) anhand der KI-basierten Detektion von Baustellen geforscht. Die größeren Zeitabstände zwischen den Bildflügen lassen jedoch keine kontinuierliche Beobachtung der Erdoberfläche zu, was für eine adäquate Abbildung von frühwirtschaftlichen Entwicklungen nötig wäre.

Daher wurde im Projekt eine weitere Quelle von Fernerkundungsdaten untersucht. Fernerkundungssensoren auf Satellitensystemen erlauben es, die Erdoberfläche großflächig und in kurzen zeitlichen Abständen zu betrachten. Neben kommerziellen Anbietern, die vorrangig räumlich hoch- bis sehr hochaufgelöste Daten anbieten, existieren im Rahmen des Copernicus-Programms der Europäischen Kommission Satellitensysteme, welche die Erdoberfläche mit einer Bodenauflösung von bis zu 10 Metern kontinuierlich in geringen Zeitabständen erfassen. Neben der zeitlichen weist diese Datenquelle noch einen weiteren entscheidenden Informationsvorteil auf: die spektrale Dimension ([Grafik 2](#), die Grafik 1 in der geografischen Lage entspricht). Während Luftbilder maximal vier Spektralkanäle (Blau, Grün, Rot und nahes Infrarot) erfassen, werden bei Satellitendaten häufig weitere Spektralkanäle eingesetzt.

Die im linken Teil der Grafik 2 eingefügte Aufnahme des Sentinel-2-Satelliten (in Echtfarbdarstellung, 10-m-Auflösung) scheint keine hohe Informationsdichte zu liefern. Die Aufnahme ist jedoch nur aus den farblich dargestellten Spektralkanälen zusammengesetzt (Blau, Grün und Rot, um die Echtfarbdarstellung zu erhalten). Ein Satellitenbild des Sentinel-2 liefert jedoch aufgrund der verbauten Sensoren Informationen in weiteren Spektralkanälen, die schematisch in der Mitte der Grafik 2 abgebildet sind. Ein Blick auf die Reflektionsspektren¹⁴ im rechten Teil der Grafik zeigt, dass sich Oberflächen

12 Die Begriffe der sehr hohen, hohen oder mittleren Bodenauflösung sind fluide. Es ist jedoch üblich, bei weniger als 1 Meter je Pixel von sehr hochauflösenden Daten, bei unter 5 Metern je Pixel von hochauflösenden Daten zu sprechen.

3 Ein Werkstattbericht des Projektes steht unter destatis.de --> EXSTAT --> EO4ConStat zur Verfügung.

14 Ein Reflektionsspektrum beziehungsweise eine spektrale Signatur ist die charakteristische Rückstreuung elektromagnetischer Energie, die eine Oberfläche abhängig von der Wellenlänge aufweist. Während Wasser über alle Wellenlängen eine geringe Reflektion hat, zeigt vitale Vegetation ein charakteristisches lokales Maximum im visuellen Grün (~ 600 Nanometer) und einen starken Anstieg zum nahen Infrarot hin (~700 bis 800 Nanometer).

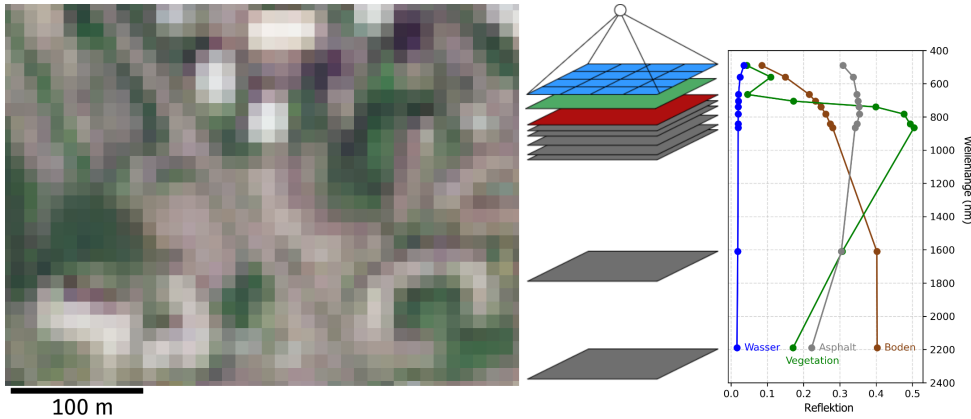
Grafik 2

Spektrale Dimension einer Sentinel-2-Satellitenaufnahme

Aufnahme des Sentinel-2-Satelliten¹

Spektralkanäle

Spektralsignaturen



¹ In Echtfarbdarstellung, 10-m-Auflösung.

insbesondere auch in ihrem weiteren Verlauf und nicht nur im roten, grünen und blauen Kanal unterscheiden. Diese Informationen tragen dazu bei, dass visuell gleichartige Oberflächen durch die spektrale Signatur unterschieden werden können.

3

Das Copernicus-Programm

Das Copernicus-Programm ist ein von der Europäischen Kommission beaufsichtigtes und mit den Mitgliedstaaten der Europäischen Union (EU) koordiniertes Programm zur Erdbeobachtung. Die Ziele des Copernicus-Programms sind eine bedarfsgerechte Infrastruktur, ein kostenfreier und offener Datenzugang, die Datenerfassung und -bereitstellung sowie die Stärkung von Märkten und Innovation (Europäische Union, 2015). Neben der In-Situ-Komponente, in der Daten direkt auf der Erdoberfläche durch die Akteure in den Mitgliedstaaten erfasst werden (zum Beispiel an Wetterstationen), enthält das Programm eine stark ausgeprägte Komponente zur satellitenbasierten Fernerkundung. Diese Komponente ermöglicht es Nutzenden, aktuelle und kostenfreie Satellitendaten zur Beobachtung der Erdoberfläche und der Atmosphäre zu beziehen. Die Satellitendaten werden darüber hinaus in themenspezifische

[Copernicus-Kerndienste](#) gespeist (zum Beispiel in das [Katastrophen- und Krisenmanagement](#)). Auch die Daten und Produkte dieser Dienste sind kostenlos verfügbar.

3.1 Sentinel-Satelliten

Unter dem Namen „Sentinel“ starteten seit 2014 zehn eigenständige Satelliten in die Erdumlaufbahn – unter dem Schirm des Copernicus-Programms und mithilfe der technischen Koordination der Europäischen Raumfahrtagentur. Diese beobachten kontinuierlich die Erdoberfläche und können so die Dynamik von Veränderungen an der Erdoberfläche abbilden. Mit den Konstellationen Sentinel-1 (Radardaten) und Sentinel-2 (Multispektraldaten, wie in Grafik 2 dargestellt) befinden sich Satelliten in der Erdumlaufbahn, die eine Bodenauflösung von bis zu 10 Metern liefern. Die Sentinel-Satelliten eröffnen so neue Möglichkeiten der Informationsbeschaffung und der Analyse, die für Forschungszwecke genutzt werden können. Betrachtet man einzelne Satellitenaufnahmen von Sentinel-1 und Sentinel-2, so stehen die erfassten Daten bereits innerhalb einer Stunde nach der Erfassung zum Download bereit. Ein einzelner Sentinel-1-Satellit ist in der Lage, über eine Zeit von zwölf Tagen die gesamte Erdoberfläche zu erfassen. Die Konstellation aus aktuell zwei Satelli-

ten erreicht einen Zyklus von sechs Tagen. Aufgrund der sich überlappenden Umlaufbahnen in den höheren Breiten kann etwa alle drei Tage eine Abdeckung des gesamten deutschen Staatsgebiets erreicht werden. Die langfristigen Investitionen in das Copernicus-Programm und in die verschiedenen Satelliten erfüllen eine Forderung nach einer konsistenten und unabhängigen Quelle von hochqualitativen Daten (Europäische Union, 2015).

3.2 Das Copernicus Data Space Ecosystem

Das [Copernicus Data Space Ecosystem](#) dient seit 2023 als zentraler Zugang zu Copernicus-Satellitendaten. Es wird kontinuierlich um Produkte aus den themenspezifischen Kerndiensten erweitert. Mit einem kostenfreien Nutzerkonto können grundlegende Anwendungen und Analysemöglichkeiten genutzt werden. Das Copernicus Data Space Ecosystem umfasst verschiedene Plattformen und Services, darunter den Copernicus-Browser, der die Visualisierung von Satellitendaten in vordefinierten oder benutzerdefinierten Darstellungen ermöglicht. Weiterhin werden auch die Datenrecherche sowie ein direkter Download von Sentinel-Daten unterstützt. Eine weitere Komponente des Copernicus Data Space Ecosystem sind Arbeitsumgebungen in JupyterLab und ein eigener Speicherbereich⁵, ergänzt durch Schnittstellen zu verschiedenen Services. Zu diesen Services zählt auch der SentinelHub, ein ursprünglich kostenpflichtiger Service des Unternehmens [Sinergise](#), der über das Copernicus Data Space Ecosystem kostenfrei zugänglich ist. Der [SentinelHub](#) ermöglicht eine serverseitige Datenprozessierung der Sentinel-Daten, sodass nicht die Rohdaten, sondern bereits aufbereitete Analyseprodukte für die Nutzenden bereitgestellt werden. Bei dem in Abschnitt 4.1 erläuterten Automobilindikator kommt eine solche serverseitige Prozessierung über die statistische Schnittstelle des SentinelHub zum Einsatz. Gerade im europäischen Kontext und in Fragen der Übertragbarkeit von Prozessierungsschritten auf andere Länder bietet das Copernicus Data Space Ecosystem große Vorteile, da

alle Services und Daten europaweit einheitlich zur Verfügung stehen.

4

Indikatoren aus Satellitendaten

Aufgrund der hohen Aktualität der Schnellschätzungen des Bruttoinlandsprodukts in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen werden Zuschätzungen zur Berechnung benötigt. Um die Genauigkeit dieser Zuschätzungen zu verbessern, sollen neue Datenquellen erschlossen werden. Da sich die ökonomische Schnellschätzung im Spannungsfeld zwischen Aktualität und Genauigkeit befindet, können hierfür nach einer gründlichen Prüfung auch nicht amtliche Indikatoren eingesetzt werden (Ackermann und andere, 2021). Diese müssen zeitnah nach Ende eines Quartals, mindestens monatlich und im Optimalfall für alle Monate des zu berechnenden Quartals verfügbar sein und Aktivitäten abbilden, die einem Wirtschaftszweig zugeordnet werden können. Die Verarbeitung von Satellitendaten ist jedoch mit besonderen Herausforderungen verbunden.

Die Ableitung von statistischen Indikatoren aus Satellitendaten erfordert Methoden, welche die komplexen Bildinformationen in eine nutzbare statistische Form überführen. Dazu gehören zeitliche, räumliche und spektrale Filterungen der Daten sowie die Aggregation in diesen Dimensionen. Ziel ist, die komplexen Daten in eine einfache, zweidimensionale Struktur zu überführen, die in der Statistik nutzbar ist (zum Beispiel Zeitvariable und Wert).

Satellitendaten werden nicht gezielt für statistische Zwecke erhoben, sondern zu festen Umlaufzeiten aufgenommen, sodass sie letztendlich Momentaufnahmen darstellen. Das bedeutet, dass der Zeitpunkt des Überflugs für die statistische Fragestellung ungeeignet sein kann (wenn zum Beispiel die Aufnahme nicht dem Zeitpunkt der ökonomischen Aktivität entspricht)⁶. Gleichzeitig eröffnen sie neue Möglichkeiten, wirtschaftliche Entwicklungen schnell

5 Dieser Speicher wird nach 15 Tagen ohne Zugriff gelöscht, was jedoch durch eine Systemnachricht per E-Mail rechtzeitig angekündigt wird und durch Anmeldung verhindert werden kann.

6 Sentinel-1-Aufnahmen außerhalb von Ladenöffnungszeiten wären beispielsweise nicht geeignet, um die Auslastung von Parkplätzen im Einzelhandel zu betrachten.

und unabhängig von traditionellen Datenquellen abzubilden.

4.1 Automobilindikator

Die Automobilindustrie ist ein bedeutender Treiber der konjunkturellen Entwicklung in Deutschland. Ein von der Europäischen Raumfahrtagentur entwickelter Prototyp eines [Indikators](#) zur Auslastung von Produktionsparkplätzen nutzt Sentinel-1-Rückstreuwerte als Schätzer für die Automobilproduktion. Die zugrunde liegende Annahme ist, dass sich Fahrzeuge zeitnah nach der Produktion auf den Parkplätzen der jeweiligen Produktionsstandorte befinden und die Auslastung dieser Parkplätze über Satelliten erfasst werden kann. Die Weiterentwicklung dieses Prototyps wurde maßgeblich von der Europäischen Raumfahrtagentur unterstützt, indem sie den Quellcode für den Prototyp bereitstellte und das Projekt beratend betreute.

Die Satelliten der Sentinel-1-Konstellation senden Radarsignale (C-Band SAR⁷) zur Erde und erfassen die Rückstreuung. Anders als optische Satelliten (siehe Grafik 2) liefern sie Informationen über Form und Materialeigenschaften von Oberflächen. Ein Vorteil von Radarsatelliten ist, dass sie unabhängig von Wolkenbedeckung sind. Sie werden mitunter für die Schnellerkennung von Überflutungen genutzt, wenn Wolkenbedeckung die Analyse der Aufnahmen optischer Systeme erschwert. Da Radarsysteme das Radarsignal aktiv erzeugen, können sie im Gegensatz zu optischen Satelliten auch unabhängig von der Tageszeit die Erdoberfläche erfassen. Glatte Flächen wie Wasser, Straßen oder unbewachsener Boden wirken als spiegelnde Flächen. Da das vom Satellitensystem ausgesendete Radarsignal nicht senkrecht, sondern in einem bestimmten Winkel auf die Oberfläche trifft, reflektiert das gespiegelte Signal vom Sensor weg und ein entsprechend niedriges Signal wird am Sensor aufgezeichnet. Komplex strukturierte Oberflächen, wie Bäume, oder hohe Objekte, wie Gebäude, werden mit einem stärkeren Signal

am Sensor erfasst, da das Radarsignal an diesen Flächen streut oder mehrfach reflektiert wird. Diese Charakteristik von Radardaten ermöglicht es, die Auslastung von Parkplätzen anhand der Stärke der Rückstreuung zu erkennen. Je mehr Fahrzeuge auf der Fläche stehen, desto stärker ist das am Sensor erfasste Radarsignal.

Der weiterentwickelte Indikator basiert auf der Auslastung von Produktionsparkplätzen an 18 Standorten in Deutschland (Kraft und andere, 2025). Hierfür mussten die Produktionsparkplätze manuell identifiziert und digitalisiert werden. Bei der Auswahl der Parkplatzflächen wurden einige Voraussetzungen geprüft. Die Produktionsstätte sollte möglichst nur über Produktionsparkplätze im Freien verfügen. Diese sollten auch weiterhin nicht durch andere Strukturen (zum Beispiel Kräne oder Vegetation) verdeckt sein. Die Parkplätze sollten nur für die Lagerung produzierter Fahrzeuge dienen und keine Parkplätze für Mitarbeitende einschließen. Letztlich sollten die Parkplätze auch über die komplette Beobachtungszeit unverändert bleiben.

Der von dem Projektpartner Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt entwickelte Code⁸ konnte auf das Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE) übertragen werden, sodass eine zunächst geplante kostenpflichtige Option nicht mehr benötigt wurde. Die bereits in Kapitel 3 erwähnte statistische Schnittstelle zum SentinelHub erlaubt es, einen vordefinierten Flächenausschnitt an den Server zu übermitteln und statistische Auswertungen auf diese Fläche zu begrenzen. Die Produktionsparkplätze werden in ihrer geografischen Ausdehnung an den Server übermittelt. Als Resultat werden nicht alle Satellitendaten zurückgeliefert, die in den Parkplatzbereich fallen, sondern die Daten serverseitig aggregiert und statistische Größen (beispielsweise Mittelwert, Standardabweichung) geliefert. Diese räumlichen Statistiken können letztlich als einfache Tabellen im eigenen Arbeitsbereich des CDSE gespeichert oder heruntergeladen werden.

Die für die Konjunkturstatistik nötige zeitliche Dimension wurde durch unterschiedliche Konfigurationen adressiert. Die Indikatorenberechnung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt erlaubt

7 Der Sensor operiert in einer Wellenlänge von 6 Zentimetern. SAR steht für „Synthetic Aperture Radar“; es handelt sich um bildgebende Radarsysteme. Die gelieferten Satellitendaten sind somit ebenso räumlich darstellbar (2D) wie die multispektralen Satellitendaten des Sentinel-2.

8 <https://github.com/dlr-eoc/sat4ec>

es, Einstellungen bezüglich der zeitlichen Auflösung (semi-täglich und monatlich) vorzunehmen. Weiterhin wurde die Detektion von Anomalien eingeführt, die einen Hinweis auf mögliche strukturelle Veränderungen der Produktionsparkplätze geben soll. **► Grafik 3** stellt die mittlere Parkplatzauslastung aller betrachteten Parkplätze den gemeldeten produzierten Waren gegenüber. Hier ist eine gewisse Übereinstimmung sichtbar. In der Validierung mit Einzeldaten aus der Produktion, aber auch mit anderen Datenanbietern, zeigten sich jedoch große Unterschiede der einzelnen Produktionsstandorte und Hersteller (Kraft und andere, 2025).

Fahrzeuge, die länger auf den Parkplätzen gelagert werden, sowie Fahrzeuge, die lediglich umgeparkt werden, lassen sich mit dieser Methode nicht identifizieren, da nicht die einzelnen Fahrzeuge kontinuierlich beobachtet werden, sondern lediglich die Auslastung der Produktionsparkplätze. Die Annahme, dass eine Lagerung von Fahrzeugen auf eine hohe Produktion hinweist, lässt sich anhand der aktuellen Datenlage nicht plausibilisieren. Des Weiteren könnten auch hier je nach Standort und Hersteller die Gegebenheiten variieren. Trotz der Kriterien bei der

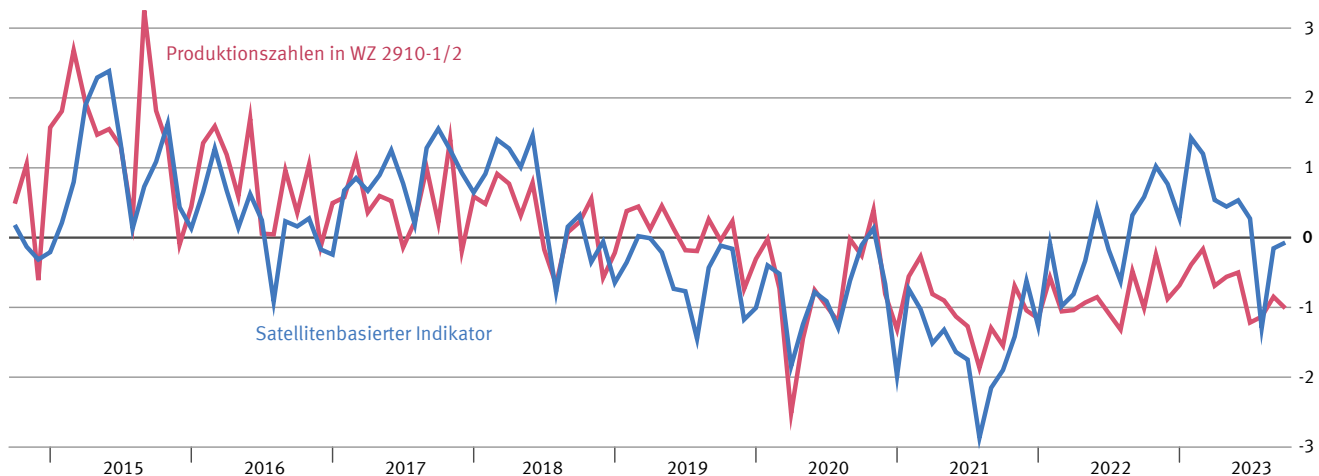
Auswahl der Parkplätze könnten weitere überdachte Produktionsparkplätze existieren, die sich in der Analyse nicht abbilden lassen und die nicht von anderen zum Standort gehörigen Gebäuden unterscheidbar sind. Auch die Komplexität des Radarsignals und fehlende Validierungsdaten erschweren die Auswertung. Die monatlich und räumlich aggregierten und normierten Werte erleichtern die Auswertung, jedoch wird durch sie auch die potenzielle Fluktuation der Fahrzeuge auf den Parkplätzen geglättet.

Der Indikator wurde aufgrund der großen Unterschiede zwischen den Produktionsstandorten in zwei Versionen in der ökonometrischen Schnellschätzung getestet. Neben der Version, die alle Standorte enthält und in Grafik 3 abgebildet ist, wurde eine zweite Version lediglich der Standorte erstellt, die in der standortspezifischen Validierung mit den Einzeldaten aus der Produktion einen Korrelationskoeffizienten nach Bravais und Pearson von über 0,6 aufweisen.⁹ In der ökonometrischen Schnellschät-

9 Bei diesem Korrelationskoeffizienten wird die Kovarianz der Merkmale durch das Produkt der Standardabweichungen der Randverteilungen beider Merkmale dividiert. Er misst den linearen Zusammenhang zweier metrischer normalverteilter Merkmale.

Grafik 3

Monatliche Zeitreihen des satellitenbasierten Indikators und der gemeldeten Produktionszahlen¹
z-transformierte Werte



Aufgrund der unterschiedlichen Skalen der Indikatoren wurden die Zeitreihen zur Darstellung z-transformiert.

1 Unterklassen 29.10.1 Herstellung von Personenkraftwagen und Personenkraftwagenmotoren sowie 29.10.2 Herstellung von Nutzkraftwagen und Nutzkraftwagenmotoren der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008).

zung können neue Datenquellen schnell und zielgerichtet getestet werden.¹⁰ Die Ergebnisse zeigten, dass der Indikator für die Version der ausgewählten Standorte einen Effekt auf die Schnellschätzung der Bruttowertschöpfung im Kraftfahrzeug-Handel (Wirtschaftsabteilung G45 der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008) hatte. Die Version des Indikators aller Standorte hatte jedoch keinen Effekt auf die Schätzung der Wertschöpfung. In Anbetracht der Berechnungsmethode und der verfügbaren Frequenz der Daten ist grundsätzlich problematisch, dass a priori nicht eindeutig ist, ob ein hoher monatlicher Mittelwert der Parkplatzbelegung auch tatsächlich einer hohen Produktion beziehungsweise einem hohen Umsatz mit Kraftfahrzeugen entspricht.

4.2 Bautätigkeitsindikator

Die Baubranche und Bautätigkeiten zählen zu den zentralen Triebkräften der deutschen Wirtschaft, da sie nicht nur erheblich zur Wertschöpfung und Beschäftigung beitragen, sondern auch als Indikator für Konjunktorentwicklung und gesellschaftlichen Wohlstand gelten. Um Entwicklungen in der Baubranche abzubilden, stehen in der Bautätigkeitsstatistik monatsweise die neu erteilten Baugenehmigungen bereit. Der tatsächliche Baubeginn wird jedoch aktuell nicht erfasst. Ebenso werden Baufertigstellungen oftmals erst zum Jahresende übermittelt (Schumann und andere, 2025). Hierdurch entsteht eine Informationslücke in der Abbildung der konjunkturellen Entwicklung, die durch die Informationen aus Satellitendaten gefüllt werden könnte.

Unter Verwendung maschineller Lernverfahren wurde im Projekt ein auf multispektralen Sentinel-2-Daten basierter, satellitengestützter Indikator entwickelt, welcher der räumlichen Erfassung und Quantifizierung von Bautätigkeit dient. Die Grundidee des Indikators ist, monatlich Landbedeckungsklassifikationen zu berechnen, aus denen dann die für die Bautätigkeit relevanten Informationen extrahiert werden können. Der Indikator wurde für fünf Gemeinden in Deutschland (München, Freiburg, Würzburg, Frankfurt am Main, Hamburg), in denen

nachweislich hohe Bautätigkeitsaktivitäten zu verzeichnen waren, von 2016 bis 2023 pilotiert.

Da die Satellitenkonstellation Sentinel-2 aus aktuell zwei Satelliten besteht, kann in den europäischen Breiten durch die Überlappung der Umlaufbahnen etwa alle zwei bis drei Tage mit einer Aufnahme gerechnet werden. Die Gebiete, die durch Sentinel-2 erfasst werden, können jedoch komplett oder teilweise von Wolken bedeckt sein, womit eine Erfassung der Erdoberfläche nicht möglich ist. Um Wolkenbedeckung aus den Daten herauszurechnen, werden monatliche Sentinel-2-Komposite, die als Basis für den Indikator dienen, im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt vorprozessiert.¹¹ Da sich Wolken, Schnee und andere Witterungsbedingungen auch negativ auf die Datenqualität der Komposite auswirken und somit die komplette Prozessierung beeinflussen, blieben die Wintermonate (November bis Februar) in der Analyse unberücksichtigt.

Bis zur finalen Berechnung der Statistiken wird die geometrische Auflösung erhalten und die Analyse pixelbasiert durchgeführt. In der spektralen Dimension werden die Daten durch die Berechnung von Indizes ergänzt, die pixelweise aus den Spektralwerten der Kanäle berechnet werden. Da sich Oberflächen in ihrer spektralen Signatur unterscheiden (siehe Grafik 2), werden Indizes genutzt, um Unterschiede zwischen den Oberflächen hervorzuheben. Indizes fließen neben den Werten der spektralen Kanäle als ergänzende Variablen in den Klassifikationsprozess ein.

Die monatlichen Landbedeckungsklassifikationen werden mithilfe eines Machine-Learning-Ansatzes erstellt. Dabei wurden vier Zielklassen (Urban, Vegetation, offener Boden, Wasser) definiert und weitere Landbedeckungen herausgefiltert. Bei der Klasse „Urban“ handelt es sich vor allem um Gebäude und versiegelte Flächen. Die Klassen werden in den Sentinel-2-Kompositen mit einem Random-Forest-Klassifizierungsalgorithmus bestimmt. Da es sich bei Random-Forest um eine überwachte Klassifikation handelt, sind Trainingsdaten erforderlich. Monat-

10 Für die ökonomische Schnellschätzung wird in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen eine R-Shiny-App eingesetzt, die es erlaubt, experimentelle Indikatoren zu testen.

11 Die Daten sind für Deutschland über den [EOC Geoservice](#) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt beziehbar (DOI: [10.15489/4hcq6dgkj648](#)). Die Prozessierung ist in Hagolle und andere (2018) dokumentiert.

liche Referenzdaten wurden automatisiert aus [Open-StreetMap](#)- und [Dynamic World](#)-Daten extrahiert, von denen jeweils 80 % für das Training des Modells und 20 % für die Validierung des Modells genutzt wurden. Die monatlich trainierten Modelle werden dann auf die monatlich aggregierten Satellitendaten angewendet.

Als einer der bedeutendsten Indizes im Klassifikationsprozess erwies sich der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), der aus der normierten Differenz zwischen dem sichtbaren roten und dem nahinfraroten Kanal berechnet wird. Dieser Index unterstützte das Lernmodell insbesondere bei der Erkennung von Vegetationsflächen und entsprechend dem Ausschluss versiegelter Bereiche:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Die räumliche monatliche Landbedeckungsklassifikation wurde anschließend in einem nachgelagerten regelbasierten Bestätigungsschritt zur finalen Ausweisung der Landbedeckung überführt. Da in den monatlichen pixelbasierten Klassifikationen eine fehlerhafte Klasse nicht auszuschließen ist, werden nur diejenigen Flächen (zum Zeitpunkt t_0) in die Klasse „Urban“ aufgenommen, die sich auch über die

folgenden drei Monate (t_{1-3}) in der Klasse „Urban“ verstetigt haben.

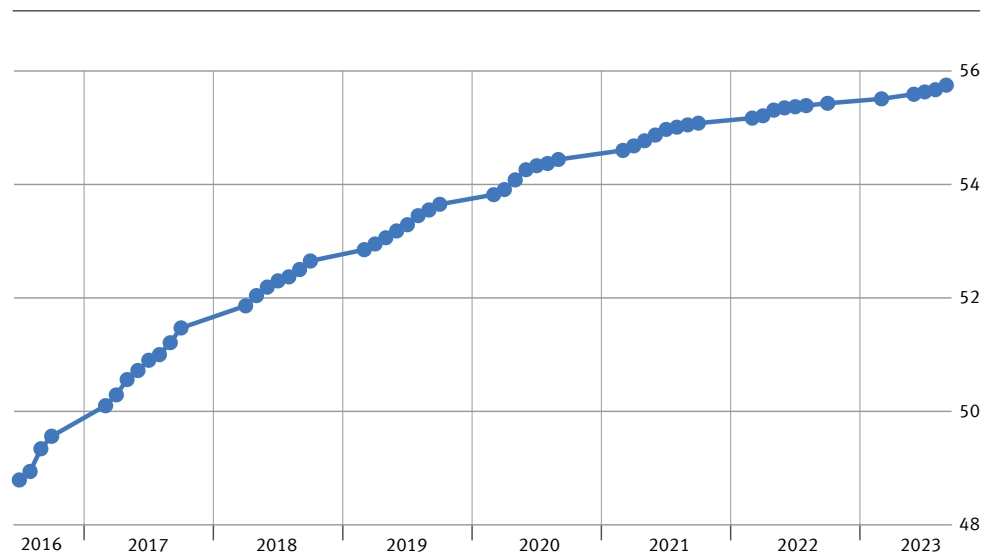
Um die Klassifikationen mit einer weiteren unabhängigen Datenquelle zu verifizieren, wurden Daten der „Land Use/Cover Area Frame Survey“ ([LUCAS](#)) genutzt, die für die Europäische Union einen harmonisierten Datensatz an In-situ-Daten liefern. Für die Klasse „Urban“ ergab sich hierbei eine Genauigkeit von 92 % im August 2018 und eine Genauigkeit von 90 % im August 2022.

Die final ausgewiesenen monatlichen Landbedeckungsklassifikationen können mithilfe des Untersuchungsgebietes in eine Tabellenstruktur überführt werden, indem die Pixel innerhalb einer Klasse gezählt werden. Da die Pixelgröße bekannt ist, kann so die Fläche ausgewiesen werden, die im Untersuchungsgebiet in eine bestimmte Klasse fällt. Daraus kann die monatliche Änderung der Fläche erfasst werden oder die Fläche ins Verhältnis zu der Gesamtfläche aller Pixel im Untersuchungsgebiet gesetzt werden. ➔ [Grafik 4](#)

Da die Klasse „Urban“ die Zielklasse für die Identifikation für Bautätigkeiten ist, wird im Falle der Verstetigung der Klassenzuordnung das entsprechende Pixel mit dem Datum der Änderung versehen. Das

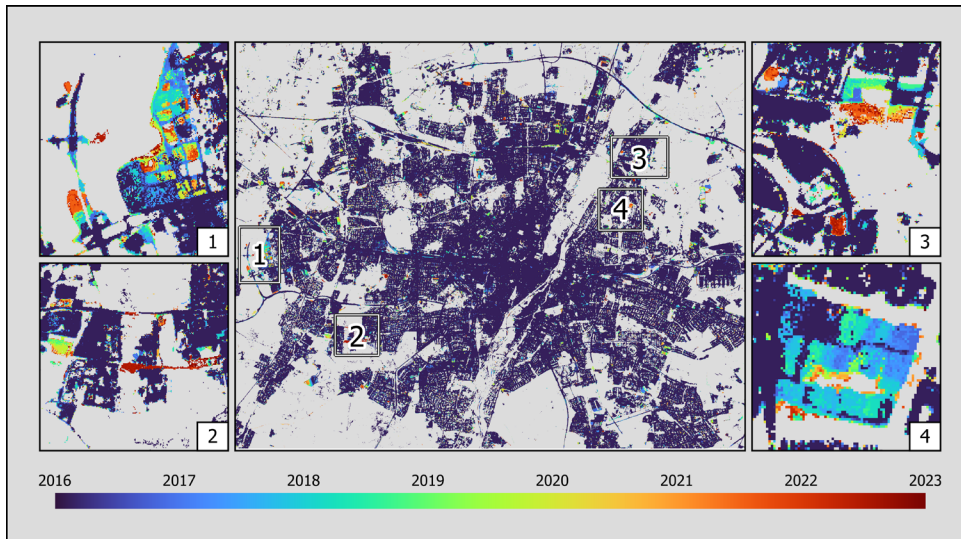
Grafik 4

Räumliche Statistik: Anteil der Bedeckungsklasse „Urban“ in der Stadt München im Zeitverlauf in %



Grafik 5

Zeitpunkt der Landbedeckungsänderung in die Klasse „Urban“ für das Stadtgebiet München



[1] bis [4] sind Vergrößerungen einzelner Abschnitte der Karte.

Ergebnis ist in [Grafik 5](#) dargestellt. Die Farbkodierung stellt dabei den Zeitpunkt der Veränderung zu städtischen Flächen dar, wobei die urbanen Flächen, die bereits im Mai 2016 bestanden, dunkelblau dargestellt sind. Bei den Kartenausschnitten 1 und 4 lassen sich anhand dieser Farbcodierung der Beginn einzelner Bauabschnitte erkennen.

Der entwickelte Prototyp des Indikators zeigt in diesen Auswertungen sein Potenzial und wäre bei Weiterentwicklung neben dem Einsatz in der ökonomischen Schnellschätzung auch für interne Validierungsarbeiten in der Bautätigkeitsstatistik interessant (Wurm und andere, 2025).

Hinsichtlich der eindeutigen Zuordnung der detektierten Veränderungen zu genehmigten Bautätigkeiten sind die Möglichkeiten durch die fehlende Geolokalisierung jedoch begrenzt. Ein Einsatz der Methode wäre jedoch direkt in den Bauämtern möglich, in denen die Baugenehmigungen mit geographischen Merkmalen erfasst werden.

5

Fazit und Zukunftsperspektiven

Die Entwicklung der vorgestellten Indikatoren zeigt Potenziale sowie bestehende Hürden auf. Im Zuge des Projektes zeigte sich, dass der Zusammenhang zwischen der Automobilproduktion oder den Umsätzen in diesem Bereich und der Parkplatzbelegung deutlich komplexer ist, als es der Indikator darstellen kann. Zudem existieren alternative Indikatoren, die eine höhere Prognosequalität aufweisen und als Zuschätzer in der ökonomischen Schnellschätzung des Bruttoinlandsprodukts genutzt werden (zum Beispiel Kraftfahrzeug-Produktion oder -Zulassungen des Kraftfahrt-Bundesamtes). Der Indikator könnte jedoch in Ländern zum Einsatz kommen, in denen alternative Quellen nicht zur Verfügung stehen.

Gleichwohl eröffnet die Nutzung von Satellitendaten in anderen Sektoren – etwa im Bereich des untersuchten Bauwesens, aber auch in möglichen anderen Wirtschaftssektoren, beispielsweise in der Landwirtschaft oder im Bereich von Energieinfrastrukturen (Zhai und andere, 2024) – Perspektiven für die Entwicklung zusätzlicher Wirtschaftsindikatoren.

Die monatliche satellitenbasierte Detektion von potenzieller Bautätigkeit liefert eine neue Informationsebene zum Start von Bautätigkeiten, die aktuell in der Bautätigkeitsstatistik nicht erfasst werden. Der Bautätigkeitsindikator ist jedoch in seiner aktuellen Form in der ökonometrischen Schnellschätzung des Bruttoinlandsprodukts nicht einsetzbar. Zum einen bildet er mit den sechs Pilotgebieten nur einen geringen Teil der Gesamtfläche Deutschlands ab. Zum anderen verringert die nachgeschaltete regelbasierte Ausweisung der urbanen Flächen (t_{1-3}) die Aktualität. Eine Weiterentwicklung des Indikators sollte an diesen Punkten ansetzen.

Die erstmals in dem Projekt genutzte Infrastruktur des Copernicus Data Space Ecosystem zeigt, dass hier ein enormes Potenzial für die automatisierte und dezentralisierte Verarbeitung von Satellitendaten liegt. Besonders wenn, wie am Beispiel des Automobilindicators, eine überschaubare Anzahl an zu beobachtenden Standorten vorliegt, kann dies die Verarbeitung erheblich erleichtern. Die lokale Speicherung der Satellitendaten entfällt. Die Überführung der Informationen aus den Satellitendaten in einfache Tabellenstrukturen erlaubt es dann, die Informationen in gängiger Statistiksoftware und in geschützten Umgebungen weiterzuverarbeiten.

Für die künftige Forschung ergibt sich daraus die Aufgabe, die methodische Integration von Fernerkundungsdaten in bestehende Indikatorensysteme systematisch zu prüfen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Validierung der Aussagekraft im Vergleich zu etablierten konjunkturellen Kennzahlen sowie die Untersuchung, in welchen Teilbereichen diese Daten einen substanziellen Mehrwert liefern können. Hierfür ist die methodische Weiterentwicklung zentral, insbesondere im Hinblick auf die Verknüpfung von Fernerkundungsdaten mit bestehenden amtlichen und administrativen Datenquellen. Zudem sollte die Validierung der Aussagekraft in unterschiedlichen Sektoren systematisch erfolgen, um Stärken und Grenzen der Datenbasis transparent zu machen.

Schließlich ist auch die Zusammenarbeit mit anderen Institutionen, wie dem Projektpartner Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, und Datenanbietern ein wichtiges Feld, um Synergien zu nutzen und eine nachhaltige Integration in die amtliche Statistik

zu gewährleisten. Aspekte wie die Automatisierung der Datenverarbeitung, die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und eine langfristige Verfügbarkeit der Satellitendaten werden auf europäischer Ebene mit der weiteren Entwicklung der Sentinel-Satellitenmissionen sowie der Bereitstellung des Copernicus Data Space Ecosystem erfolgreich adressiert. Der kontinuierliche Austausch im Europäischen Statistischen System und die umfangreiche Förderung seitens Eurostat von spezifischen nationalen Projekten zur Integration von Fernerkundungsdaten in die amtliche Statistik trägt ebenso zur methodischen Weiterentwicklung bei.

Perspektivisch werden Fernerkundungsdaten eine wertvolle Ergänzung bestehender Indikatorensysteme darstellen, indem sie punktuell dazu beitragen, die Datenverfügbarkeit zu beschleunigen und die Analyse bestimmter Wirtschaftsbereiche zu erweitern. 

LITERATURVERZEICHNIS

Ackermann, Arne/Dickopf, Xaver/Mucha, Tanja. *Flash und Nowcast: Schnellschätzungen des Bruttoinlandsprodukts in der Corona-Pandemie*. In: WISTA Wirtschaft und Statistik. Ausgabe 4/2021, Seite 17 ff.

Drouyer, Sébastien/de Franchis, Carlo. *Parking occupancy estimation on Sentinel-1 images*. In: Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Volume V-2-2020, Seite 821 ff.

DOI: [10.5194/isprs-annals-V-2-2020-821-2020](https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-2-2020-821-2020)

Europäische Union. *Copernicus Broschüre – Copernicus – Europas Blick auf die Erde*. DOI: [10.2873/65425](https://doi.org/10.2873/65425)

Hagolle, Olivier/Morin, David/Kadiri, Mohamed. *Detailed Processing Model for the Weighted Average Synthesis Processor for Sentinel-2*. 2018. In: Zenodo.

DOI: [10.5281/zenodo.1401360](https://doi.org/10.5281/zenodo.1401360)

Hennig, Florian/Köhlmann, Maren/Weißmann, Julius/Schepers, Marianne. *Erforschung von Satelliten- und weiteren Fernerkundungsdaten zur Ermittlung von Gebäudeangaben*. In: WISTA Wirtschaft und Statistik. Ausgabe 4/2025, Seite 70 ff.

Kondmann, Lukas/Taubenböck, Hannes/Zhu, Xiao Xiang. *Blinded by the Light: Monitoring Local Economic Development Over Time With Nightlight Emissions*. In: 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. Seite 5708 ff. DOI: [10.1109/IGARSS47720.2021.9554428](https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9554428)

Kraft, Franziska/Martinis, Sandro/Krullikowski, Christian/Plank, Simon/Angheloa, Anca/Delgado Blasco, José Manuel/Schönenberger, Klara/Köhlmann, Maren/Brauchler, Melanie. *Satellite Data for Economic Insights: Towards Tracking Automotive Production in Germany With Sentinel-1 for Economic Nowcasting*. In: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing. Ausgabe 18/2025. DOI: [10.1109/JSTARS.2025.3601351](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.3601351)

Schumann, Carsten/Schepers, Marianne/Weigert, Alexander. *Digitalisierungspotenzial in der Bautätigkeitsstatistik*. In: WISTA Wirtschaft und Statistik. Ausgabe 3/2025, Seite 74 ff.

Spelta, Alessandro/Pagnottoni, Paolo/Pecora, Nicoló. *Big brothering the economy: nowcasting and forecasting with port satellite images*. In: Journal of the Royal Society Series A: Statistics in Society. 2025. DOI: [10.1093/jrssa/qnae157](https://doi.org/10.1093/jrssa/qnae157)

Stundziene, Alina/Pilinkiene, Vaida/Bruneckiene, Jurgita/Grybauskas, Aandrius/Lukauskas, Mantas/Pekarskiene, Irena. *Future directions in nowcasting economic activity: A systematic literature review*. In: Journal of Economic Surveys. Jahrgang 38. Ausgabe 4/2024, Seite 1199 ff. DOI: [10.1111/joes.12579](https://doi.org/10.1111/joes.12579)

LITERATURVERZEICHNIS

Taubenböck, Hannes/Mast, Johannes/Geiß, Christian/Wurm, Michael/Esch, Thomas/Seto, Karen C. *Global differences in urbanization dynamics from 1985 to 2015 and outlook considering IPCC climate scenarios*. 2024. In: *Cities*. Band 151. Artikel 105117. DOI: [10.1016/j.cities.2024.105117](https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105117)

Wuepper, David/Oluoch, Wyclife Agumba/Hadi, Hadi. *Satellite Data in Agricultural and Environmental Economics: Theory and Practice*. In: *Agricultural Economics*. Jahrgang 56. Ausgabe 3/2025, Seite 493 ff. DOI: [10.1111/agec.70006](https://doi.org/10.1111/agec.70006)

Wurm, Michael/Köberl, Manuel/Cevallos, Gabriel/Köhlmann, Maren/Brauchler, Melanie/Schumann, Carsten/Taubenböck, Hannes. *Satellite-based fine-grained spatio-temporal monitoring of urban building activities as an indicator of economic development*. In: 2025 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE). DOI: [10.1109/JURSE60372.2025.11075972](https://doi.org/10.1109/JURSE60372.2025.11075972)

Zhai, Yichen/Chen, Xuehong/Cao, Xin/Cui, Xihong. *Identifying wind turbines from multiresolution and multibackground remote sensing imagery*. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2024. Ausgabe 126. Artikel 103613. DOI: [10.1016/j.jag.2023.103613](https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103613)

Herausgeber

Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden

Schriftleitung

Dr. Daniel Vorgrimler

Redaktion: Ellen Römer

Ihr Kontakt zu uns

www.destatis.de/kontakt

Erscheinungsfolge

zweimonatlich, erschienen im Februar 2026

Ältere Ausgaben finden Sie unter www.destatis.de sowie in der [Statistischen Bibliothek](#).

Artikelnummer: 1010200-26004-4, ISSN 1619-2907

© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2026

Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, mit Quellenangabe gestattet.