

Arnold, Jasmin; Brandt, Patric; Gerighausen, Heike

Article

Erprobung der satellitengestützten Ertragsschätzung für die Agrarstatistik — Projekt SatAgrarStat

WISTA - Wirtschaft und Statistik

Provided in Cooperation with:

Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden

Suggested Citation: Arnold, Jasmin; Brandt, Patric; Gerighausen, Heike (2021) : Erprobung der satellitengestützten Ertragsschätzung für die Agrarstatistik — Projekt SatAgrarStat, WISTA - Wirtschaft und Statistik, ISSN 1619-2907, Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden, Vol. 73, Iss. 6, pp. 43-53

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/248259>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

ERPROBUNG DER SATELLITEN- GESTÜTZTEN ERTRAGSSCHÄTZUNG FÜR DIE AGRARSTATISTIK – PROJEKT SatAgrarStat

Jasmin Arnold, Patric Brandt, Heike Gerighausen

↳ **Schlüsselwörter:** Agrarstatistik – Satellitendaten – Ertragsschätzung – Copernicus – Pflanzenwachstumsmodellierung

ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem Start des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus ist durch die Sentinel-Satelliten eine kontinuierliche Erfassung der Erdoberfläche in bisher nicht verfügbarer zeitlicher, räumlicher und technischer Qualität gewährleistet. Aus diesen Fernerkundungsdaten lassen sich räumlich stärker differenzierte Informationen gewinnen, beispielsweise über den aktuellen Zustand landwirtschaftlicher Pflanzenbestände. Im Pilotprojekt „SatAgrarStat“ (satellitengestützte Ertragsschätzung für die Agrarstatistik) haben das Statistische Bundesamt, die Statistischen Ämter von vier Bundesländern sowie das Julius Kühn-Institut Möglichkeiten untersucht, ob durch die Verknüpfung von fernerkundlich gewonnenen Vegetationsparametern und Pflanzenwachstumsmodellen Aussagen zum Ertragspotenzial möglich sind.

↳ **Keywords:** agricultural statistics – satellite data – yield estimation – Copernicus – plant growth modelling

ABSTRACT

Since its start, the European Copernicus earth observation programme with its Sentinel satellites has ensured the continuous monitoring of the Earth's surface with an unprecedented level of temporal, spatial and technical quality. The remote sensing data offer information of greater spatial detail, such as information on the current state of agricultural crops. As part of the SatAgrarStat pilot project (satellite-based yield estimation for agricultural statistics), the Federal Statistical Office, the statistical offices of four Länder and the Julius Kühn Institute examined whether the linking of plant growth models with vegetation parameters deduced from remote sensing could open up new avenues to estimate yield potentials.

Jasmin Arnold

ist Diplom-Geografin und Referentin im Referat „Pflanzliche Erzeugung und Flächennutzung“ des Statistischen Bundesamtes. Ihr Arbeitsschwerpunkt ist die Untersuchung fernerkundungsgestützter Potenziale zur Ernte-Ertragsbestimmung für eine agrarstatistische Nutzung.

Dr. Patric Brandt

ist Nachhaltigkeitswissenschaftler und arbeitet am Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts. Im dortigen Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung beschäftigt er sich mit Ansätzen zur dynamischen Ertragsmodellierung und der Assimilation von Fernerkundungsdaten.

Dr. Heike Gerighausen

ist Diplom-Geoökologin und promovierte Geografin und leitet die Arbeitsgruppe Fernerkundung und Sensorik am Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts. Sie befasst sich mit der Nutzung von Fernerkundungsdaten für das Monitoring landwirtschaftlicher Pflanzenbestände und Böden, für die Abschätzung von Ernterträgen sowie für den Einsatz dieser Technologien in der Präzisionslandwirtschaft und für die Phänotypisierung in der Züchtforschung.



1

Einleitung

Die jährliche Vorausschätzung und Erfassung von Erntemengen bildet eine wesentliche Grundlage zur Beschreibung des Zustands und der Entwicklung der Feldfrüchte sowie für die Erstellung von Versorgungsbilanzen auf nationaler und europäischer Ebene. Die Ermittlung der Erntemengen erfolgt derzeit im Rahmen von zwei dezentralen Bundesstatistiken, der Ernte- und Betriebsberichterstattung sowie der Besonderen Ernte- und Qualitäts-ermittlung.

Um die pflanzliche Produktion bestimmen zu können, schätzen freiwillige Berichterstellerinnen und Berichtersteller im Zuge der Ernte- und Betriebsberichterstattung die Ernterträge von landwirtschaftlichen Feldfrüchten und Grünland. Mit der Besonderen Ernte- und Qualitätsermittlung werden außerdem für einige Fruchtarten objektive Ertragsmessungen auf repräsentativer Basis durchgeführt, und zwar für die Hauptgetreidesorten, Kartoffeln und Raps. Diese Informationen bilden zusammen mit den Ergebnissen der Bodennutzungshaupterhebung die Grundlagen für die Schätzung der voraussichtlichen und Bestimmung der endgültigen Erntemengen auf Bundes- und Länderebene.

Eine flächendeckende und zeitnahe räumliche Bestimmung von Ernterträgen in tieferer regionaler Gliederung ist bisher mithilfe dieser statistischen Erhebungsverfahren nicht möglich, weil dazu die Anzahl der freiwilligen Berichterstellerinnen und Berichtersteller nicht ausreicht. Mithilfe der Fernerkundung ließen sich hingegen flächendeckende schlag- und teilschlagspezifische Informationen zum Zustand landwirtschaftlicher Pflanzenbestände ableiten. Als Schlag wird eine einheitlich bewirtschaftete, räumlich zusammenhängende und mit der gleichen Pflanzenart bestellte Fläche bezeichnet. Durch eine Verknüpfung mit Ansätzen aus der Pflanzenwachstumsmodellierung sollen regionalisierte, retrospektive Ertragsschätzungen erstellt werden, um damit die bisherigen Statistiken zu ergänzen.

Im Pilotprojekt „Prüfung einer methodisch angepassten Erntertragsschätzung im Statistischen Verbund unter Einbezug moderner Verfahren der Fernerkundung (SatAgrarStat)“ wurden Möglichkeiten fernerkundungsbasierter Ertragsschätzungen auf Basis von Daten aus

dem europäischen Copernicus-Programm untersucht. Der methodische Ansatz sowie ausgewählte Ergebnisse werden in diesem Artikel vorgestellt: Kapitel 2 thematisiert die neuen innovativen Technologien der satellitengestützten Ertragsschätzung und ihre Potenziale für die Erntestatistiken. Es folgt in Kapitel 3 eine ausführliche Beschreibung des Pilotprojekts SatAgrarStat mit Darstellung der Ausgangslage, der Methodik, der Datengewinnung und -auswertung sowie von Ergebnissen für die Jahre 2018 und 2019. Nach einem Fazit zum Pilotprojekt zeigt das letzte Kapitel mehrere Ansatzpunkte für die weitere Entwicklung der satellitengestützten Ertragschätzung auf.

2

Satellitengestützte Ertragsschätzung und ihr Nutzen für die Erntestatistiken

2.1 Das europäische Copernicus-Programm

Das Copernicus-Programm wurde 1998 gemeinsam von der Europäischen Kommission und der Europäischen Weltraumorganisation als unabhängiges Erdbeobachtungsprogramm initiiert. Es soll eine leistungsfähige Infrastruktur zur Erdbeobachtung und darauf basierenden Geoinformationsdiensten bereitstellen und besteht aus den Copernicus-Diensten, die Informationen in sechs thematischen Bereichen bereitstellen, einem In-situ-Beobachtungsmessnetz und einer Weltraumkomponente. Das Herz der Weltraumkomponente sind die sechs Copernicus-Sentinel-Missionen. Sie tragen unterschiedliche Technologien und Sensoren und ermöglichen damit verschiedenste Anwendungen der Erdbeobachtung, unter anderem in den Bereichen der Landüberwachung, Landwirtschaft sowie Wald- und Forstwirtschaft. Die sechs Sentinel-Missionen besitzen mittlerweile acht Satelliten im Weltall, die erfolgreich ihren Betrieb aufgenommen haben. Diese Satelliten liefern regelmäßig Daten und Informationen über den Zustand der Erdoberfläche.

Dazu zählen auch die Satelliten der Sentinel-1- und Sentinel-2-Missionen, die aufgrund ihrer Sensorsysteme und der hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung von

besonderem Interesse für landwirtschaftliche Anwendungen sind. Sentinel-1 ist ein C-Band-Radarsystem, Sentinel-2 ein optisches, multispektrales System mit 13 Spektralbändern in einer räumlichen Auflösung von bis zu 10 Metern. Über Deutschland zeichnen diese Satelliten alle zwei bis fünf Tage Daten auf. Die offene Datenpolitik des Copernicus-Programms sichert die europäische Verordnung Nr. 1159/2013. Zudem verfolgt die Europäische Union die Strategie, das Copernicus-Programm auch nach 2020 mit Folgemissionen sowie neuen Satelliten auszurüsten. Beide Kriterien machen den Einsatz dieser Daten zur Modernisierung von Arbeitsprozessen durch Integration von erdbeobachtungsgestützten Anwendungen im behördlichen Kontext äußerst interessant.

2.2 Potenziale für die Erntestatistiken

Die Erschließung neuer digitaler Datenquellen, zum Beispiel von Fernerkundungsdaten, ist ein definiertes Ziel der Datenstrategie des Statistischen Bundesamtes. Die Nutzung der Informationen des Copernicus-Programms eröffnet Möglichkeiten, moderne Wege der Datengewinnung und Datenauswertung zu beschreiten. Die fernerkundungsgestützte Ertragsschätzung erlaubt theoretisch – anders als Stichprobennahmen und die Meldungen freiwilliger Berichterstatterinnen und Berichterstatter – eine deutschlandweite Datenerhebung von Flächen und Erträgen sowie die Mehrfacherfassung eines Gebiets. Das Messverfahren ist dabei anhand der originalen Bilddaten stets transparent und nachvollziehbar, auch noch lange über den jeweiligen Erfassungszeitpunkt hinaus. Die Nutzung von Fernerkundung könnte in Zukunft überdies die Ausgabe tiefer regionalisierter Ergebnisse und eine verbesserte zeitliche und räum-

liche Informationsdichte über das Anbauspektrum und die erzielten Erträge einer Region ermöglichen. Damit wäre es zudem möglich, negative Entwicklungstendenzen und Gefahren durch potenzielle Ertragseinbrüche frühzeitig aufzudecken. Langfristig könnte durch den Einsatz von Fernerkundung potenziell eine Entlastung der Berichtspflichtigen und eine Verkürzung von Bereitstellungszeiten erzielt werden. Dies wäre insbesondere für Regionen mit einer sehr geringen Dichte an freiwilligen Berichterstatterinnen und Berichterstattern vorteilhaft. Im Zusammenspiel mit anderen Quellen könnte die Fernerkundung außerdem dazu beitragen, angepasste Informationen und Handlungsempfehlungen für den Landwirtschaftssektor zu erstellen. Dies könnte vor dem Hintergrund des Klimawandels in Zukunft einen wichtigen Beitrag im Hinblick auf die Sicherung der Nahrungsmittelproduktion leisten. ↗ Übersicht 1

3

Pilotprojekt SatAgrarStat

3.1 Ausgangslage

Bei dem Vorhaben handelte es sich um ein Projekt des Statistischen Verbunds¹. Beteiligt waren das Statistische Bundesamt (federführende Koordination), das Bayerische Landesamt für Statistik, das Hessische Statistische Landesamt, das Landesamt für Statistik Niedersachsen sowie für Schleswig-Holstein das Statistikamt Nord. Das Julius Kühn-Institut war ausführender

¹ Die Statistischen Ämter der Länder und das Statistische Bundesamt bilden den Statistischen Verbund.

Übersicht 1

Potenziale der Fernerkundung im Bereich der Agrarstatistiken

Merkmal	Beschreibung
Flächenabdeckung	Deutschlandweite Datenerhebung von Flächen und Erträgen
Mehrfacherfassung	Wiederholte Erhebung des gleichen Gebiets
Transparenz	Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Messverfahrens
Regionalisierung	Ausgabe tiefer regionalisierter Ergebnisse
Aktualität	Verbesserung der zeitlichen und räumlichen Informationsdichte
Entlastung	Langfristige Entlastung von Auskunftspflichtigen
Bewirtschaftungsmaßnahmen	Bereitstellung angepasster Informationen und Handlungsempfehlungen für den Landwirtschaftssektor

Forschungs- und Entwicklungspartner. Das Pilotprojekt hatte eine Laufzeit von zwei Jahren und wurde 2018 bis 2019 umgesetzt.

Im Vorhaben SatAgrarStat wurden Ertragsschätzungen auf Basis von Sentinel-2-Satellitenbildern mit Realerträgen auf Schlagschleife (In-situ-Daten) verglichen. Phänologische Erhebungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten sowie weitere Zusatzinformationen, zum Beispiel zu Schäden im Bestand, wurden dabei zur Verifikation der Bestandsentwicklung herangezogen. In einem zweiten Schritt wurde die Qualität der fernerkundungsbasierten Ertragsschätzung durch räumliche Aggregation auf regionaler Ebene im Vergleich zur offiziellen Erntestatistik im Rahmen der Besonderen Ernte- und Qualitätsermittlung untersucht.

Die Analysen erfolgten in den vier beteiligten Bundesländern für die Fruchtarten Winterweizen, Winterraps und Sommergerste – aufgrund ihrer ackerbaulichen Relevanz und um mindestens eine Sommerfruchtart einzubeziehen. Für Winterweizen wurde auf Ergebnisse des Forschungsvorhabens RiflE (Regionale fernerkundliche Erfassung des aktuellen landwirtschaftlichen Ertragspotenzials) aufgebaut (Gerighausen/Lilienthal, 2015). Für die Fruchtarten Winterraps und Sommergerste wurden sowohl Modelle zur fernerkundungsbasierten Ableitung von Vegetationsparametern als auch zur Schätzung der Erträge vollständig neu etabliert.

3.2 Methodik der satellitenbasierten Ertragsschätzung

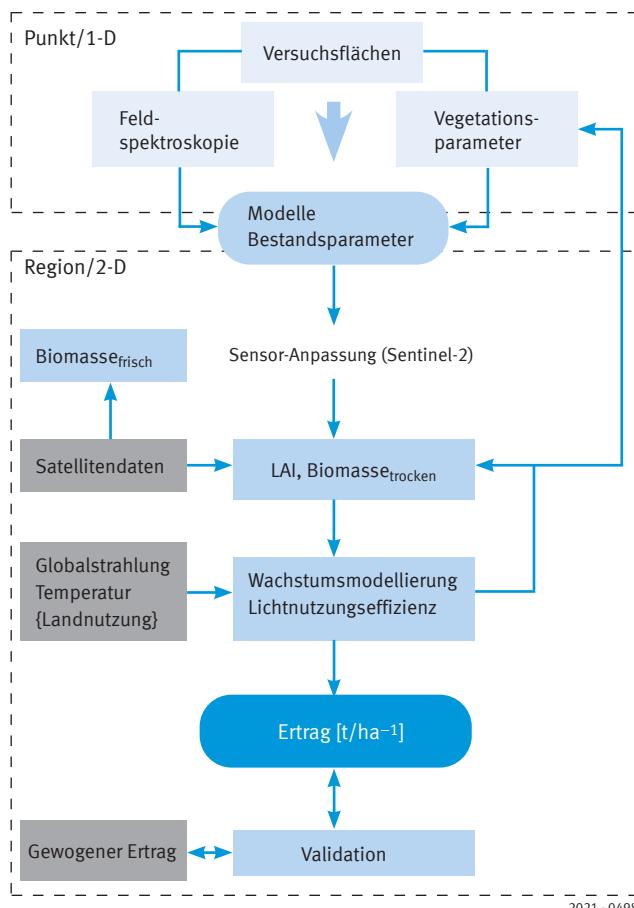
Das hier angewandte Verfahren zur satellitenbasierten Ertragsschätzung von Ackerkulturen basiert auf der Verknüpfung von Daten und Methoden der Fernerkundung mit einem vereinfachten Ansatz der Wachstumsmodellierung und gliedert sich in zwei Teilschritte.  **Grafik 1**

Vorhersagemodelle zur Schätzung von Vegetationsparametern

Auf der Basis von Feldspektren und Referenzmessungen der Bestandseigenschaften werden in einem ersten Schritt Vorhersagemodelle zur fernerkundlichen Schätzung von Vegetationsparametern etabliert. Hierzu erfolgen während der gesamten Vegetationsperiode Messungen auf den Versuchsflächen des Julius Kühn-

Grafik 1

Ablaufschema der satellitengestützten Ertragsschätzung



Instituts sowie auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kooperierender Landwirtinnen und Landwirten. Die spektrale Reflexion des Pflanzenbestands wird mit einem Feldspektrometer ermittelt. Wichtige Bestandsgrößen, wie Blattflächenindex (LAI = leaf area index) und oberirdische Biomasse (TM), werden mithilfe destruktiver sowie nicht-destructiver Erhebungsverfahren erhoben. Zusätzlich wird der kulturspezifische Ernte-Index aus dem Verhältnis geernteter Korn- und Strohmengen ermittelt. Die Kalibrierung der Vorhersagemodelle erfolgt mithilfe eines multivariaten Verfahrens, der Partial Least Squares Regression (PLSR). Hierfür werden die erhobenen Feldspektren an die spektrale Konfiguration der Sentinel-2-Satellitendaten angepasst und vorverarbeitet. Die Modellkalibrierung und -validierung erfolgt im Zuge einer Kreuzvalidierung mithilfe gemeldeter In-situ-Daten.

Wachstumsmodellierung und Ertragsschätzung

In einem zweiten Schritt schließt sich die eigentliche Ertragsschätzung an. Die auf Tagesbasis iterierende Simulation des Pflanzenwachstums basiert auf einem Ansatz von Montheith (1977), nachdem der tägliche Zuwachs an trockener Biomasse TMi [$t ha^{-1}$] aus dem absorbierten Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung ($fPAR$) [$MJ m^{-2}$] am Tag i und der kulturartenspezifischen Lichtnutzungseffizienz ε [$g MJ^{-1}$] berechnet werden kann. $fPAR$ wird nach Monsi und Saeki (2005) wiederum aus der täglichen Globalstrahlung, der Blattfläche [$m^2 m^{-2}$] sowie einem dimensionslosen Extinktionskoeffizienten ermittelt. Die Verringerung des täglichen TM -Zuwachses durch mittlere Tagestemperaturen kleiner 10 Grad Celsius beziehungsweise größer 25 Grad Celsius wird durch einen Temperaturstressfaktor berücksichtigt (Zheng und andere, 2015). Die Tageswerte der Globalstrahlung sowie der Temperatur basieren auf räumlichen Daten des Deutschen Wetterdienstes. Der Ertrag wird mit Erreichen des Erntetermins schließlich durch Multiplikation der trockenen Biomasse mit dem Ernte-Index (Korn-/Stroh-Verhältnis) bestimmt. Zur Beurteilung der Güte der Ertragsschätzungen werden die ermittelten Erträge mit Realerträgen für ausgewählte Flächen (mittlerer, gewogener Ertrag je Schlag) validiert. Die geschätzten Erträge werden in einer räumlichen Auflösung von 10 Meter mal 10 Meter vom Modell ausgegeben.

3.3 Datengewinnung und Datenauswertung

Gewinnung der In-situ-Daten

Die Gewinnung von In-situ-Daten für die Validierung wurden im Rahmen einer Erhebung nach § 7 Bundesstatistikgesetz¹² von freiwillig teilnehmenden landwirtschaftlichen Betrieben gewonnen, von den beteiligten statistischen Ämtern aufbereitet und an das Julius Kühn-Institut übermittelt. Hier wurden sie mit den aus den Satellitenaufnahmen gewonnenen Daten zusammengeführt und ausgewertet.

In Absprache mit dem Julius Kühn-Institut wurden landwirtschaftliche Betriebe gezielt angesprochen, um die für das Projekt maßgeblichen Regionen abdecken zu können. Damit handelte es sich um eine bewusste Auswahl und keine Zufallsstichprobe. Die Regionen haben die beteiligten statistischen Ämter und das Julius Kühn-Institut gemeinsam sukzessive festgelegt.

Die Befragung der landwirtschaftlichen Betriebe erfolgte – abhängig von der Fruchtart – zu jeweils drei bis vier Berichtsterminen in den Jahren 2018 und 2019, um den aktuellen Ist-Zustand (Wachstumszustand) zu erfassen.

In den Jahren 2018 und 2019 beteiligten sich 70 beziehungsweise 64 Landwirte und Landwirtinnen mit insgesamt 144 beziehungsweise 104 Flächen am Projektvorhaben.  **Tabelle 1** Der größte Teil der gemeldeten Flächen ist mit Winterweizen und Winterraps bestellt.

² Erhebungen nach § 7 Absatz 2 Bundesstatistikgesetz dürfen zur Klärung wissenschaftlich-methodischer Fragestellungen auf dem Gebiet der Statistik Bundesstatistiken ohne Auskunftspflicht durchgeführt werden.

Tabelle 1

Am SatAgrarStat-Projekt beteiligte Landwirtinnen und Landwirte nach Fruchtart und gemeldeten Flächen sowie Landkreise, aus denen Flächen gemeldet wurden

	Bayern		Hessen		Niedersachsen		Schleswig-Holstein		Insgesamt	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Projektbeteiligte Landwirtinnen und Landwirte										
Sommergerste	7	6	2	5	3	3	7	5	19	19
Winterraps	7	5	17	9	12	9	9	10	45	33
Winterweizen	9	8	19	18	12	13	10	13	50	52
Gemeldete Flächen	23	19	38	32	27	25	26	28	114	104
Landkreise, aus denen Flächen gemeldet wurden	21	18	13	11	5	5	3	4	42	38

Auf weniger als 18 % der Flächen stand Sommergerste. In Schleswig-Holstein und Niedersachsen konzentrierten sich die Meldungen in beiden Jahren auf wenige Landkreise, die gemeldeten Flächen sind in diesen daher eingeschränkt repräsentativ. In Hessen und Bayern waren die gemeldeten Flächen dagegen auf zahlreiche Landkreise verstreut und daher nicht repräsentativ für den jeweiligen Landkreis.

Fernerkundungsdaten

Zur Erfassung aller im Projektvorhaben gemeldeten Schläge waren Satellitenaufnahmen von 20 immer 100 km x 100 km großen Sentinel-2-Datenkacheln erforderlich. Insgesamt wurden 292 (2018) sowie 272 (2019) Sentinel-2-Aufnahmen jeweils für den Zeitraum vom 1. April bis zum 30. Juni herangezogen sowie mithilfe einer Atmosphärenkorrektur, Wolkenmaskierung¹³ und einer räumlichen Stichprobenwiederholung (Resampling) auf 10 m x 10 m vorverarbeitet. Es wurden ausschließlich Satellitenbilder mit einer Wolkenbedeckung von weniger als 20 % erfasst, da bei zunehmender Wolkenbedeckung die Qualität und Verwertbarkeit der Daten stark sinkt.

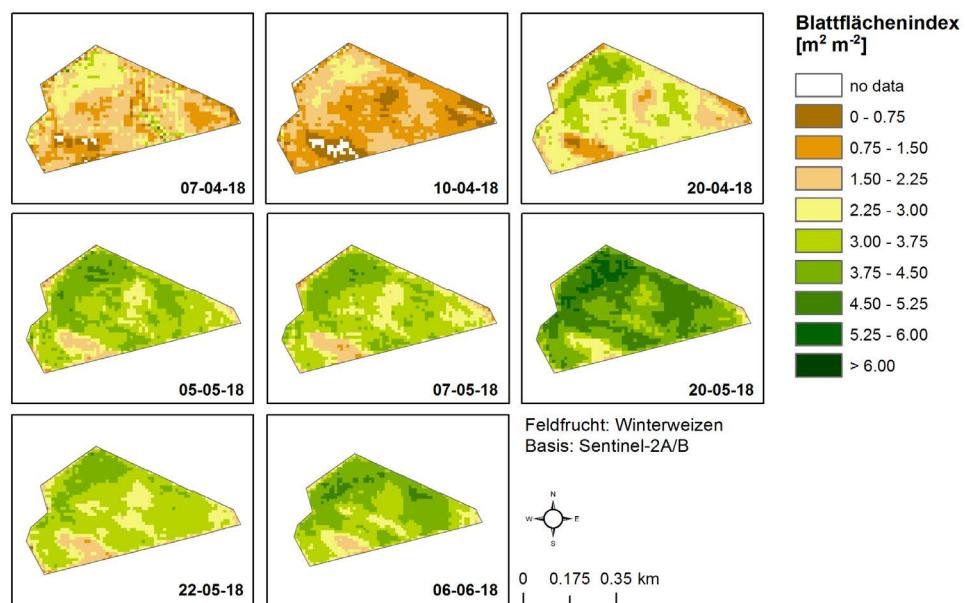
3 Das ist gezieltes Entfernen von Bereichen mit Wolkenbedeckung.

3.4 Ergebnisse

Bestandsentwicklung und Ertragsschätzung auf Schlagschleife

Blattflächenindex und oberirdische Biomasse sind wichtige Parameter, mit deren Hilfe sich die Vitalität von Beständen erfassen lässt. Durch Sentinel-2 Satellitenbilder kann deren Entwicklung räumlich und zeitlich hochauflösend abgebildet werden.  **Grafik 2** zeigt exemplarisch die Entwicklung eines Weizenbestands für einen Schlag im östlichen Niedersachsen von April bis Juni 2018, abgeleitet auf Basis von Sentinel-2-Daten. Die sichtbaren Entwicklungsunterschiede im Bestand reflektieren die unterschiedlichen Relief- und Bodeneigenschaften innerhalb des Schlags (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2015; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 2018). Aufgrund der Trockenheit im Jahr 2018 steuert insbesondere die reliefbedingte Wasserverfügbarkeit die Bestandsentwicklung. Vitale Bestände befinden sich in den niederen Bereichen im nördlichen Teil des Schlags. Schlecht entwickelte Bestände stehen vor allem im westlichen Bereich auf Böden mit mittlerer Leistungsfähigkeit.

Grafik 2
Entwicklung des Blattflächenindex für einen Winterweizenschlag im östlichen Niedersachsen



Für alle in den Jahren 2018 und 2019 in den vier Bundesländern gemeldeten Schläge erfolgten Ertragsschätzungen auf Basis der Modelle. Die geschätzten Erträge zeigen für 2018 und 2019 im Vergleich zu den gemeldeten Realerträgen relative Abweichungen von 18 beziehungsweise 14 % (Winterweizen), 24 beziehungsweise 25 % (Sommergerste) und 43 beziehungsweise 42 % (Winterraps) auf. Der Fehler kann dabei abhängig von Bundesland und Fruchtart teilweise beträchtlich variieren (siehe Legende zu  Grafik 3). Dennoch bewegen sich die erzielten Ergebnisse für Winterweizen im Erwartungsbereich. Für Sommergerste und Winterraps hingegen lagen keine Erfahrungswerte vor. Abgesehen von den fruchtartenspezifischen Besonderheiten bei Raps beeinträchtigten in beiden Projektjahren auftretende Wetterextreme eine Parametrisierung der Modelle für die neu hinzugekommenen Fruchtarten.

Wie die Teilgrafik B) in Grafik 3 für den bereits in Grafik 2 betrachteten Schlag in Niedersachsen zeigt, konnten auch die satellitenbasierten Schätzungen die räumliche Variabilität der Erträge innerhalb betrachteter Schläge gut abbilden. Die lokale Variabilität in den geschätzten Erträgen weist ebenso wie bei den Bestandsparametern einen starken Zusammenhang zu den relief- und bodenbedingten Standorteigenschaften auf.

Ertragsschätzung und Aggregation auf Landkreisebene

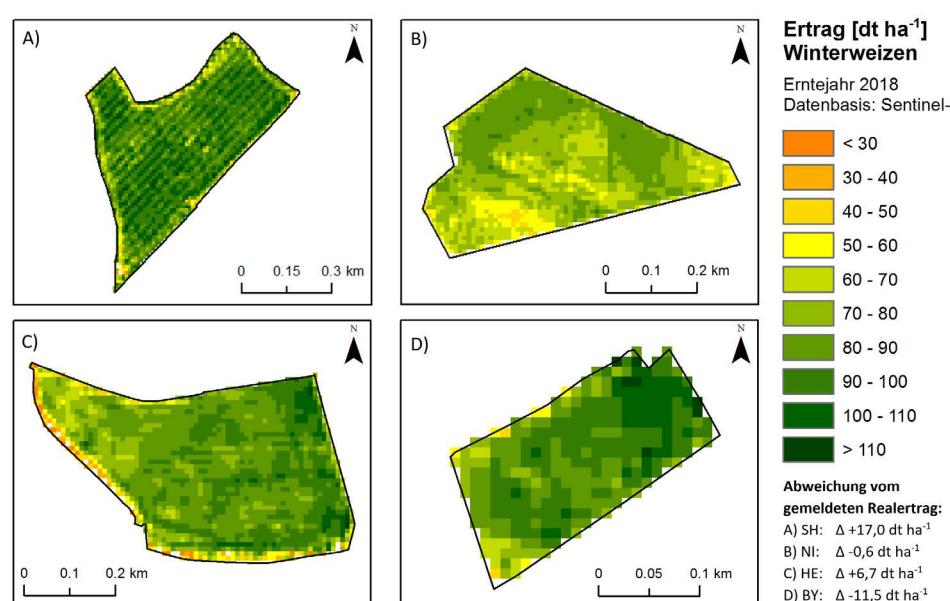
Die Ertragsschätzung auf Schlagschleife stellt eine wichtige Information dar, ein potenzieller Mehrwert für die Agrarstatistik wird allerdings erst durch die Aggregation der detaillierten Ertragsschätzungen auf eine höhere, räumliche Einheit (zum Beispiel Landkreisebene) generiert. Im Pilotprojekt wurden die geschätzten Erträge für relevante Landkreise am Beispiel von Niedersachsen auf eine regionale Ebene aggregiert.  Grafik 4 visualisiert beispielhaft die Ergebnisse bezüglich der betrachteten Fruchtart Winterweizen für den Landkreis Helmstedt im Erntejahr 2018.

Für 2018 wurden in den über Satellit betrachteten niedersächsischen Landkreisen Winterweizerträge zwischen 67,8 und 82,8 dt ha⁻¹ ermittelt. Für 2019 waren dies zwischen 67,9 und 80,5 dt ha⁻¹. Damit wurden im Vergleich zur Besonderen Ernte- und Qualitätsermittlung die Erträge für 2018 überschätzt und für 2019 unterschätzt. Bezogen auf den mittleren Ertrag ist dies ein relativer Fehler von 12 % jeweils für die beiden Jahre.

Für Sommergerste liegen nur für drei der betrachteten Landkreise Angaben aus der amtlichen Statistik vor.

Grafik 3

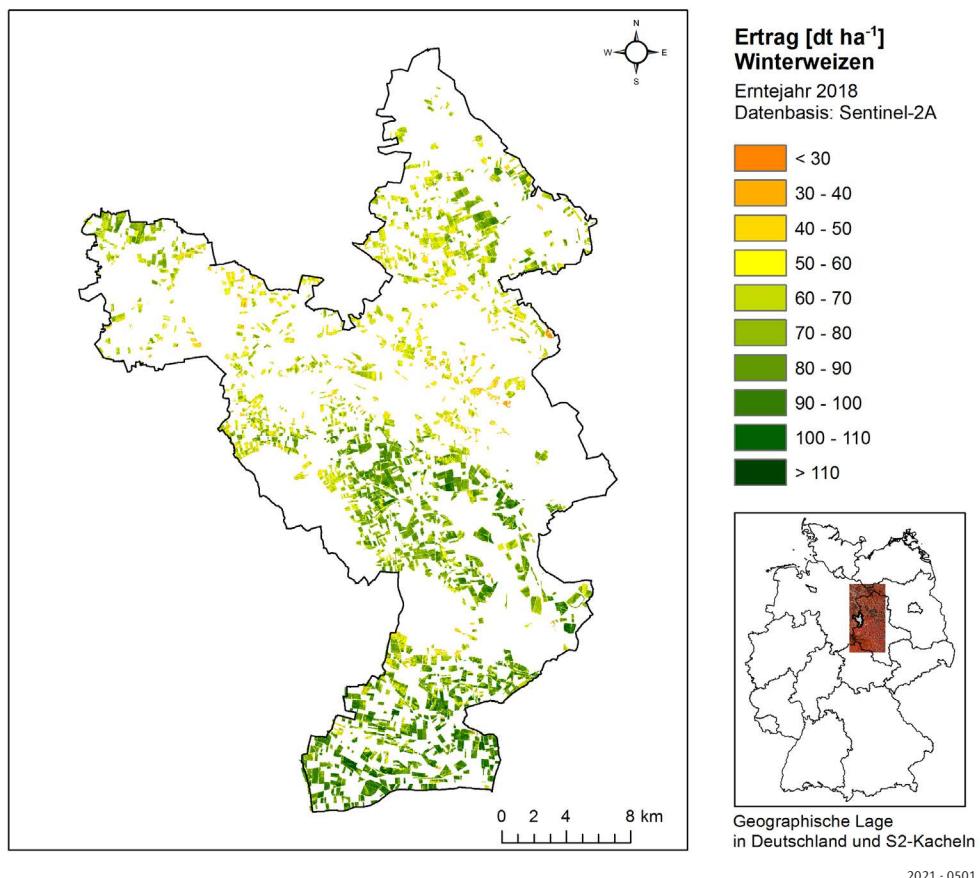
Ertragsschätzung auf Schlagschleife für 2018
Beispiele für vier Winterweizenschläge in A) Schleswig-Holstein, B) Niedersachsen, C) Hessen und D) Bayern



2021 - 0500

Grafik 4

Ertragsschätzung für Winterweizen auf Landkreisebene für 2018: Beispiel Helmstedt im östlichen Niedersachsen



Die prozentuale Abweichung der einzelnen Landkreise beträgt für 2018 zwischen –18,9 und +35,4 % und für 2019 zwischen –18,7 und +86,8 %. Der relative Fehler bezogen auf die Jahresmittelwerte der amtlichen Statistik beträgt 21 % für 2018 beziehungsweise 33 % für 2019. Für Winterraps wurden die Erträge generell in beiden Jahren überschätzt. Die prozentuale Abweichung im Jahr 2018 liegt hier zwischen 29,6 und 44,7 %, für 2019 zwischen 18,5 und 50,7 %. Der mittlere relative Fehler in Bezug auf die Erntestatistiken von 2018 und 2019 beträgt jeweils 36 %.

4

Fazit und Ausblick

Das Pilotprojekt SatAgrarStat konnte Möglichkeiten und Grenzen fernerkundungsbasierter Ertragsschätzungen mit Copernicus-Daten für den konkreten Anwendungsfall der amtlichen Erntestatistik aufzeigen. So belegen die Untersuchungen in den Jahren 2018 und 2019, dass eine fernerkundungsgestützte Ertragsschätzung mit dem gewählten Ansatz grundsätzlich möglich ist. Für die Feldfrüchte Winterweizen, Sommergerste und Winterraps wurden Vegetationsparametermodelle etabliert und mit den aus den Fernerkundungsdaten abgeleiteten Bestandsinformationen Erträge geschätzt sowie räumlich aggregiert. Die Qualität der Schätzungen wird dabei maßgeblich von der Verfügbarkeit von Satelliten-

bildern, der Anzahl und Qualität der In-situ-Daten und dem Vorliegen von Daten über die Verteilung des Ackerbaus beeinflusst. Modellergebnisse mit den geringsten Abweichungen zu vorliegenden Realerträgen ließen sich für die Fruchtart Winterweizen erzielen.

Die Resultate für die betrachteten Jahre deuten allerdings auch darauf hin, dass Ertragsverluste durch Trockenstress mit dem verwendeten methodischen Ansatz noch nicht beziehungsweise nicht in ausreichendem Maße erfasst werden können. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, beispielweise um die Pflanzenwachstumsmodelle besser an Extremsituationen anpassen zu können. Die bisher erzielten Ergebnisse auf regionaler Ebene sind derzeit noch nicht ausreichend belastbar, um sie in die laufenden Statistiken zu integrieren. Für eine mögliche operative Nutzung von Fernerkundungsdaten im Rahmen der gesetzlich geregelten Ernterhebungen und die dafür erforderliche Integration in den Prozess der amtlichen Statistikerstellung sind daher weitere umfangreiche Untersuchungen und Vorarbeiten erforderlich. Die Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt bilden dabei die Grundlage für das Folgevorhaben SatAgrarStat_PLUS.

Das Projekt SatAgrarStat_PLUS wird ebenfalls im Verbund mit dem Statistischen Bundesamt (Koordination), nunmehr sechs Statistischen Landesämtern sowie dem Julius Kühn-Institut (Projektausführung) umgesetzt. Neben den vier bisher bereits beteiligten Landesämtern nehmen nun auch das Amt für Statistik Berlin-Brandenburg und der Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen teil. Basierend auf Erkenntnissen aus dem Pilotprojekt wird während einer dreieinhalbjährigen Projektlaufzeit der Ansatz der satellitengestützten Ertragsschätzung in erweiterter Form erneut umgesetzt. Folgende Aspekte stehen im Fokus des Folgevorhabens:

Aufnahme der Wintergerste als zusätzliche Fruchtart

Innerhalb von SatAgrarStat_PLUS wird der bisher verwendete Modellansatz erweitert, um Erträge für die Wintergerste, eine weitere wichtige Fruchtart, zu schätzen. Wintergerste wird auf knapp 15 % des gesamten Ackerlands angebaut und ist damit die dritthäufigste Fruchtart in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2020). Ihr Anteil an der Anbaufläche ist in den vergangenen Jahren stetig gestiegen und wird voraussichtlich aufgrund

sich ändernder Klimabedingungen weiter ansteigen (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2019). Für die Erweiterung des Modellansatzes werden zusätzliche Felderhebungen und Referenzmessungen durchgeführt und die Bestandsparametermodelle für Blattflächenindex und oberirdische Biomasse der Wintergerste entsprechend kalibriert beziehungsweise validiert.

Skalierung auf unterschiedliche räumliche Aggregationsebenen

Im Pilotprojekt wurden die Ertragsschätzungen für ausgewählte Schläge und Landkreise validiert und verfügbar gemacht. Das Folgevorhaben geht einen Schritt weiter und testet, inwiefern Ertragsschätzungen auf weiteren Aggregationseinheiten, beispielsweise auf Gemeindeebene (administratives Gliederungskriterium) oder auf Basis eines einheitlichen Gitternetzes (systematisches Gliederungskriterium), hinreichend in derzeitige agrarstatistische Erhebungsverfahren eingebettet werden können. Um eine Aggregation auf höherer, räumlicher Ebene zu ermöglichen, ist eine möglichst repräsentative Anzahl entsprechender Landnutzungs- und Anbauinformationen nötig, also schlagspezifische Angaben zur Lage und Geometrie der relevanten, landwirtschaftlich genutzten Flächen. Einige der am Folgeprojekt teilnehmenden Bundesländer werden diese Informationen im Rahmen der Agrarförderung allgemein zugänglich machen; sie sind somit im Vorhaben nutzbar.

Nutzung von „CODE-DE“

Im Folgevorhaben wird die Nutzung von „CODE-DE“ als Cloud-Computing-Plattform forciert. CODE-DE ist Bestandteil der Geoinformationsstrategie Deutschlands und dient der Prozessierung sowie Bereitstellung von Erdbeobachtungsinformationen. Die Plattform wird im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur sowie des Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums bereitgestellt. Sie bietet Zugang zu umfangreichen Repositorien von Copernicus-Datenprodukten, welche flächendeckend für ganz Deutschland verfügbar sind. Dies erlaubt einerseits eine gute Skalierbarkeit der Ertragsmodellierung, andererseits verfügt CODE-DE auch über eine performante Serverarchitektur, um entsprechende Produkte hochauflösend zu berechnen und großräumig zur Verfügung zu stellen. Weitere Vorteile von CODE-DE sind die langfristige Verfügbarkeit

der Copernicus-Daten sowie der simulierten Ertrags-schätzungen. Über Web-Services können so über das Julius Kühn-Institut Projektgebnisse für die Projektbe-teiligen komfortabel und langfristig verfügbar gemacht werden.

Mehr Daten durch verbesserte Wolkenmasken

Optische Sensoren wie die von Sentinel-2-Satelliten sind grundsätzlich „blind“, wenn sich zwischen Sensor und Erdoberfläche Wolken befinden. Von Wolken bedeckte Areale können aus den Bilddaten gezielt maskiert, das heißt herausgeschnitten werden. CODE-DE verfügt über elaborierte Algorithmen, um eine saubere Wolkenmas-kerung zu ermöglichen. Dadurch lässt sich die fernerkundliche Beobachtungsdichte letztlich sogar erhöhen, da sich Satellitenbilder selbst mit hoher Wolkenbe-deckung zumindest noch partiell für die Wachstums-modellierung nutzen lassen. Daher werden, anders als im Pilotprojekt, grundsätzlich alle zur Verfügung stehenden Satellitenbilder genutzt. Je mehr Satellitenbeobach-tungen zur Verfügung stehen, desto häufiger lassen sich die im Laufe der phänologischen Entwicklung simulier-ten Bestandsparameter mit den vom Satelliten beobach-teten Parametern abgleichen. Dies führt zu potenziell genaueren Ertragsschätzungen.

Modellerweiterung und -optimierung

Im bisherigen Ansatz der Ertragsschätzung war es nicht möglich, Faktoren wie die niederschlagsgetriebene Was- serverfügbarkeit sowie bestimmte Bodeneigenschaf-ten wie die Wasserhaltekapazität, die Einfluss auf das Wachstum der Kulturarten und damit auf deren Erträge haben, zu berücksichtigen. Daher wird im Folgevor-haben untersucht, ob die Integration weiterer, auf die Ertragsbildung einflussnehmender Aspekte möglich ist. Ein Beispiel dafür ist der durch den Klimawandel zunehmend an Bedeutung gewinnende Trockenstress. Darüber hinaus werden modellbasierte Sensitivitäts-analysen durchgeführt, um relevante Modellparameter fruchtartenspezifisch zu optimieren.

Intra-saisonale Ertragsprognosen

Neben der eigentlichen Ex-post-Ertragsschätzung stellt die intra-saisonale Prognose von Erträgen eine wich-tige Möglichkeit dar, Bewirtschaftungsentscheidungen ex-ante zu unterstützen. Im Folgevorhaben wird neben

der Ex-post-Schätzung daher das Potenzial von Ertrags-prognoseansätzen mithilfe von 30-jährigen meteoro- logischen Zeitreihen des Deutschen Wetterdienstes untersucht. Hierbei soll insbesondere evaluiert werden, inwiefern derartige Ansätze basierend auf einer ganzen Serie von Modellsimulationen (Ensemblesimulationen), anstatt einer einzigen Simulation, zu plausiblen Ertrags-prognosen führen. [11](#)

LITERATURVERZEICHNIS

Bellon-Maurel, Véronique/Fernandez-Ahumada, Elvira/Palagos, Bernard/Roger, Jean-Michel/McBratney, Alex. *Critical review of chemometric indicators commonly used for assessing the quality of the prediction of soil attributes by NIR spectroscopy*. In: Trends in Analytical Chemistry. Jahrgang 29. Ausgabe 9/2010, Seite 1073 ff.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. *Ernte 2019. Mengen und Preise*. 2019. [Zugriff am 15. November 2021]. Verfügbar unter: www.bmel.de

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. *Digitales Geländemodell Gitterweite 10 m, DGM10*. 2015. [Zugriff am 15. November 2021]. Verfügbar unter: gdz.bkg.bund.de

Chang, Cheng-Wen/Laird, David A./Mausbach, Maurice J./Hurburgh, Charles R. Jr. *Near-Infrared Reflectance Spectroscopy – Principal Components Regression Analyses of Soil Properties*. In: Soil Science Society of America Journal. Jahrgang 65. Ausgabe 2/2001, Seite 480 ff.

Statistisches Bundesamt. *Feldfrüchte und Grünland: Ackerland nach Hauptfruchtgruppen und Fruchtarten*. 2020. [Zugriff am 15. November 2021]. Verfügbar unter: www.destatis.de

Gerighausen, Heike/Lilienthal, Holger. *Regionale fernerkundliche Erfassung des aktuellen landwirtschaftlichen Ertragspotenzials am Beispiel eines Testgebietes in Mecklenburg-Vorpommern*. In: Bornimer Agrartechnische Berichte. Ausgabe 88/2015, Seite 15 ff.

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. *Bodenschätzungskarte von Niedersachsen im Maßstab 1:5.000 (BS5)*. 2018. [Zugriff am 15. November 2021]. Verfügbar unter: www.lbeg.niedersachsen.de

Monsi, Masami/Saeki, Toshiro. *On the factor light in plant communities and its importance for matter production*. In: Annals of Botany. Jahrgang 95. Ausgabe 3/2005, Seite 549 ff. DOI: [10.1093/aob/mci052](https://doi.org/10.1093/aob/mci052)

Monteith, John Lennox. *Climate and efficiency of crop production in Britain*. In: Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Ausgabe 980/1977, Seite 77 ff. DOI: [10.1098/rstb.1977.0140](https://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140)

Zheng, Bangyou/Chenu, Karine/Doherty, Alastair/Chapman, Scott. *The APSIM-Wheat Module (7.5R3008)*. 2015. [Zugriff am 15. November 2021]. Verfügbar unter: www.apsim.info

RECHTSGRUNDLAGEN

Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1159/2013 der Kommission vom 12. Juli 2013 zur Ergänzung der Verordnung (EU) Nr. 911/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Europäische Erdbeobachtungsprogramm (GMES) durch die Festlegung von Registrierungs- und Lizenzierungsbedingungen für GMES-Nutzer und von Kriterien für die Einschränkung des Zugangs zu GMES-spezifischen Daten und Informationen der GMES-Dienste (Amtsblatt der EU Nr. L 309, Seite 1).

Herausgeber

Statistisches Bundesamt (Destatis), Wiesbaden

Schriftleitung

Dr. Daniel Vorgrimler

Redaktion: Ellen Römer

Ihr Kontakt zu uns

www.destatis.de/kontakt

Erscheinungsfolge

zweimonatlich, erschienen im Dezember 2021, Seite 43 korrigiert am 23.02.2022

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

Artikelnummer: 1010200-21006-4, ISSN 1619-2907

© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2021

Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, mit Quellenangabe gestattet.