

SatAgrarStat – Fernerkundung in der Ernteertragsschätzung

Die Erntestatistik

Erstmalig Ende des 19. Jahrhunderts in Deutschland eingeführt, ist die Agrarstatistik seit 1962 Teil der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union¹⁾. Auf nationaler Ebene werden die Erhebungen und Auswertungen durch die Statistischen Ämter der Länder (StÄdL) durchgeführt und beim Statistischen Bundesamt (StBA) zusammengeführt. Unterteilt in die Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung (BEE, Pflichterhebung) und die unterjährige Ernteberichterstattung (EBE, freiwillig), wird die Statistik anhand von Stichprobenbetrieben mittels Fragebogen und Proben vor Ort erhoben. Die Grundlagen hierfür bilden das Agrarstatistik- (AgrStatG) und das Bundesstatistikgesetz (BstatG).

Die Erhebung, Auswertung und Verwaltung von Daten im Kontext der gesetzlichen Ernteerhebungen wird durch Datenbanksysteme unterstützt. Die Proben auf den ausgewählten Feldern werden jedoch weiterhin händisch gezogen und die Auskunftspflichtigen müssen Papierfragebogen ausfüllen. Dieses Prozedere bedeutet einen nicht unerheblichen Arbeitsaufwand. Es stellt sich daher die Frage, ob alternative Datenquellen wie das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus einen Beitrag zur Modernisierung bestehender Verfahrensabläufe leisten können. Der Einsatz von Satellitenbilddaten in der amtlichen Erntestatistik ist dabei insbesondere im Hinblick auf die Verfügbarkeit flächendeckender Daten mit einer tieferen Regionalisierung interessant.

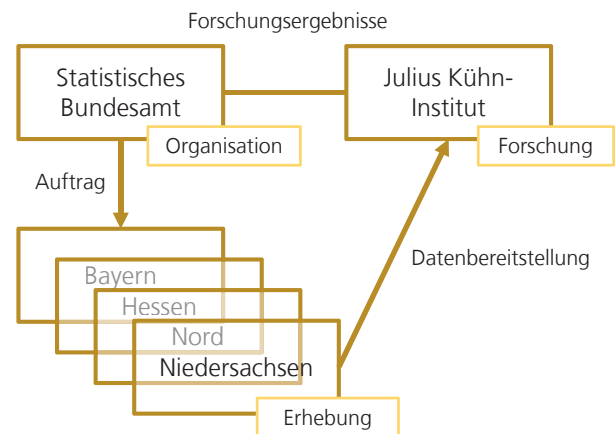
Bereits 1988 wurde zur Unterstützung der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union (EU) das MARS²⁾-Projekt an der Gemeinsamen Forschungsstelle der EU in Ispra/Italien initiiert. MARS stellt europaweit Informationen zur aktuellen Entwicklung der landwirtschaftlichen Bestände bereit und liefert Informationen zu den zu erwartenden Ernteerträgen. Die Angaben basieren auf einem komplexen System von Methoden und Werkzeugen aus der Wetterbeobachtung, der Fernerkundung, der Wachstumsmodellierung und der Vorhersage. Diese bedient sich u. a. der nationalen Erntestatistiken, die in Deutschland ausgehend von den Daten der BEE und EBE vom Statistischen Bundesamt bereitgestellt werden. Kleinste räumliche Berichtseinheit des MARS Ertragsvorhersagesystems sind jedoch die Nationalstaaten.

Das Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde des Julius Kühn-Instituts (JKI) in Braunschweig beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Nutzung von Daten und Methoden der Fernerkundung für landwirtschaftliche Anwendungen.

Im März 2017 wurde hier das Forschungszentrum für Landwirtschaftliche Fernerkundung (FLF³⁾) gegründet. Neben Arbeiten zur Charakterisierung verschiedener Ackerkulturen mit Methoden der Fernerkundung wurden in Vorbereitung auf das europäische Copernicus-Programm unter anderem Untersuchungen zur Erfassung von Winterweizenerträgen durchgeführt. Darauf aufbauend startete Anfang 2018 ein Verbundvorhaben zwischen dem Statistischen Bundesamt, vier Statistischen Ämtern der Länder und dem JKI mit dem Ziel, Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen fernerkundungsbasierter Ernteertragsschätzungen am konkreten Anwendungsfall der Agrarstatistik zu gewinnen.

Das Projekt SatAgrarStat

A1 | Zuständigkeiten SatAgrarStat



Eigener Entwurf 2019

Das Vorhaben SatAgrarStat erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen dem Statistischen Bundesamt, den Statistischen Ämtern Bayern, Hessen, Niedersachsen und Nord und dem JKI. Die Projektkoordination sowie Bewertung und Verwertung der Ergebnisse liegen in der Zuständigkeit des StBA. Die Aufgabe der StÄdL besteht einerseits in der Akquise interessierter Landwirtinnen und Landwirte, die für ausgewählte Testflächen freiwillig Informationen für das Projektvorhaben bereitstellen. Andererseits obliegt ihnen die Aufbereitung, Überprüfung und Weiterleitung der Erhebungsdaten an das JKI. Schwerpunkte der Arbeiten am JKI sind die Satellitendatenverarbeitung, Forschung und Weiterentwicklung der fernerkundungsbasierten Ertragsschätzung mithilfe der in-situ Erhebungen⁴⁾ sowie die Bereitstellung der Ergebnisse, u. a. über eine projektinterne Webanwendung.

Im Fokus der Untersuchungen stehen die Feldfrüchte Winterweizen, Winterraps und Sommergerste, die für die Landwirtschaft in Deutschland von großer Bedeutung sind.

1) Europäische Kommission: Die Europäische Union erklärt: Landwirtschaft. Online unter: publications.europa.eu/resource/genpub/PUB_NA0216625DEN.1.1 Amt für Veröffentlichungen, Luxemburg, 2017.

2) Monitoring Agricultural Resources, Online unter: https://marswiki.jrc.ec.europa.eu/agri4castwiki/index.php/Welcome_to_WikiMCRYF. Zuletzt besucht: August 2019.

3) https://flf.julius-kuehn.de/dokumente/upload/21624_P12017-7_FLF.pdf.

4) Messungen unmittelbar am Ort bspw. auf dem Feld.

Neben der Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln werden Erzeugnisse dieser Fruchtarten auch in der Industrie benötigt. So nimmt Winterweizen mit ca. 3,1 Mio. ha ein Viertel des gesamten Ackerlandes ein und ist damit das bedeutendste Getreide in Deutschland. Winterraps ist eine wirtschaftlich bedeutende Nutzpflanze zur Gewinnung von Öl, Futtermittel oder Industrierohstoff und wird auf etwas mehr als 7 % der Ackerfläche bestellt. Die Kultur steht damit an vierter Stelle. Im Vergleich dazu bedeckt Sommergerste einen relativ geringen Anteil der Felder. Die Sommerkultur hat jedoch in den vergangenen Jahren aufgrund sich ändernder Witterungs- und Klimabedingungen in einigen Regionen stark an Bedeutung hinzugewonnen.⁵⁾

Datenerhebung durch die StÄdL

Zu jeweils vier Terminen (April, Mai, Juni, Zeitpunkt der Ernte) wurden in den Jahren 2018 und 2019 die teilnehmenden Landwirtinnen und Landwirte zu den ausgewählten Flächen nach Kulturart, Aussaatzeitpunkt, Anbaufläche, Ernteschätzung und gewogenem Ertrag befragt. Darüber hinaus wurden Informationen zu Auswinterungsschäden, Schäden im Bestand sowie das Entwicklungsstadium (BBCH⁶⁾) des Bestandes zum Erhebungszeitpunkt ermittelt. Zum Fragebogen wurden jeweils fünf Fotos vom Standort sowie in jede Himmelsrichtung angefertigt. Die erhobenen Daten wurden über einen sicheren Datenaustausch des Statistischen Bundesamtes an das JKI weitergeleitet und dort zusammen mit Erhebungen von Versuchsfeldern des Instituts sowie den Satellitendaten verarbeitet und ausgewertet.

Ertragsschätzung via Satellitendaten⁷⁾

Zwei Satelliten der Sentinel-2 Mission des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus⁸⁾ umkreisen in etwa 800 km Höhe die Erde, der erste Satellit wurde 2015 und der andere 2017 in die Umlaufbahn gebracht.

Sie messen die von der Erde zurückgestreute elektromagnetische Strahlung in 13 spektralen Kanälen vom visuellen Bereich des Lichtes bis ins kurzwellige Infrarot mit einer räumlichen Auflösung von bis zu 10m x 10m. Alle zwei bis fünf Tage wird jeder Bereich in Deutschland von einem der zwei Satelliten überflogen. Diese räumliche als auch zeitliche Auflösung gestattet somit eine Erfassung des aktuellen Zustandes landwirtschaftlicher Bestände in bisher nicht gekannter technischer Qualität und zeitlicher Kontinuität. Aufgrund des optischen Aufnahmeprinzips sind die Daten bei Wolkenbedeckung jedoch nicht oder nur eingeschränkt nutzbar.

Je nach Art und Beschaffenheit der Landoberfläche variiert die zurückgestreute und vom Satelliten aufgezeichnete Strahlung. Gesunde grüne Pflanzenbestände weisen eine

hohe Chlorophyll-bedingte Absorption im sichtbaren Bereich des Lichtes und eine starke Reflexion im nahen Infrarot auf. Im kurzwelligen Bereich des Infrarots wird das Licht durch den Wassergehalt der Pflanzen stark absorbiert. Kranke oder geschädigte Pflanzenbestände hingegen zeigen eine geringere Absorption bzw. Reflexion in den genannten Wellenlängenbereichen. Unterschiede im Spektalsignal der Pflanzen ergeben sich auch im Verlauf der Entwicklung von der Keimung und Bestockung über das Längenwachstum, Blüte, Fruchtentwicklung und Samenreife.

Erste Rückschlüsse über die Entwicklung und den Zustand des Bestandes lassen sich aus Vegetationsindices (VI) ableiten. Einer der ältesten und am häufigsten verwendeten Indices ist der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)⁹⁾. Eine modifizierte Variante stellt der Enhanced Vegetation Index (EVI)¹⁰⁾ dar. Die VI werden aus geeigneten Spektralkanälen der Satellitenbilddaten errechnet.

Das JKI erfasst seit vielen Jahren auf seinen Versuchsflächen am Standort Braunschweig das Reflexionsverhalten, d. h. das Spektalsignal landwirtschaftlicher Kulturen im Verlauf der gesamten Wachstumsphase. In Verbindung mit umfangreichen in-situ Messungen, die den Zustand der Bestände kennzeichnen (z. B. Blattflächenindex, Biomasse, Wachstumsstadium), können unter Verwendung statistischer Verfahren allgemeingültige Modelle generiert werden. Mithilfe dieser Modelle lassen sich anhand des Spektalsignals fruchtartenspezifisch Informationen zum Zustand der Vegetation ableiten. Zentrale Größen sind der Blattflächenindex, d. h. die grüne Blattfläche pro Bodenfläche, sowie die trockene und frische Biomasse. Diese aus Satellitendaten abgeleiteten Informationen zum aktuellen Zustand der landwirtschaftlichen Bestände fließen in die Ertragsschätzung ein. Sie beruht somit auf einer Verknüpfung von Fernerkundung und Wachstumsmodellierung. Grundlage hierfür bildet der Ansatz der Lichtnutzungseffizienz, der den täglichen Trockenmassezuwachs in Abhängigkeit von der aufgenommen Strahlungsmenge beschreibt. Der Hektarertrag zum Erntetermin wird abschließend durch Verrechnung mit einem fruchtartenspezifischen Harvest Index ermittelt. Dieser beschreibt den Zusammenhang zwischen Wachstumsstand und späterem Ertrag und wurde bei früheren Forschungsarbeiten ermittelt.

Beobachtung landwirtschaftlicher Bestände via Satellitendaten

Um die aus Satellitendaten berechneten Erträge zu überprüfen, das Vorgehen zu verifizieren und die Modelle zu verbessern, werden Referenzdaten benötigt, die durch die teilnehmenden Betriebe am Projekt zur Verfügung gestellt werden. Anhand der Informationen kann ein Zusammenhang zwischen dem Blattflächenindex (LAI), geschätzter Biomasse und späterer Erntemenge erforscht werden.

5) Bodennutzungshaupterhebung 2019, Destatis.

6) Meier, Uwe: Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. BBCH Monografie. Quedlinburg 2018. Open Agrar Repository.

7) Fachliche Unterstützung durch Frau Gerighausen (JKI).

8) <https://www.copernicus.eu/de>.

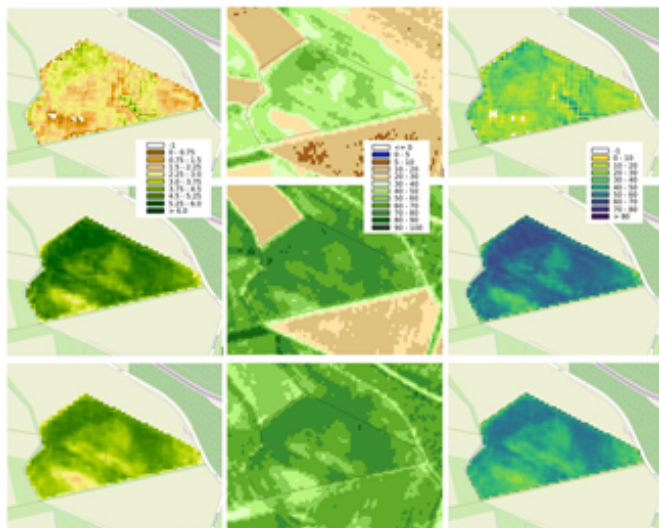
9) Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, J.C. Harlan, 1974: Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. In: NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1-137.

10) Huete, A., Justice, C., Liu, H., 1994. Development of Vegetation and Soil Indices for MODIS-EOS. Remote Sensing of Environment, 49, 224-234.

Abbildung 2 zeigt den LAI, den Enhanced Vegetation Index (EVI) und die Frischmasse zu verschiedenen Zeitpunkten eines Winterweizenschlags im Jahr 2018. Deutlich zu erkennen ist die zunehmende Vegetationsdichte von Anfang April bis Ende Mai. Liegt im April der größte Teil der Werte zwischen 1,5 und 2,5 m^2/m^2 Vegetation, zeichnet sich Ende Mai ein Maximum von ca. 5,25 m^2/m^2 ab. Sobald es auf die Reife im Juni zugeht, lässt die Vegetationsdichte nach. Gründe hierfür sind der geringere Chlorophyllgehalt der Pflanzen und der Rückgang des Blattwerks sowie ein nachlassender Wassergehalt. Bereits zu Beginn der Messung im April ist der Bereich geringer Vegetationsdichte im Süden deutlich zu erkennen. Der Einfluss von Relief, Bodenbeschaffenheit und Wasserverfügbarkeit ist sichtlich nachweisbar.

Ein ähnliches Bild ist anhand des EVI zu erkennen. Die aus den Indices ermittelte frische Biomasse spiegelt diese erwartungsgemäß wider. Ende Mai zeigt sich die größte Menge mit bis zu 70 t/ha. Im Juni hat die Biomasse im Vergleich zum Vormonat abgenommen. Tatsächlich kann die Berechnung der Frischmasse auch stark vom Zustand am Aufnahmetag abhängen. Die Vegetation erscheint dichter und gesünder nach natürlicher oder künstlicher angemessener Bewässerung. Auch Temperatur und Strahlung haben enormen Einfluss auf die erhobenen und berechneten Werte, weshalb stetig versucht wird, weitere Faktoren einzubeziehen und Referenzwerte zu ermitteln. Anfang Juni – etwa fünf bis sechs Wochen vor der Ernte Mitte Juli 2018 – zeigen sich durchschnittlich Werte zwischen 40 t ha^{-1} und 60 t ha^{-1} .

A2 | Leaf Area Index, Enhanced Vegetation Index, Frischmasse



(v. links), 07.04.2018, 20.05.2018, 06.06.2018 (v. oben).
Quelle: WebApp JKI 2018

Projektjahr 2018

In Niedersachsen nahmen 2018 vierzehn Landwirte mit 27 Feldern (12 Winterweizen (WW), 12 Raps (RP), 3 Sommer-

gerste (SG)) in fünf Landkreisen (Goslar, Helmstedt, Norderheide, Wolfenbüttel, Lüneburg) am Projekt teil.

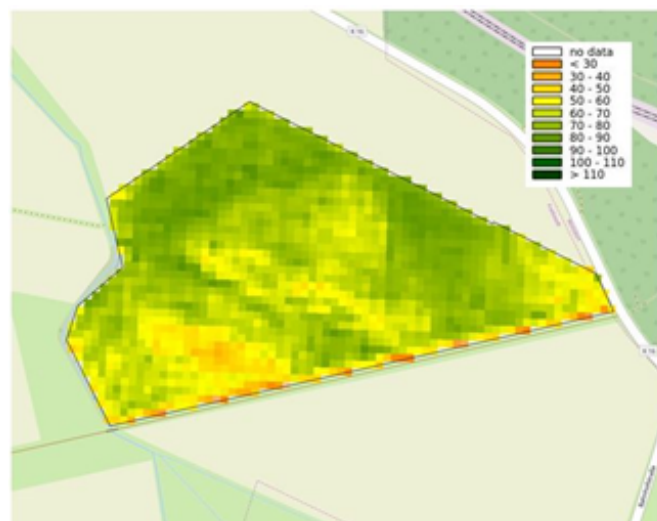
Für die Statistischen Ämter der Länder sind der Ernteertrag des Landes und der Kreise interessant. Dieser kann nur berechnet werden, solange bekannt ist, auf welchen Flächen eine bestimmte Fruchtart wächst.

Im Fall von Helmstedt liegt 2018 der Ertrag von WW anhand der Agrarstatistik bei 68,3 dt ha^{-1} ¹¹⁾. Anhand der Satellitendaten wurde ein mittlerer Ertrag von 69,9 dt ha^{-1} ermittelt. So zeigt sich im Vergleich, dass die Berechnung bereits relativ genau ist, allerdings können extreme Ereignisse wie Trockenstress noch nicht abgebildet werden. Deutlich zeigt sich dies im Kreis Lüneburg, hier wird der WW-Ertrag um rund 28,2 % überschätzt. Die Region war 2018 sehr stark von Ernteverlusten betroffen. Über die fünf Testregionen beträgt die Abweichung zum Agrarstatistikergebnis rund 11,38 %.

In Bezug auf die Fruchtart Sommergerste wurde bisher nur wenig Forschungsarbeit durchgeführt, weshalb die Modelle noch als unzureichend angesehen werden müssen. Im weiteren Verlauf des Projekts wird durch Gewinn neuer Erkenntnisse eine Verbesserung der Ergebnisse erwartet. Der Ertrag für Sommergerste wurde 2018 noch mit bis zu 35,4 % überschätzt. Durchschnittlich lag die Berechnung 21,1 % über dem amtlichen Ergebnis. Wintererbsen – als Ölfrucht in Morphologie und Ertragsbildung grundverschieden zum Getreide – stellt eine weitere große Herausforderung dar. Auch hier sind die Ertragsschätzungen im ersten Jahr des Projekts als vorläufige Ergebnisse zu betrachten. Durchschnittlich wird der Ertrag um 35,9 % überschätzt, das Maximum der Abweichungen liegt bei 44,7 %.

Wie bereits erläutert, kann über den Satelliten nicht der direkte Ernteertrag ausgelesen werden. Es findet sozu-

A3 | Ertrag Winterweizen in dt ha^{-1}



Quelle: WebApp JKI 2018

11) Ergebnis Erntestatistik 2018. Landesamt für Statistik Niedersachsen.

sagen ein Monitoring des Wachstums und der Biomasse während der Vegetationsperiode statt, dessen Erkenntnisse für eine Ertragsschätzung verwendet werden. Verläuft die Reife z. B. aufgrund von Dürre nicht wie vorhergesehen, ist das bisherige Modell ungenau.

Der geschätzte Ertrag an Winterweizen beim ausgewählten Beispiel weicht durchschnittlich nur rund 3 dt ha⁻¹ vom gemessenen Ertrag ab (Abbildung 3).

Projektjahr 2019

Im Jahr 2019 beteiligten sich dreizehn Landwirte mit insgesamt 25 Feldern (13 WW, 9 RP, 3 SG) in fünf Landkreisen (Goslar, Helmstedt, Northeim, Wolfenbüttel, Lüneburg) an den Erhebungen in Niedersachsen.

Basierend auf den Erfahrungen im ersten Projektjahr ergaben sich 2019 kleinere Änderungen bei der in-situ Datenerhebung. Statt der Meldung zum Wachstumsstadium „Milchreife“ wurde ein fester Tag im Juni bestimmt. Außerdem wurde auf eine Fotodokumentation zum Erntetermin verzichtet, da durch die Beauftragung von Lohnunternehmen sowie die trockenheitsbedingte sehr frühe rasche Ernte bereits 2018 viele Aufnahmen bei zahlreichen gemeldeten Flächen nicht mehr möglich waren, weil der Schlag schon geerntet war.

Die Auswertung der Aufnahmen aus dem Jahr 2019 durch das JKI ist noch nicht abgeschlossen.

Ausblick

Zur intensiveren Forschung mit längeren Zeitreihen wurde das Projekt SatAgrarStat_PLUS als Anschlussvorhaben bis zum Jahr 2023 gestartet. Das Dürrejahr 2018, dem ein niederschlagsreicher Herbst 2017 vorausgegangen war, und das trockene Jahr 2019 stellen extreme Witterungsbedingungen dar, die bisher mit Modellen nur schlecht abgebildet werden können. Feldfrüchte beziehungsweise Pflanzen im Allgemeinen reagieren binnen kürzester Zeit auf Einflüsse wie Wassermangel oder Hitze. Durch immer neue Daten können die Modelle aktualisiert und verbessert werden. Eine Erforschung dieser Gegebenheiten ist auch im Hinblick auf Folgen des Klimawandels unverzichtbar.

Die Erhebung wird dabei an die aktuellen Umstände angepasst. Ein fünfter Erhebungstermin im Juni kann rasche Veränderungen am Wachstumsstand oder aufkommende Schäden besser erfassen. Weiterhin wird die Fruchtart Wintergerste in die Erhebung aufgenommen, die im Jahr 2019 auf rund 11,6 % des Ackerlandes in Deutschland und 8,6 % in Niedersachsen angebaut wurde¹²⁾.

Neben der weiteren Feldforschung werden die Ergebnisse in den folgenden Projektjahren auf die Nutzbarkeit in der amtlichen Erntestatistik geprüft. Hierzu wird ein Vergleich mit Daten aus BEE und EBE herangezogen. Ziel ist es, durch Fernerkundungsmethoden wie diese die aktuellen Verfahren zu stützen und die Digitalisierung der amtlichen Statistik voranzubringen.

Aktuell läuft die Erhebung für das Jahr 2020.

12) Ergebnisse der Bodennutzungshaupterhebung 2019, LSN, Destatis.