

GeoProg – Verbesserte Prognose von Schaderregern in der Landwirtschaft mit Erdbeobachtungsdaten

KEVIN FLECKENSTEIN¹, STEPHAN ESTEL¹ & JULIANE SCHMITT¹

Zusammenfassung: Prognosemodelle und Entscheidungshilfesysteme (EHS) können in der Landwirtschaft zu einer Reduktion des Anwendungsrisikos von Pflanzenschutzmitteln beitragen. Während Wetterdaten bislang die wichtigste Grundlage bildeten, eröffnet die rasante Entwicklung im Bereich der Erdbeobachtungsdaten (EO-Daten) neue Potenziale: Im Projekt GeoProg wird untersucht, wie vielfältige EO-Datenprodukte genutzt werden können, um EHS funktional zu erweitern und zu optimieren. Im Fokus steht dabei die standortspezifische Ableitung relevanter Parameter wie z. B. die Anbaudichte oder Fruchtfolge. Im vorliegenden Artikel wird das Projekt GeoProg vorgestellt, Anforderungen an Geodaten für die Verwendung in EHS definiert und erste Praxisbeispiele zur Integration von EO-Daten in EHS vorgestellt.

1 Einleitung

Das Zukunftsprogramm Pflanzenschutz des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), das sich an der EU-Strategie „Farm-to-Fork“ orientiert, sieht vor die Verwendung und das Risiko von Pflanzenschutzmitteln bis 2030 zu halbieren (BMEL 2024). Prognosemodelle (PM) und Entscheidungshilfesysteme (EHS) können hierzu einen entscheidenden Beitrag leisten. Sie liefern wichtige Informationen zum Befallsrisiko durch Schadorganismen und empfehlen - wissenschaftlich fundiert - ob und wann Pflanzenschutzmittel ausgebracht werden sollten. Die Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP) hat seit 1997 in enger Zusammenarbeit mit den Pflanzenschutzdiensten der Länder sowie wissenschaftlichen Institutionen mehr als vierzig EHS und entwickelt. Diese werden durch das Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion (ISIP) e. V. bereitgestellt und sind für einen breiten Nutzerkreis online unter <https://www.isip.de/> verfügbar.

Die wichtigsten Eingangsparameter bei EHS sind Wetterdaten. Insbesondere die Lufttemperatur, der Niederschlag und die relative Luftfeuchte haben einen starken Einfluss auf die Entwicklung von Schaderregern (HEITEFUSS et al. 2000). Bis 2007 wurden diese Parameter durch 570 Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bereitgestellt, was einer Stationsdichte von einer Wetterstation je 626 km² und Abständen von bis zu 60 km zwischen Wetterstation und Schlag entsprach (KLEINHENZ & ZEUNER 2007). Durch das DWD-Routineverfahren RADOLAN (Radar-Online-Aneichung), das seit 2005 flächendeckende, räumlich und zeitlich hoch aufgelöste quantitative Niederschlagsdaten im Echtzeitbetrieb liefert (DWD-HYDROMETEOROLOGIE 2023) und ein von Zeuner entwickeltes GIS-basiertes Interpolationsverfahren, um die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit unter Einbeziehung der Topographie schlaggenau zu berechnen (ZEUNER 2007), entstand ein

¹ Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP), Rüdeshheimer Straße 60-68, 55545 Bad Kreuznach, E-Mail: [Fleckenstein, Estel, Schmitt]@zepp.info

virtuelles Messnetz mit rund 360.000 virtuellen Wetterstationen, wovon 200.000 auf landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen. Dadurch war erstmals die Prognose für das Auftreten von Schadorganismen mit einer 1 km² Auflösung und für jeden beliebigen Schlag möglich. Mit jeder zusätzlichen Wetterstation des DWD und der Bundesländer – inzwischen 1.320 – steigt die Genauigkeit des interpolierten Messnetzes und somit die Abbildungsgüte der EHS.

Die nächste Innovationsstufe für die EHS der ZEPP soll durch die Integration hochaufgelöster Erdbeobachtungsdaten (EO-Daten) erreicht werden. Hierfür werden im Verbundprojekt GeoProg die Eignung zahlreicher EO-Datenprodukte für den operativen Einsatz in EHS systematisch untersucht. Ziel ist es, sowohl Rohdaten als auch abgeleitete Folgeprodukte so aufzubereiten, dass sie nahtlos in bestehende Modellstrukturen integriert werden können. Gleichzeitig sollen bestehende Modelle durch die Einbindung neuer, aus EO-Daten gewonnener Eingangsparameter funktional erweitert werden. Eingangsparameter wie Anbaudichte, Fruchtfolge, Anbaudistanz oder Vorjahresbefall sind aktuell räumlich grob aufgelöst oder basieren auf nicht überprüfbareren Nutzereingaben. Die Menge und Qualität an frei verfügbaren EO-Daten, insbesondere Satellitendaten, ist in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen. Allein das Copernicus-Programm der EU erzeugt täglich mehr als 12 Terabyte an Daten, die über Plattformen wie das Copernicus Open Access Hub verfügbar sind (SEUTER et al. 2021). Aufgrund der flächendeckenden Verfügbarkeit und der hohen zeitlichen Auflösung bieten diese EO-Daten ein großes Potenzial für den Einsatz im Bereich der Prognose. Es können zudem zahlreiche Folgeprodukte abgeleitet werden: Landnutzung (z. B. Fruchtfolge und Anbaudichte); Standortdaten (z. B. Bodenfeuchte und Blattnässedauer); Pflanzenwachstum (z. B. Biomasse und BBCH-Stadien); Topographie (Neigung und Exposition); Saumstrukturen (z. B. Abschattung und Winterhabitate). Diese Produkte können als Modellparameter in bestehende EHS direkt integriert werden oder in Befallsrisikokarten oder Biomassemodelle einfließen (Abb. 1). Durch die Integration dieser hochaufgelösten Daten sind nicht nur schlag- sondern auch teilflächenspezifische Risikoanalysen möglich.

Der Einsatz von Wetterdaten und die Integration neu verfügbarer EO-Daten kann nicht nur einen wichtigen Beitrag zu den ambitionierten Reduktionszielen im Pflanzenschutz leisten, sondern zeigt eindrücklich wie der Transfer von innovativen Geoinformationstechnologien in die landwirtschaftliche Praxis gelingen kann.

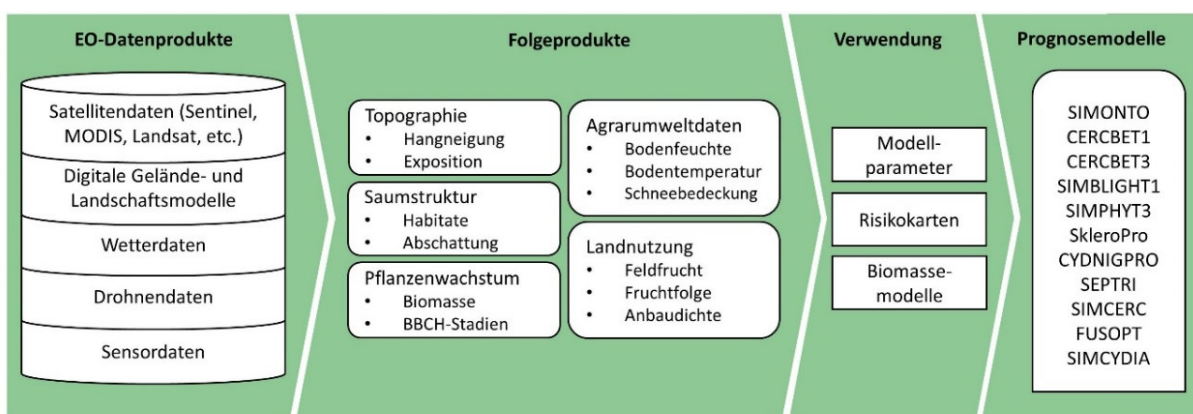


Abb. 1: Schematische Darstellung der Prozesskette von Eingangs-Erdbeobachtungsdaten zur Anwendung in Prognosemodellen im Rahmen des Verbundprojektes GeoProg

2 Datengrundlage

EO-Datenprodukte müssen für den operativen Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis bzw. in den EHS bestimmte Anforderungen erfüllen und, wenn nötig, angepasst werden. Hierbei ist die Verlässlichkeit und Konsistenz der Geodaten von zentraler Bedeutung. Die verwendeten Datensätze müssen deutschlandweit in einer gleichbleibend hohen Qualität vorliegen, um vergleichbare und belastbare Aussagen treffen zu können. Ein praktisches Beispiel für diese Anforderung ist die Nutzung von Satellitendaten: Während optische Erdbeobachtungssatelliten wie Sentinel-2 unter günstigen Bedingungen hochauflösende Bilder liefern, sind sie bei starker Bewölkung gar nicht oder nur eingeschränkt nutzbar. In solchen Fällen haben Radarsatelliten wie Sentinel-1 einen entscheidenden Vorteil, da sie als aktive Sensoren unabhängig von Lichtverhältnissen oder Wolkenbedeckung kontinuierlich Daten liefern können.

Zudem müssen die Eingangsdaten je nach Modell ab einem definierten Zeitpunkt kontinuierlich verfügbar sein. Da die Laufzeit der Modelle von der Vegetationsperiode der sie betreffenden Kulturen (Abb. 2) und dem Lebenszyklus der Schaderreger abhängt, sind Modellstart und –ende über das gesamte Jahr verteilt.

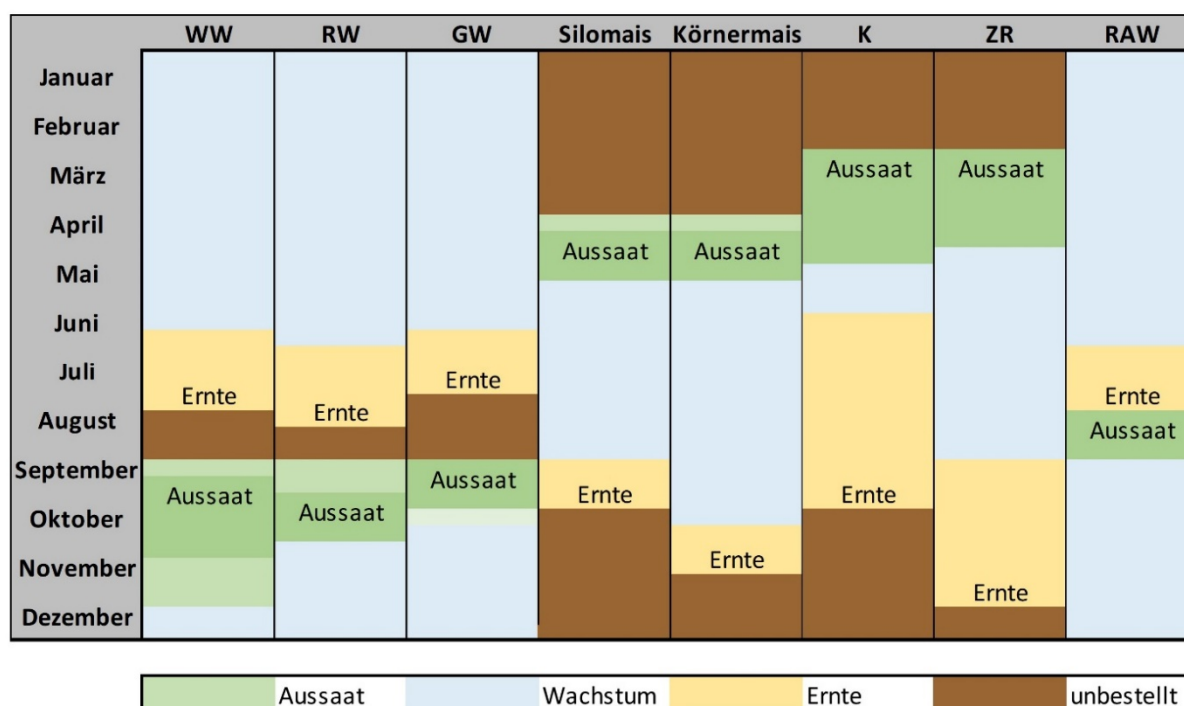


Abb. 2: Übersicht über die Vegetationszeit wichtiger Ackerbaukulturen (WW=Winterweizen, RW=Winterroggen, GW=Wintergerste, K=Kartoffel, ZR=Zuckerrübe, RAW=Winterraps)

An die räumliche Auflösung bestehen je nach Anwendungszweck unterschiedliche Anforderungen. Während für großräumige Risikoabschätzungen oft mittlere Auflösungen genügen, sind bei schlagspezifischen Prognosen höhere Genauigkeiten erforderlich.

Weitere Aspekte sind die Kompatibilität mit bestehenden agrarmeteorologischen und landwirtschaftlichen Informationssystemen. Die Geodaten müssen sich nahtlos in digitale EHS integrieren lassen, wofür standardisierte Formate und Schnittstellen notwendig sind. Auch rechtliche Anforderungen spielen eine Rolle: Die Datenverwendung muss den Vorgaben des Datenschutzes und der Datensouveränität entsprechen.

Im Projekt GeoProg kommen zurzeit folgende Daten zum Einsatz: Sentinel-1- und Sentinel-2-Daten werden im Rahmen des Verbundprojekts durch verschiedene Kooperationspartner verwendet, um ackerbauliche Parameter abzuleiten. Das Thünen-Institut erstellt auf Basis von Zeitreihenanalysen und Landnutzungsklassifikationen jährlich aktualisierte Feldfruchtkarten für ackerbauliche Kulturen (SCHWIEDER et al. 2022). Analog dazu untersucht das Helmholtz-Zentrum für Geoforschung (GFZ) Klassifikationsansätze um Kulturen schon während der Wachstumsphase zu identifizieren. Ziel ist die Bereitstellung von Feldfruchtkarten noch vor der nächsten Aussaatperiode (WEILANDT et al. 2023). Das Julius-Kühn-Institut (JKI) untersucht die Ableitung von Wachstumsstadien (BBCH) verschiedener Kulturarten mithilfe von Radardaten (HTITIOU et al. 2024). Parallel dazu entwickelt die heliopas.ai GmbH Biomassemodelle zur Beschreibung und Vorhersage des Kartoffelwachstums. Eine weitere wichtige Datengrundlage bilden die InVeKoS-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) der Bundesländer, die im Rahmen der Agrarförderung der EU erhoben werden (EU KOMMISSION 2025). Diese enthalten digitale Flächeninformationen zu landwirtschaftlichen Schlägen. Jeder Schlag ist mit Informationen zur angebauten Kultur, Anbaujahr, der räumlichen Lage und Geometrie verknüpft. InVeKoS-Daten sind in der Regel sehr präzise, da sie jährlich von den Landwirten eingereicht und im Rahmen der Kontrolle von Agrarsubventionen durch die Bundesländer geprüft werden. Entsprechend sind sie für wissenschaftliche Auswertungen, Monitorings, Modellierung sowie der Validierung von Satellitendaten gut geeignet. Zudem ist der Einsatz der digitalen Gelände- und Oberflächenmodelle vorgesehen, um präzise Informationen zu topographischen Parametern wie Hangneigung und Exposition bereitzustellen und Folgeprodukte wie Habitatstrukturen und Abschattungseffekte auf Schlagebene abzuleiten. Ergänzend kommen Drohnendaten zum Einsatz, um die Validierung satellitengestützter Erdbeobachtungsdaten zu unterstützen sowie den Einfluss unterschiedlicher räumlicher Auflösungen auf die Ableitung der ausgewählten landwirtschaftlichen Parameter systematisch zu untersuchen. Alle Geodaten und deren Folgeprodukte werden in eine zentrale Datenbank integriert, die kontinuierlich erweitert wird, um über standardisierte Schnittstellen einen schnellen Zugriff auf die jeweils benötigten Informationen zu gewährleisten.

3 Anwendungsbeispiele

Das EHS CERCbet1 prognostiziert das Erstauftreten und die weitere regionale Ausbreitung der *Cercospora beticola* an Zuckerrüben und berechnet, wann mit welcher Wahrscheinlichkeit erste Symptome im Zuckerrübenbestand zu erwarten sind (JÖRG et al. 2001). Neben Wetterdaten spielen Standort- und Anbaufaktoren eine wichtige Rolle, auf deren Basis das Infektionsrisiko berechnet wird. Dazu zählen die Intensität des Vorjahresbefalls, die Fruchtfolge, sowie die Zuckerrüben-Anbaudichte. Diese Parameter werden über eine Eingabemaske in kategorischen Abstufungen (Dichteklassen) durch den Anwender eingegeben. Der Standortfaktor Anbaudichte, wurde zunächst an die räumliche Lage von Wetterstationen geknüpft und von Experten der Pflanzenschutzdienste der Länder definiert. Aufgrund der ungleichen Verteilung der Wetterstationen konnten Unsicherheiten im Modell nicht ausgeschlossen werden. Daher wurde er durch eine kategorische Nutzereingabe (geringe, mittlere oder hohe Anbaudichte) ersetzt. Mit den neuen satellitenbasierten und jährlich verfügbaren Feldfruchtkarten des Thünen-Instituts (BLICKENDÖRFER et al. 2022), kann die Anbaudichte nun hochaufgelöst und für ganz Deutschland schlaggenau berechnet und in das

bestehende Modell integriert werden (Abb. 3). Die Validierung mit unabhängigen Daten konnte die Genauigkeit der satellitenbasierten Anbaudichte gegenüber der nutzerbasierten Eingabe bestätigen. Nicht zuletzt erhöht sich durch den Einsatz von flächendeckenden EO-Daten auch die Plausibilität des Standortfaktors sowie die Nutzerfreundlichkeit des EHS, da die manuelle und ggf. fehlerbehaftete Nutzereingabe entfällt (ISIP 2025).

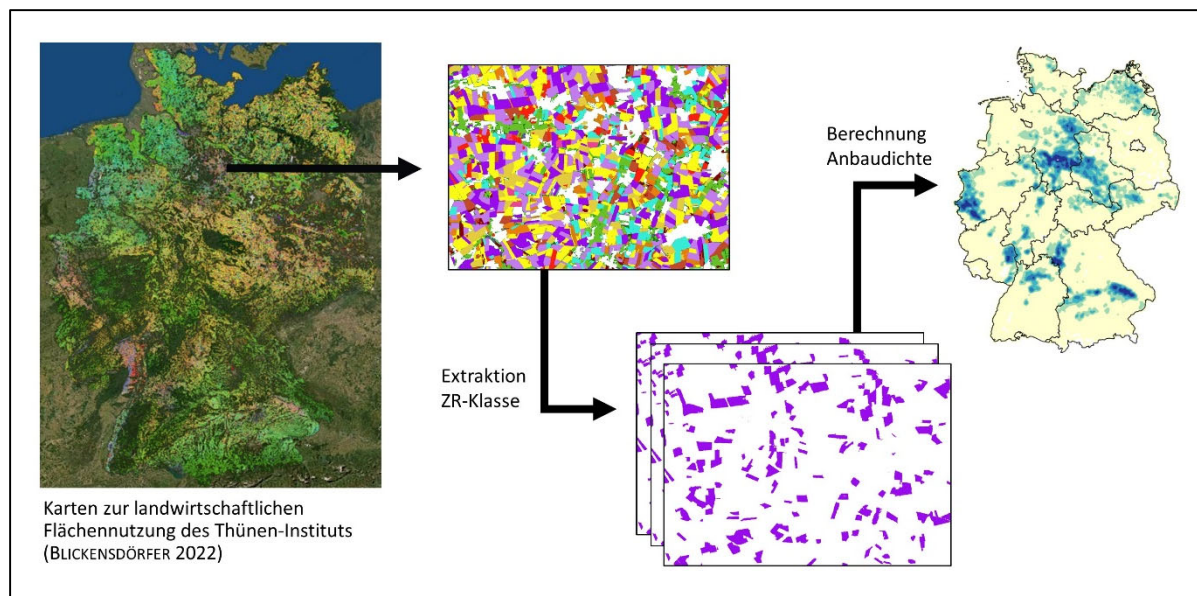


Abb. 3: Schema der Berechnung Zuckerrüben (ZR) Anbaudichte (ESTEL & KLEINHENZ 2024)

Neben der Zuckerrübe wurde die Anbaudichte auch für weitere wichtige Ackerbaukulturen in ganz Deutschland berechnet (Abb. 4). Zurzeit wird geprüft, ob diese Karten ebenfalls in die entsprechenden EHS integriert werden können und zu einer Verbesserung hinsichtlich der Prognosegenauigkeit und Nutzerfreundlichkeit führen.

Auf Grundlage der InVeKoS-Daten der Bundesländer wurden Fruchtfolgekarten erstellt (vgl. Abb. 5) und ein automatisiertes Skript entwickelt, das die Fruchtfolge der letzten fünf Jahre für beliebige Standorte innerhalb Deutschlands ermittelt. Die Fruchtfolge ist ein entscheidender Einflussfaktor auf die Bodenfruchtbarkeit, Krankheitsdynamiken und die Etablierung von Schadorganismen. Die auf InVeKoS-Daten basierenden Fruchtfolge-Zeitreihen können in die EHS einfließen um zum einen Hinweise auf risikobehaftete Fruchtfolgen und zum anderen Empfehlungen für besser geeignete Fruchtfolgen zu liefern. Der operative Einsatz der InVeKoS-Daten in den EHS ist derzeit jedoch nur eingeschränkt möglich, da die Daten für die Mehrheit der Bundesländer jährlich individuell angefragt und im Rahmen von Nutzungsvereinbarungen bereitgestellt werden. Zudem stehen sie oft erst nach Abschluss der Aussaat- bzw. Pflanzperiode der jeweils aktuellen Saison zur Verfügung, was ihre Nutzbarkeit für EHS weiter limitiert. Aktuell werden die InVeKoS-Daten als Referenz (Ground-Truth) genutzt, um die aus Satellitendaten abgeleiteten Parameter hinsichtlich ihrer Eignung für EHS zu testen. Die Praxistauglichkeit des Fruchtfolge-Parameters soll daher zunächst durch flächendeckend verfügbare und hochaufgelöste Satellitendaten hergestellt werden, die einen zeitlich günstigen Aufnahmezeitpunkt haben.

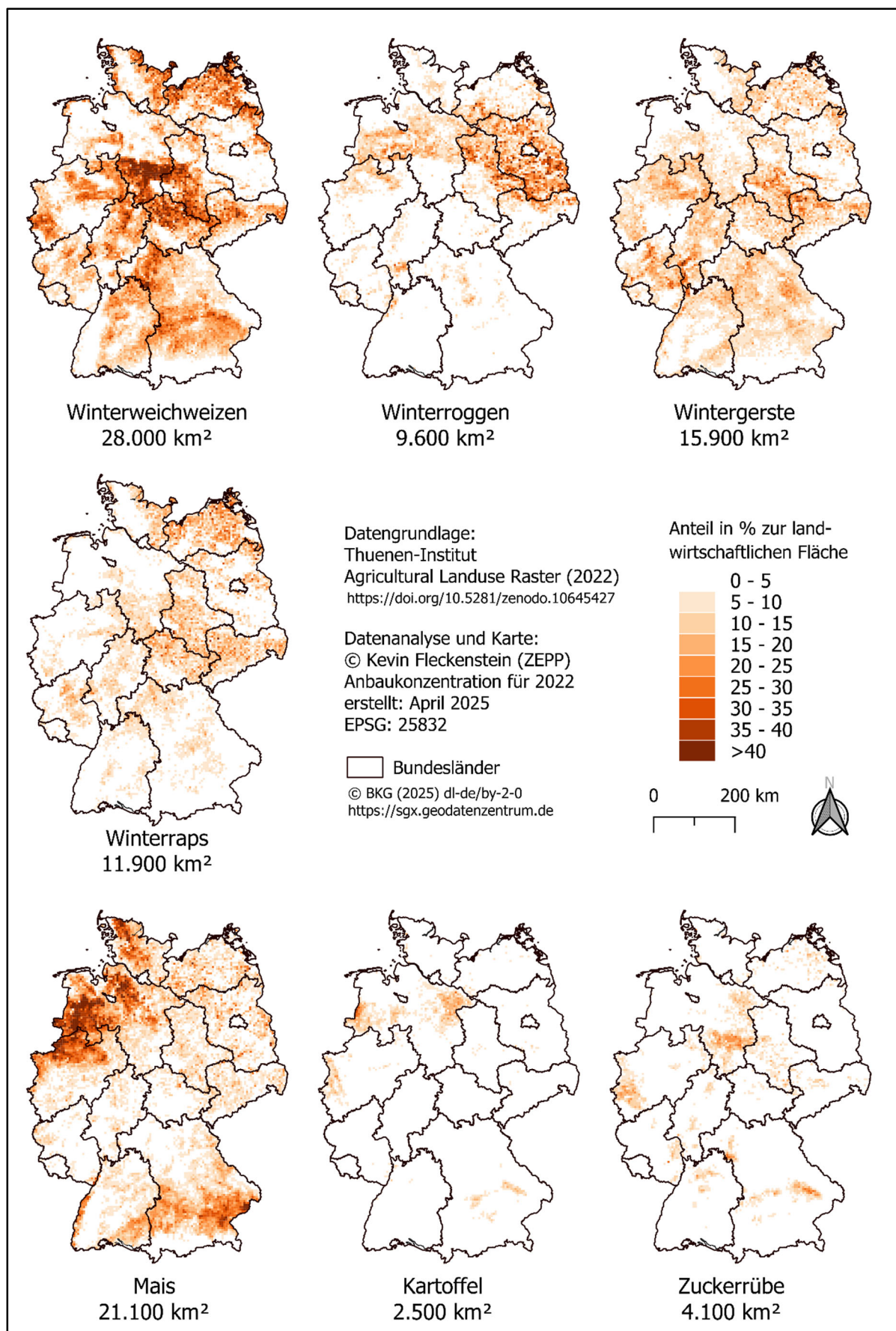


Abb. 4: Anbaudichte ausgewählter Kulturen im Vergleich

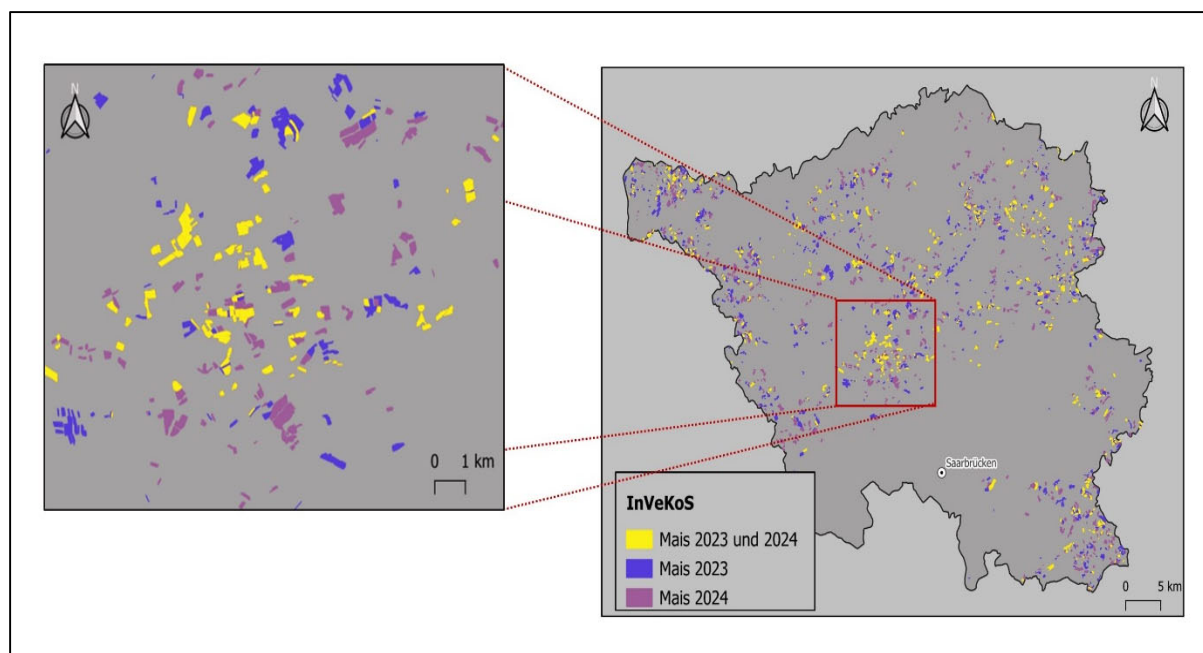


Abb. 5: Fruchtfolge für Mais auf Basis von InVeKoS-Daten des Saarlandes. Gelbe Schläge zeigen eine ungünstige Mais-auf-Mais-Fruchtfolge an, die das Risiko für Schädlinge und Krankheiten erhöhen kann. Eine günstige Folgefrucht stellt z.B. Gerste dar

4 Fazit

Unsere Arbeit zeigt, dass Erdbeobachtungsdaten und innovative Geoinformationstechnologien einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von EHS im Pflanzenschutz leisten können. So ist die Prognosequalität der EHS durch den Einsatz eines Interpolationsverfahren, digitalen Geländemodellen und RADOLAN deutlich erhöht worden. Die erfolgreiche Integration der satellitenbasierten Anbaudichte in das EHS CERBET 1 zeigt eindrücklich, dass neu verfügbaren EO-Daten, insbesondere die Satellitendaten des Copernicus Erdbeobachtungsprogramm und daraus abgeleitete Folgeprodukte, die nächste Innovationsstufe für unsere EHS darstellen. Erstmals ist eine schlag- und teilflächengenaue Analyse möglich. Zudem entfallen manuelle und fehleranfällige Eingaben, was die Plausibilität und Nutzerfreundlichkeit unserer EHS erhöht.

Die wachsende Verfügbarkeit von EO-Daten bietet demzufolge großes Potenzial – vorausgesetzt ist ihre freie Verfügbarkeit und fachgerechte Aufbereitung für den operativen Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis. Wichtig ist eine deutschlandweit einheitlich hohe Datenqualität hinsichtlich Konsistenz, Genauigkeit und zeitlicher Verfügbarkeit – angepasst an Kultur, Erreger und Modellanforderungen. Eine große Herausforderung für die Integration geobasierter Informationen in EHS stellt derzeit die oftmals verspätete Verfügbarkeit der erforderlichen Geodaten dar. Da die Startzeitpunkte vieler EHS in Abhängigkeit von der Entwicklungsphase der Zielkultur sowie der spezifischen Befallsdynamik der jeweiligen Schadorganismen variieren, ist eine zeitgerechte Bereitstellung ackerbaulicher Parameter essenziell. Hierfür ist eine direkte Anbindung über standardisierte Schnittstellen zwischen Geodateninfrastrukturen und Modellarchitekturen erforderlich. Neben der Analyse neu verfügbarer EO-Datenprodukte werden auch diese infrastrukturellen Herausforderungen im laufenden Projekt *GeoProg* adressiert.

5 Literaturverzeichnis

- BLICKENDÖRFER, L., SCHWIEDER, M., PFLUGMACHER, D., NENDEL, C., ERASMI, S. & HOSTERT, P., 2022: Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany. *Remote Sensing of Environment*, **269**, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112831>.
- BMEL, 2024: Zukunftsprogramm Pflanzenschutz des BMEL - Ergebnis nach dem Beteiligungsprozess. Herausgegeben vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn.
- D'ANDRIMONT, R., TAYMANS, M., LEMOINE, G., CEGLAR, A., YORDANOV, M. & VAN DER VELDE, M., 2020: Detecting flowering phenology in oil seed rape parcels with Sentinel-1 and -2 time series. *Remote Sensing of Environment*, **239**, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111660>.
- DWD-HYDROMETEOROLOGIE, 2023: Radolan Kurzbeschreibung (Stand Januar 2023), www.dwd.de/DE/leistungen/radolan/radolan.html, letzter Zugriff 09.04.2025.
- ESEL, S. & KLEINHENZ, B., 2024: Nutzung von Erdbeobachtungsdaten zur Verbesserung von Prognosemodellen und Entscheidungshilfen im Pflanzenschutz, Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2024, Berlin, 19.-21.03.2024.
- EU-KOMMISSION, 2025: Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS), https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/financing-cap/assurance-and-audit/managing-payments_de, letzter Zugriff 10.04.2025.
- HARFENMEISTER, K., ITZEROTT, S., WELTZIEN, C. & SPENGLER, D., 2021: Detecting Phenological Development of Winter Wheat and Winter Barley Using Time Series of Sentinel-1 and Sentinel-2. *Remote Sensing*, **13**(24), 5036, <https://doi.org/10.3390/rs13245036>.
- HEITEFUSS, R., KÖNIG, K., OBST, A. & RESCHKE, M., 2000: Pflanzenkrankheiten und Schädlinge im Ackerbau. Frankfurt am Main: VerlagsUnion Agrar.
- HTITIOU, A., MÖLLER, M., RIEDEL, T., BEYER, F. & GERIGHAUSEN, H., 2024: Towards Optimising the Derivation of Phenological Phases of Different Crop Types over Germany Using Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, **16**(17), 3183, <https://doi.org/10.3390/rs16173183>.
- ISIP, 2025: CERC BET 1, <https://www.isip.de/isip/ackerbau/zuckerrueben/blattkrankheiten/cercbet1>, letzter Zugriff 09.04.2025.
- JÖRG, E., RACCA, P. & KLEINHENZ, B., 2001: The CERC BET - Models. Decision Support Systems for Cercospora Leaf Spot Control in Sugar Beet in Germany. EFITA 2001 // Third conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and the Environment, J. Steffe & Jérôme Steffe (Hrsg.), June 18-20, Montpellier, France. EFITA 2001, **1**.
- KAISER, U., 2007: Epidemiologie von *Cercospora beticola* Sacc. und Befalls-Verlust-Relationen bei Zuckerrüben (*Beta vulgaris* L.) in Abhängigkeit von der Anfälligkeit von Sorten und Konsequenzen für sortenspezifische Bekämpfungsschwellensysteme. Dissertation. Universität Göttingen, Göttingen.
- KLEINHENZ, B. & ZEUNER, T., 2007: Introduction of GIS in decision support systems for plant protection. In: D. V. Alord, F. Feldman, J. Hasler und A. von Tiedemann (Hg.), Bd. **82**. Best Practice in Disease, Pest and Weed Management - The State of the Art. Humboldt Universität, Berlin, 10-12.05.2007: The British Crop Production Council, 24-25.

- SCHMITT, J. & KLEINHENZ, B., 2018: Sklerotinia-Prognose mit SkleroPro. Raps, **36**, 2018 (2), 12-14.
- SCHWIEDER, M., ERASMI, S., NENDEL, C. & HOSTERT, P., 2022: National-scale crop type maps for Germany from combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6451848>.
- SEUTER, M., DR. FECHNER, T. & KÜGELER, A., 2021: Analytical Report n20. Copernicus Data for the open data community. Publication Office of the European Union, Luxembourg.
- WEILANDT, F., BEHLING, R., GONCALVES, R., MADADI, A., RICHTER, L. & SANONA, T., 2023: Early Crop Classification via Multi-Modal Satellite Data Fusion and Temporal Attention. Remote Sensing, **15** (3), 799, <https://doi.org/10.3390/rs15030799>.
- ZEUNER, T., 2007: Landwirtschaftliche Schaderregerprognose mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen. Dissertation. Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Mainz.