

# RessortForschtKlima

Ergebnisse aus drei Jahren Forschung  
für mehr Klimaschutz in  
Landwirtschaft, Wald und Ernährung

Abschlussbericht – Dezember 2025



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Landwirtschaft, Ernährung  
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Beteiligte Ressortforschungsinstitute und Herausgeber:



### **Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)**

Südufer 10  
17493 Greifswald-Insel Riems  
T: +49 38351 7-0



### **Julius Kühn-Institut (JKI)**

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen  
Erwin-Baur-Str. 27  
06484 Quedlinburg  
T: +49 3946 47-0



### **Max Rubner-Institut (MRI)**

Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel  
Haid-und-Neu-Str. 9  
76131 Karlsruhe  
T: +49 721 6625 0



### **Thünen-Institut**

Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
T: +49 531 596 1003

## Zitiervorschlag:

RessortForschtKlima (2025)

Ergebnisse aus drei Jahren Forschung für mehr Klimaschutz in Landwirtschaft, Wald und Ernährung:

Abschlussbericht der RessortForschtKlima-Projekte. <https://doi.org/10.3220/253-2025-220>

## Bildrechte Titelseite:

Doreen König, Julius Kühn-Institut

Dirk von Soosten, Friedrich-Loeffler-Institut

Max Rubner-Institut

Tania Runge, Thünen-Institut



© Die Autoren / Die Autorinnen.

Dieses Werk wird unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

### Fernerkundung für eine Verbesserung der Klimaberichterstattung

**Stefan Erasmí, Marcel Schwieder, Alexander Gocht, Javier Muro, Lukas Blickensdörfer, Tom Brög, Felix Lobert, Gideon Tetteh, Roland Fuß und Axel Don**

#### ZIELSETZUNG

Die Novellierung der EU-LULUCF-Verordnung ([EU-VO 2023/839](#), Anhang V) sieht vor, dass die Mitgliedsstaaten ab 2028 für die Vorlage der Treibhausgasinventare auf räumlich explizite Daten und Methoden für die Schätzungen der Emissionen und die Modellierung der Kohlenstoffspeicher zurückgreifen. Die Verfügbarkeit von bundesweiten und hochauflösenden Landnutzungsdaten und insbesondere „Aktivitätsdaten“ d. h., Informationen über Landnutzungsentscheidungen und Bearbeitungspraktiken von Landwirten, die potenziell zur Kohlenstoffbindung oder -freisetzung bzw. zum Humusaufbau oder -abbau auf landwirtschaftlich genutzten Böden beitragen, ist aber begrenzt. Im Projekt KlimaFern wurden Methoden entwickelt, mit denen die landwirtschaftliche Flächennutzung aus Satellitendaten regelmäßig, bundesweit flächendeckend und zeitnah erfasst werden kann.

Es wurden Satellitendaten und Methoden der künstlichen Intelligenz genutzt, um flächendeckend für die Agrarlandschaft Aktivitätsdaten zu erfassen. Der Schwerpunkt lag hierbei auf der Grünland- und Ackerlandnutzung sowie der Entwicklung von Indikatoren, die einen Humusaufbau oder -abbau abbilden. Darüber hinaus wurden Verfahren zur direkten Kohlenstoffschätzung von Ackerböden aus Satellitendaten entwickelt.

#### METHODIK

##### Satelliten-Datenprozessierung

Für die Erstellung bundesweiter, flächendeckender Landnutzungsdaten müssen große Mengen an Satellitenbilddaten effizient und standardisiert vorverarbeitet werden. Im Projekt wurde hierfür eine Cloud-basierte Prozessierungsumgebung etabliert (FORCE - Framework for Operational Radiometric Correction for Environmental monitoring). FORCE ist ein sehr leistungsfähiges, freies Open-Source-System zur automatisierten Prozessierung von großen Mengen von Satellitenbilddaten – insbesondere für Sentinel-2, Landsat und andere multispektrale Sensoren. Als Ausgabe liegen sogenannte „analysefertigen Daten“ vor, die für die themenbezogenen Entwicklungen und Anwendungen in KlimaFern als Grundlage dienen.

Die Daten der Landsat-Satelliten ermöglichen Berechnungen bis in das Referenzjahr der LULUCF-Verordnung (1990) in einer mittleren räumlichen Auflösung (30 m). Sentinel-2 Daten liegen erst seit 2016 vor, liefern aber eine höhere Auflösung (10 m) sowie eine deutlich höhere zeitliche Datendichte, die eine verbesserte Erfassung von saisonalen Parametern und Landnutzungsdynamiken ermöglicht. Zusätzlich wurden monatliche Composite der räumlich sehr hoch auflösenden PlanetScope Satelliten (3 m) in die Arbeitsabläufe integriert.

#### HIGHLIGHTS

- Erstmalige Verfügbarkeit jährlicher, bundesweit flächendeckender Karten zur landwirtschaftlichen Nutzung seit 1990
- Hochauflösende, einheitliche Erfassung und Quantifizierung des Heckenvorkommens in der Agrarlandschaft für Deutschland
- Integration der Projektergebnisse in die Berechnung der Emissionsinventare (LULUCF) für eine verbesserte Berücksichtigung der landwirtschaftlichen Nutzung
- Erstmalige flächendeckende Berechnung von Humus-Trends mit Fernerkundungsdaten
- Veröffentlichung der Ergebnisse in hochrangigen internationalen Fachzeitschriften

#### Erhalt von Dauergrünland

Böden unter Dauergrünland speichern mehr Kohlenstoff im Vergleich zu Böden unter Ackerland. Die Menge an Bodenkohlenstoff ist unter anderem abhängig vom Grünlandalter, also dem Zeitraum seit initialer Grünlandnutzung auf der Fläche. Ziel war hier die Entwicklung eines Verfahrens zur Schätzung des Grünlandalters aus langen Zeitreihen von Satellitendaten ab 1990. Die Datengrundlage bestand aus Zeitreihen von Offenbodenhäufigkeiten, die für jede einzelne Fläche aus allen für diese Fläche vorliegenden, wolkenfreien Satellitenbildern abgeleitet wurden. Da die Offenbodenhäufigkeit im Ackerland deutlich höher ist als im Grünland (vor allem durch regelmäßige Bodenbearbeitung), lassen sich Phasen mit unterschiedlicher Flächennutzung (Acker-/ Grünland) ableiten und hieraus das Etablierungsjahr von Grünlandflächen bestimmen. Das Modell zur Detektion von Offenboden wurde anhand von Daten aus dem Land Use/Cover Area Frame Survey (LUCAS) trainiert und validiert. Aus den zeitlichen Mustern der Offenbodenhäufigkeit wurde über einen regelbasierten Ansatz das Grünlandalter bestimmt. Der Regelsatz wurde auf alle Flächen mit Grünlandnutzung in Deutschland angewandt und schätzt dadurch für jede Fläche das Jahr der initialen Grünlandnutzung, bzw. das Grünlandalter, seit 1990. Hierfür wird als Ausgangspunkt die heutige räumliche Verteilung von Grünland zugrunde gelegt.

#### Humuserhalt und -aufbau in Ackerland

Der Kohlenstoffaufbau und -abbau auf mineralischen Böden im Ackerland wird maßgeblich durch die Art der landwirtschaftlichen Nutzung (z. B. Fruchtarten, Hecken, Zwischenfrüchte) und deren Produktivität, d. h., der generellen Umsetzung von Strahlungsenergie in Pflanzenwachstum über das gesamte Anbaujahr, beeinflusst. Eine räumlich hochauflösende und bundesweit konsistente Erfassung dieser Einflussgrößen in der Agrarlandschaft fehlte bisher.

**Landnutzung:** Bisherige Modelle zur Kartierung der Hauptfruchtarten sind auf jährliche Referenzdaten angewiesen und können daher nur zeitlich begrenzt zurückgerechnet werden. In KlimaFern wurden die Verfahren zur Kartierung der bundesweiten, landwirtschaftlichen Flächennutzung weiterentwickelt, um Informationen bis zum Referenzjahr der Klimaberichterstattung (1990) zu liefern. In Kooperation mit der Universität Greifswald wurde ein Deep-Learning-Ansatz getestet, der in der Lage ist, räumliche und zeitliche Muster in den oft lückenhaften Satellitenbilddaten und nur begrenzt verfügbaren Referenzdaten zu erkennen, und auf unbekannte Jahre anzuwenden (Pham et al. 2024).

**Bodenbedeckung:** Der Anteil und Zustand der Bodenbedeckung von Ackerland über das Anbaujahr ist ein Zeiger für die Bruttopräproduktion der Vegetation. In Kooperation mit dem Projekt kliMAGS des Thünen-Instituts wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem die Bodenbedeckung als dichte Zeitreihe über das Jahr abgebildet werden kann. Dieses basiert auf einer Analyse der spektralen Eigenschaften der Hauptfraktionen (Vegetation, Ernterückstände, Boden) für jedes Pixel zu jedem Aufnahmezeitpunkt einer Landsat- oder Sentinel-2-Aufnahme (Lobert et al. 2025a). Die Informationen einer Einzelaufnahme für die drei Fraktionen wurden zu Zeitreihen der Bodenbedeckung interpoliert und über regelbasierte Verfahren wurden Indikatoren der Bodenbedeckung für verschiedene Anbauphasen abgeleitet.

**Hecken:** Hecken sind durch die hohe Kohlenstoffbindung eine wichtige Säule bei der Erreichung der Klimaschutzziele im LULUCF-Sektor. Sie erfüllen darüber hinaus weitere wichtige Leistungen wie Erosionsschutz oder Biodiversitätsförderung (siehe Projekt CatchHedge für Details). Eine konsistente flächendeckende Erhebung des Heckenvorkommens fehlt aber. In KlimaFern wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem Hecken in der Agrarlandschaft flächendeckend erfasst werden können. Hierzu wurden räumlich sehr hoch auflösende Satellitendaten von PlanetScope (3 m) genutzt, die für ganz Deutschland als monatliche Komposite vorliegen.

Die Auswertung basiert auf einem Deep Learning Modell, das in der Lage ist, aufgrund von bekannten (gelabelten) Bildbereichen die typischen räumlichen und zeitlichen Muster der spektralen Reflexion von Hecken in den Satellitenbilddaten zu erlernen und auf unbekannte Regionen (die gesamte Agrarlandschaft) zu übertragen. Für die detektierten Hecken erfolgte eine strukturelle Charakterisierung auf Basis eines aus digitalen Höhendaten abgeleiteten Bestands-Höhenmodells.

#### Bodenkohlenstoff in Ackerland

Zustand und Veränderung des Bodenkohlenstoffs sind wichtige Kenngrößen für die Bewertung der Klimaschutzfunktion von Böden und für die Bodengesundheit. Die Durchführung von großräumigen und wiederkehrenden in situ Erhebungen wie der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) liefert wichtige Erkenntnisse über die Bodenfunktionen, ist jedoch zeit- und kostenintensiv.

Ergänzend zur Beprobung können Satellitendaten verwendet werden, um großflächige Bodenkarten zu erstellen. In KlimaFern wurden vegetationsfreie Satellitenbilder über lange Zeiträume ausgewertet, um räumliche und zeitliche Muster der Bodenreflektanz zu erkennen und in Relation zu Bodenparametern zu setzen. Machine Learning Modelle wurden entwickelt, um hochauflösende Karten über den Zustand von Bodeneigenschaften (Kohlenstoffvorräte, Bodentextur etc.) in Deutschland zu erstellen, und um Informationen über die zeitliche Veränderung der Bodeneigenschaften abzuleiten. Für die Kalibrierung und Validierung der statischen Modelle wurden die Daten der BZE-LW verwendet. Für die Analyse der langfristigen Kohlenstoffdynamiken lagen Daten zu Wiederholungsmessungen für den Zeitraum von 1986 bis 2022 für 100 Bodendauerbeobachtungsflächen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft vor.

## ERGEBNISSE

### Erhalt von Dauergrünland

Die Arbeiten zeigen, dass eine verlässliche Abschätzung des Alters von Dauergrünland basierend auf Satellitenbild-Zeitreihen bis in die 1990er Jahre möglich ist. Eine Unterscheidung zwischen Dauergrünland, das schon vor 1990 bewirtschaftet wurde, und Flächen, die nach 1990 neu angelegt wurden, ist mit einer Genauigkeit von 99 % möglich. Wobei neu (ab 1990) angelegte Flächen mit einer Genauigkeit zwischen 75 % und 83 % und einem durchschnittlichen Fehler von 1,3 Jahren erkannt werden. Die bundesweiten Karten zeigen, dass 78 % der heutigen Dauergrünlandflächen bereits vor 1990 als Grünland bewirtschaftet wurden (Abb. 1).

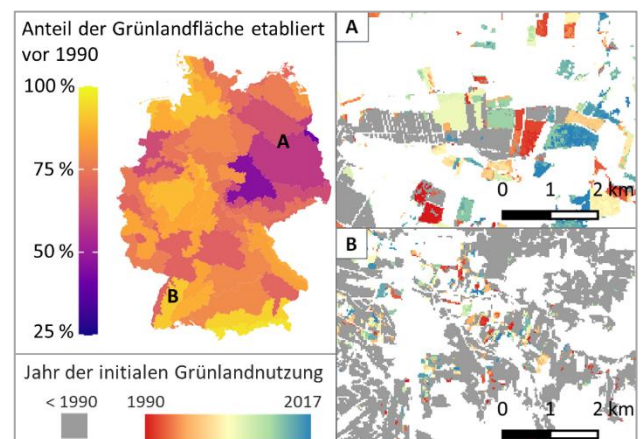


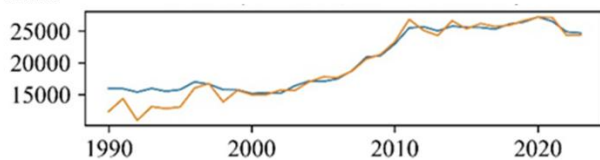
Abbildung 1: Vorhersage des Grünlandalters. Auf Boden-Klima-Räume aggregierter Anteil der Grünlandnutzung, die bereits vor 1990 etabliert wurde (links). Detailansichten dargestellt als Jahr der initialen Grünlandnutzung (rechts).

Die Daten können als Input zur Bodenkohlenstoffmodellierung unter Dauergrünland die Klimaberichterstattung verbessern. Zudem bietet der entwickelte Ansatz Anknüpfungspunkte, um auch die Häufigkeit und Zeitpunkte von Grünlandumbruch als Teil des Grünlandmanagements aus Satellitenbildzeitreihen mittels Offenbodenkartierungen zu schätzen, einen weiteren potenziellen Inputparameter für die Bodenkohlenstoffmodellierung.

## Humuserhalt und -aufbau in Ackerland

**Landnutzung:** Als Ergebnis liegen jährliche, deutschlandweite Karten der landwirtschaftlichen Flächennutzung von 1990-2023 vor. Das auf Deep Learning basierende Verfahren ermöglichte erstmals die verlässliche und konsistente Erstellung von Karten für Jahre ohne flächenscharfe Referenzdaten. Der Vergleich der Karten auf aggregierter Ebene (Kreise, Bundesländer) mit Daten der amtlichen Statistik (Destatis) zeigt eine hohe Übereinstimmung sowohl der absoluten Zahlen (Anbaufläche) als auch der Trends für den betrachteten Zeitraum (Abb. 2, [Tetteh et al. 2025](#)). Auch, wenn die geringe Anzahl an Satellitendaten in den frühen 1990er Jahren und die geringe Anzahl an Referenzdaten für weniger dominante Feldfrüchte die Unsicherheiten in den erzeugten Daten erhöhen, erlauben die Ergebnisse dennoch erstmals eine räumlich explizite hochauflösende Bewertung und Parametrisierung der Anbauvielfalt und hierauf basierend die Abbildung von raum-zeitlichen Mustern in der Anbauabfolge. Aktuell erfolgt eine Evaluierung und Optimierung des Produkts für die Integration in die Kohlenstoffmodellierung und die Erstellung der Emissionsinventare für die Klimaberichterstattung.

### Mais



### Wintergetreide

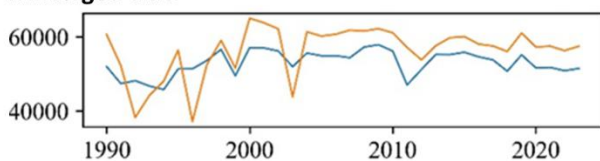


Abbildung 2: Die im Projekt kartierten Flächen in km<sup>2</sup>(orange) von Mais und Wintergetreide im Vergleich zu offiziellen Statistiken von Destatis (blau) von 1990 bis 2023.

**Bodenbedeckung:** Die Ergebnisse zeigen, dass eine Abschätzung der drei Hauptfraktionen (Vegetation, Ernterückstände, Boden) über das Anbaujahr mit hohen Genauigkeiten zwischen 60 und 80 % möglich ist ([Lobert et al. 2025a](#)). Die kalibrierten Modelle wurden anschließend verwendet, um bundesweite und hochauflösende Informationen über den Verlauf der Bodenbedeckung in Deutschland zu erstellen und hieraus exemplarisch Indikatoren der Winterbegrünung abzuleiten. Hierzu wurde für jedes Feld der dominante Bedeckungsgrad nach der Ernte der Hauptfrüchte modelliert, um Informationen über Zeitpunkt und Dauer der Winterbegrünung und weiterer Bedeckungsformen (Brachen, organische Auflagen etc.) abzuleiten ([Lobert et al. 2025b](#)). Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass der prozentuale Anteil der Winterbegrünung auf Ackerflächen in Deutschland seit 2017 zugenommen hat (17 % zu 21 %), während sich der Anteil der offenen Brachen (Schwarzbrachen) im selben Zeitraum deutlich reduziert hat (20 % zu 12 %). Die Karten zur Bodenbedeckung liegen für die Jahre 2017 bis 2023 vor und liefern hochauflösende Daten zur landwirtschaftlichen Flächennutzung, die als Modellpara-

meter für die kleinräumige Modellierung der Kohlenstoffbindung im Boden Verwendung finden und darüber hinaus die Bewertung des Bodenzustands für weitere Funktionen (z. B. Bodenerosion, biologische Vielfalt) unterstützen.

**Hecken:** Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass das entwickelte Deep Learning Modell sehr geeignet ist bundesweit, flächendeckend Hecken in der Agrarlandschaft vorherzusagen ([Muro et al. 2025](#)). Ein Vergleich der Ergebnisse auf Basis der PlanetScope-Daten mit einer Ableitung aus noch höher auflösenden Satellitendaten (1,5 m, Spot/Pleiades) hat gezeigt, dass der Nachteil einer etwas niedrigeren Auflösung (3 m), die ungefähr der Mindestbreite von Hecken entspricht, durch die wiederholte Erfassung im zweimonatlichen Rhythmus (April bis Oktober) kompensiert werden kann. Für die Agrarlandschaft in Deutschland konnte somit im Jahr 2022 ein Heckenbestand von 4.081 km<sup>2</sup> geschätzt werden, was etwa 2,3 % der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche entspricht. Die Validierung der kartierten Heckenlängen innerhalb der Testgebiete zeigt, dass die Modellgüte mit über 95 % als sehr hoch einzuschätzen ist. Hieraus ergab sich eine Gesamtlänge von etwa 372.230 km und rund 2,1 km Hecke pro km<sup>2</sup> Agrarfläche, die jedoch ungleich verteilt ist und sich zu einem großen Anteil auf Gebiete im Norden und Nordwesten Deutschlands konzentriert (Abb. 3).

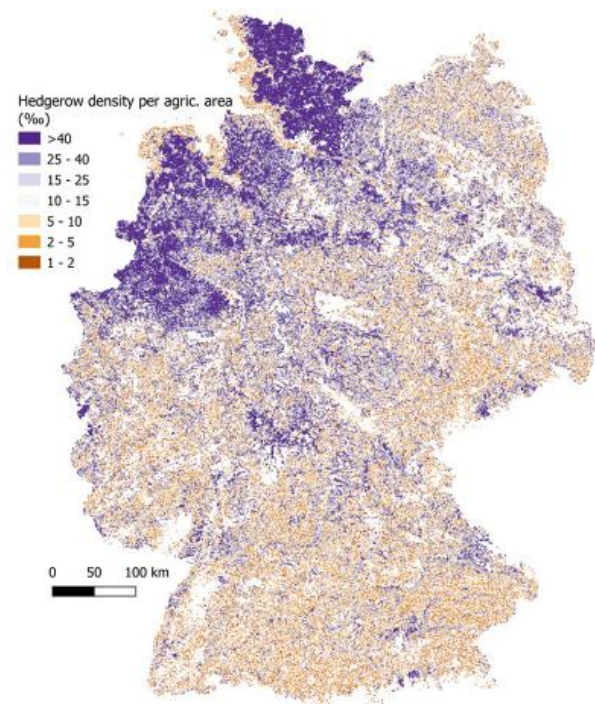


Abbildung 3: Anteil (in %) von Hecken an der landwirtschaftlichen Fläche in Deutschland (aggregiert auf 1 km<sup>2</sup> Hexagone).

## Bodenkohlenstoff in Ackerland

Die Ergebnisse zeigen, dass die Auswertung der Bodenreflektanz bzw. Bodenfarbe aus Kompositen vieler verfügbarer Satellitendaten geeignet ist, um großflächige Informationen über den Zustand und die Veränderung des Bodenkohlenstoffs in landwirtschaftlich genutzten Flächen abzuleiten (Abb. 4). Für die statische Modellierung der Kohlenstoffvorräte auf Grundlage von Sentinel-2-Bildern und der BZE-LW wurde eine Modellgenauigkeit von 82 %

## KLIMAWIRKUNG

- Die Ergebnisse und Produkte aus KlimaFern tragen dazu bei, die Berechnung der Emissionsinventare für den LULUCF-Sektor zu verbessern.
- Die Verfahren zur flächendeckenden Schätzung von Bodenparametern ermöglichen eine unabhängige Evaluierung der (langfristigen) Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen.
- Die in KlimaFern erstellten Karten und Produkte sind öffentlich über eine [Zenodo-Community](#) und damit auch für eine Nachnutzung im Rahmen weiterer Umwelt- und Klimaschutzprojekte verfügbar.

erreicht, was in Bezug auf die kleinräumige Variabilität des Bodens als sehr hoch einzuschätzen ist (Broeg et al. 2026). Die Kartierung des Tongehalts als wichtiger erklärender Parameter für den Bodenkohlenstoff war ebenso mit hoher Genauigkeit (knapp 90 %) möglich. Landwirtschaftlich genutzte Flächen mit sehr großen Kohlenstoffvorräten befinden sich überwiegend in nordwestlichen Regionen, in denen organischen Böden mit hohen Sandgehalten dominieren (Abb. 4). Im Vergleich zeigt sich eine hohe Diversität der Bodentextur in Süddeutschland, mit teils sehr hohen Tongehalten über 50 %. Die Projektergebnisse zeigen, dass sich diese Diversität der Bodenlandschaften teils deutlich auf die Zusammenhänge zwischen Bodenfarbe und -eigenschaften auswirkt und in der Modellierung berücksichtigt werden muss (Broeg et al. 2024a).

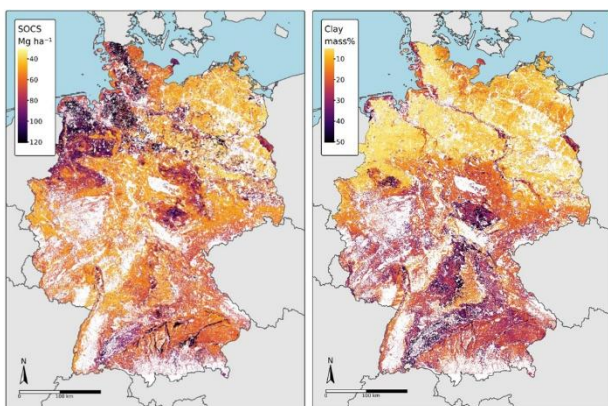


Abbildung 4: Vorhersage der Bodenkohlenstoffvorräte (links) sowie der Tongehalte (rechts) in Deutschland, auf Basis von Sentinel-2 Daten und den Proben der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft.

In KlimaFern wurden erstmals flächendeckende Informationen über Kohlenstoffänderungen in Ackerböden abgeleitet und anhand langjähriger Messdaten validiert (Broeg et al. 2024b). Die Ergebnisse liefern signifikante Informationen über Kohlenstofftrends. Die Karten können

## HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR POLITIK UND PRAXIS

Satellitendaten ermöglichen eine flächendeckende Erfassung der Landnutzung und der Abschätzung des Zustands von Ökosystemen und deren Veränderung. Sie stellen eine wichtige Säule für verschiedene Monitoring- und Evaluierungsvorhaben sowie Berichtspflichten auf nationaler Ebene und darüber hinaus dar. Der nachhaltige Einsatz satellitenbasierter Fernerkundung und moderner KI-Verfahren erfordert die langfristige und kontinuierliche Verfügbarkeit von Daten (siehe Copernicus-Programm der EU) und die Bereitstellung und Etablierung dauerhafter organisatorischer und IT-Strukturen. Dies ist von zentraler Bedeutung sowohl für eine anwendungsspezifische Inwertsetzung als auch für eine Ressort-übergreifende Nutzung von Ressourcen und Synergien im Bereich Erdbeobachtung der Landoberfläche.

somit die flächendeckende Bilanzierung des Bodenkohlenstoffs unterstützen und helfen, die Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen wie Carbon Farming unabhängig zu evaluieren.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Ergebnisse von KlimaFern zeigen, dass Methoden der Fernerkundung genutzt werden können, um bundesweit einheitliche und hochauflösende Karten über die landwirtschaftliche Flächennutzung zu erstellen. Dies umfasst sowohl die Ableitung flächendeckender Aktivitätsdaten (Hauptfruchtarten, Hecken, Bodenbedeckung etc.) als auch Karten zur direkten Kohlenstoffschätzung in Ackerböden. Die in KlimaFern entwickelten Methoden und Produkte tragen dazu bei, die Klimaberichterstattung für den LULUCF-Sektor zu verbessern und die Wirksamkeit von Klimaschutz-Maßnahmen in der Landwirtschaft unabhängig zu überprüfen.

## AUSGEWÄHLTE VERÖFFENTLICHUNGEN

- Broeg T, Don A, ..., Erasmi S (2024a): Using local ensemble models and Landsat bare soil composites for large-scale soil organic carbon maps in cropland. *Geoderma* 444, 116850. doi. 10.1016/j.geoderma.2024.116850
- Broeg T, Don A, ..., Erasmi S (2024b): Spatiotemporal Monitoring of Cropland Soil Organic Carbon Changes From Space. *Global Change Biology* 30, e17608. doi. 10.1111/gcb.17608
- Lobert F, Schwieder S, ..., Erasmi S (2025): Unveiling year-round cropland cover by soil-specific spectral unmixing of Landsat and Sentinel-2 time series. *Remote Sensing of Environment* 318, 114594. doi. 10.1016/j.rse.2024.114594
- Muro J, Blickensdörfer L, ..., Erasmi S (2025): Hedgerow mapping with high resolution satellite imagery to support policy initiatives at national level. *Remote Sensing of Environment* 328, 114870. doi. 10.1016/j.rse.2025.114870
- Pham VD, Tetteh G, ..., van der Linden S (2024): Temporally transferable crop mapping with temporal encoding and deep learning augmentations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 129, 103867. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103867>

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Landwirtschaft, Ernährung  
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages