

Leitfaden: Digitalisierung in der Landwirtschaft – Potenzial für KMU's



Hofmann Marcus

Forschung Burgenland GmbH

30.9.2024

Inhalt

1.	Abbildungen	3
2.	Einleitung zum Leitfaden	4
3.	Begriffsdefinitionen	5
3.1	Fernerkundung	5
3.2	In-situ Daten	6
3.3	Untergliederung von Fernerkundungssystemen	6
3.3.1	Sensorsegment	6
3.3.2	Bodensegment	7
3.3.3	Veredlungssegment	7
3.4	Weitere Begriffe	7
.....	8
4.	Fernerkundung im Überblick	8
4.1	Auflösungsarten	8
4.1.1	Räumliche Auflösung	8
4.1.2	Spektrale Auflösung	8
4.1.3	Zeitliche Auflösung	9
4.1.4	Radiometrische Auflösung	9
4.1.5	Geometrische Auflösung	9
4.2	Aktive vs. Passive Verfahren	9
4.2.1	Passive Fernerkundungsverfahren	9
4.2.2	Aktive Fernerkundungsverfahren	10
4.3	Zugriffsmethoden auf Rohdaten	11
4.4	Verarbeitungsstufen von Satellitendaten	12
4.4.1	Level 0 – Rohdaten (Raw Data)	13
4.4.2	Level 1 – Radiometrisch und geometrisch korrigierte Daten	13
4.4.3	Level 2 – Atmosphärisch korrigierte Daten (Bottom-of-Atmosphere)	13
4.5	Öffentlich finanzierte Sattelitenprogramme	14
5.	Nutzung von Satellitendaten für die Landwirtschaft	16
5.1	Übersicht der öffentlich finanzierten Satelliten	16
5.2	Datenportale	18

5.2.1	Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE)	18
5.2.2	Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)	19
5.2.3	Sentinel Hub EO Browser	19
5.2.4	WEkEO – Kombinierte Umwelt- und Wetterdaten	20
5.2.5	Landsat-Programm (NASA/USGS)	20
5.3	Datenprodukte.....	20
5.4	Praxisbeispiel – NDVI-Analyse	23
5.4.1	NDVI-Analyse mit dem Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE).....	24
5.4.2	NDVI-Analyse mit dem Sentinel Hub EO Browser	28
6.	Fernerkundung in der Landwirtschaft	31
6.1	Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung bei Winterweizen	31
6.2	Optimierung des Mahdzeitpunkts im Grünland mit NDVI-Zeitreihen.....	35
6.3	Teilflächenspezifische Lösungen – Maschinenring – aGRAR-ZT	37
6.3.1	Erhebung und Analyse von georeferenzierten Bodenparameterdaten	37
6.3.2	Erhebung und Analyse von Satellitendaten	39
	Literaturverzeichnis	42

1. Abbildungen

Abbildung 1 Copernicus Browser - Auswahl des Untersuchungsgebietes	24
Abbildung 2 Copernicus Browser - NDVI Darstellung.....	25
Abbildung 3 Copernicus Browser - Graphische Darstellung der Reflexionswerte des Untersuchungsgebietes und des Referenzwertes.....	26
Abbildung 4 Copernicus Browser - Numerische Darstellung der Spektralbänder und Ihrer Reflexionswerte	27
Abbildung 5 Copernicus Browser - NDVI Zeitreihendarstellung	28
Abbildung 6 EO Browser - Auswahl des Untersuchungsgebietes	29
Abbildung 7 EO Browser - NDVI Darstellung.....	30
Abbildung 8 EO Browser - NDVI Darstellung zwei unterschiedlicher Zeitpunkte durch Nutzung der Compare - Funktion	30
Abbildung 9 NDVI-Daten (rechts) als Grundlage für die Erstellung von Applikationskarten (links).	33
Abbildung 10 Ertragsunterschiede je nach Düngestrategie. Farblich dargestellt ist der Ertrag in Mg/ha.	34
Abbildung 11 Schwierigkeit der Unterscheidung zwischen Grasland und Grünland	35
Abbildung 12 Zeitreihenanalyse der NDVI Werte	36
Abbildung 13 Veris-Bodensensor Befestigung.....	37
Abbildung 14 Links: Erhobene georeferenzierte Sensordaten; Rechts: Einteilung in homogene Teilflächen.....	38
Abbildung 15 Darstellung NDVI für ein ausgewähltes Feld und zwei unterschiedliche Tage. Links: NDVI mit einer Wolkenbedeckung von 0 %; Rechts: NDVI mit einer Wolkenbedeckung von mehr als 50 %	40
Abbildung 16 Vergleich Zonierungen anhand unterschiedlichen Datenquellen. Links: Zonierung mittels Bodensensordaten; Rechts: Zonierung mittels Satellitendaten	41

2. Einleitung zum Leitfaden

Die Landwirtschaft steht vor einer Vielzahl von Herausforderungen – verursacht durch den Klimawandel, steigende Anforderungen an Effizienz und Nachhaltigkeit sowie zunehmenden Wettbewerbsdruck. Moderne Technologien bieten jedoch innovative Lösungen, um diesen Entwicklungen wirksam zu begegnen. Eine dieser Schlüsseltechnologien ist die Fernerkundung, die mithilfe von Satellitendaten wertvolle Informationen über landwirtschaftliche Flächen liefert – präzise, flächendeckend und regelmäßig aktualisiert.

Dieser Leitfaden richtet sich speziell an kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in der Landwirtschaft sowie an landwirtschaftliche Beratungsstellen. Ziel ist es, einen verständlichen und praxisnahen Überblick darüber zu geben, wie Satellitendaten – insbesondere aus dem europäischen Copernicus-Programm – in Kombination mit Bodensensorik sinnvoll und gewinnbringend in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt werden können.

Satelliten- und Sensordaten eröffnen neue Potenziale – von der Ertragsprognose, über optimierte Düngestrategien bis hin zur gezielten Schädlingsbekämpfung. Durch die Nutzung solcher Daten können Landwirte ihre Felder effizienter bewirtschaften, Ressourcen gezielter einsetzen und gleichzeitig die Umwelt schonen.

Im Zentrum dieses Leitfadens stehen unter anderem folgende Fragestellungen:

- Welche Satellitendaten stehen zur Verfügung und wie erhält man Zugang?
- Wie können diese Daten ohne umfangreiches technisches Vorwissen genutzt werden?
- Welche landwirtschaftlichen Anwendungsfälle gibt es?
- Welche Vorteile bietet die Kombination mit Bodensensorsystemen?
- Welche Tools und Plattformen sind besonders für den Einstieg geeignet?

Zudem werden reale Anwendungsbeispiele, technische Grundlagen sowie wirtschaftliche Aspekte beleuchtet – mit Fokus auf Österreich und die Bedürfnisse regionaler Betriebe.

Dieser Leitfaden soll als praktische Orientierungshilfe dienen, um den Einstieg in die Nutzung von Fernerkundungstechnologien zu erleichtern – und KMUs dabei unterstützen, die Vorteile dieser modernen Werkzeuge für eine zukunftsorientierte, nachhaltige Landwirtschaft voll auszuschöpfen.

3. Begriffsdefinitionen

3.1 Fernerkundung

Fernerkundung bezeichnet die Erfassung, Verarbeitung und Analyse von Informationen über Objekte oder Flächen auf der Erdoberfläche, ohne mit ihnen in direkten Kontakt zu treten. Dies geschieht mithilfe von Sensoren, die elektromagnetische Strahlung messen – typischerweise aus der Luft oder aus dem Weltraum¹.

Fernerkundung ist eine Schlüsseltechnologie zur systematischen Beobachtung und Analyse von Prozessen auf der Erdoberfläche. Sie basiert auf der Messung von elektromagnetischer Strahlung, die von Oberflächen reflektiert, emittiert oder absorbiert wird. Sensoren auf Satelliten, Flugzeugen oder Drohnen zeichnen diese Signale auf und wandeln sie in digitale Daten um. Man unterscheidet dabei zwischen zwei Hauptarten²:

- Passive Fernerkundung nutzt Sonnenlicht als natürliche Energiequelle, z. B. optische Sensoren wie bei Sentinel-2 Satelliten.
- Aktive Fernerkundung arbeitet mit eigenen Signalquellen, z. B. Radarstrahlen wie bei Sentinel-1 Satelliten, und kann unabhängig von Tageslicht und Wetterbedingungen eingesetzt werden.

Die gewonnenen Daten werden analysiert und z. B. in Form von Karten, Vegetationsindizes (wie NDVI), Zeitreihen oder Feuchtigkeitsprofilen bereitgestellt. In der Landwirtschaft unterstützen Fernerkundungsdaten unter anderem:

- das Monitoring des Pflanzenwachstums,
- die Kartierung von Bodenfeuchte,
- die Früherkennung von Pflanzenstress durch Schädlinge, Trockenheit oder Nährstoffmangel,
- die teilflächenspezifische Düngung und Bewässerung
- etc.

Ein zentraler Vorteil liegt in der flächendeckenden, wiederholbaren und objektiven Erfassung – oft kostenfrei verfügbar über Plattformen wie dem Copernicus Open Access Hub³.

¹ Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG): *Fernerkundung*, online unter: <https://www.bkg.bund.de> [Zugriff: Mai 2025].

² ESA – European Space Agency: *Observing the Earth – EO Missions*, online unter: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth [Zugriff: Mai 2025].

³ Copernicus – European Union’s Earth Observation Programme: *Remote Sensing and Agriculture*, online unter: <https://www.copernicus.eu/en> [Zugriff: Mai 2025].

3.2 In-situ Daten

Im Gegensatz zur Fernerkundung, bei der Daten aus der Distanz (z. B. per Satellit) erfasst werden, stammen In-situ-Daten direkt vom Boden oder aus der Umgebung selbst. Sie entstehen durch physikalische, chemische oder biologische Messungen mit Geräten oder Sensoren, die sich unmittelbar in oder auf dem untersuchten Medium befinden – beispielsweise im Boden, Wasser oder in der Atmosphäre⁴.

In der landwirtschaftlichen Praxis zählen zu den wichtigsten In-situ-Datenquellen⁵:

- Bodenfeuchte- und Temperatursensoren,
- mobile Bodenscanner,
- automatische Wetterstationen,
- Probennahmen im Labor (z. B. Nährstoffanalysen),
- Ertragssensoren an Mähdreschern.

In der Erdbeobachtung dienen In-situ-Daten sowohl zur Validierung (Überprüfung der Genauigkeit) als auch zur Kalibrierung von Fernerkundungsprodukten. Gerade im landwirtschaftlichen Kontext ist die Kombination beider Datenarten – also von Satellitenbeobachtung mit Bodensensorik – besonders wertvoll: Sie ermöglicht eine praxisnahe, skalierbare und belastbare Entscheidungsgrundlage für das betriebliche Management⁶.

3.3 Untergliederung von Fernerkundungssystemen

Fernerkundungssysteme können untergliedert werden in ein Sensorsegment, in ein Bodensegment und in ein Veredlungssegment⁷.

3.3.1 Sensorsegment

Ein Sensorsegment besteht allgemein aus der Plattform und dem eigentlichen Sensor. Zumeist wird auf einer Drohne (UAS), auf einem Flugzeug oder auf einem Satelliten ein digitaler Multispektralabtaster (Scanner) geführt, der in verschiedenen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums die eintreffende Strahlung erfasst.

⁴ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Fernerkundung in der Landwirtschaft – Potenziale und Anwendungen (Broschüre), Berlin 2022, S. 15.

Online unter: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Fernerkundung.pdf> [Zugriff: Mai 2025].

⁵ Copernicus Land Monitoring Service (CLMS): In situ component, online unter: <https://land.copernicus.eu> [Zugriff: Mai 2025].

⁶ European Environment Agency (EEA): Glossary – In situ data, online unter: <https://www.eea.europa.eu/help/glossary> [Zugriff: Mai 2025].

⁷ Lexikon der Fernerkundung: Einführung in die Fernerkundung. Online verfügbar unter: <https://www.fe-lexikon.info/Fernerkundung.htm> [Zugriff: Mai 2025].

Fernerkundungssensoren sammeln Daten, indem sie die von der Erde reflektierte bzw. abgestrahlte Energie erfassen.

Diese Sensoren können entweder passiv oder aktiv sein⁸. Passive Sensoren reagieren auf äußere Reize. Sie erfassen natürliche Energie, die von der Erdoberfläche reflektiert oder ausgestrahlt wird. Die häufigste Strahlungsquelle, die von passiven Sensoren erfasst wird, ist reflektiertes Sonnenlicht.

Im Gegensatz dazu nutzen aktive Sensoren interne Reize, um Daten über die Erde zu sammeln. Ein Laser-Fernerkundungssystem beispielsweise projiziert einen Laser auf die Erdoberfläche und misst die Zeit, die der Laser braucht, um zum Sensor zurückzereflektieren.

Die Aufgaben eines digitalen, satellitengestützten Sensorsegments sind somit die Abtastung eines Gebietes (Scannen) sowie u.a. die Digitalisierung und Kodierung der Daten und die Zwischenspeicherung mit anschließender Übertragung zur Bodenstation.

3.3.2 Bodensegment

Die Aufgabe des Bodensegments besteht im Empfang und der Aufzeichnung (nur bei Satelliten) sowie der Aufbereitung und der Vorverarbeitung der Daten. Dabei gehören zur Aufbereitung u.a. Systemkorrekturen, das Hinzufügen von Zusatzinformationen (u.a. Aufnahmezeit) sowie geometrische oder radiometrische Korrekturen. Als Ergebnis entstehen sogenannte systemkorrigierte Daten.

3.3.3 Veredlungssegment

Im Veredlungssegment wird die eigentliche Umsetzung der erfassten Daten in interpretierbare Ausgabebilder vorgenommen, wodurch die Auswertung und Nutzung von Fernerkundungsdaten erfolgt. Hierzu werden Methoden der visuellen Interpretation und der digitalen Bildverarbeitung herangezogen.

3.4 Weitere Begriffe

Satellitendaten: Digitale Daten, die von Erdbeobachtungssatelliten aufgenommen werden. Je nach Satellit und Sensor liefern sie unterschiedliche spektrale, räumliche und zeitliche Auflösungen.

Geodaten: Raumbezogene Daten mit einem geografischen Bezug, die sowohl Fernerkundungs- als auch In-situ-Daten umfassen können.

Georeferenzierung: Die Verknüpfung von Daten mit einem konkreten Ort auf der Erdoberfläche durch Koordinatenangaben.

⁸ de Lange, N. (2013): Fernerkundung und digitale Bildverarbeitung. In: Geoinformatik. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-34807-5_10

Vegetationsindex (z. B. NDVI): Ein spektral basierter Kennwert, der z. B. auf Grundlage von Nahinfrarot- und Rotlichtreflexionen berechnet wird, um den Zustand und die Vitalität der Vegetation zu bewerten.

Bodenparameter: Merkmale des Bodens, wie Feuchtigkeit, Nährstoffgehalt, pH-Wert oder Textur, die für landwirtschaftliche Entscheidungen relevant sind.

4. Fernerkundung im Überblick

4.1 Auflösungsarten

In der Fernerkundung werden fünf wesentliche Auflösungsarten unterschieden, die die Qualität, Aussagekraft und Anwendbarkeit der erfassten Daten maßgeblich beeinflussen: räumliche, spektrale, zeitliche, radiometrische und geometrische Auflösung⁹.

4.1.1 Räumliche Auflösung

Die räumliche Auflösung beschreibt die kleinste Fläche auf der Erdoberfläche, die von einem Sensor noch als separates Objekt erkannt werden kann. Sie wird meist in Metern angegeben und entspricht der Fläche, die ein Pixel im Bild darstellt. Eine hohe räumliche Auflösung erlaubt die Erkennung kleinerer Details und Strukturen. Beispielsweise erreicht WorldView-3 eine Auflösung von bis zu 0,31 m, während Landsat-8 bei 30 m liegt¹⁰.

4.1.2 Spektrale Auflösung

Die spektrale Auflösung bezeichnet die Fähigkeit eines Sensors, das elektromagnetische Spektrum in verschiedene Wellenlängenbereiche zu unterteilen. Je höher diese Auflösung, desto mehr (und schmalere) Spektralbänder können erfasst werden. Multispektrale Sensoren (z. B. Sentinel-2) erfassen etwa 10 Bänder, hyperspektrale Sensoren (z. B. EnMAP) hingegen Hunderte³. Dies ermöglicht eine sehr differenzierte Analyse von Materialien, Pflanzen oder Wasserqualität¹¹.

⁹ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Fernerkundung in der Landwirtschaft – Potenziale und Anwendungen, Berlin 2022, S. 15–16. Online unter: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Fernerkundung.pdf> [Zugriff: Mai 2025].

¹⁰ Lexikon der Fernerkundung: *Auflösung*, online unter: <https://www.fe-lexikon.info/lexikon/aufloesung> [Zugriff: Mai 2025].

¹¹ Lexikon der Fernerkundung: *Auflösung*, online unter: <https://www.fe-lexikon.info/lexikon/aufloesung> [Zugriff: Mai 2025].

4.1.3 Zeitliche Auflösung

Die zeitliche Auflösung beschreibt, in welchem Zeitintervall ein bestimmtes Gebiet von einem Sensor erneut erfasst wird. Hohe zeitliche Auflösung ist entscheidend für die Beobachtung dynamischer Prozesse wie Vegetationsveränderungen oder Extremwetterereignisse. Sentinel-2 beispielsweise überfliegt dieselbe Region alle fünf Tage, Landsat-8 alle 16 Tage¹².

4.1.4 Radiometrische Auflösung

Die radiometrische Auflösung gibt an, wie fein ein Sensor Unterschiede in der Intensität der reflektierten oder emittierten Strahlung erfassen kann. Sie wird in Bit angegeben: Ein 8-Bit-Sensor unterscheidet 256 Helligkeitsstufen, ein 12-Bit-Sensor bereits 4096. Eine höhere radiometrische Auflösung erlaubt feinere Kontraste, was besonders bei der Analyse homogener Flächen (z. B. trockener Ackerboden) hilfreich ist¹³.

4.1.5 Geometrische Auflösung

Die geometrische Auflösung bezeichnet die Genauigkeit, mit der Positionen und räumliche Beziehungen von Objekten auf der Erdoberfläche im Bild wiedergegeben werden. Verzerrungen durch Sensorgeometrie, Erdkrümmung oder Geländeformen müssen dabei geometrisch korrigiert werden, um die Lageinformationen präzise zu halten⁵. Sie ist besonders relevant für die Integration in Geoinformationssysteme (GIS) oder kartografische Anwendungen¹⁴.

4.2 Aktive vs. Passive Verfahren

In der Fernerkundung unterscheidet man zwei grundlegende Typen von Sensorsystemen: passive und aktive Verfahren. Beide haben unterschiedliche Funktionsprinzipien und spezifische Vor- und Nachteile, werden jedoch teilweise auch kombiniert in komplexen Fernerkundungssystemen eingesetzt¹⁵.

4.2.1 Passive Fernerkundungsverfahren

Passive Sensoren zeichnen elektromagnetische Strahlung auf, die von der Erdoberfläche reflektiert oder emittiert wird. Die primäre Energiequelle dabei ist die

¹² OpenGeoEdu: *Auflösungen*, online unter: <https://learn.opengeoedu.de/fernerkundung/vorlesung/Fernerkundung/aufloesungen> [Zugriff: Mai 2025].

¹³ Lexikon der Fernerkundung: *Auflösung*, online unter: <https://www.fe-lexikon.info/lexikon/aufloesung> [Zugriff: Mai 2025].

¹⁴ Wikipedia: *Auflösung (Fernerkundung)*, online unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Aufl%C3%B6sung_%28Fernerkundung%29 [Zugriff: Mai 2025].

¹⁵ NASA Earthdata: Remote Sensing Instruments – Active vs Passive, online unter: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing> [Zugriff: Mai 2025].

Sonne. Solche Sensoren funktionieren daher nur unter geeigneten Beleuchtungsbedingungen – meist bei Tageslicht und wolkenfreiem Himmel¹⁶.

Typische Beispiele sind:

- Multispektralkameras, die Licht in verschiedenen Wellenlängenbereichen erfassen, um etwa Vegetationszustände, Wasserflächen oder Bodenarten zu klassifizieren.
- Thermalsensoren, die die vom Boden ausgestrahlte Infrarotstrahlung erfassen, um Oberflächentemperaturen oder Materialeigenschaften zu analysieren¹⁷.

Ein einfaches Beispiel für passive Fernerkundung ist das menschliche Auge: Es nimmt sichtbares Licht im Spektralbereich von etwa 0,4–0,7 Mikrometern auf und ermöglicht dadurch visuelle Interpretation von Form, Farbe und Struktur der Umgebung – jedoch mit eingeschränktem Spektrum, begrenzter Speicherfähigkeit und keiner Möglichkeit, schwer zugängliche Gebiete zu beobachten¹⁸.

4.2.2 Aktive Fernerkundungsverfahren

Aktive Sensoren senden selbst elektromagnetische Signale aus und messen das Echo, das von der Erdoberfläche zurückgestreut wird. Dadurch sind sie unabhängig von externen Lichtquellen und können rund um die Uhr sowie bei nahezu allen Wetterbedingungen eingesetzt werden¹⁹.

Beispiele für aktive Verfahren sind:

- Radar-Systeme (z. B. Synthetic Aperture Radar – SAR), die Mikrowellen aussenden und die Stärke und Laufzeit des Rücksignals auswerten. Diese Systeme – wie etwa das C-Band-Radar auf Sentinel-1 – sind besonders hilfreich für die Kartierung von Bodenfeuchte, Vegetationsstrukturen oder auch von Überschwemmungsflächen²⁰.
- LiDAR (Light Detection and Ranging), das Laserstrahlen aussendet, um sehr genaue Höhenprofile und 3D-Modelle von Gelände oder Bewuchs zu erstellen²¹.

¹⁶ GISGeography: Passive vs Active Sensors in Remote Sensing, online unter: <https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/> [Zugriff: Mai 2025].

¹⁷ NASA: *What are passive and active sensors?*, online unter: <https://www.nasa.gov/general/what-are-passive-and-active-sensors> [Zugriff: Mai 2025].

¹⁸ BMEL: *Fernerkundung in der Landwirtschaft – Potenziale und Anwendungen*, Berlin 2022, S. 16–18. Online unter: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Fernerkundung.pdf> [Zugriff: Mai 2025].

¹⁹ NASA Earthdata: Remote Sensing Instruments – Active vs Passive, online unter: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing> [Zugriff: Mai 2025].

²⁰ GISGeography: *Passive vs Active Sensors in Remote Sensing*, online unter: <https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/> [Zugriff: Mai 2025].

²¹ NASA: *What are passive and active sensors?*, online unter: <https://www.nasa.gov/general/what-are-passive-and-active-sensors> [Zugriff: Mai 2025].

Vorteile aktiver Sensoren:

- Unabhängigkeit von Sonnenlicht und Wettereinflüssen.
- Hohe Genauigkeit bei der Erfassung von Oberflächentexturen und topographischen Eigenschaften.

Anders als passive Sensoren zeichnen aktive Verfahren nicht nur reflektierte, sondern gezielt ausgesendete und zurückkehrende Signale auf – unter Berücksichtigung von Amplitude, Phase oder Laufzeit. Radiometrische Korrekturen sind nötig, um die Energieeigenschaften der Quelle korrekt in den Messdaten zu berücksichtigen²².

4.3 Zugriffsmethoden auf Rohdaten

Für den Zugriff auf Fernerkundungs- und insbesondere Satellitendaten stehen verschiedene standardisierte Datenschnittstellen und Protokolle zur Verfügung. Diese erlauben sowohl die Visualisierung als auch den Download und die Analyse großer Datenmengen – entweder über grafische Oberflächen oder automatisiert über Schnittstellen. Die wichtigsten Methoden sind:

- API (Application Programming Interface) - APIs sind Programmier-Schnittstellen, über die externe Anwendungen (z. B. Webanwendungen oder GIS-Software) automatisiert auf Satellitendaten zugreifen können²³. Sie ermöglichen etwa den direkten Zugriff auf Sentinel- oder Landsat-Daten sowie deren statistische Analyse oder Visualisierung. Ein Beispiel ist die Sentinel Hub API, die REST- und OGC-konforme Schnittstellen (WMS, WCS) kombiniert und auch Analysefunktionen wie NDVI-Berechnung direkt unterstützt²⁴.
- WMS (Web Map Service) - Der Web Map Service (WMS) ist ein Standard des Open Geospatial Consortium (OGC) zur Übertragung georeferenzierter Kartenbilder²⁵. Ein Client (z. B. QGIS oder ein Webbrowser) sendet eine Anfrage, woraufhin ein Kartenbild in Formaten wie PNG oder JPEG zurückgegeben wird. Im Unterschied zu WCS oder APIs liefert WMS keine Rohdaten, sondern lediglich renderbare Kartenausschnitte. Die NASA FIRMS-Plattform stellt beispielsweise Echtzeit-WMS-Dienste zur globalen Darstellung aktiver Feuer zur Verfügung²⁶.

²² Lexikon der Fernerkundung: Aktive und passive Sensoren, online unter: <https://www.fe-lexikon.info> [Zugriff: Mai 2025].

²³ Sentinel Hub: API Overview, online unter: <https://www.sentinel-hub.com/develop/api/> [Zugriff: Mai 2025].

²⁴ Sentinel Hub: API Overview, online unter: <https://www.sentinel-hub.com/develop/api/> [Zugriff: Mai 2025].

²⁵ NASA FIRMS: WMS Services, online unter: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/mapserver/> [Zugriff: Mai 2025].

²⁶ NASA FIRMS: WMS Services, online unter: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/mapserver/> [Zugriff: Mai 2025].

- WCS (Web Coverage Service) - Der Web Coverage Service (WCS) erlaubt den Zugriff auf mehrdimensionale Rasterdaten – also auf vollständige, auswertbare Pixelwerte, nicht nur auf Bilder. Damit eignet sich WCS besonders für wissenschaftliche Analysen, bei denen Zeitreihen, spektrale Indizes oder numerische Modellierungen durchgeführt werden. Im Unterschied zu WMS erhält man hier z. B. ein GeoTIFF- oder NetCDF-Datenpaket mit tatsächlichen Messwerten. Der Dienst wird unter anderem durch den Copernicus Data Space Ecosystem unterstützt²⁷.
- OPeNDAP (Open-source Project for a Network Data Access Protocol) - OPeNDAP ist ein flexibles Datenzugriffsprotokoll, das es erlaubt, große wissenschaftliche Datensätze direkt aus einem Netzwerkspeicher auszulesen – ohne vollständigen Download. Es wird v. a. in der Klimaforschung, Meteorologie und Ozeanographie verwendet, da es Teilzugriffe auf sehr große NetCDF- oder HDF5-Dateien ermöglicht. Über die NASA Earthdata-Plattform stehen zahlreiche OPeNDAP-fähige Datensätze zur Verfügung, die direkt mit Programmen wie R, Python oder MATLAB gelesen werden können²⁸.

Zugriffsprotokolle wie API, WMS, WCS und OPeNDAP sind zentrale Bausteine der technischen Infrastruktur für den Zugriff auf Fernerkundungsdaten. Sie ermöglichen die standardisierte Bereitstellung, Abfrage und Integration großer Datenmengen in Softwarelösungen, Analysesysteme oder Forschungsumgebungen. Über sie greifen technisch geschulte Akteure wie z.B. Geoinformatiker oder Forschungsinstitutionen automatisiert auf Roh- oder bereits vorverarbeitete Satellitendaten zu, um diese weiterzuverarbeiten oder in nutzerorientierte Anwendungen zu integrieren.

Anwender ohne spezifisches Fachwissen arbeiten meist über benutzerfreundliche Plattformen oder mobile Anwendungen, in denen diese Zugriffsprotokolle im Hintergrund integriert sind. Dort erhalten sie bereits prozessierte, visualisierte und thematisch aufbereitete Informationen – etwa in Form von Karten, Zeitreihen oder Indizes zur Bewirtschaftung von Flächen. Einen Überblick über solche fertigen, praxisnah einsetzbaren Datensätze und Produkte liefert das folgende Kapitel.

4.4 Verarbeitungstufen von Satellitendaten

Die von Erdbeobachtungssatelliten erzeugten Daten werden in verschiedenen Verarbeitungstufen (Processing Levels) bereitgestellt. Diese Stufen definieren, wie

²⁷ Copernicus Data Space Ecosystem: WCS Access Documentation, online unter: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/APIs/SentinelHub/OGC/WCS.html> [Zugriff: Mai 2025].

²⁸ NASA Earthdata: OPeNDAP Services, online unter: <https://www.earthdata.nasa.gov/engage/open-data-services-software/earthdata-developer-portal/opardap> [Zugriff: Mai 2025].

stark die Rohdaten bereits korrigiert oder verarbeitet wurden, und welche Art von Informationen sie enthalten.

4.4.1 Level 0 – Rohdaten (Raw Data)

Level 0 bezeichnet die unformatierten, nicht kalibrierten und unkorrelierten Rohdaten, wie sie direkt vom Sensor aufgezeichnet und zur Bodenstation übertragen werden. Sie enthalten digitale Signale (z. B. Spannung oder Photonenzählung), ergänzt um technische Telemetrie-Informationen. Diese Daten sind ohne weitere Verarbeitung nicht für wissenschaftliche Analysen geeignet²⁹. Ein Beispiel sind die unverarbeitete SAR-Rohdaten vom Sentinel-1 Satelliten.

4.4.2 Level 1 – Radiometrisch und geometrisch korrigierte Daten

Level 1-Produkte bestehen aus kalibrierten Messdaten, die in physikalisch interpretierbare Werte wie Strahlungsintensitäten oder Reflexionen umgerechnet wurden. Zusätzlich erfolgen häufig geometrische Korrekturen (z. B. Orthorektifizierung), um Verzerrungen durch Sensorposition, Erdkrümmung oder Topografie zu eliminieren³⁰.

Man unterscheidet:

- Level 1A: nur radiometrisch korrigiert.
- Level 1B: radiometrisch und geometrisch korrigiert.
- Level 1C (z. B. Sentinel-2): enthält Top-of-Atmosphäre (TOA)-Reflexionen auf einem standardisierten Raster³¹.

Sentinel-2 Level 1C (TOA) Daten sind öffentlich über das Copernicus Open Access Hub zugänglich.

4.4.3 Level 2 – Atmosphärisch korrigierte Daten (Bottom-of-Atmosphäre)

Level 2-Produkte sind zusätzlich atmosphärisch korrigiert, d. h. Einflüsse von Wasserdampf, Aerosolen oder Ozon wurden herausgerechnet. Die Daten stellen somit

²⁹ ESA (2023): *Sentinel User Guides – Processing Levels*, online unter: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides> [Zugriff: Mai 2025].

³⁰ NASA Earthdata: *Earth Observation Data Processing Levels*, online unter: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/user-resources/remote-sensing-tutorials/levels-of-processing> [Zugriff: Mai 2025].

³¹ Copernicus Data Space Ecosystem: *Product Types – Sentinel-2*, online unter: <https://dataspace.copernicus.eu> [Zugriff: Mai 2025].

die tatsächliche Reflexion an der Erdoberfläche (Bottom-of-Atmosphere, BOA) dar und sind direkt mit bodengestützten In-situ-Messungen vergleichbar³².

Level 2-Produkte enthalten häufig auch abgeleitete Informationen wie:

- Vegetationsindizes (z. B. NDVI)
- Bodenfeuchte
- Aerosol-Optische Dicke
- Oberflächentemperatur

Sentinel-2 Level 2A (BOA) wird standardmäßig für Europa generiert und z. B. über Copernicus Data Space Ecosystem angeboten.

Zusammenfassung der Verarbeitungsstufen		
Level	Verarbeitungsschritt	Verwendungszweck
Level 0	Rohdaten (nicht kalibriert)	Nur für Experten zur Weiterverarbeitung
Level 1	Radiometrisch/geometrisch korrigiert (TOA)	Erste wissenschaftliche Analyse, Zeitreihenaufbau
Level 2	Atmosphärisch korrigiert (BOA), Indizes verfügbar	Monitoring, Modellierung, GIS-Auswertung

4.5 Öffentlich finanzierte Satellitenprogramme

Für die Nutzung von Satellitendaten in der Fernerkundung stehen sowohl kostenlose als auch kommerzielle Programme zur Verfügung. Öffentlich finanzierte Satellitenprogramme werden meist von staatlichen oder internationalen Raumfahrtagenturen betrieben wie der Europäischen Weltraumorganisation (ESA), der NASA oder dem USGS und bieten einen freien Zugang zu standardisierten, wissenschaftlich validierten Datenprodukten. Ihre Daten werden besonders in Forschung, Umweltüberwachung und auch in der Landwirtschaft eingesetzt.

Die wichtigsten öffentlich finanzierten Satellitenprogramme sind:

- Copernicus (EU, ESA & EU-Kommission)
 - Satelliten: Sentinel-1 bis Sentinel-6
 - Fokus: Radar, optische Bilder, Ozean, Atmosphäre, Klima, Boden
 - Merkmale: hohe Datenqualität, systematisch verarbeitet, offen nutzbar
 - Plattform: dataspace.copernicus.eu
- Landsat-Programm (USA, NASA & USGS)

³² NASA Earthdata: *Earth Observation Data Processing Levels*, online unter: <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/user-resources/remote-sensing-tutorials/levels-of-processing> [Zugriff: Mai 2025].

- Satelliten: Landsat 1–9
- Fokus: Langzeitbeobachtung der Erdoberfläche seit 1972
- Auflösung: 15–30 m
- Plattform: EarthExplorer
- MODIS (NASA – Terra & Aqua)
 - Fokus: tägliche globale Daten mit grober Auflösung (250–1000 m)
 - Anwendungen: Vegetation, Temperatur, Schnee, Wasser
 - Plattform: LAADS DAAC
- VIIRS (NOAA & NASA)
 - Nachfolger von MODIS, verbesserte spektrale und räumliche Auflösung
 - Besonders für Umweltbeobachtungen auf globaler Skala

Zu den bedeutendsten kostenfrei zugänglichen Programmen zählt das europäische Copernicus-Programm, das gemeinsam von der Europäischen Kommission und der ESA betrieben wird. Über die Sentinel-Satelliten werden dabei Daten zu einer Vielzahl von Anwendungen bereitgestellt, darunter Bodenbedeckung, atmosphärische Bedingungen, Klimaparameter und maritime Informationen³³. Die Daten sind frei nutzbar und über Plattformen wie das Copernicus Data Space Ecosystem zugänglich.

Ein weiteres etabliertes öffentliches Programm ist das Landsat-Programm, betrieben von der NASA und dem U.S. Geological Survey. Es stellt seit 1972 Erdbeobachtungsdaten zur Verfügung und gehört damit zu den weltweit langlebigsten Fernerkundungsprogrammen. Die Landsat-Daten, mit einer Auflösung von bis zu 15–30 Metern, sind vollständig frei verfügbar und bieten insbesondere für Umweltmonitoring und landwirtschaftliche Zeitreihenanalysen eine wertvolle Grundlage³⁴.

Auch das von der NASA entwickelte Instrument MODIS, an Bord der Satelliten Terra und Aqua, liefert täglich globale Daten zu Vegetation, Landoberflächentemperatur, Aerosolen und anderen Umweltparametern³⁵. Ergänzt wird dies durch VIIRS, ein Nachfolgesystem von MODIS, das ebenfalls eine globale Abdeckung in hoher zeitlicher Auflösung bietet.

Demgegenüber stehen kommerzielle Satellitenprogramme, die auf hochauflösende Daten und flexible Wiederholraten spezialisiert sind. Diese werden typischerweise von Unternehmen genutzt, die maßgeschneiderte Erdbeobachtungsprodukte benötigen –

³³ Copernicus EU: Access to Data – Copernicus Programme. Online unter: <https://www.copernicus.eu/en/access-data> [Zugriff: Mai 2025].

³⁴ USGS: Landsat Missions – Landsat Data Access. Online unter: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-data-access> [Zugriff: Mai 2025].

³⁵ NASA MODIS: MODIS Overview. Online unter: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/> [Zugriff: Mai 2025].

etwa in der Landwirtschaft, Stadtplanung, Infrastrukturüberwachung oder im Sicherheitsbereich.

Während öffentliche Programme den breiten Zugang zu Basisdaten sicherstellen, bieten kommerzielle Anbieter zusätzliche Mehrwerte durch höhere Auflösung, schnellere Aktualisierungen und spezialisierte Auswertungsprodukte. In der Praxis ergänzen sich beide Datenquellen oft: Anwender nutzen häufig aufbereitete Datenportale, in denen Daten aus verschiedenen Quellen kombiniert werden.

Für Anwendungen in der Landwirtschaft kommen sowohl Daten aus öffentlichen als auch aus kommerziellen Satellitenprogrammen zum Einsatz. Welche Datenquellen geeignet sind, hängt maßgeblich vom konkreten Anwendungsfall ab. Die zu beantwortende Fragestellung bestimmt, welche Anforderungen an die Art des Sensors und die zugrunde liegende Erfassungstechnologie gestellt werden. Dabei spielen technische Merkmale wie die räumliche, spektrale, zeitliche und radiometrische Auflösung eine zentrale Rolle. Je nach Ziel – etwa Vegetationsmonitoring, Bodenfeuchteabschätzung, Schädlingsdetektion oder Ertragsschätzung – können unterschiedliche Datenprodukte und Sensortypen erforderlich sein, die entsprechend ausgewählt und kombiniert werden müssen.

5. Nutzung von Satellitendaten für die Landwirtschaft

5.1 Übersicht der öffentlich finanzierten Satelliten

Bei den öffentlich finanzierten Satellitenmissionen kommen unterschiedliche Satelliten zum Einsatz, die sich in Sensorart, Datenqualität und Wiederholrate unterscheiden. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Satelliten mit Relevanz für die landwirtschaftliche Fernerkundung, ihre technischen Eigenschaften und die typischen Einsatzbereiche in der Praxis. Im Fokus stehen die europäischen Sentinel-Missionen des Copernicus-Programms, die amerikanischen Landsat-Satelliten sowie das MODIS-System zur großflächigen Umweltüberwachung.

Satellit	Sensorart	Technologie	Räumliche Auflösung	Zeitliche Auflösung	Spektralkanal	Anwendung
Sentinel-1	SAR (Radar)	Aktiv	10 m	6–12 Tage	C-Band Radar	Bodenfeuchte, Struktur,

						unabhängig von Wolken
Sentinel -2	MSI (Multispektral)	Passiv	10 / 20 / 60 m	5 Tage (mit 2 Satelliten)	13 Bänder (VIS, NIR, SWIR)	Vegetation, Landbedeckung, Wasser
Sentinel -3	OLCI, SLSTR	Passiv	300 m (OLCI), 500 m–1 km (SLSTR)	1–2 Tage	21 (OLCI), 9 (SLSTR)	Meeresfarbe, Landtemperatur, Vegetation
Sentinel -5P	TROPOMI (Spektrometer)	Passiv	7 x 3.5 km	1 Tag	UV–NIR	Luftqualität, Gase (NO ₂ , O ₃ , CH ₄)
Landsat 8 / 9	OLI, TIRS	Passiv	15 / 30 / 100 m	16 Tage	11 Bänder (VIS, NIR, SWIR, TIR)	Landnutzung, Vegetation, Temperatur
MODIS (Terra/Aqua)	MODIS (Spektrometer)	Passiv	250 m / 500 m / 1 km	Täglich	36 Kanäle (VIS–TIR)	Großräumige Vegetation, Klima, Feuer, Wolken

Sentinel-1 nutzt aktive Radarfernerkundung (SAR), die unabhängig von Wetterbedingungen und Tageslicht eingesetzt werden kann. Die C-Band-Radarsignale sind besonders nützlich zur Erfassung der Bodenstruktur, Bodenfeuchte sowie zur Analyse von Flächen in stark bewölkten Regionen³⁶.

Sentinel-2 ist der wichtigste optische Satellit im Copernicus-Programm für die Landwirtschaft. Seine Multispektralsensorik umfasst 13 Kanäle, darunter vier „Red-Edge“-Bänder zur Chlorophyllanalyse. Die räumliche Auflösung beträgt bis zu 10 m, was eine detaillierte Analyse von Bewirtschaftungseinheiten erlaubt. Sentinel-2 ist ideal für die Vegetationsüberwachung, Düngeplanung und Ertragsabschätzung³⁷.

Sentinel-3 ist für die globale Umweltüberwachung ausgelegt, wird aber zunehmend auch in der Landwirtschaft genutzt. Mit Sensoren wie OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) und SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) können

³⁶ ESA – Sentinel-1 Mission Overview. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1> [abgerufen am 10.05.2025].

³⁷ ESA – Sentinel-2 User Guide. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> [abgerufen am 10.05.2025].

Vegetationsindizes, Bodentemperatur und Wasserhaushalt beobachtet werden. Die Auflösung liegt zwischen 300 m und 1 km³⁸.

Sentinel-5P dient primär der Atmosphärenüberwachung, liefert aber auch wertvolle Daten über Luftschadstoffe, Stickstoffdioxid oder Ozon, die sich indirekt auf Pflanzenwachstum und Umweltauflagen auswirken können³⁹.

Landsat 8 und 9, betrieben von der NASA und dem USGS, sind bewährte Plattformen für die Langzeitbeobachtung von Landnutzung, Fruchtfolgen und Vegetationsveränderungen. Sie verfügen über 11 Spektralbänder (inkl. Thermalinfrarot) bei einer Wiederholrate von 16 Tagen. Ihre Auflösung ist geringer als bei Sentinel-2, dafür existiert ein Datenarchiv seit den 1980er Jahren⁴⁰.

MODIS, an Bord der Terra- und Aqua-Satelliten, ist für großflächige Umweltanalysen konzipiert. Mit einer täglichen Wiederholrate und 36 Spektralkanälen eignet sich MODIS zur Überwachung kontinentaler Vegetation, Trockenstress und Klimatrends, allerdings mit geringerer räumlicher Auflösung (250 m bis 1 km)⁴¹.

5.2 Datenportale

5.2.1 Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE)

Das CDSE ist seit Ende 2023 der zentrale Zugangspunkt für die Sentinel-Satellitendaten des Copernicus-Programms der EU und hat den früheren Open Access Hub vollständig ersetzt⁴². Es besteht aus folgenden Elementen:

- Copernicus Browser: Ermöglicht eine einfache Ansicht und Suche nach Satellitendaten (Sentinel-1, -2, -3, -5P). Nutzer können direkt auf Bilddaten zugreifen, Vegetationskarten anzeigen lassen oder Zeitreihenvergleiche vornehmen.
- Portal (dataspace.copernicus.eu): Neben der Datenvisualisierung bietet die Plattform auch Downloadmöglichkeiten und Analysefunktionen direkt in der Cloud.

³⁸ ESA – Sentinel-3 Mission Description. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3> [abgerufen am 10.05.2025].

³⁹ ESA – Sentinel-5P (TROPOMI) Mission. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p> [abgerufen am 10.05.2025].

⁴⁰ USGS – Landsat Missions. <https://www.usgs.gov/landsat-missions> [abgerufen am 10.05.2025].

⁴¹ NASA – MODIS Overview. <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/> [abgerufen am 10.05.2025].

⁴² Copernicus Data Space Ecosystem (2024). Copernicus Sentinel Data Access. Online verfügbar unter: <https://dataspace.copernicus.eu> [abgerufen am 10.05.2025].

- Relevanz für die Landwirtschaft: Besonders Sentinel-2 liefert optische Daten mit hoher Auflösung, die z. B. zur Einschätzung der Pflanzenvitalität, zur Ableitung von NDVI-Karten oder zur Ertragsvorhersage genutzt werden können.

Der Copernicus Browser richtet sich ausdrücklich auch an Einsteiger ohne GIS-Vorkenntnisse. Damit ist er ein idealer Einstieg für landwirtschaftliche Betriebe, die schnell visuelle Informationen über ihre Flächen gewinnen möchten.

5.2.2 Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)

Der CLMS stellt vorverarbeitete Datenprodukte bereit, die speziell auf die Bedürfnisse von Nutzern im Umwelt- und Agrarbereich zugeschnitten sind wie z.B.⁴³:

- Landbedeckungskarten: Zeigen, wie die Flächen genutzt werden (z. B. Acker, Grünland, Siedlungsfläche).
- Vegetationsindizes: Liefern Informationen zur Pflanzenentwicklung, Trockenstress oder Düngestatus.
- Bodenfeuchtedaten: Nützlich für die Bewässerungsplanung und zur Einschätzung des Wasserhaushalts.

Da die Daten bereits aufbereitet sind, ist ihre Anwendung besonders einfach. Landwirtinnen und Landwirte können sie direkt für betriebliche Entscheidungen nutzen, z. B. um Mähzeitpunkte im Grünland zu planen oder Bewirtschaftungszonen zu erkennen.

5.2.3 Sentinel Hub EO Browser

Der Earth Observation (EO) Browser der Firma Sinergise ist ein Webtool, das eine besonders einfache Visualisierung von Satellitendaten erlaubt⁴⁴.

- Datenquellen: Sentinel-1 (Radar), Sentinel-2 (optisch), Landsat, MODIS und andere.
- Funktionen: Nutzer können NDVI-Zeitreihen generieren, Veränderungen zwischen zwei Zeitpunkten vergleichen oder ein animiertes Monitoring der Pflanzenentwicklung anzeigen lassen.
- Zielgruppe: Ideal für Landwirte, Berater und Beraterinnen, die keine Software installieren möchten und mit wenigen Klicks Ergebnisse sehen wollen.

⁴³ Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) (2024). *Land Products*. Online verfügbar unter: <https://land.copernicus.eu> [abgerufen am 10.05.2025].

⁴⁴ Sentinel Hub EO Browser (2024). *Explore Earth Observation Data*. Online verfügbar unter: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/> [abgerufen am 10.05.2025].

Im Gegensatz zum Copernicus Browser liegt der Fokus hier mehr auf der interaktiven Darstellung und weniger auf dem Daten-Download. Nutzer können über die Kartenfunktionen auch gezielt Felder ansteuern und aktuelle Bilder anzeigen lassen.

5.2.4 WEKEO – Kombinierte Umwelt- und Wetterdaten

WEKEO ist eine europäische Plattform, die verschiedene Datenquellen vereint – darunter Copernicus, EUMETSAT und ECMWF⁴⁵.

- Datenspektrum: Satellitendaten zu Vegetation, Klima, Luftqualität, Wetter und Meeresdaten.
- Analysefunktionen: Cloud-basierte Verarbeitungstools, geeignet für komplexere Fragestellungen oder Forschung.
- Relevanz für Landwirtschaft: Insbesondere für die Kombination von Wettervorhersagen mit Vegetationsbeobachtung geeignet, etwa zur Einschätzung von Dürrestress oder Spätfrostgefahr.

WEKEO ist eher für beratende oder technische Dienstleister gedacht, aber ausgewählte Produkte können auch für langfristige Klimarisikoabschätzungen genutzt werden.

5.2.5 Landsat-Programm (NASA/USGS)

Das Landsat-Programm ist eines der ältesten Erdbeobachtungsprogramme und stellt seit 1972 Satellitendaten bereit⁴⁶.

- Datenzugang: Über das Portal EarthExplorer oder LandsatLook der USGS.
- Eigenschaften: Multispektrale Bilddaten mit 30 m räumlicher Auflösung. Der zeitliche Abstand zwischen den Aufnahmen beträgt rund 16 Tage.
- Anwendung: Gut geeignet für Langzeitanalysen, z. B. um Veränderungen in der Fruchtfolge, Bodennutzung oder Flächenversiegelung zu analysieren.

Landsat-Daten sind kostenfrei und decken mit ihrer Langzeitserie einen wichtigen Bedarf ab, insbesondere bei Monitoringfragen oder bei der Rekonstruktion historischer Entwicklungen.

5.3 Datenprodukte

Für die praktische Anwendung von Satellitendaten in der Landwirtschaft stehen verschiedene standardisierte Datenprodukte und spektrale Indizes zur Verfügung. Diese ermöglichen eine Vielzahl von Auswertungen – von der Einschätzung des

⁴⁵ WEKEO (2024). *Your gateway to Copernicus environmental data*. [Online verfügbar unter: https://www.wekeo.eu](https://www.wekeo.eu) [abgerufen am 10.05.2025].

⁴⁶ U.S. Geological Survey (USGS) (2024). *EarthExplorer and LandsatLook Viewer*. Online verfügbar unter: <https://earthexplorer.usgs.gov> und <https://landsatlook.usgs.gov> [abgerufen am 10.05.2025].

Pflanzenzustands bis hin zur Bodenanalyse. Im Folgenden werden die wichtigsten Produkte und Indizes sowie ihre Anwendungsbereiche vorgestellt.

Moderne Erdbeobachtungssatelliten wie Sentinel-2 liefern nicht nur klassische Luftbilder, sondern eine Vielzahl spektraler Informationen, die mithilfe definierter Indizes ausgewertet werden können. Diese sogenannten Vegetations- und Umweltindizes erlauben eine gezielte Bewertung des Zustands von Pflanzen, Böden oder Wasserflächen⁴⁷.

Tabella 1 Übersicht relevanter Indizes

Index	Name	Bänder (Sentinel-2)	Hauptanwendung
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	NIR (B8), Rot (B4)	Pflanzenvitalität, Biomasse, Wachstumsmonitoring
NDRE	Normalized Difference Red Edge Index	Red Edge (B5/B6/B7), Rot (B4)	Stickstoffversorgung, spätere Wachstumsphasen
EVI	Enhanced Vegetation Index	NIR (B8), Rot (B4), Blau (B2)	Vegetation bei hoher Dichte, atmosphärisch robuster
VARI	Visible Atmospherically Resistant Index	Grün (B3), Rot (B4), Blau (B2)	Vegetation mit RGB-Kameras (z. B. bei Drohnen)
NDWI	Normalized Difference Water Index	Grün (B3), NIR (B8)	Erkennung offener Wasserflächen, Überschwemmungskartierung
NDMI	Normalized Difference Moisture Index	NIR (B8), SWIR (B11)	Blatt- und Bodenfeuchte, Trockenstressanalyse
NDSI	Normalized Difference Snow Index	Grün (B3), SWIR (B11)	Schneebedeckung, Eiserkennung

⁴⁷ Thenkabail, P. S. (2015). *Remote Sensing of Agriculture and Land Cover/Land Use Changes in South and Southeast Asian Countries*. CRC Press.

MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index	NIR (B8), Rot (B4)	Vegetation in Boden- oder Jungbeständen, reduziert Bodeneinfluss
GCI	Green Chlorophyll Index	NIR (B8), Grün (B3)	Chlorophyllgehalt, Photosyntheseleistung
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	NIR (B8), Rot (B4)	Vegetationsvitalität unter Einfluss starker Bodenreflexion
CRI1/CRI2	Carotenoid Reflectance Index	Blau, Grün, Red Edge	Stressanzeige durch Pigmentveränderung (Carotinoide)
TCARI/OSAVI	Chlorophyll Index / Soil Adjusted VI Kombi	B5, B4, B3, B7	Unterscheidung von Chlorophyll- vs. Bodenwirkung

Der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ist der bekannteste und meistgenutzte Index. Er misst die Differenz zwischen reflektiertem nahinfrarotem und rotem Licht, da gesunde Pflanzen NIR stark und rotes Licht kaum reflektieren⁴⁸. Ein hoher NDVI-Wert spricht für dichte und vitale Vegetation. Besonders für das Monitoring von Wachstumsverläufen, Mahdzeitpunkten oder Biomasseschätzungen ist der NDVI ein zentrales Werkzeug⁴⁹.

Für fortgeschrittene Anwendungen, etwa die Einschätzung des Stickstoffbedarfs, hat sich der NDRE (Normalized Difference Red Edge Index) etabliert, der auf das empfindlichere Red-Edge-Spektrum zurückgreift. In dichten Beständen oder in späteren Wachstumsphasen liefert er genauere Aussagen als der NDVI⁵⁰.

Zur Erfassung von Feuchteverhältnissen in Boden und Blattwerk eignen sich Indizes wie der NDMI (Normalized Difference Moisture Index), der NIR- und SWIR-Daten kombiniert⁵¹. Er wird häufig eingesetzt, um Trockenstress zu erkennen oder

⁴⁸ Tucker, C. J. (1979). *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127–150.

⁴⁹ Delegado, J., Verrelst, J., Meza, C. M., Rivera, J. P., Alonso, L., & Moreno, J. (2013). *A red-edge spectral index for remote sensing estimation of green LAI over agroecosystems*. European Journal of Agronomy, 46, 42–52.

⁵⁰ Barnes, E. M. et al. (2000). *Remote- and Ground-Based Sensor Techniques to Map Plant Biomass as a Management Tool*. Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture.

⁵¹ Gao, B.-C. (1996). *NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space*. Remote Sensing of Environment, 58(3), 257–266.

Berechnungsbedarf zu prognostizieren. Offene Wasserflächen lassen sich mit dem NDWI (Normalized Difference Water Index) gut kartieren⁵².

In Gebieten mit schneerelevanter Landnutzung (z. B. Alpenraum) kommt der NDSI (Snow Index) zum Einsatz. Er hilft bei der Erfassung von Schneebedeckung und bei hydrologischen Berechnungen⁵³.

Ergänzt werden diese klassischen Indizes durch spezielle Varianten wie EVI, SAVI oder MSAVI, die atmosphärische Einflüsse, Bodenreflexion oder niedrige Vegetationsdichte besser kompensieren⁵⁴. In der Kombination mit multispektralen Drohnenbildern oder landwirtschaftlicher Sensorik lassen sich aus diesen Indizes leistungsstarke Werkzeuge für das Precision Farming entwickeln⁵⁵.

Für die visuelle Interpretation von Satellitenbildern werden häufig standardisierte Darstellungen verwendet, die bestimmte Wellenlängenbereiche kombinieren. Eine weit verbreitete Darstellung ist das sogenannte True Color-Bild (Echtfarbenbild). Dabei werden die Kanäle Rot, Grün und Blau (RGB) so kombiniert, wie das menschliche Auge sie natürlicherweise wahrnimmt. Diese Darstellung eignet sich hervorragend für eine erste visuelle Einschätzung der Landoberfläche – etwa zur Unterscheidung von bebauten Flächen, Vegetation, Wasser oder zur Identifizierung von Wolken.

Ergänzend dazu kommt häufig die False Color-Darstellung (Falschfarbenbild) zum Einsatz. Hier werden in der Regel Nahinfrarot (NIR), Rot und Grün kombiniert. Vegetation erscheint in dieser Kombination leuchtend rot, da gesunde Pflanzen besonders stark im nahinfraroten Spektrum reflektieren. False Color-Darstellungen sind besonders gut geeignet, um den Zustand von Vegetation sichtbar zu machen – etwa deren Dichte, Vitalität oder eventuelle Schäden durch Trockenheit oder Krankheiten.

5.4 Praxisbeispiel – NDVI-Analyse

Ein häufiges Anliegen landwirtschaftlicher Betriebe ist die Überwachung des Pflanzenwachstums auf ihren Flächen. Dazu eignet sich besonders die Analyse des sogenannten NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), ein Vegetationsindex, der Rückschlüsse auf die Vitalität und den Chlorophyllgehalt von Pflanzen erlaubt.

⁵² McFeeters, S. K. (1996). *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425–1432.

⁵³ Hall, D. K., Riggs, G. A., & Salomonson, V. V. (1995). *Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data*. Remote Sensing of Environment, 54(2), 127–140.

⁵⁴ Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25(3), 295–309.

⁵⁵ Tilling, A. K., et al. (2007). *Remote sensing of nitrogen status in crops: current capabilities and future directions*. In: Agronomy Journal, 99(1), 1–12.

Zur Veranschaulichung der praktischen Nutzungsmöglichkeiten von Satellitendaten wird in diesem Kapitel exemplarisch eine NDVI-Analyse anhand zweier Webportale durchgeführt: dem Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE) und dem Sentinel Hub EO Browser. Die Analyse erfolgt ausschließlich mit den Funktionen, die direkt auf den jeweiligen Plattformen zur Verfügung stehen – ohne zusätzliche Software oder Fachkenntnisse. Ein direkter Vergleich der beiden Anwendungen zeigt die Unterschiede hinsichtlich Bedienbarkeit, Funktionsumfang und Eignung für landwirtschaftliche Fragestellungen auf.

5.4.1 NDVI-Analyse mit dem Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE)

Der Einstieg erfolgt über das Internetportal des Copernicus Data Space Ecosystem unter <https://dataspace.copernicus.eu/browser>. Durch eine kostenlose Registrierung erhält der Nutzer den Zugriff auf den vollen Funktionsumfang des Browsers.

Nach dem Öffnen des sogenannten „Copernicus Browser“ wählt der Nutzer zunächst den geografischen Ort seines Feldes aus. Dies kann durch manuelles Hineinzoomen in die Karte oder durch Eingabe von Koordinaten bzw. Ortsnamen geschehen. Mit dem Werkzeug „Draw AOI“ (Area of Interest) lässt sich die zu analysierende Fläche exakt einzeichnen.

Folgende Abbildung stellt ein beliebiges Feld im Raum Eisenstadt dar.



Abbildung 1 Copernicus Browser - Auswahl des Untersuchungsgebietes

Anschließend wird im linken Menü die Satellitenmission „Sentinel-2 L2A“ ausgewählt. Diese liefert optische, multispektrale Aufnahmen mit einer Bodenauflösung von bis zu

10 Metern – ideal für die Analyse von Ackerflächen. Als Analysezeitraum wird beispielsweise das aktuelle Kalenderjahr gewählt. Um die Qualität der Analyse zu sichern, kann über einen Schieberegler die maximale Wolkenbedeckung auf z. B. 30 % begrenzt werden. Dadurch werden nur brauchbare, wolkenarme Szenen berücksichtigt.

Im nächsten Schritt wechselt der Nutzer in den Reiter „Visualize“, wo eine Auswahl verschiedener Darstellungsoptionen angeboten wird. Unter diesen befindet sich auch der NDVI, der als Falschfarbenbild angezeigt wird: hohe Werte (gesunde, grüne Vegetation) erscheinen in hellgrün bis weiß, niedrige Werte (karge Flächen, gestresste Pflanzen) in rot oder braun. Der Indexwert basiert auf der Differenz der Reflexion im nahen Infrarot (NIR) und im roten Spektralbereich – Pflanzen mit hoher Chlorophyllaktivität reflektieren stark im NIR, aber wenig im Rotbereich⁵⁶.



Abbildung 2 Copernicus Browser - NDVI Darstellung

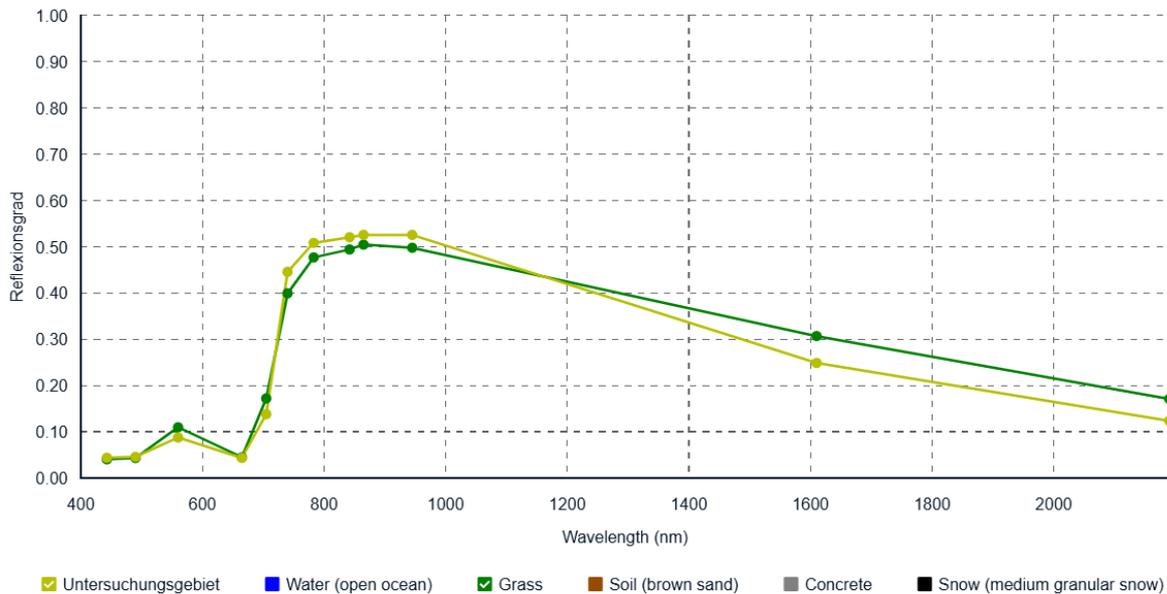
Im rechten oberen Eck der Polygonfunktion kann die Funktion Spektral Explorer aktiviert werden. Im Spektral Explorer des Copernicus Data Space Ecosystem (CDSE) sieht man Reflexionswerte (Reflektanz) in verschiedenen Spektralbändern des Sentinel-2-Satelliten. Diese geben an, wie stark ein Objekt (z. B. Vegetation oder Boden) Licht in bestimmten Wellenlängenbereichen reflektiert. Die Werte sind normiert (0 bis 1) und repräsentieren den Anteil des einfallenden Sonnenlichts, der reflektiert wird.

⁵⁶ Tucker, C.J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 8, Issue 2, pp. 127–150. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

Spectral explorer: Sentinel-2 L2A



Chart Values



Referenz: [USGS Spectral Library](#), [ECOSTRESS Spectral Library \(NASA\)](#)

Abbildung 3 Copernicus Browser - Graphische Darstellung der Reflexionswerte des Untersuchungsgebietes und des Referenzwertes

Die Darstellung zeigt den Verlauf von zwei Graphen welche die Reflexionswerte für unterschiedliche Oberflächentypen anzeigen. Der Graph für „Gras“ stellt die vegetative Referenz für reines Gras dar. Der Graph „Untersuchungsgebiet“ stellt den Reflexionsverlauf für das ausgewählte Untersuchungsgebiet dar.

Die Spektralwerte lassen sich auch numerisch darstellen. Die Spalten B01 bis B12 stehen für die 12 Sentinel-2 Spektralbänder. Die Bedeutung der einzelnen Bänder ist:

- B02, Wellenlänge 490 nm, Blau – wichtig für Wasser- und Schattenerkennung
- B03, Wellenlänge 560 nm, Grün – Chlorophyllreflexion
- B04, Wellenlänge 665 nm, Rot – stark absorbiert von Pflanzen
- B05–B07, Wellenlänge 705–783, „Red Edge“ – zeigt Chlorophyllaktivität
- B08, Wellenlänge 842 nm, Nahes Infrarot (NIR) – Biomasse & Vitalität
- B11–B12, Wellenlänge 1610–2190 nm, Kurzwelleninfrarot (SWIR) – Wassergehalt, Bodenfeuchte

Spectral explorer: Sentinel-2 L2A ×

Chart Values

	Untersuchungsgebiet	Grass
B01	0.0438	0.0406
B02	0.0458	0.0434
B03	0.0876	0.1097
B04	0.0436	0.0451
B05	0.1381	0.1720
B06	0.4454	0.3990
B07	0.5078	0.4765
B08	0.5202	0.4937
B8A	0.5252	0.5042
B09	0.5252	0.4974
B11	0.2486	0.3067
B12	0.1238	0.1709

Untersuchungsgebiet
 Water (open ocean)
 Grass
 Soil (brown sand)
 Concrete
 Snow (medium granular snow)

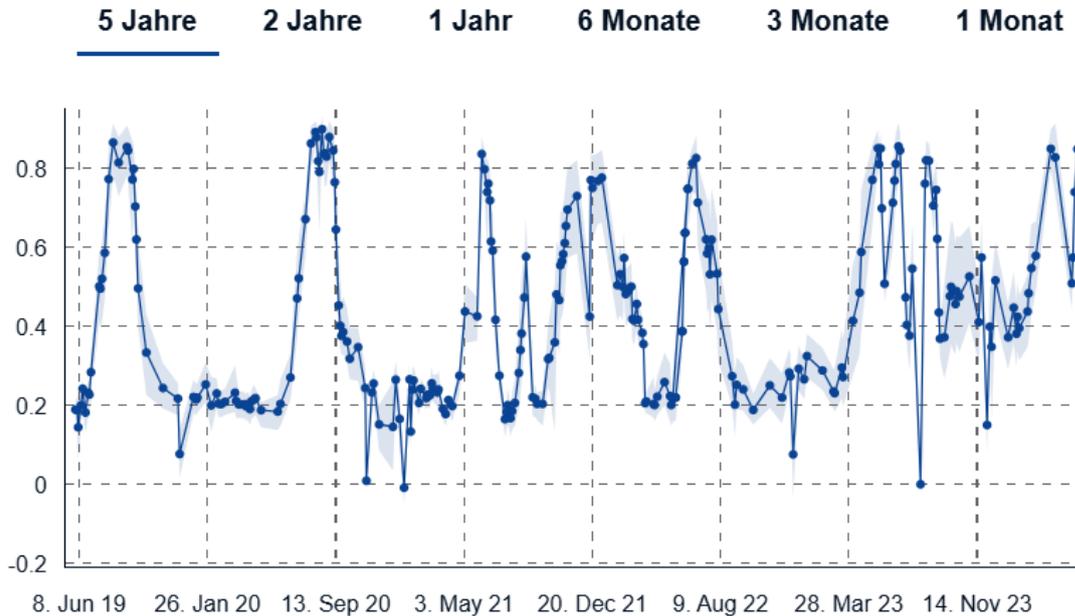
Referenz: [USGS Spectral Library](#), [ECOSTRESS Spectral Library \(NASA\)](#)

Abbildung 4 Copernicus Browser - Numerische Darstellung der Spektralbänder und Ihrer Reflexionswerte

Betrachtet man z.B. den Bereich B08 (NIR) beträgt der Wert für das Untersuchungsgebiet 0,5202 und der Wert für die Referenz 0,4937. Gras reflektiert stark im NIR was typisch für ein gesundes Pflanzenwachstum ist. Der Wert des Untersuchungsgebietes liegt über dem Referenzwert, was auf einen starken Bewuchs hindeutet.

Für eine zeitliche Entwicklung des NDVI kann im selbigen Menü die Funktion „Statistical Info“ aktiviert werden. Das System erstellt automatisch eine Verlaufskurve, die zeigt, wie sich die Vitalität der Vegetation auf der ausgewählten Fläche über die letzten Wochen oder Monate entwickelt hat. Typische Wachstumsphasen, Trockenperioden oder Bearbeitungsmaßnahmen (z. B. Mahd, Ernte) lassen sich daran gut erkennen.

Sentinel-2 L2A - NDVI



[CSV exportieren](#)

Abbildung 5 Copernicus Browser - NDVI Zeitreihendarstellung

Die Zeitreihe kann als CSV-Datei exportiert oder als PNG-Grafik gespeichert werden. Somit ist es auch möglich, die Ergebnisse in andere Systeme zu übernehmen oder als Dokumentation z. B. im Rahmen von Förderanträgen oder Umweltmaßnahmen zu nutzen.

Diese Funktion ermöglicht es Landwirtinnen und Landwirten, ohne zusätzliche Software oder technisches Vorwissen regelmäßig den Zustand ihrer Kulturen zu beobachten. Besonders hilfreich ist das in witterungskritischen Phasen (z. B. Trockenstress) oder zur Dokumentation des Ertragsmanagements im Rahmen des Precision Farming. Darüber hinaus kann so auch ein differenzierter Blick auf unterschiedlich bewirtschaftete Teilflächen gewonnen werden, was z. B. für Düngungsempfehlungen von Relevanz ist.

5.4.2 NDVI-Analyse mit dem Sentinel Hub EO Browser

Für landwirtschaftliche Anwender, die den Gesundheitszustand ihrer Pflanzenbestände zu einem bestimmten Zeitpunkt beurteilen möchten, bietet der Sentinel Hub EO Browser eine besonders anschauliche Möglichkeit: die Visualisierung des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) als farbcodierte Karte. Der EO Browser erlaubt es, diese Informationen ohne Zusatzsoftware und ohne spezielle Vorkenntnisse direkt im Webbrowser darzustellen.

Nach dem Aufruf des EO Browsers über <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser> gelangt man zur Kartenansicht mit globaler Satellitenabdeckung. Im Suchfeld oben rechts kann entweder ein Ort eingegeben oder per Zoomfunktion das gewünschte Gebiet aufgerufen werden – etwa eine Ackerfläche, ein Grünlandstück oder ein Versuchsfeld. Anschließend wird mit dem Werkzeug „Draw AOI“ (Area of Interest) ein Polygon gezeichnet, das exakt die Fläche umreißt, die analysiert werden soll.

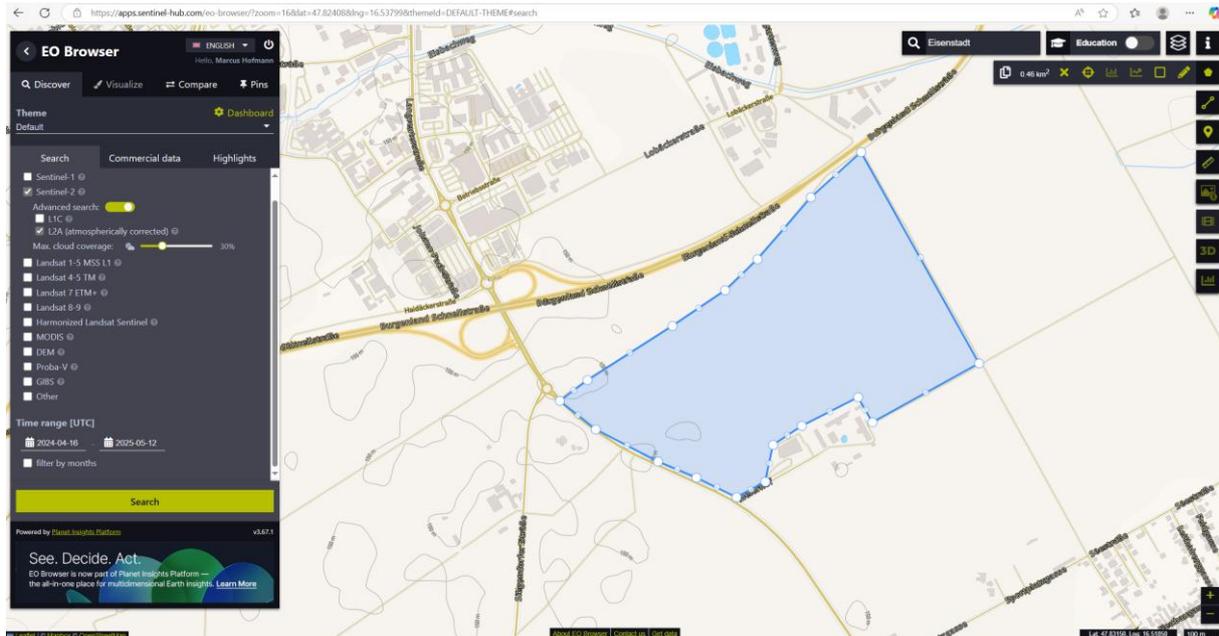


Abbildung 6 EO Browser - Auswahl des Untersuchungsgebietes

Im nächsten Schritt legt man im Menü „Search Criteria“ den Datumsbereich fest, z. B. das Frühjahr einer bestimmten Vegetationsperiode. Als Datenquelle empfiehlt sich der Sentinel-2 L2A-Datensatz, da er optische Multispektraldaten mit einer hohen räumlichen Auflösung von bis zu 10 Metern liefert. Zusätzlich kann die Wolkenbedeckung durch einen Filter eingeschränkt werden – etwa auf maximal 30 % –, um nur qualitativ hochwertige Bilddaten zu verwenden.

Ist eine geeignete Szene gefunden, öffnet sich unter dem Reiter „Visualizations“ eine Liste möglicher Darstellungen. Hier wählt man „NDVI“ aus. Sofort wird eine NDVI-Karte geladen, in der Vegetationszonen anhand einer Farbskala dargestellt sind: grün bis weiß für vitale, dichte Vegetation, gelb bis braun für gestresste oder spärlich bewachsene Bereiche. So lässt sich z. B. auf einen Blick erkennen, ob Teilflächen unterversorgt oder geschädigt sind – etwa durch Trockenheit, Nährstoffmangel oder Krankheiten.

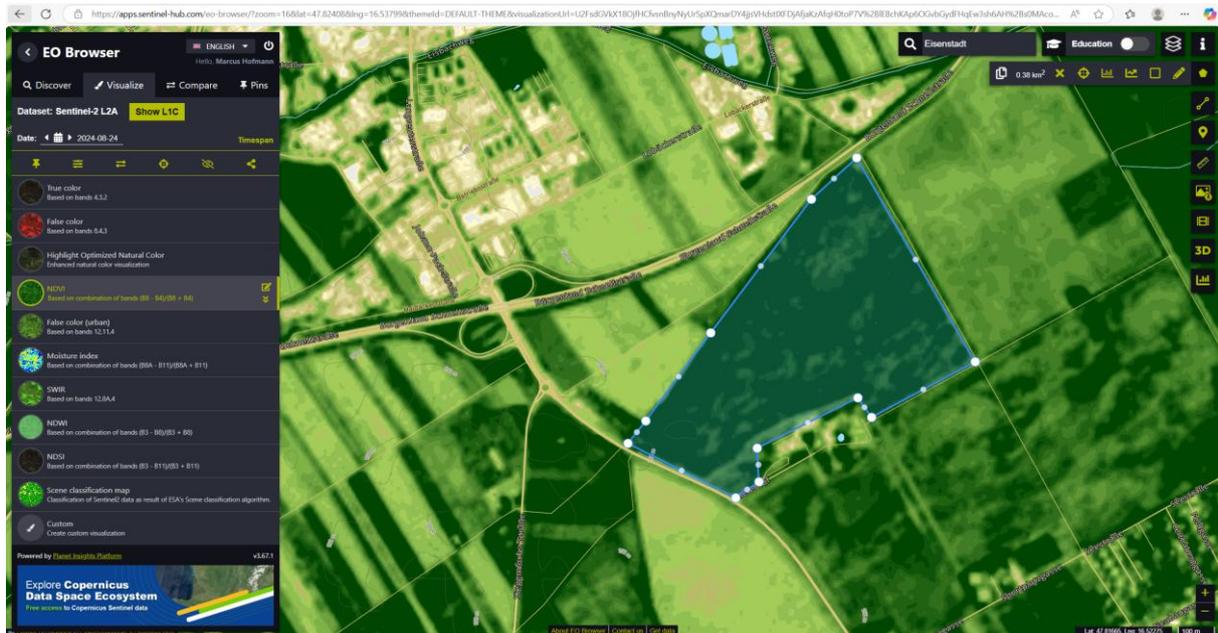


Abbildung 7 EO Browser - NDVI Darstellung

Auch in dem EO Browser kann der Spektral Explorer sowie die Funktion Statistical Info für den zeitlichen Verlauf der NDVI Werte aktiviert werden. Ein besonders nützliches Werkzeug jedoch ist die Funktion „Compare“, mit der sich zwei unterschiedliche Zeitpunkte visuell gegenüberstellen lassen. Beispielsweise kann der Zustand des Feldes vor und nach einer Düngemaßnahme oder im Verlauf einer Trockenperiode verglichen werden. Die Unterschiede in der Pflanzenentwicklung lassen sich dadurch sehr plastisch darstellen.

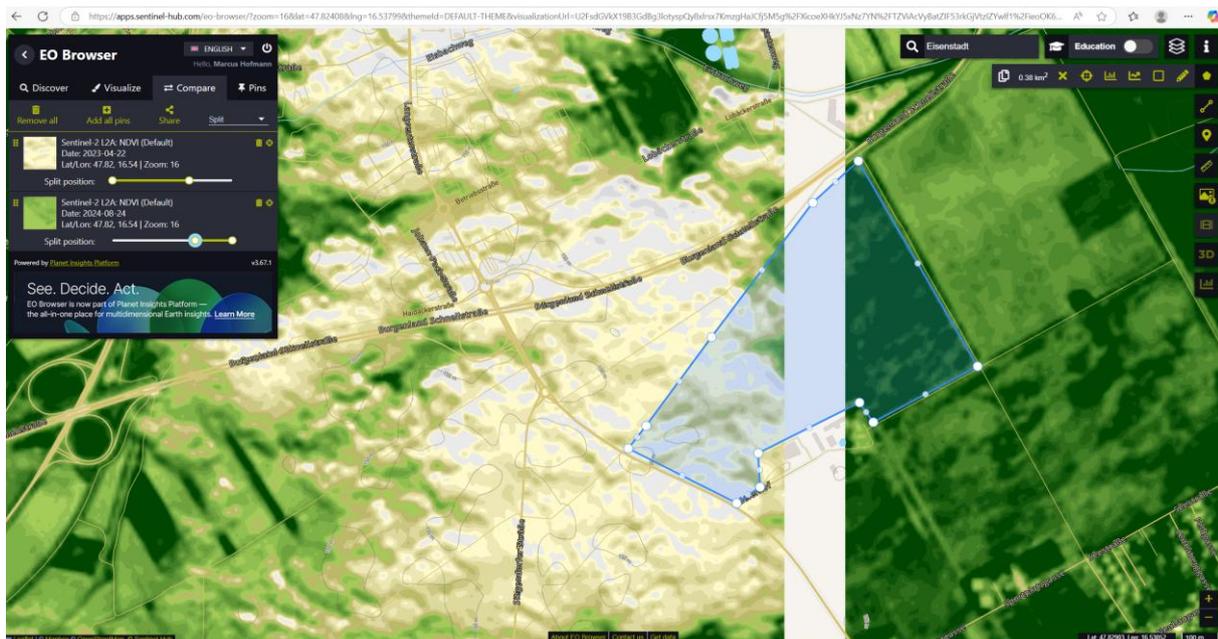


Abbildung 8 EO Browser - NDVI Darstellung zwei unterschiedlicher Zeitpunkte durch Nutzung der Compare - Funktion

Abschließend können die Ergebnisse als PNG-Bilddatei oder auch als GeoTIFF heruntergeladen werden. Letzteres erlaubt – falls gewünscht – die weitere Verarbeitung der Daten in GIS-Programmen wie QGIS oder für agronomische Dokumentationen.

Der Sentinel Hub EO Browser stellt eine niedrighschwellige, grafisch unterstützte Einstiegslösung dar, die gezielt einzelne Flächen untersuchen möchten, ohne auf komplexe GIS-Werkzeuge oder externe Dienstleister zurückgreifen zu müssen.

Besonders geeignet ist diese Plattform für:

- punktuelle Kontrollen (z. B. nach Dünge- oder Pflanzenschutzmaßnahmen),
- vergleichende Standortanalysen,
- und die Identifikation auffälliger Teilflächen, etwa zur Planung von Begehungen oder Probenentnahmen.

6. Fernerkundung in der Landwirtschaft

Die Fernerkundung hat in den letzten Jahren zunehmend Einzug in die landwirtschaftliche Praxis gehalten. Wie das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) darlegt, sind satellitengestützte Daten heute ein wertvolles Hilfsmittel für Landwirtinnen und Landwirte – sei es zur Bestandsführung, zur Erfolgskontrolle von Düngung und Pflanzenschutz, oder zur Planung und Dokumentation betrieblicher Maßnahmen⁵⁷. Insbesondere die Sentinel-2-Satelliten des europäischen Copernicus-Programms bieten dank hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung aktuelle Informationen über den Zustand landwirtschaftlicher Nutzflächen. Erste Anwendungen zeigen, dass selbst einfache Farb- und Infrarotbilder zur visuellen Kontrolle von Pflanzenbeständen eingesetzt werden können – ganz ohne komplexe Auswertungstechnologien. Fortgeschrittene Betriebe kombinieren Satelliteninformationen mit Precision-Farming-Systemen, etwa zur teilflächenspezifischen Düngung.

Die nachfolgenden Anwendungsbeispiele zeigen, wie Satellitendaten effektiv zur Entscheidungsunterstützung im landwirtschaftlichen Alltag eingesetzt werden – auch für kleine und mittlere Betriebe ohne spezielle Technik oder Vorwissen.

6.1 Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung bei Winterweizen

Ein praxisnahes Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von Satellitendaten in der Landwirtschaft liefert eine Studie der Universität Perugia (Italien), in der verschiedene Strategien zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung bei Winterweizen miteinander

⁵⁷ Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2020): *Programm zur Fernerkundung – Chancen für Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft*. Kapitel 2.2: Einsatz der Fernerkundung in der Landwirtschaft. URL: <https://www.bmel.de> (Zugriff am 10.05.2025)

verglichen wurden⁵⁸. Ziel war es, mithilfe von Satellitenbildern (Sentinel-2) die Stickstoffgabe gezielter und effizienter zu gestalten – mit dem Ergebnis, dass sich sowohl Umweltwirkungen als auch Betriebskosten verringern lassen.

Konkret wurden fünf Düngestrategien in vier Versuchsfeldern über zwei Anbaujahre hinweg getestet:

- Flat-N: klassische, gleichmäßige Düngung laut N-Bilanz,
- Var-N-dir: NDVI-basiert, proportional zur Pflanzenvitalität (hoher NDVI = mehr N),
- Var-N-inv: NDVI-basiert, kompensierend (niedriger NDVI = mehr N),
- AgroSat-Modell: kostenfreies Online-Tool mit NDVI-Auswertung und Erfahrungswerten,
- Agriculus-Modell: kommerzielle, KI-gestützte Plattform mit Wetter-, Boden- und Ertragsdaten.

Die Sentinel-2-Daten wurden genutzt, um den Pflanzenzustand mithilfe des NDVI zu bewerten und daraus Applikationskarten zu erstellen. Diese zeigten für jede Teilfläche, wie viel Stickstoff jeweils optimal ist.

⁵⁸ Santaga, F.S., Benincasa, P., Toscano, P., Antognelli, S., Ranieri, E., & Vizzari, M. (2021). Simplified and Advanced Sentinel-2-Based Precision Nitrogen Management of Wheat. *Agronomy*, 11(6), 1156.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11061156>

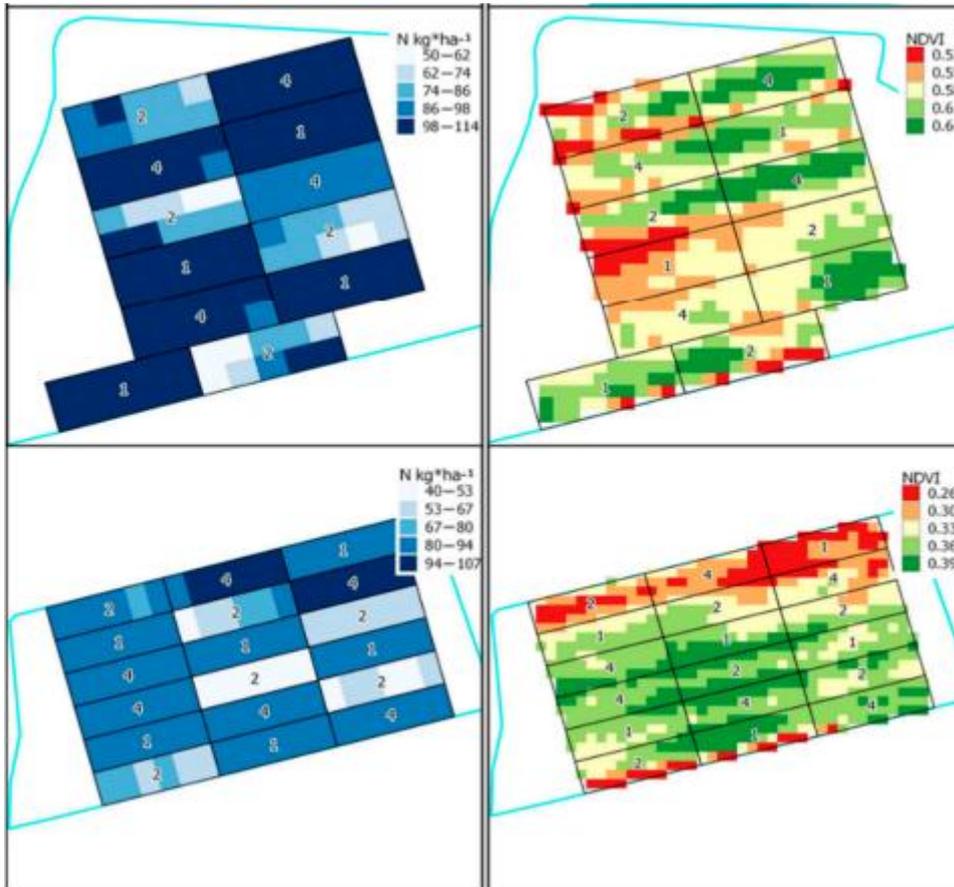


Abbildung 9 NDVI-Daten (rechts) als Grundlage für die Erstellung von Applikationskarten (links).

Die Ertragsdaten zeigten, dass in einem Jahr mit guten Bedingungen bereits einfache NDVI-Verfahren wie Var-N-dir den besten Ertrag bei hoher Effizienz erzielten. In einem Jahr mit schwierigen Wetterverhältnissen lieferten die Modelle (AgroSat, Agricolus) stabilere Ergebnisse und reduzierten die Unterschiede innerhalb der Felder.

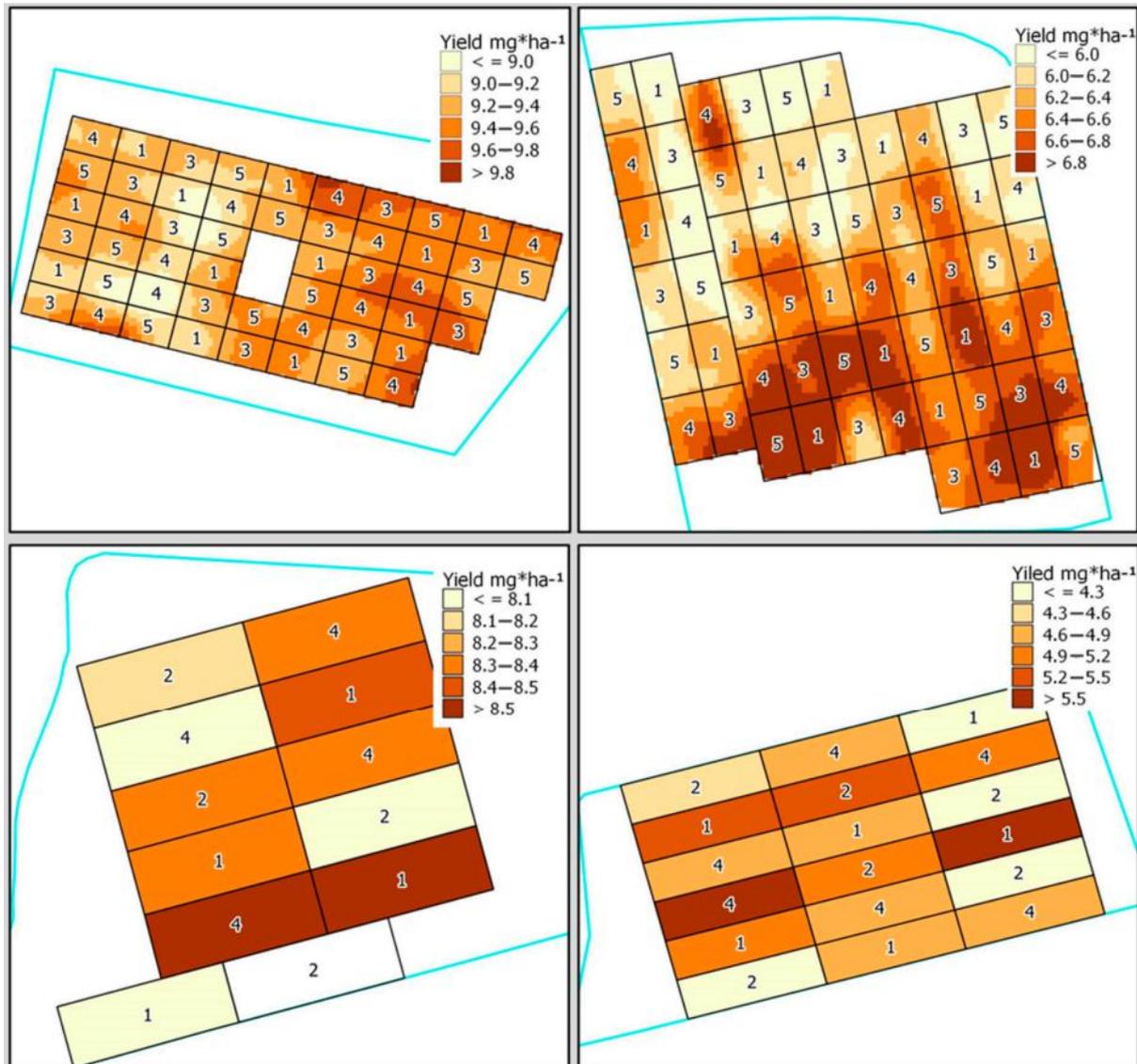


Abbildung 10 Ertragsunterschiede je nach Düngestrategie. Farblich dargestellt ist der Ertrag in Mg/ha.

Die Ergebnisse zeigten: In einem Jahr mit guten Wachstumsbedingungen schnitt die einfache proportional zur NDVI ausgerichtete Strategie am besten ab. In einem Jahr mit klimatischen Herausforderungen lieferten hingegen die komplexeren Modelle die stabileren Erträge und reduzierten gleichzeitig die Variabilität innerhalb der Felder. Insgesamt konnten alle satellitengestützten Verfahren den Stickstoffeinsatz optimieren und die Stickstoffnutzungseffizienz (NUE) erhöhen – ohne nennenswerte Ertragseinbußen.

Bereits einfache Verfahren auf Basis frei verfügbarer Satellitendaten ermöglichen eine präzisere Düngung. Gleichzeitig zeigen weiterentwickelte Modelle ein großes Potenzial, um auf klimatische oder standortspezifische Unterschiede zu reagieren. Für

landwirtschaftliche Betriebe bieten solche Ansätze konkrete Einsparmöglichkeiten – sowohl ökologisch als auch ökonomisch.

6.2 Optimierung des Mahdzeitpunkts im Grünland mit NDVI-Zeitreihen

Im Rahmen des Nationalen Forums für Fernerkundung und Copernicus präsentierte EFTAS eine Studie zur Klassifikation von Grünlandtypen in Deutschland mithilfe von Sentinel-2 NDVI-Zeitreihen⁵⁹. Die Studie demonstriert die Nutzung von NDVI-Zeitreihen zur Analyse von Vegetationsverläufen und zur Unterscheidung von Grünlandtypen. Die Erkenntnisse aus der EFTAS-Studie unterstreichen die Bedeutung von NDVI-Zeitreihen für das Grünlandmanagement.

Mithilfe frei verfügbarer Satellitendaten des Sentinel-2-Systems wurden deutschlandweit hochaufgelöste NDVI-Zeitreihen (Normalisierter Differenzvegetationsindex) im zweiwöchigen Rhythmus für das Jahr 2016 erzeugt. Diese Zeitreihen ermöglichten es, typische Vegetationsverläufe für verschiedene Nutzungsformen (z. B. ein- bis dreischürige Nutzung) zu identifizieren.



Abbildung 11 Schwierigkeit der Unterscheidung zwischen Grasland und Grünland

⁵⁹ Buck, O.; Kleinewillinghöfer, L.; Biscan, A.; Müller, S.; Völker, A.; Haub, C.; Mütterthies, A. (2018): Nutzung von Satellitenbild-Zeitreihen zum Grünlandmonitoring – Ergebnisse einer nationalen Analyse zur Anwendung auf Natura 2000 Gebiete. Präsentation auf dem Nationalen Forum für Fernerkundung und Copernicus, Berlin, 29.11.2018. Verfügbar unter: https://d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Forum_2018/D1_EFTAS_Copernicus_Forum_2018_11_29_Berlin_v_1_0.pdf

So konnten beispielsweise Mahdzeitpunkte erkannt werden, indem der plötzliche Rückgang des NDVI-Werts nach einer Schnittmaßnahme analysiert wurde. Die anschließende Regeneration der Grasnarbe zeigte sich im NDVI-Verlauf ebenfalls deutlich.

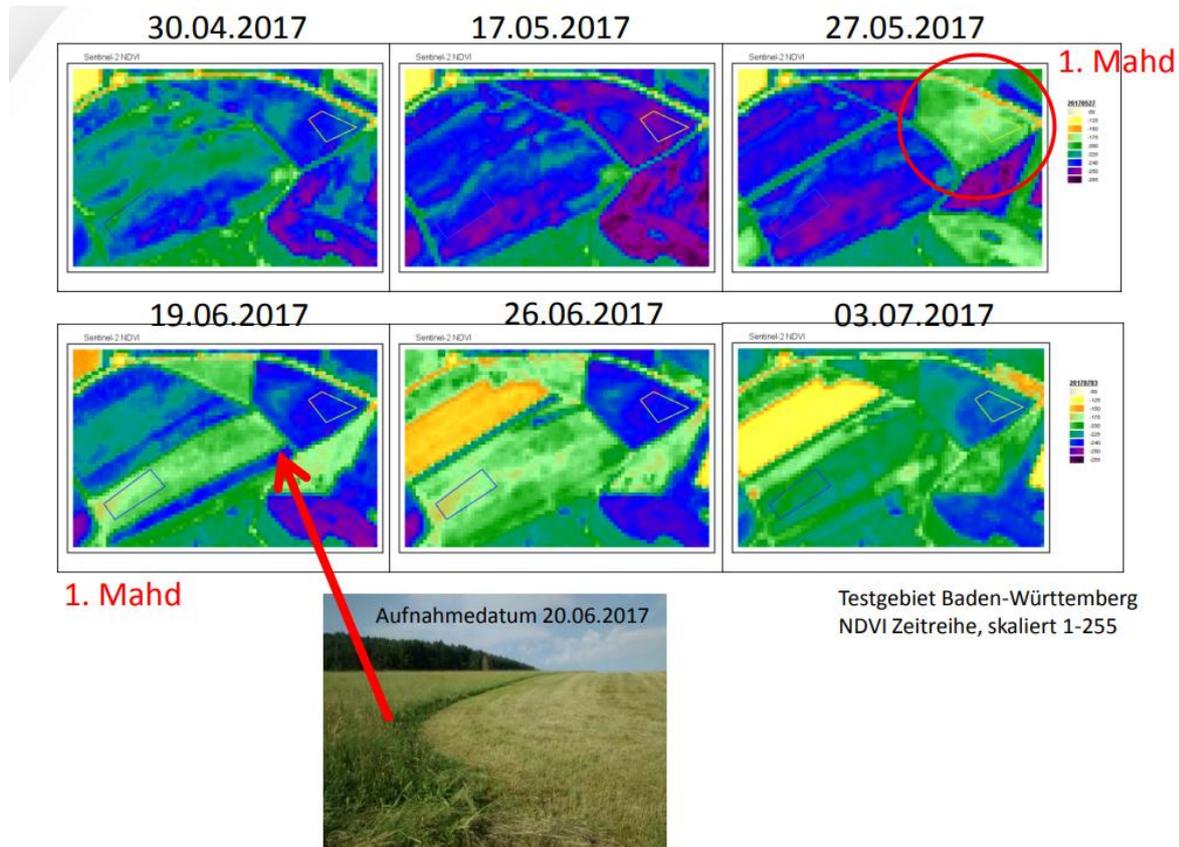


Abbildung 12 Zeitreihenanalyse der NDVI Werte

Zur Validierung der Ergebnisse wurden Betriebsdaten aus dem InVeKoS-System sowie Vegetationsaufnahmen aus dem LUCAS-Programm herangezogen. Die Analyse wurde durch ein Klassifikationsverfahren auf Basis eines Random-Forest-Algorithmus ergänzt, dass eine differenzierte Erfassung von Nutzungshäufigkeit und -intensität ermöglichte.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass sich durch den Einsatz von Sentinel-2-Daten und NDVI-Zeitreihen fundierte Aussagen über den Zustand und die Bewirtschaftung von Grünland treffen lassen. Für landwirtschaftliche Betriebe – insbesondere im Milchviehbereich – bietet dies ein enormes Potenzial: Der optimale Mahdzeitpunkt kann besser abgeschätzt, die Schnittnutzung dokumentiert und die Futterqualität langfristig gesichert werden. Darüber hinaus können solche Verfahren als Grundlage für agrarpolitische Maßnahmen oder zur Dokumentation von Förderauflagen dienen.

6.3 Teilflächenspezifische Lösungen – Maschinenring – aGRAR-ZT

Die präzise Aufteilung landwirtschaftlicher Flächen in homogene Teilbereiche – sogenannte Zonen – ist eine zentrale Voraussetzung für den zielgerichteten Einsatz von Betriebsmitteln wie Dünger oder Saatgut. In diesem Beispiel wird gezeigt, wie die Kombination zweier unabhängiger Datenquellen – Bodensensordaten und Satellitenfernerkundung – zur Verbesserung der Zonierungsqualität beitragen kann.

6.3.1 Erhebung und Analyse von georeferenzierten Bodenparameterdaten

Für die Zonenbestimmung ist eine umfangreiche Datenbasis mit aussagekräftigen Bodenparametern notwendig. Die Bodenparameter werden mit Hilfe von den sogenannten Veris-Bodensensoren erhoben. Der Bodensensor befindet sich am Traktor und erfasst verschiedene Parameter wie die geografische Position (Longitude, Latitude und Altitude Koordinaten), elektrische Leitfähigkeit des Bodens im Ober- und Unterboden (also in der Tiefe von 30 cm bzw. 90 cm), den pH-Wert des Bodens, sowie den Humusanteil als Infrarot- und Rotstrahlungswerte. Durch den Einsatz von RTK GPS-Systemen ist es möglich, Feldkonturen exakt zu erfassen mit ca. zwei Zentimeter Positionierungsgenauigkeit.



Abbildung 13 Veris-Bodensensor Befestigung

Die Erhebung von Bodensensordaten ist ziemlich teuer und zeitaufwendig, da jedes separaten Feldstück mit Hilfe des Traktors und des Bodensensors abgefahren muss. Zuerst wird entlang des Feldrandes und dann im Anschluss noch das innere des Feldstücks der Länge oder Breite nach in gleichbleibenden Abständen abgefahren. Der Abstand zwischen zwei Aufzeichnungsspuren hängt von der Größe des Feldes ab und liegt zwischen 10 und 15 Meter. Das besondere an den erhobenen Daten ist, dass sie georeferenziert sind, d.h. für jeden erhobenen Punkt gibt es Längengrad- und

Breitengradkoordinaten. Allerdings sind die erhobene Daten nur für einzelne Streifen vorhanden, wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** links exemplarisch für ein Feld dargestellt. Damit man aber eine Zonierung durchführen kann ist es notwendig flächendeckende Messwerte pro Parameter zu haben. Um diese zu ermöglichen, müssen Bodensensordaten mit geeigneten statistischen Methoden aufbereitet und dabei auch nicht plausible Werte, die möglicherweise durch Vibrationen beim Befahren entstehen, entfernt werden. Erst dann kann man eine zuverlässige Einteilung in homogene Bereiche erwarten.

Die Bodenleitfähigkeit ist ein Parameter der Auskunft über die Wasserspeicherkapazität des Bodens gibt, hohe Werte der Leitfähigkeit deuten auf hohes Wasserspeicherpotential hin. Indirekt kann dadurch auch eine grobe Abschätzung über die Bodenart gegeben werden. Ausdiesem Grund macht es Sinn Zonenbestimmung anhand elektrische Leitfähigkeit des Bodens durchzuführen. Die folgende Abbildung zeigt wie die Einteilung in homogene Teilflächen für das Feld aussehen kann.

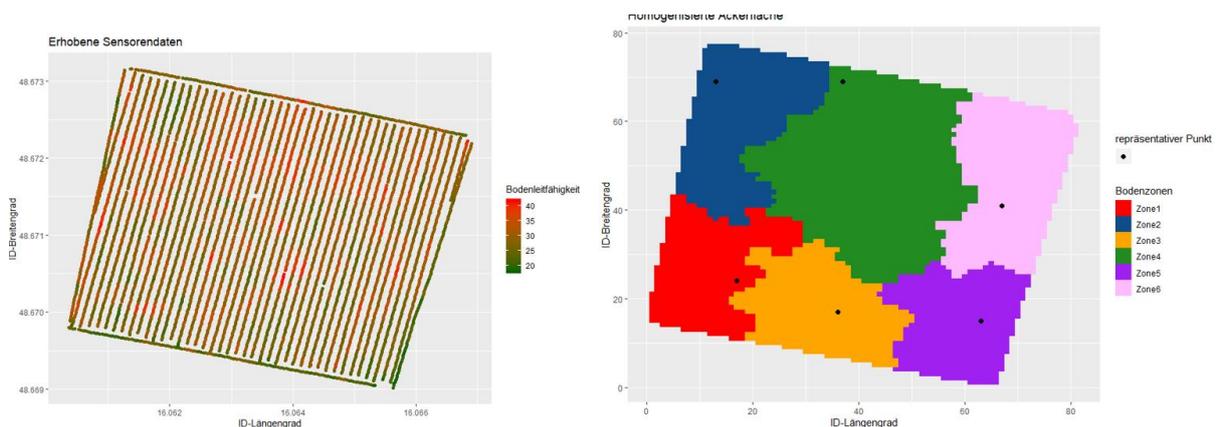


Abbildung 14 Links: Erhobene georeferenzierte Sensordaten; Rechts: Einteilung in homogene Teilflächen

Nachdem die homogenen Feldabschnitte (Bodenzonen) bestimmt wurden, kann in weiterer Folge ein repräsentativer Punkt pro Zone bestimmt, der die jeweilige Zone am besten widerspiegelt. In der Abbildung sind diese als schwarze Punkte in jeweiligen Bodenzone gekennzeichnet. Am repräsentativen Punkten werden ergänzende Bodenproben händisch genommen und im Labor wird der Bodentyp und dessen zugehörigen Eigenschaften genau bestimmt. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen im Labor sind dann charakteristisch für die gesamte Zone. Auf Basis dieser Information können beispielsweise Applikationskarten erstellt werden mit deren Hilfe die Düngung bzw. Aussaatmenge auf die jeweilige Zone abgestimmt und somit der Ressourceneinsatz optimiert werden.

In diesem Zusammenhang ist von hohe Relevanz auch zu anschauen, inwieweit die Zonierung homogener landwirtschaftlicher Flächen mit ähnlichen

Wachstumsbedingungen verbessert werden kann unter Zuhilfenahme von Fernerkundungsdaten.

6.3.2 Erhebung und Analyse von Satellitendaten

Der Vorteil Fernerkundungsdaten gegenüber den Bodensensordaten besteht darin, dass sie nicht zeitpunktbezogen sind, sondern Aufzeichnung über eine gesamte Vegetationsperiode liefern. Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von Satellitenbilder besteht darin, dass sie sowohl aktuelle also auch „historische“ Informationen über den Zustand landwirtschaftlicher Flächen liefern und zugleich große Flächen räumlich abdecken können. Außerdem lassen sich mithilfe der Satellitenbildern verschiedenste Aspekte der Bewirtschaftung auf Feldebene, in kurz aufeinanderfolgenden Zeitabständen, untersuchen. Dazu verwendet man Daten der Sentinel-2-Missionen, da diese aufgrund ihrer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung von besonderem Interesse für landwirtschaftliche Anwendungen sind.

Damit die Sentinel-2 Rohdaten verwendet werden können, müssen diese zunächst für die Auswertungen passend aufbereitet werden. Dazu gehören Atmosphärenkorrektur, Ko-registrierung, topografische Normalisierung, Maskierung der Wolkenbedeckung sowie auch die Berechnung von diversen Vegetationsindizes. Da die Wolkenbedeckung die Qualität und Verwertbarkeit der Daten stark beeinflusst, sind für die statistische Analyse ausschließlich Satellitenbilder mit einer Wolkenbedeckung von maximal 10% innerhalb einer Parzelle brauchbar. Vergleiche dazu die zwei Grafiken in Abbildung 15. Für die Quantifizierung von Grünvegetation wird üblicherweise der NDVI (Normierter Differenzierter Vegetationsindex) bestimmt. Mit Hilfe des NDVI, welcher einen Wertebereich zwischen $[-1;1]$ annehmen kann, ist eine Unterscheidung zwischen vegetationsbedeckte und vegetationsfreien Flächen möglich. Wichtig dabei ist, dass negative NDVI Werte Wasserflächen charakterisieren. Werte im Bereich von $[-0,1; 0,1]$ deuten auf unfruchtbare Gestein-, Sand- oder Schneeflächen hin. Ein Wert aus $[0;0,2]$ entspricht einer nahezu vegetationsfreien Flächen, wohingegen Werte aus $[0,2;0,4]$ auf Busch- bzw. Grasflächen hinweist. Werte nahe 1 lässt auf eine hohe Vegetationsbedeckung mit grünen Pflanzen (z.B. tropischer Regenwald) schließen. Es existieren aber auch andere Vegetationsindizes die auf Basis von Satellitendaten errechnet werden können wie z.B. der Blattflächenindex (LAI), der Erweiterte Vegetationsindex EVI (Enhanced Vegetation Index) oder NDRE Index (Normalized Difference Red Edge).

Die linke Grafik Abbildung 15 stellt den NDVI Index eines ausgewählten Feldes für einen bestimmten Tag dar wo eine Wolkenabdeckung von 0 % vorliegt. In der rechten Grafik wird der NDVI mit einer Wolkenabdeckung von mehr als 50 % dargestellt.

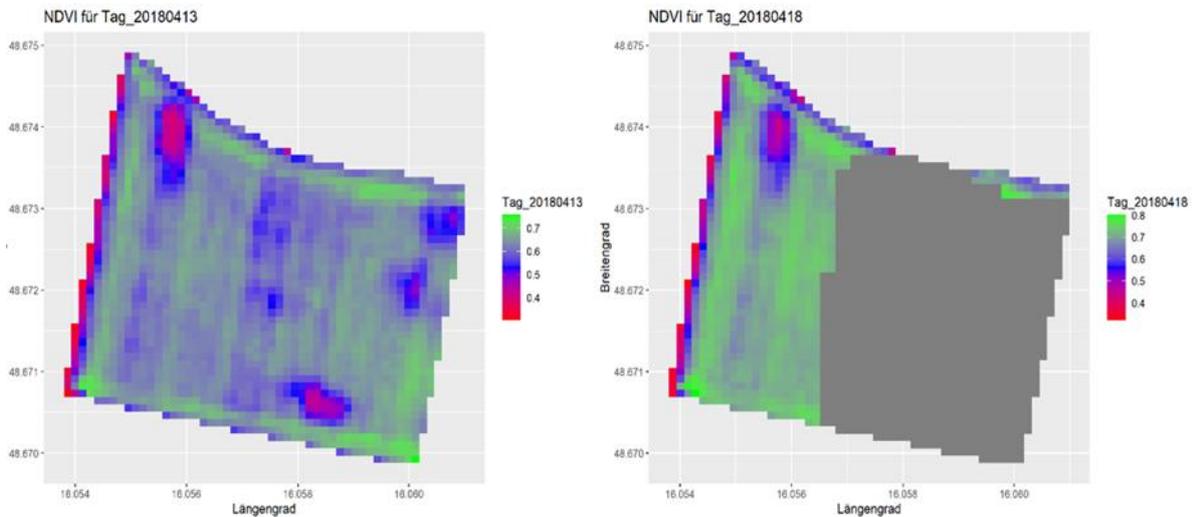


Abbildung 15 Darstellung NDVI für ein ausgewähltes Feld und zwei unterschiedliche Tage. Links: NDVI mit einer Wolkenbedeckung von 0 %; Rechts: NDVI mit einer Wolkenbedeckung von mehr als 50 %

In Abbildung 16 ist Einteilung in zwei homogene Teilflächen anhand separaten Datenquellen für ein ausgewähltes Feld dargestellt. Die linke Zonierung wurde auf Basis von Bodensensordaten und rechts auf Basis von mehrjährigen Satellitendaten bestimmt. Auffallend ist, dass sich die Zonierungen doch stark voneinander unterscheiden. Eine mögliche Erklärung dafür könnte sein, dass die unterschiedlichen Bodenverhältnisse geringer ausgeprägt sind als man durch die graphische Darstellung vermuten könnte und die Pflanzenentwicklung dadurch wenig beeinflusst wird. Auch können die unterschiedlichen Bodenverhältnisse durch ideale Klimabedingungen (warme Temperaturen mit ausreichendem Niederschlag) abgeschwächt werden und somit wenig Einfluss auf die Pflanzenentwicklung haben. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen macht die Kombination und die Bestimmung einer Zonierung und in weiterer Folge Erstellung von Applikationskarten auf Basis beider Datenquellen durchaus Sinn, da der Vegetationszustand und die Bodenbeschaffenheit widerspiegelt werden.

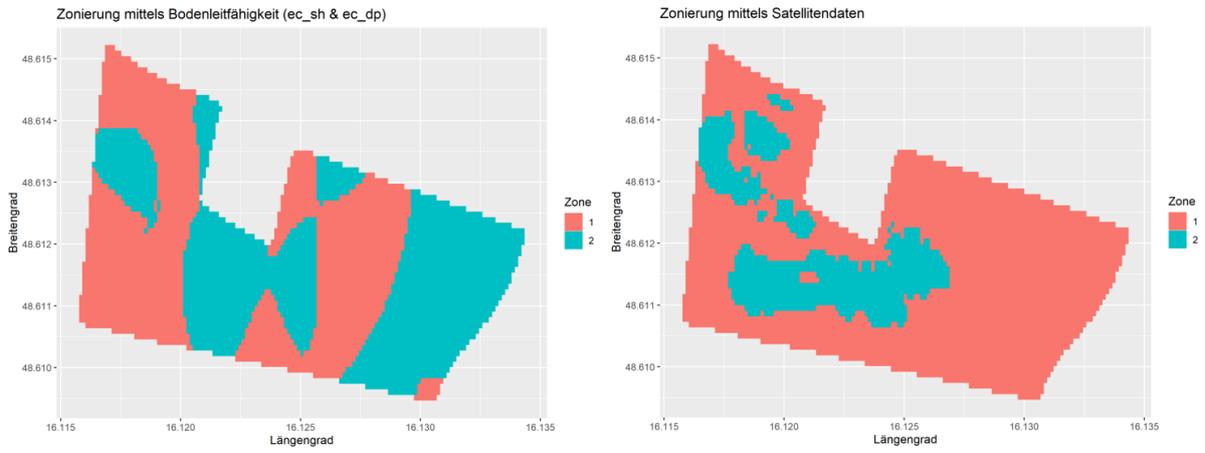


Abbildung 16 Vergleich Zonierungen anhand unterschiedlichen Datenquellen. Links: Zonierung mittels Bodensensordaten; Rechts: Zonierung mittels Satellitendaten

Literaturverzeichnis

Buck, O.; Kleinewillinghöfer, L.; Biscan, A.; Müller, S.; Völker, A.; Haub, C.; Mütterthies, A. (2018): Nutzung von Satellitenbild-Zeitreihen zum Grünlandmonitoring – Ergebnisse einer nationalen Analyse zur Anwendung auf Natura 2000 Gebiete. Präsentation auf dem Nationalen Forum für Fernerkundung und Copernicus, Berlin, 29.11.2018. Verfügbar unter: https://d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Forum_2018/D1_EFTAS_Copernicus_Forum_2018_11_29_Berlin_v1_0.pdf

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG): Fernerkundung, online unter: <https://www.bkg.bund.de> [Zugriff: Mai 2025].

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL): Fernerkundung in der Landwirtschaft – Potenziale und Anwendungen (Broschüre), Berlin 2022, S. 15.

Copernicus Data Space Ecosystem: WCS Access Documentation, online unter: <https://documentation.dataspace.copernicus.eu/APIs/SentinelHub/OGC/WCS.html> [Zugriff: Mai 2025].

Copernicus – European Union’s Earth Observation Programme: Remote Sensing and Agriculture, online unter: <https://www.copernicus.eu/en> [Zugriff: Mai 2025].

Copernicus Land Monitoring Service (CLMS): In situ component, online unter: <https://land.copernicus.eu> [Zugriff: Mai 2025].

de Lange, N. (2013): Fernerkundung und digitale Bildverarbeitung. In: Geoinformatik. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-34807-5_10

ESA – European Space Agency: Observing the Earth – EO Missions, online unter: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth [Zugriff: Mai 2025].

European Environment Agency (EEA): Glossary – In situ data, online unter: <https://www.eea.europa.eu/help/glossary> [Zugriff: Mai 2025].

GISGeography: Passive vs Active Sensors in Remote Sensing, online unter: <https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/> [Zugriff: Mai 2025].

Lexikon der Fernerkundung: Einführung in die Fernerkundung. Online verfügbar unter: <https://www.fe-lexikon.info/Fernerkundung.htm> [Zugriff: Mai 2025].

NASA Earthdata: OPeNDAP Services, online unter: <https://www.earthdata.nasa.gov/engage/open-data-services-software/earthdata-developer-portal/opepdap> [Zugriff: Mai 2025].

NASA Earthdata: Remote Sensing Instruments – Active vs Passive, online unter:
<https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing> [Zugriff: Mai 2025].

NASA: What are passive and active sensors?, online unter:
<https://www.nasa.gov/general/what-are-passive-and-active-sensors> [Zugriff: Mai 2025].

Online unter:
<https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Fernerkundung.pdf>
[Zugriff: Mai 2025].

Sentinel Hub: API Overview, online unter: <https://www.sentinel-hub.com/develop/api/>
[Zugriff: Mai 2025].

