

# Verbundprojekt AGRO DE



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

FKZ 2815705015

Abschlussbericht EOMAP



Verbundpartner EOMAP GmbH & Co.KG  
Schlosshof 4, 82229 Seefeld

22.12.2020

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

---

Zuwendungsempfänger: EOMAP GmbH & Co.KG	Förderkennzeichen: FKZ 2815705015
Vorhabensbezeichnung: AGRO DE	
Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft	
Laufzeit des Vorhabens und Berichtszeitraum: 01.07.2016 - 30.06.2020	
Projektleitung Dr. K. Hartmann	
Autor: Dr. Knut Hartmann	
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.	

## *Inhaltsverzeichnis*

I.	Kurzdarstellung .....	3
1	Aufgabenstellung .....	3
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	4
3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
4	Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Vorhabensbeginn .....	5
5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	13
II.	Eingehende Darstellung .....	14
1	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse .....	14
1.1	AP 1 Prozesskette / Infrastruktur und AP 2 Vorprozessierung EO Daten .....	14
1.2	AP 3 Produkterstellung .....	19
1.3	AP 4 Praxistests und On-Farm Versuche .....	23
1.4	AP 5 Verwertung und Kommunikation .....	24
2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	25
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	25
4	Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des Verwertungsplanes .....	26
5	Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen .....	26
6	Veröffentlichungen (erfolgt / geplant) .....	26
III.	Erfolgskontrollbericht .....	27
IV.	Kurzfassung .....	27

## I. Kurzdarstellung

### 1 Aufgabenstellung

Fernerkundungsdaten liefern Informationen über den aktuellen Zustand und die biophysikalischen Eigenschaften landwirtschaftlicher Flächen, die ein wichtiges Hilfsmittel für die praktische Landwirtschaft darstellen. Im Rahmen des Copernicus Programms der EU wird ab 2014 eine neue Flotte von Erdbeobachtungssatelliten (Sentinels) bereitgestellt, die operationelle Satellitendaten in bisher nicht gekannter Menge, zeitlicher Auflösung und technischer Qualität liefern. Die dabei entstehenden Datenmengen (volle Ausbaustufe: Radardaten alle 2 Tage, optische Daten alle 3-4 Tage) von bis zu mehreren Petabytes pro Tag stellen allerdings enorme Herausforderungen an die Datenzugangs-, Datenverarbeitungs- und Datenauswerteverfahren, sowie Infrastrukturen. Nach bisherigem Stand sind die Sentinel-Datenströme für die landwirtschaftliche Praxis in nicht aufbereiteter Form faktisch nicht nutzbar.

Mit dem Projekt AGRO-DE soll ein Daten- und Auswertungscluster geschaffen werden, welches landwirtschaftlichen Betrieben und Beratern, Lohnunternehmern und Serviceprovidern ermöglicht, vorverarbeitete Fernerkundungsinformationen zeitnah nutzen zu können und in ihre Betriebsabläufe zu integrieren. Die Informationen sollen dabei in verschiedenen Formen (z.B. als Karten- und Datendienste), Informationstiefen (Bilddaten, Informationsextraktion, dynamisches Modellierungsergebnis) und Abrechnungsmodellen (kostenfrei und als Dienstleistungen) bereitgestellt werden. Das Projekt AGRO-DE fokussiert damit auf das Förderziel „*Optimierung von satelliten-, sensorgestützten und anderen geodatengestützten agrar-technischen Lösungen... mit Unterstützung von Copernicus Daten und Diensten...*“. Bisher werden Fernerkundungsprodukte in der praktischen Landwirtschaft nur exemplarisch und meist in Großbetrieben genutzt. Hohe Kosten für die Daten und die Datenaufbereitung einerseits, bzw. eine ungewisse Datenverfügbarkeit aufgrund starker Bewölkungshäufigkeit in Deutschland andererseits, und damit die Planungsunsicherheit für die aktuelle Bestandesführung, haben den operationellen Einsatz von Fernerkundung in der Landwirtschaft bisher verhindert beziehungsweise auf einige finanzstarke Betriebe beschränkt. Mit dem Copernicus Programm der EU wird ab 2016/2017 eine für die Landwirtschaft hoch interessante Satellitenkonstellation aus zwei Radar (Sentinel-1 A+B) und zwei optischen (Sentinel- 2 A+B) Satellitensystemen entstehen. Damit können garantiert alle 2 Tage aktuelle Informationen über die Entwicklung der Vegetationsbestände mit Hilfe wolken durchdringender Radartechnik gewonnen werden. Alle 3-4 Tage werden die Flächen von den optischen Systemen überflogen, so dass die Chancen, eine wolkenfreie Aufnahme zu erhalten, deutlich gesteigert werden.

Im Vergleich zu den meisten existierenden Fernerkundungsmissionen sind die Daten kostenfrei und in einer hohen räumlichen (10-20 m), spektralen und zeitlichen Auflösung verfügbar, die völlig neuartige Datenprodukte überhaupt erst ermöglichen und insbesondere auch für kleinstrukturierte landwirtschaftliche Betriebe sehr interessant werden. Die Strategie der EU, dass Copernicus Programm auch nach 2020 mit neuen Satelliten auszurüsten, macht die Entwicklung einer operationellen Vorverarbeitungskette auch mittelfristig sehr interessant. Aus diesem Grund haben sich die Verbundprojektpartner entschlossen, die abgeleiteten Informationen und Services der neuen Fernerkundungsdaten zur Unterstützung der ressourcen-effizienten Landwirtschaft zu entwickeln und einzusetzen.

Mit aufbereiteten Fernerkundungsdaten wird es nun möglich, auch landwirtschaftliche Betriebe zu erreichen, die bisher aufgrund ihrer Größe und technischen Ausstattung nicht im Zentrum der Fernerkundungsnutzung standen.

## **2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Das zugrundeliegende Förderprogramm des BMEL beinhaltet die Förderung von Innovationen in der Agrartechnik zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Dabei sollten insbesondere satelliten-, sensorgesteuerte und geodatengestützte technische Lösungen eingesetzt werden, besonders auch mit Unterstützung von Copernicus Daten und Diensten. Die Daten, die im Rahmen des Copernicus Programms bereitgestellt werden, ermöglichen die Ableitung von landwirtschaftlichen Informationen, die zur Verbesserung des Ressourceneinsatzes, vor allem von Düngemitteln, verwendet werden können. Neben der Planung eines optimierten Ressourceneinsatzes werden die Daten auch für die Erfolgskontrolle durchgeführter Maßnahmen eingesetzt, so dass neben einer Dokumentation auch die Effizienz beurteilt werden kann. Hinsichtlich des Datenzugangs und der Interpretation der Informationen ergeben sich aber auch große Herausforderungen, die von der praktischen Landwirtschaft so derzeit nicht zu leisten sind. Das AGRO-DE Konsortium nahm sich diesen Aufgaben an und bereitete Copernicus Daten für die Landwirtschaft auf und lieferte Interpretationshilfen für die Praxis. Dabei soll die Ressourceneffizienz durch den Einsatz der neuen Daten in verschiedenen Versuchen belegt bzw. den herkömmlichen Verfahren gegenübergestellt werden.

## **3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Der Projektablauf gliederte sich in 5 Arbeitspakete (siehe folgende Abbildung). EOMAP beteiligte sich in den Arbeitspaketen 1 (Prozesskette/Infrastruktur), AP 3 (Produkterstellung), AP 4 (Praxistest und On-Farm Versuchen) und AP 5 (Verwertung und Kommunikation). Im Laufe der ersten 1-2 Projektjahre übernahm EOMAP zusätzliche Arbeiten um AP 2 (Atmosphären- und Wolkenkorrektur).

Arbeitspaket		2016		2017				2018				2019		Partner
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	
AP	Prozesskette / Infrastruktur													
1.1	Level 1 Prozesskette DLR													DLR
1.2	Modulare Level 2 Prozesskette													EOMAP
1.3	Datenschnittstellen / Web Map-Services													DLR, EOMAP, JKI
AP	Vorprozessierung EO Daten													
2.1	Orthorektifizierung													DLR
2.2	Atmosphären- und Wolkenkorrektur													DLR
2.3	Validierung													DLR, JKI
2.4	Flächenextraktion / Maskenaktualisierung													JKI
AP	Produkterstellung													
3.1	Basisprodukte													DLR, EOMAP, JKI
3.2	Vegetationsprodukte													DLR, EOMAP, JKI
3.3	Bodenprodukte													DLR, JKI
3.4	Teilflächenspezifische Nährstoffkarten													EOMAP, Hanse Agro, JKI
3.5	Dynamische Ertragsschätzung													JKI
AP	Praxistests und On-Farm Versuche													
4.1	Im landwirtschaftlichen Betrieb													Hanse Agro, JKI
4.2	In der Beratung und Versuchswesen													Hanse Agro, JKI
4.3	Performance Test													EOMAP
4.4	On-Farm Versuche													Hanse Agro, JKI
4.5	Eignungsbewertung													Hanse Agro, JKI
AP	Verwertung und Kommunikation													
5.1	Anforderungen aus der Praxis													Hanse Agro
5.2	Entwicklung Geschäftsmodell													EOMAP, DLR
5.3	Datenzugriff und Web Applikationen													EOMAP, DLR, JKI
5.4	Demonstrationsbetriebe													Hanse Agro, JKI
5.5	Projekthomepage, Tagungen und Feldtage													Alle

Abbildung 1: Geplanter Projektablauf von AGRO-DE.

Im Projekt AGRO-DE ist es beim Projektpartner JKI zu einer zeitlichen Verzögerung der Datenprozessierung der Sentinel-1 Daten gekommen. Hintergrund ist die Änderung der Datenstruktur durch den Satellitenbetreiber Anfang 2018, die zu einer deutlichen Erhöhung der Rechenzeiten und zu einer Verschlechterung der geometrischen Lagegenauigkeiten geführt hat. Die neue Datenstruktur machte jedoch eine komplette Neuprozessierung der Sentinel-1 Daten erforderlich, damit die Daten mit einer hinreichenden Lagegenauigkeit und vergleichbar genutzt werden können. Dadurch ist es zum zeitlichen Verzug gekommen, infolge dessen wichtige Eingangsdaten für nachfolgenden Prozessierung auf optischen Daten auch ausgebremst wurden. Dieser Prozessierungsstau wird derzeit abgebaut. Um das Projekt entsprechend der im Projektantrag angegebenen Zeitschiene zu erfüllen wurde die Projektlaufzeit um 10 Monate bis zum 30 Juni 2020 kostenneutral verlängert.

#### 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Vorhabensbeginn

Der wissenschaftliche und technische Stand zum Vorhabensbeginn kann wie folgt beschrieben werden.

##### Das Copernicus Programm der Europäischen Union

Seit dem 3. April 2013 ist die Verordnung (EU) Nr. 377/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Einrichtung des Programms Copernicus in Kraft getreten.

Das Copernicus Programm beinhaltet den Betrieb von sechs thematischen Diensten (Landüberwachung, Überwachung der Meeresumwelt, Katastrophen und Krisenmanagement, Überwachung der Atmosphäre, Überwachung des Klimawandels und Sicherheit) und der Copernicus Weltraumkomponente, bestehend aus insgesamt 12 Fernerkundungssatelliten. Für das Programm stellt die Europäische Kommission bis 2020 rund 4,3 Mrd. € bereit (Europäische Kommission, 2014).

#### Sentinel 1A

Seit Oktober 2014 sind die Daten des Radarsatelliten Sentinel 1A verfügbar. Der Radarsensor zeichnet Deutschland in elf Flugstreifen auf. Sechs Flugstreifen verlaufen von Süd nach Nord (ascending mode) und überfliegen Deutschland gegen 6:00 Uhr abends, fünf Flugstreifen verlaufen von Nord nach Süd (descending mode) und zeichnen um 6:00 Uhr morgens auf.

Durch die hohe geographische Breite Deutschlands überlagern sich die Flugstreifen, so dass bereits mit einem Satelliten die meisten Regionen in Deutschland ca. alle 4 Tage erfasst werden (Abb. 1). Mit dem Start des baugleichen Sentinel 1B Satelliten 2016 werden sich die Überflughäufigkeiten verdoppeln, so dass ein kontinuierliches Monitoring möglich wird.

Der aktive Radarsensor ist beleuchtungsunabhängig und die ausgesendeten Mikrowellen können Wolken durchdringen, so dass das System weitgehend witterungsunabhängig aufzeichnet. Für die Landanwendungen stehen zwei Bildkanäle zur Verfügung, die sich in den Polarisationssebenen der ausgesendeten und empfangenden elektromagnetischen Wellen unterscheiden (VV: vertikal gesendet und empfangen, VH: vertikal gesendet, horizontal aufgezeichnet).

Die technischen Eigenschaften des Sentinel 1 erlauben eine verlässliche Datenverfügbarkeit in hoher zeitlicher und räumlicher (10 m) Auflösung.

#### Sentinel 2A

Seit Dezember 2015 werden die Daten des optischen Sentinel 2A Satelliten bereitgestellt. Der Satellit überfliegt Deutschland mit sechs Flugstreifen. Auch diese Flugstreifen überlappen sich, so dass eine Überflughäufigkeit von derzeit 7 Tagen besteht. Durch den Start des baugleichen Sentinel 2B Satelliten Ende 2016 verdoppelt sich auch hier die Aufzeichnungshäufigkeit, so dass Deutschland dann alle 3-4 Tage überflogen wird. Das optische System kann jedoch durch Bewölkung beeinflusst werden, so dass die tatsächlichen Aufzeichnungsraten geringer ausfallen werden. Der multispektrale Sensor zeichnet in 13 Kanälen mit geometrischen Auflösungen von 10, 20 und 60m auf.

Für landwirtschaftliche Fragestellungen scheint zunächst der geplante Dienst Landüberwachung interessant. Dieser Dienst umfasst die Erfassung von Landbedeckung und deren Veränderung (verschiedene räumliche und zeitliche Maßstäbe), Parameter im Bereich Vegetation und geophysikalische Zusammensetzung der Oberfläche, sowie die Dokumentation von saisonalen und jährlichen Veränderungen der Landoberfläche. Die räumliche Bezugsebene des Dienstes ist Europa mit einer Zielauflösung von ca. 1:100.000, die sich an den Anforderungen von CORINE Landcover orientiert. Für nationale und regionale Fragestellungen ist diese Auflösung jedoch zu grob, zumal die Satellitendaten Informationen bis auf Schlagebene (z.T. auch Teilschlag) bereitstellen können. Hinzu kommt, dass der „High Resolution Layers“ Dienst keinerlei Informationen über die landwirtschaftliche Ackerbaufläche beinhaltet.

Auch von der offiziellen Statistik sind derzeit zeitnah keine Daten über kulturartspezifische Anbauflächen verfügbar (Agrarstrukturerhebung als Vollerhebung findet nur alle 5 Jahre statt, die Daten sind erst 2-3 Jahre später verfügbar), zudem ist die räumliche Auflösung, ebenso wie bei der jährlichen Ertragsermittlung, auf Landkreis- bzw. Gemeindeebene beschränkt. Systematische

Daten über den aktuellen Zustand von landwirtschaftlichen Kulturen innerhalb der Vegetationsperiode liegen bisher nicht flächenscharf vor. Ebenso sind keine Daten zu mehrjährigen Fruchtfolgen verfügbar. Diese Daten sind jedoch die Basis, um räumliche Veränderungen der Agrarstruktur frühzeitig erkennen zu können (z.B. vermehrter Maisanbau, Grünlandumbruch) und Maßnahmenpläne zu entwickeln.

Die technischen Möglichkeiten stehen mit dem Copernicus Programm bereit, es fehlt jedoch ein nationaler Dienst für landwirtschaftliche Fragestellungen, der bis auf Schlägebene auflösen kann. Ein derartiger Dienst ist im Rahmen von Copernicus derzeit nicht verfügbar, aber auf nationaler Ebene technisch realisierbar und für viele Fragestellungen von sehr großem Wert, z.B. Agrarstatistik, Ertragsprognosen, Pflanzenschutz, Identifikation von Greening Flächen, Erosionsgefährdung und Precision Farming. Neue landwirtschaftliche Dienste sind insbesondere auch für Behörden interessant. Da jedoch jedes Jahr große Mengen flächenhafter Daten benötigt werden, sind die Einzelbehörden nicht in der Lage diese Daten zu erheben und bereitzustellen. Eine zentrale Einrichtung, wie z.B. das BKG (Geodatenzentrum) für topographische Daten, fehlt für den landwirtschaftlichen Bereich komplett. AGRO-DE wird für eine kostenlose Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Basisdiensten sorgen und somit auch die Nutzung der Daten in anderen Behörden anregen.

### **Fernerkundliche Grundlagen mit Bezug zur Landwirtschaft**

Zum Einsatz von Fernerkundung in der Landwirtschaft gibt es eine Vielzahl von Veröffentlichungen und seit langem wird die Satellitenfernerkundung für die Überwachung und Analyse von landwirtschaftlichen Aktivitäten verwendet. Diese Studien und Anwendungen konzentrieren sich auf eine Vielzahl verschiedener Aspekte, sowohl in Bezug auf Vegetations- als auch Bodenparameter. Ein hohes Maß an spektroskopischen Informationen wurde mit Labor- und Felduntersuchungen sowie basierend auf flugzeuggestützten Systemen sowohl für Vegetation abgeleitet. Spezifische Parameter, die auf Basis verschiedener Fernerkundungsplattformen erhoben wurden, sind unter anderem Fruchtartenerkennung, Biodiversitätsmonitoring, Beobachtung des Vegetationszustandes und Pflanzenstress, Informationen zur Nährstoffversorgung, Kartierung von Bodentypen, Anteil der organischen Bodensubstanz, Ton- und Eisenoxidgehalte, Bodentextur, Korngrößen und Bodenfeuchte<sup>1</sup>. Zusätzlich können Informationen in Bezug auf die räumliche Variabilität, Ernteflächen, Feldgrößen und die Abgrenzung von Managementzonen direkt oder indirekt aus Fernerkundungsdaten abgeleitet werden<sup>2</sup>. Zeitreihendaten verschiedener Plattformen können auch für eine erweiterte Überwachung und Modellierung eingesetzt werden, so dass u.a. phänologische Zyklen einzelner Anbaufrüchte abgeleitet werden können<sup>3</sup>, die Nettoprimärproduktion geschätzt<sup>4</sup> und Ertragsschätzungen und Ernteprognosen<sup>5</sup> abgeleitet

---

<sup>1</sup> Nellis M. D., Price K. P., Rundquist D. (2009) Remote Sensing of Cropland Agriculture. Papers in Natural Resources, Paper 217.

<sup>2</sup> Pinter P.J. Jr., Hatfield J.L., Schepers J.S., Barnes E. M., Moran M.S., Daughtry C.S.T., Upchurch P.S.D. (1991) A model of regional primary production for use with coarse resolution satellite data. Int. J. Remote Sens., 12, 1313–1330.

<sup>3</sup> Esch T., Metz, A., Marconcini, M., Keil M. (2014) Combined use of multi-seasonal high and medium resolution satellite imagery for parcel-related mapping of cropland and grassland, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 28, 230–237.

<sup>4</sup> Wang J., Rich P.M., Price K.P., Dean-Kettle W. (2005) Relations between NDVI, grassland production, and crop yield in the central great plains. Geocarto International vol. 20 no. (3) pp. 5–11.

<sup>5</sup> Lilienthal H., Gerighausen H. (2015) Regionale fernerkundliche Erfassung des aktuellen landwirtschaftlichen Ertragspotenzials. Feldtag Precision Farming Hanse Agro Beratung & Entwicklung GmbH, Bahrndorf.



werden können. Die Verknüpfung von Fernerkundungsinformationen mit Daten aus anderen Quellen können für die Modellierung wichtige Eingangsgrößen darstellen. So kann z.B. die Verknüpfung des Bedeckungsgrades photosynthetisch aktiver Vegetation in Kombination mit abgestorbener Vegetation, Bodendaten und digitalen Höhenmodellen zur Ableitung einer Risikopotenzialkarte für Bodenerosion verwendet werden<sup>6</sup>.

Es gibt jedoch auch viele Herausforderungen für den Einsatz der Fernerkundung in der praktischen Landwirtschaft: Die häufige Bewölkung in Deutschland ist besonders kritisch für die Datenverfügbarkeit optischer Daten und hat bisher dafür gesorgt, dass kein operationeller Landwirtschaftsservice etabliert werden konnte. Hinzu kommt, dass landwirtschaftliche Flächen innerhalb der Vegetationsperiode einem permanenten Wandel unterliegen (offener Boden, Vegetation, reife Vegetation, Zwischenfrucht etc.), so dass eine Fläche innerhalb eines Jahres mindestens drei verschiedene, dominierende Spektralinformationen liefert. Viele Fernerkundungsdaten erhalten ihren Wert erst lange nach der eigentlichen Aufnahme, da zum Beispiel der Zustand von Flächen in der Vergangenheit aktuellen Veränderungen gegenübergestellt werden müssen. Das erfordert einen langfristigen Zugang zu standardisierten Bildern und Daten-Produkten, und die Verknüpfung von aus der Fernerkundung abgeleiteten biophysikalischen Parametern mit agronomischen Größen<sup>7</sup>. Die Fülle an ableitbaren Fernerkundungsinformationen muss von der Wissenschaft sortiert, interpretiert und für die Praktiker verständlich aufbereitet werden.

Mit der großen Palette an zur Verfügung stehenden Sensorsystemen (unbemannte Luftfahrzeuge (engl. UAV), luft- und satellitengestützte Plattformen) gibt es auch eine hohe Variabilität bei den Kosten, dem Zugang, der pünktlichen Lieferung der Daten, der Standardisierung der Bilder, der Vorprozessierung, den abgeleiteten Produkten, der räumlichen und spektralen Auflösung von Sensoren, der Frequenz und Konsistenz der Bildaufnahme, sowie der Wolken und Dunstbedeckung. Daher wird im Folgenden der Stand der Wissenschaft bezüglich:

- Vorprozessierungsstrategien in der Literatur und am DLR
- Jüngste Entwicklungen von bodenbezogenen Erdbeobachtungsinformationen und
- Erdbeobachtungstechniken und Parameter für die Vegetationsanalyse

beschrieben.

#### Vorprozessierung

Als Bestandteil nationaler Copernicus-Aktivitäten verfügt das DLR über geeignete Verarbeitungskapazitäten für eine operationelle Prozessierung und für die nachfolgende Bereitstellung großer Datenmengen. Dies umfasst die Archivierung, Vorverarbeitung und Bereitstellung der Sentinel-Daten, sowie der Daten ausgewählter COPERNICUS „Contributing Missions“ (z.B. RapidEye, Landsat und TerraSar). In diesem Bereich der beitragenden Missionen verfügt das DLR über das komplette Archiv der optischen ENVISAT-Sensoren MERIS und AATSR Daten. Im SAR-Bereich liegt das komplette Archiv von TerraSAR-X und TanDEM-X dem DLR vor.

Hinsichtlich der Vorprozessierung optischer Daten beinhaltet dies den Einsatz der ESA-Prozessoren zur Kalibrierung und zur Orthorektifizierung der Daten, was zum Teil auch die

---

<sup>6</sup> Malec S., Rogge D., Heiden U., Sanchez-Azofeifa A., Bachmann M., Wegmann M. (2015) Capability of Spaceborne Hyperspectral EnMAP Mission for Mapping Fractional Cover for Soil Erosion Modeling, vol 7, pp. 11776-11800.

<sup>7</sup> Nellis M. D., Price K. P., Rundquist D. (2009) Remote Sensing of Cropland Agriculture. Papers in Natural Resources, Paper 217.

Einbeziehung weiterer externer Datensätze (z.B. Geländemodelle) erfordert. Hierdurch stehen für Anwendungen die kompletten ESA-Produktpaletten zur Verfügung. Im Falle von Sentinel-3 OLCI werden geo-referenzierte und radiometrisch kalibrierte L1-B Daten sowie OL\_2\_LFR (full resolution) und OL\_2\_LRR (reduced resolution) am DLR bereitgestellt, welche für landwirtschaftliche Anwendungen relevante Datenprodukte wie das OGVI-Produkt (FAPAR, den durch die Photosynthese absorbierten Strahlungsanteil), das OTCI-Produkt (Abschätzung des Chlorophyllgehaltes terrestrischer Vegetation, welches Aussagen über den Zustand der Vegetation zulässt) sowie die für Vegetationsindices essentiellen korrigierten Rot- und Infrarot-Kanäle RC681 und RC865 beinhaltet. Weiterhin werden auch die Synergie-Produkte wie zum Beispiel das L2-SYN SDR – Produkt (atmosphärenkorrigierte direktionale Reflektanzen) erzeugt und bereitgestellt. Hinsichtlich Sentinel-2 MSI umfasst dies das unkalibrierte Produkt (L-1A), das radiometrisch korrigierte Produkt (L1-B) sowie das orthorektifizierte Produkt (L1-C).

Da standardmäßig in der ESA-Prozessierung kein atmosphärenkorrigiertes L2-A Produkt vorgesehen ist, ist besonders hervorzuheben, dass am DLR auf Basis des etablierten Atmosphärenkorrektur-Programms ATCOR im Auftrag der ESA ein Prototyp-Prozessor zur Erzeugung von L2-A für Sentinel-2 erstellt wurde und im Rahmen dieses Projekts zur Verfügung steht.

Für die Nutzung von COPERNICUS-Daten im Rahmen des Projekts stehen somit nicht nur Rohdaten der Rolling Archives zur Verfügung, sondern ein Langzeit-Archiv der wichtigsten Datenprodukte der Sentinel-Serie, darüber hinausgehende Produkte (insb. Sentinel-2 L2-A Daten), und Daten ausgewählter Contributing Missions.

#### Fernerkundung von Bodenparametern

Auf Grund der Vielzahl seiner Funktionen nimmt der Boden eine Schlüsselfunktion im Naturhaushalt ein. Diese Funktionen umfassen nicht nur die Nutzungsfunktion zur Produktion von Nahrung, und Biomasse, sondern auch Funktionen hinsichtlich der Rolle im Wasserkreislauf als Reservoir, als Filter und Puffer für Schadstoffe, im Bereich der Nährstoff- und Kohlenstoff-Kreisläufe, und in seiner Funktion als Lebensraum. Den verschiedenen Bodenfunktionen liegen wiederum biologische, chemische und physikalische Prozesse im Boden zu Grunde, die die Basis für die landwirtschaftliche Produktion bilden. Eine Vielzahl an Forschungsarbeiten zum besseren Verständnis und zur nachfolgenden Modellierung dieser Prozesse sind bereits erfolgt, sodass Modelle und Indikatoren bereits verfügbar sind (Sanchez et al., 2009). Die Spektroskopie von Böden hat signifikant zu diesem Wissen beigetragen, und einige Methoden hiervon wurden bereits auf hyperspektrale Fernerkundungssysteme übertragen. Diese Sensor-Systeme verfügen typischerweise über mehr als 100 spektrale Kanäle, und erfassen neben dem Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts („visible“ VIS) auch das nahe Infrarot („near infrared“ NIR) und kurzwellige Infrarot („short-wave infrared“ SWIR). Hierdurch ist die Erfassung von breiten und schmalen Absorptionsmerkmalen möglich, welche durch organische und anorganische Bestandteile des

Bodens hervorgerufen werden. Dies erlaubt Rückschlüsse auf die Bodenchemie und ermöglicht die quantitative Analyse vieler Bodeneigenschaften<sup>8</sup>. Allerdings stehen zurzeit geeignete spektroskopische Aufnahmesysteme nur im Labor, im Feld sowie als flugzeuggetragene

---

<sup>8</sup> Nocita M., Stevens A., van Wesemael B., Aitkenhead M., Bachmann M., Barthes B., Ben-Dor E., Brown D.J., Clairotte M., Csorba A., Dardenne P., Dematte J.A.M., Genot V., Guerrero C., Knadel M., Montanarella L., Noon C., Ramirez-Lopez L., Robertson J., Sakai H., Soriano-Disla J.M., Shepherd K.D., Stenberg B., Towett E.K., Vargas R., Wetterlind J. (2015) Soil Spectroscopy: An Alternative to Wet Chemistry for Soil Monitoring. *Advances in Agronomy*, Vol. 132, pp. 139–159.

Systeme zur Verfügung. Dies limitiert die Erfassung größerer Räume mit einer geeigneten zeitlichen Auflösung, wie dies mit aktuellen multi-spektralen Satelliten-Sensoren uneingeschränkt möglich ist. Jedoch sind diese Sensoren auf einige (zumeist unter 10) breite Spektralkanäle beschränkt, die für die Erfassung des phänologischen Vegetationszustandes optimiert sind. Diese reduzierte spektrale Information von multispektralen Systemen wie zum Beispiel Landsat oder Sentinel-2 erlaubt dennoch die Erfassung der generellen räumlichen und zeitlichen Änderungen von Bodencharakteristika auf regionaler Skala. Diese Charakteristika lassen sich auf allgemeine Bodeneigenschaften (Bodenhorizonte, oberflächennahe Geologie) oder auf Prozesse der landwirtschaftlichen Nutzung zurückführen. Diese fernerkundungsbasierte Erfassung von Bodencharakteristika, sowie deren räumliche und zeitliche Änderungen lassen sich mit konventionellen bodenkundlichen Profilsprachen und Beprobungen verknüpfen, um die Genauigkeit und Veränderung existierender Bodenkarten zu verbessern.

#### Fernerkundung von Vegetationsparametern

Bereits in den 1970er Jahren wurde der Zusammenhang zwischen der Reflexion im roten und nahen Infrarot des elektromagnetischen Spektrums benutzt, um Vegetationszustände näher zu charakterisieren<sup>9</sup>. Die Nutzung dieses Zusammenhangs ist in der Fernerkundung weit verbreitet, da er als Indikator für die pflanzliche Primärproduktion dient und weitgehend linear mit dem Anteil der photosynthetisch aktiven Strahlung (fraction of photosynthetically active radiation, fPAR) verknüpft ist. Diese wird zumeist durch Band-Indices wie den Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) erfasst. Allerdings ist die Identifikation von Pflanzenarten schwierig, da die spektrale Reflexion von gesunder grüner Vegetation in den Wellenlängenbereichen des VIS, NIR und SWIR allgemein höchst ähnlich ist<sup>10</sup>. Dieses Problem wird noch verschärft, da die spektrale Variation innerhalb von Arten oftmals gleich groß oder größer ist als die spektrale Variation zwischen Arten. Die jahreszeitliche Veränderung von Pflanzen, insbesondere landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, führt ebenso zu einer hohen Variabilität der spektralen Reflexionseigenschaften. Weiterhin führen auch verschiedene Auslöser von Vegetationsstress (z.B. Wasserverfügbarkeit, Temperatur, Bodenversalzung) zu ähnlichen pflanzenphysiologischen Anpassungen und somit spektralen Eigenschaften. Andererseits sind die Muster der phänologischen Änderungen über die Wachstumsperiode charakteristisch für viele Pflanzenarten und die

Verwendung von Fernerkundungs-Zeitreihen ist mittlerweile etabliert und weit verbreitet. Im Falle von landwirtschaftlichen Kulturen sind die Spektralsignaturen der verschiedenen Feldfrüchte und Grünlandflächen zwar in vielen Zeiträumen ähnlich, doch hängen diese vom individuellen Wachstumsstadium und somit von Phänologie und Bewirtschaftung ab. Indes weisen Feldfrüchte eine hohe saisonale Variabilität auf, hervorgerufen durch eine Vielzahl an Faktoren (Saatzeitpunkt, phänologischer Wachstumsphasen, Wetterbedingungen in der Wachstumsperiode, Anbaumethoden und -intensität, Erntezeitpunkt etc.). Grünland hingegen weist eine kontinuierlichere saisonale Entwicklung auf, deren Variation vorwiegend durch die Nutzungsintensität bestimmt wird. Während die phänologischen Charakteristika von unbewirtschaftetem Grünland weitestgehend dem natürlichen jahreszeitlichen Zyklus und den zu Grunde liegenden Wetter- und Klimabedingungen entsprechen, weisen extensiv oder intensiv bewirtschaftete Grünlandflächen eine höhere Variabilität auf, hervorgerufen von Faktoren wie Beweidungsintensität oder Häufigkeit einer Mahd. Folglich ist die Nutzung multispektraler

---

<sup>9</sup> Tucker C.J. (1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, vol 8, pp. 127-150.

<sup>10</sup> Curran P. (1989) Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*, vol 30, pp 271-278.

Systeme mit mittlerer (~30 m) oder grober (250 m) räumlicher Auflösung weit verbreitet, um eine Vielzahl von Fragestellungen im Bereich der Landwirtschaft und im Bereich phänologischer Analysen zu unterstützen.

### **Einsatz der Fernerkundung in der Landwirtschaft**

Die Verwendung von multi-saisonalen Erdbeobachtungsdaten ermöglicht die Beschreibung der Art und Intensität der landwirtschaftlichen Flächennutzung, die quantitative und qualitative Charakterisierung von Veränderungen in der Kulturlandschaft sowie die Aktualisierung und Ergänzung von raumbezogenen oder topographischen Datenbanken. Zugleich erfordert ein Acker- und Grünlandmonitoring Erdbeobachtungsdaten für große geografische Gebiete mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung sowie minimalen Kosten<sup>11</sup>). Bislang hatten die verfügbaren Daten, die große geografische Gebiete abdecken, eine begrenzte räumliche Auflösung. Dennoch sind auf Basis von Daten mittlerer Auflösung (MR) wie beispielsweise NOAA-AVHRR oder MODIS und abgeleiteter Vegetationsindizes Methoden entwickelt worden, um das phänologische Verhalten der Vegetation und verschiedener Anbaufrüchte zu beschreiben. Jedoch können mit diesen Verfahren nur schlecht Bereiche mit kleinen Feldparzellen gekennzeichnet werden, wie sie in vielen Regionen Europas auftreten. Dementsprechend haben die jüngsten Studien begonnen, die Anwendung von Daten mit hoher Auflösung (HR) zu untersuchen. Sessa Sai und Narasimha, 2008, verwenden IRS-P6 LISS-III und AWiFS Daten um Reis, Baumwolle, Mais, Zuckerrohr, Mango und Wald innerhalb von vier Untersuchungsgebieten in Indien zu unterscheiden. Singh et al., 2011<sup>12</sup>, nutzen saisonalen IRS-P6 AWiFS Daten, um die Erntemuster in der Indo-Ganges-Ebene von Uttar Pradesh, Indien, zu beschreiben. Lobo et al., 1996<sup>13</sup> zeigt, dass die Genauigkeit der Klassifikation von Acker- und Grünlandflächen durch die Verwendung von Objekten (Feldgrenzen) an Stelle der Analyse der Eigenschaften einzelner Pixel verbessert werden kann. Auch Bock et al., 2005<sup>14</sup> beweisen die Wirksamkeit der objektorientierten Methoden zur Biotopkartierung auf mehreren Skalen für Fallstudien in Deutschland und dem Vereinigten Königreich. Conrad et al., 2010<sup>15</sup> klassifizieren bewässerte Kulturen im ariden Zentralasien auf Basis von SPOT und ASTER Daten. In einer anderen Studie von Conrad et al., 2011 wurde das Potenzial von RapidEye Zeitreihendaten für die Klassifizierung von Fruchtfolgen in den heterogenen Agrarlandschaften der Bewässerungssysteme in Zentralasien untersucht. Turker und Ozderici, 2011<sup>16</sup>, führen eine vergleichende Studie zur Klassifikation von Ackerfrüchten mit SPOT-4, SPOT-5, IKONOS und

---

<sup>11</sup> Wardlow B.D., Egbert S.L. (2008) Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: An assessment for the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 112 No. 3, pp. 1096–1116.

<sup>12</sup> Singh N.J., Kudrat M., Jain K., Pandey K. (2011) Cropping pattern of Uttar Pradesh using IRS-P6 (AWiFS) data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32 No. 16, pp. 4511–4526.

<sup>13</sup> Lobo A., Chic O., Casterad A. (1996) Classification of Mediterranean crops with multisensor data: per-pixel versus per-object statistics and image segmentation. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17 No. 12, pp. 2385–2400.

<sup>14</sup> Bock M., Xofis P., Mitchley J., Rossner G., Wissen M. (2005) Object-oriented methods for habitat mapping at multiple scales – Case studies from Northern Germany and Wye Downs, UK. *Journal for Nature Conservation*, Vol. 13 No. 2–3, pp. 75–89.

<sup>15</sup> Conrad C., Machwitz M., Schorcht G., Löw F., Fritsch S., Dech S. (2011) Potentials of RapidEye time series for improved classification of crop rotations in heterogeneous agricultural landscapes: experiences from irrigation systems in Central Asia. *Proc. SPIE 8174, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIII*, October 07, 2011: <http://dx.doi.org/10.1117/12.898345>.

<sup>16</sup> Turker M., Ozdarici A. (2011) Field-based crop classification using SPOT4, SPOT5, IKONOS and QuickBird imagery for agricultural areas: a comparison study. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32 No. 24, pp. 9735–9768.

Quickbird-Daten durch. Itzerott und Kaden, 2006a und Itzerott und Kaden, 2006b präsentieren ein Konzept, um einer universellen Klassenbeschreibung für Kulturpflanzen mittels multitemporaler Satellitendaten nahezukommen, indem sie versuchen, den Einfluss von bestimmten Wetter- und Bodenbedingungen zu reduzieren. Franke et al., 2012 klassifizieren halbnatürliche, extensiv genutzte, intensiv genutzte und bestellte Grünlander in einem Untersuchungsgebiet im südlichen Deutschland auf Basis multitemporaler RapidEye-Daten. Allerdings erschweren zum einen die Notwendigkeit von spezifischen Bildern für wichtige Punkte innerhalb des phänologischen Zyklus und zum anderen die Grenzen bei der Datenerfassung durch Wetterbedingungen, wie zum Beispiel Wolkenbedeckung, die Verwendung optischer Daten für operationelle Anwendungen (Blaes et al., 2005). Um diesen Nachteil zu überwinden, haben einige neuere Studien die Verwendung von Daten wetterunabhängiger Synthetic Aperture Radar (SAR) Systeme für die Acker- und Grünlandüberwachung untersucht. SAR Systeme sind aktive Bildsensoren, die Daten unabhängig von Wetter- und Umweltbedingungen erfassen und damit einen bedeutenden Vorteil für die Aufnahme saisonaler Zeitreihen darstellen. Die meisten Studien, die SAR-Daten für das Acker- und Grünlandmonitoring verwenden, fokussieren ihre Analyse auf die Rückstreuintensität und polarimetrische Parameter einzelner Szenen, während Analysen der saisonalen Entwicklung und Vielfalt basierend auf multi-temporalen SAR-Daten immer noch vergleichsweise selten sind.

Während die meisten fernerkundlichen Untersuchungen auf regionaler Maßstabsebene durchgeführt werden, haben sich im Bereich der schlag- und teilschlagspezifischen Bewirtschaftung schleppergestützte Fernerkundungssysteme<sup>17</sup> etabliert, insbesondere zur Anpassung der Stickstoffmengen an die Bedürfnisse des Pflanzenbestandes. Aus pflanzenbaulicher und umweltpolitischer Sichtweise wird beim Einsatz von stickstoffhaltigen Düngemitteln in der Pflanzenproduktion eine größtmögliche Effizienz erwartet. Dabei spielt allen voran die teilflächenspezifische Verteilung eine große Rolle, damit die hocheffizienten aber auch die ertragsschwächeren Teilbereiche eines Schlags ihrem Ertragspotenzial entsprechend gedüngt werden. So werden auf der einen Seite Stickstoffüberschüsse vermieden, auf der anderen Seite wird das Ertragspotenzial voll ausgeschöpft. Für die teilflächenspezifische Verteilung von unter anderem stickstoffhaltigen Düngemitteln wird in der landwirtschaftlichen Praxis bislang auf terrestrische Sensoren (bspw. Yara N-Sensor, Yara ASL, Greenseeker etc.) zurückgegriffen. Diese bieten während der Düngungsüberfahrt im sogenannten Onlineverfahren die Möglichkeit, die Versorgung der Pflanzen teilflächenspezifisch zu erkennen und den Düngerstreuer entsprechend anzusteuern. Pflanzenbaulich gibt es eine Vielzahl von potenziell teilflächenspezifischen Anwendungen, so sind neben der Stickstoffdüngung u.a. der Einsatz von Wachstumsregulatoren oder auch Fungiziden zu nennen<sup>18</sup>. Des Weiteren entsteht derzeit eine Verwendungsmöglichkeit von bodennaher Fernerkundung über Drohnen bzw. unbemannte Flugsysteme (unmanned aerial vehicle, UAV). Diese arbeiten bislang hauptsächlich mit optischen Bildern und geben so dem Anwender einen rein visuellen Eindruck der gesamten Fläche. Der Einsatz von spektraloptischen Sensoren ist in diesem Segment noch nicht so sehr vertreten, wird aber mit sinkenden Kosten der Sensortechnik weiter zunehmen<sup>19</sup>.

---

<sup>17</sup> Lilienthal H., Gerighausen H. (2014) Regionale fernerkundliche Erfassung des aktuellen landwirtschaftlichen Ertragspotenzials. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus. Berlin.

<sup>18</sup> Dölger D., Gerwers D. (2014) Sensorik im Pflanzenbau - Erfahrungsberichte aus der Praxis. Journal für Kulturpflanzen, 66 (2): 57-62.

<sup>19</sup> Dobers E. (2014). Das Wissen kommt von oben: Drohnen und Fernerkundung für die Landwirtschaft. DLG Pressemitteilung



Daten, die aus der Fernerkundung von Satelliten bisher zur Verfügung standen, waren neben den enormen Kosten der Bereitstellung, vor allem wegen der unzuverlässigen Datenlieferung nicht wirtschaftlich einsetzbar. Bisherige Projekte, mit Hilfe der Fernerkundung aus Satellitendaten just in time in die Pflanzenproduktion einzugreifen, sind daran gescheitert, dass die Daten nicht zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung standen. Aufgrund der bis dahin geringen Überfliegungshäufigkeiten und der in Deutschland vorherrschenden Bewölkung, war es teilweise mehrere Wochen nicht möglich auf valide Daten zurückzugreifen.

„Für eine aktuelle Prozesssteuerung landwirtschaftlicher Maschinen sind Informationen von Satellitendaten in absehbarer Zeit ungeeignet. Dazu werden die benötigten Daten nicht zeitnah genug zur Verfügung stehen“, so eine der Schlussfolgerungen von Rinteln<sup>20</sup>. Gute zehn Jahre später hat dies immer noch Gültigkeit. Erst mit einer häufigeren, zeitnahen und kostengünstigen Bereitstellung von Fernerkundungsdaten könnten diese in der praktischen Landwirtschaft Anwendung finden<sup>21</sup>.

Fernerkundungsdaten zur Erstellung von zeitunkritischen Karten, wie beispielweise Ertragspotenzialzonen oder Ertragsprognosen finden sich bereits vereinzelt in der landwirtschaftlichen Anwendung<sup>22</sup>. Mit Ertragsprognosemodellen ausgehend von satellitengestützten Fernerkundungsdaten befasst sich das Projekt RifIE des JKI und kommt in einzelnen Kulturen bereits zu sehr genauen Ertragsschätzungen<sup>23</sup>.

Wird nun die Möglichkeit geschaffen, durch eine häufigere Überfliegung während der Frühjahrsvegetation Daten über die Bestandesentwicklung exakt zum Termin der Düngung zur Verfügung zu haben, stünde dem Einsatz von Fernerkundungsdaten ein größerer Markt offen. Gerade die Stickstoffdüngung von Getreide, allen voran Winterweizen, ist sehr eng an die jeweilige Pflanzenentwicklung gebunden. Anwendungen mit terrestrischen Sensoren liefern bereits eine gute Erkennung des Ernährungszustandes der Pflanzen. Mit den Daten aus der Fernerkundung ist es möglich, den Entwicklungsverlauf der Pflanzen in der Vegetationsperiode nachzuvollziehen und den richtigen Termin der Düngung zu finden. Weiterhin können mit Hilfe der Fernerkundungsdaten auch die richtigen Stickstoffmengen an den richtigen Platz gebracht werden.

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Verbundprojektes arbeiteten die Partner untereinander und mit den Bewirtschaftern der Testbetriebe zusammen. Zudem gab es eine Kooperation mit CODE-DE.

---

<sup>20</sup> Rinteln P.-M. (2004) Welche Informationen aus der Fernerkundung benötigen die Landwirtschaftsbehörden zur Erfüllung der Auflagen von Programmen und Richtlinien ? Laufener Seminarbeitr. 2/03, S. 15 - 19 • Bayer. Akad. f. Naturschutz u. Landschaftspflege - Laufen / Salzach.

<sup>21</sup> Gerwers D. (2014) Einsatz von Fernerkundungsprodukten in der Praxis. Vortrag beim Nationalen Forum für Fernerkundung und Copernicus. 08.04.2014 Berlin, online < [http://www.d-copernicus.de/sites/default/files/dokumente/Forum\\_2014/Vortrag\\_Gerwers.pdf](http://www.d-copernicus.de/sites/default/files/dokumente/Forum_2014/Vortrag_Gerwers.pdf) > abgerufen am 15.03.2016.

<sup>22</sup> Angermair W., Bach H., Hodrius M. (2014) Demo: Satellitengestützte Wachstums- und Ertragsprognose als Entscheidungshilfe für teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen. Regionale Wertschöpfung mit heimischen Eiweißfuttermitteln. 12. Kulturlandschaftstag 2014 Schriftenreihe LfL.

<sup>23</sup> Lilienthal H., Gerighausen H. (2014) Regionale fernerkundliche Erfassung des aktuellen landwirtschaftlichen Ertragspotenzials. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus. Berlin.

## II. Eingehende Darstellung

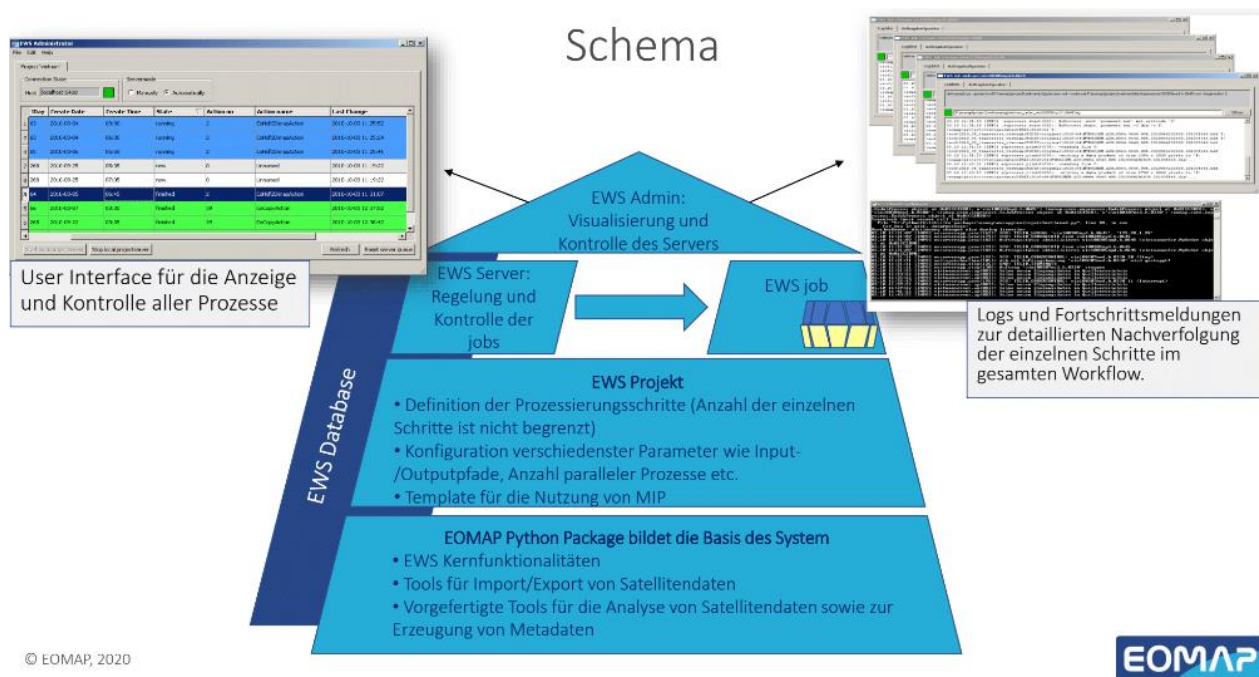
### 1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Die Zuwendung wurde gemäß dem Arbeitsplan verwendet. Arbeiten und Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

#### 1.1 AP 1 Prozesskette / Infrastruktur und AP 2 Vorprozessierung EO Daten

##### Sentinel-2 Analyseworkflow für die automatisierte Bereitstellung von Sentinel-2 Bilddaten und abgeleiteten Informationen

Es wurden für die Sentinel 2 Daten folgende Arbeitsschritte vollautomatische aufgesetzt und ab kurz nach Projektstart durchgeführt. Die aufeinanderfolgende Berechnung der Arbeitsschritte erfolgte auf Hardware von EOMAP und für Tests ebenfalls auf CODE-DE. Der Workflow wurde im Rahmen der EOMAP eigenen EWS Software (Earth observation Workflow System) automatisiert. Das EWS ermöglicht eine vollautomatisierte Synchronisierung und Prozessierung von Satellitendaten (siehe Abbildung 2), deren Workflows über sukzessive Scripte/Executables definiert sind.



**Abbildung 2: Schema von EOMAP's EWS System zur vollautomatisierten Bearbeitung von Satellitendaten.**

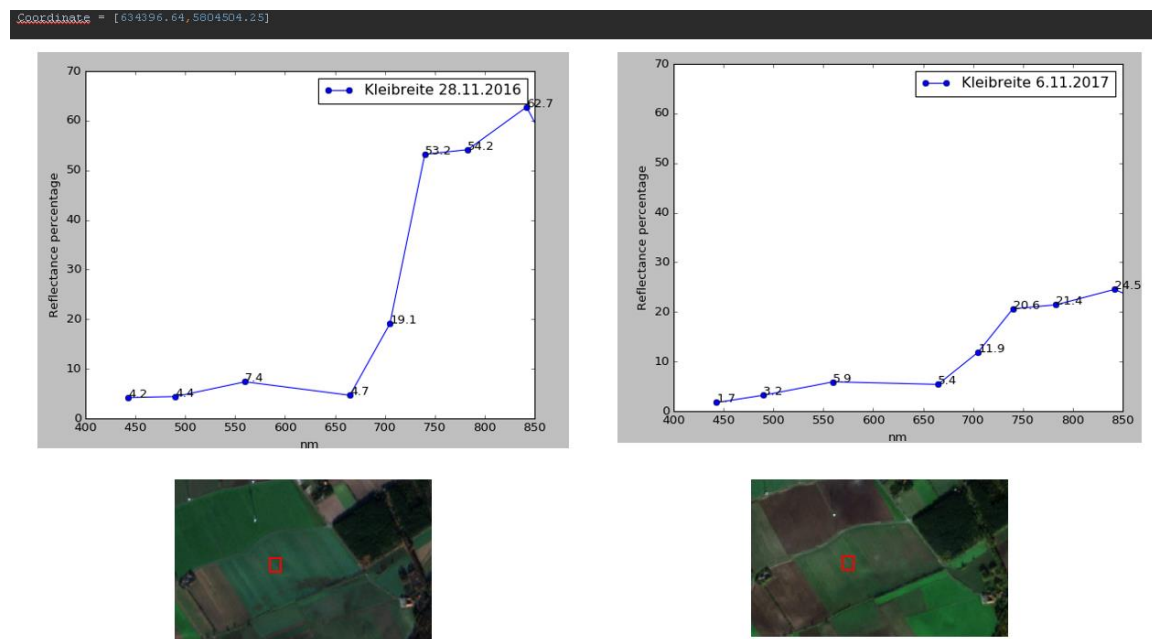
Im Folgenden werden lediglich die wichtigsten Komponenten des Workflows beschrieben. Jedes dieser ist für sich gesehen ein eigenes Thema und im Folgenden werden Sie generell beschrieben.

- **Datenimport und Metadatenerstellung**  
Dies umfasst den programmatisch automatisierten Bezug von neu aufgenommenen Sentinel-2 Satellitendaten über die API's der ESA und Amazon und deren Konvertierung in das benötigte Datenformat für die weitere Verarbeitung. Es handelt sich bei dem Datenformat um ein mehrkanaliges Geotiff mit den gemessenen Radianzen der Sentinel-

2 Sensoren, sowie einem sogenannten ‚geometa‘ Raster, welches die pixelgenauen Informationen der Aufnahme- und Sonnengeometrie beinhaltet.

- Atmosphärenkorrektur

Wir erstellten eine Atmosphärenkorrektur über Land die, im Gegensatz zu häufig angewandten anderen Verfahren, eine räumlich differenzierte Berechnung der Atmosphäre ermöglicht. Hierbei verwenden wir das Firmeneigene gekoppelte Berechnung der Eigenschaften der Atmosphäre und der Inherent Optical Properties IOPs der Wassersäule (über Gewässer). Dieses Verfahren ist anderen Atmosphärenmodellen überlegen und ermöglicht eine präzise Berechnung der atmosphärischen Dichte über Wasser<sup>24</sup>. Diese Informationen wurden durch ein geostatistisches Verfahren auf die Fläche interpoliert und auf die Radianzen der Sentinel-2 Daten angewandt (siehe folgende Abbildung).



**Abbildung 3: Spektren der atmosphärenkorrigierte und 10m geschärfte Reflektion für den Schlag Kleibreite am 28 Nov 2016 (links) und 06.11. 2017 (rechts) auf Basis der Sentinel-2 Satellitendaten.**

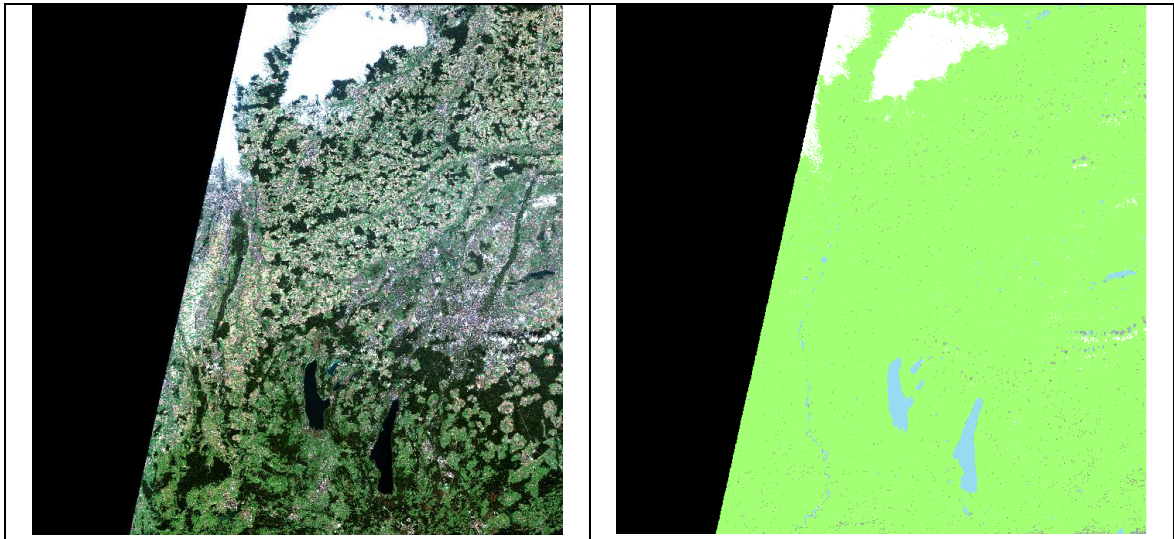
- Spektrale Schärfung der 20m und 60m Sentinel-2 Bänder  
Die spektrale Schärfung (pan-sharpening) von den 20m und 60m Sentinel-2 Satellitenbilder auf die 10m Auflösung der 4 Bänder aus dem roten, grünen, blauen und NIR Spektrum führt zu einer erhöhten Detailschärfe und ermöglicht die Verwendung dieser spektralen Informationen in erhöhter räumlicher Auflösung. Wir verwendeten hierfür das eigene patentierte Verfahren eines statistischen gleitenden Filters<sup>25</sup>
- Maskierung von nicht relevanten Bereichen (Wolken, Wasser)

<sup>24</sup> Guanter, L., A. Ruiz-Verdú, D. Odermatt, C. Giardino, S. Simis, V. Estellés, T. Heege, J. A. Dominguez-Gomez, J. Moreno (2010): Atmospheric correction of ENVISAT/MERIS data over inland waters. Validation for European lakes. In: Remote Sensing of Environment, Vol. 114, No. 3, pp. 467-480.

<sup>25</sup> T. Heege. Increasing signal-to-noise ratio for processing of multichannel digital image data sets using sliding noise filter by matching small-scale variances. Patent Nr: DE10050331A1  
<https://patents.google.com/patent/DE10050331A1/en>



Über spektrale Grenzwerte wurde eine Vorklassifikation in Land, Wasser, Wolke, Schatten und mgl. Fehlpixel vorgenommen. Die Grenzwerte wurden auf die atmosphärenkorrigierten Daten angewandt. Lediglich die Daten der Klasse ‚Land‘ wurden für die weiteren Analysen verwendet.



**Abbildung 4: Beispiel der Vorklassifikation (rechts) der Sentinel-2 Satellitendaten (links).**

- Erstellung von Echtfarben und Falschfarben Bilder  
Oberflächenreflektanzen, RGB und CIR Echt- und Falschfarbbilder wurden inklusive der ISO konformen Metadaten erstellt.
- Ableitung von Vegetationsindices.  
Vegetationsindices (NDIV, EVI, und weitere) wurden aus den Oberflächenreflektanzen berechnet inklusive der ISO konformen Metadaten erstellt.

Die Ergebnisse der Analysen des vollautomatisierten Workflows wurden in eine Produktdatenbank gespeichert und über die API-Schnittstellen an die AGRO-DE WebApp übermittelt. Die Produktdatenbank wurde als ‚rolling Archive‘ gepflegt, d.h. dass die Informationen der letzten 6 Monate gespeichert wurden.

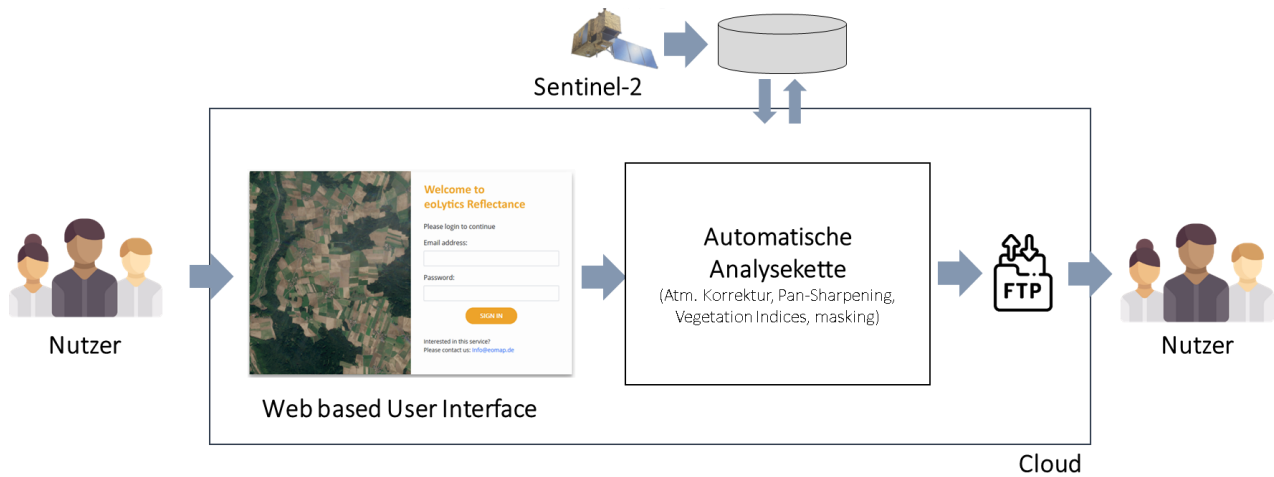
Zusätzlich dazu, erstellte EOMAP im Rahmen des Projektes eine online Nutzeroberfläche, die es den Nutzern (Hanse-Agro und JKI) ermöglicht den Workflow zu initiieren und somit beliebige Sentinel-2 Szenen weltweit zu analysieren (siehe folgenden Abschnitt).

### Online Software für Sentinel-2 Atmosphärenkorrektur und die Ableitung weiterer

#### Vegetationsparameter

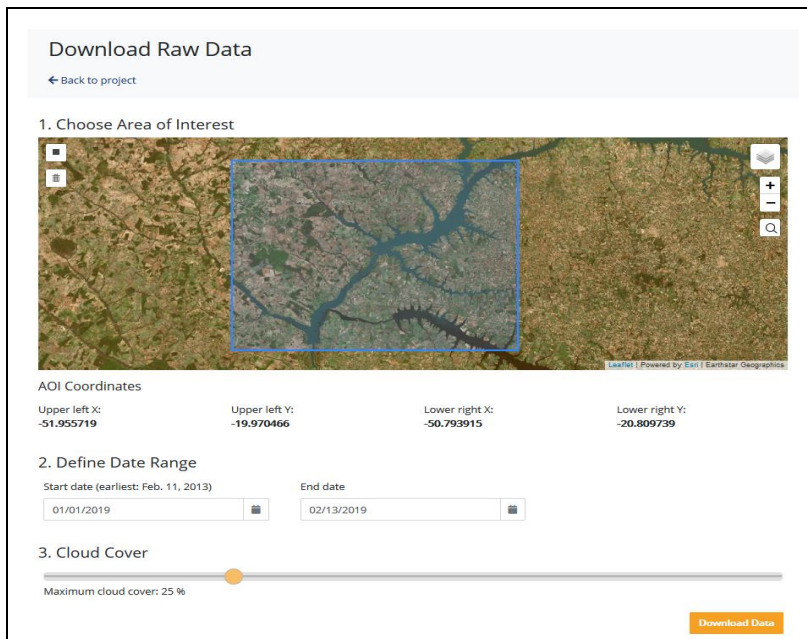
Für das AP 3.4 und AP 2.2. haben wir eine cloud basierte Softwarelösung erstellt, die es dem Nutzer ermöglicht schnell und einfach automatisierte Atmosphärenkorrekturen, Maskierungen und

einfacher abgeleiteter Vegetationsindices zu berechnen (siehe vorheriger Absatz, Abbildung 5 und Abbildung 6 und Abbildung 7). Das System wird derzeit vom JKI und Hanse Agro getestet und seitdem von der Hanse-Agro für die Ableitung der N Aufnahmen für Winterraps verwendet.

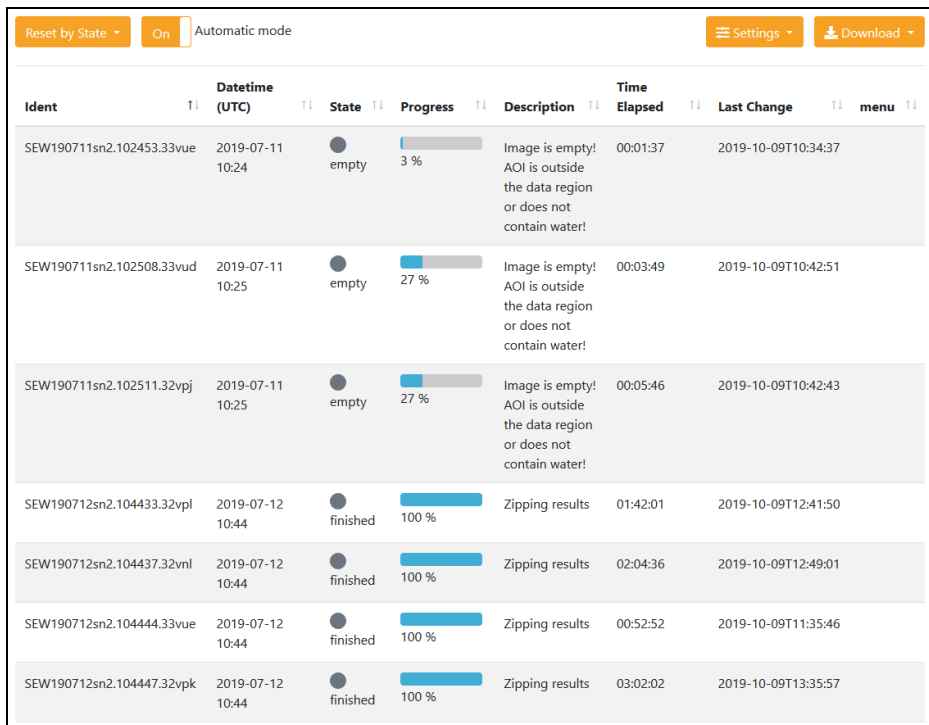


**Abbildung 5: Schema der online Web Anwendung zur Initialisierung des Sentinel-2 Workflows zur Atmosphärenkorrektur und abgeleiteten Informationen.**

Die cloud basierte Softwarelösung ist unter <https://atm.eolytics.com> erreichbar. Nutzerspezifische Zugangsdaten sind notwendig und können auf Bedarf angefordert werden.



**Abbildung 6: Screenshot zur manuellen Auswahl des Interessensgebiet der online Web Anwendung zur Initialisierung des Sentinel-2 Workflows zur Atmosphärenkorrektur und abgeleiteten Informationen.**



Ident	Datetime (UTC)	State	Progress	Description	Time Elapsed	Last Change
SEW190711sn2.102453.33vue	2019-07-11 10:24	empty	3 %	Image is empty! AOI is outside the data region or does not contain water!	00:01:37	2019-10-09T10:34:37
SEW190711sn2.102508.33vud	2019-07-11 10:25	empty	27 %	Image is empty! AOI is outside the data region or does not contain water!	00:03:49	2019-10-09T10:42:51
SEW190711sn2.102511.32vpj	2019-07-11 10:25	empty	27 %	Image is empty! AOI is outside the data region or does not contain water!	00:05:46	2019-10-09T10:42:43
SEW190712sn2.104433.32vpl	2019-07-12 10:44	finished	100 %	Zippping results	01:42:01	2019-10-09T12:41:50
SEW190712sn2.104437.32vnl	2019-07-12 10:44	finished	100 %	Zippping results	02:04:36	2019-10-09T12:49:01
SEW190712sn2.104444.33vue	2019-07-12 10:44	finished	100 %	Zippping results	00:52:52	2019-10-09T11:35:46
SEW190712sn2.104447.32vpk	2019-07-12 10:44	finished	100 %	Zippping results	03:02:02	2019-10-09T13:35:57

**Abbildung 7: Screenshot des Workflows der online Web Anwendung zur Initialisierung des Sentinel-2 Workflows zur Atmosphärenkorrektur und abgeleiteten Informationen.**

Die Aufgaben der Atmosphärenkorrektur der Sentinel-2 Daten wurden von EOMAP wegen des Datenbedarfs der Projektpartner Hanse-Agro und JKI übernommen. In den ersten beiden Projektjahren war das Atmosphärenmodell und die CODE-DE Infrastruktur des DLR nicht in der Lage relevante Daten zu erzeugen und zu liefern. Aus diesem Datenbedarf entstanden u.a. die erwähnte WebApp zur online Prozessierung.

Zusammenarbeit mit der CODE-DE Infrastruktur

EOMAP hat verschiedene Prozessoren zur Generierung mariner/aquatischer Datenprodukte im Umfeld von CODE-DE installiert und erfolgreich getestet. Zu Projektbeginn wurde im Rahmen von OPUS bzw. im nationalen Ground-Segment Oberpfaffenhofen ein operationeller Prozessor zur Sentinel-2 Atmosphärenkorrektur betrieben. Die Calvalus-basierten Infrastrukturen in CODE-DE erwiesen sich dabei als vergleichsweise umständlich in der Implementierung und instabil im Betrieb, zudem wurde seitens des CODE-DE-Auftraggebers die vorgesehenen Nutzungsmöglichkeiten für kommerzielle Dienstleister eingeschränkt auf Dienste nur für Behörden und Forschung. Somit hat sich CODE-DE sowohl aus wirtschaftlicher Hinsicht sowie mit den geänderten formellen Rahmenbedingungen als ungeeignet herausgestellt für Datendienste im Kontext von AGRO-DE. EOMAP hat daher seine Prozessoren in weiteren verteilten angemietete Cloud-Infrastrukturen von privaten Anbietern erfolgreich mit operationellen Satellitendatenschnittstellen installiert und getestet. Sentinel-2 Daten werden derzeit operational von folgenden Schnittstellen bezogen: Creodias, Amazon, Google, ESA-Sci-Hub. Als operationelle datennahe Prozessier-Plattform haben sich Creodias (mit derzeit noch Performance-Limitierungen) und Amazon bewährt, sowie die pragmatischen Konzepte, die im Rahmen von OPUS direkt im DLR-Ground-Segment getestet wurden.

### 1.2 AP 3 Produkterstellung

#### Ableitung von N Aufnahme von Winterraps mittels Ableitung von Yara-N Sensor Messungen.

Speziell für das AP 3.4 ‚Teilflächenspezifische Nährstoffkarten‘ wurden verschiedene Ansätze zu Ableitung des N Düngeempfehlung analysiert und angewandt.

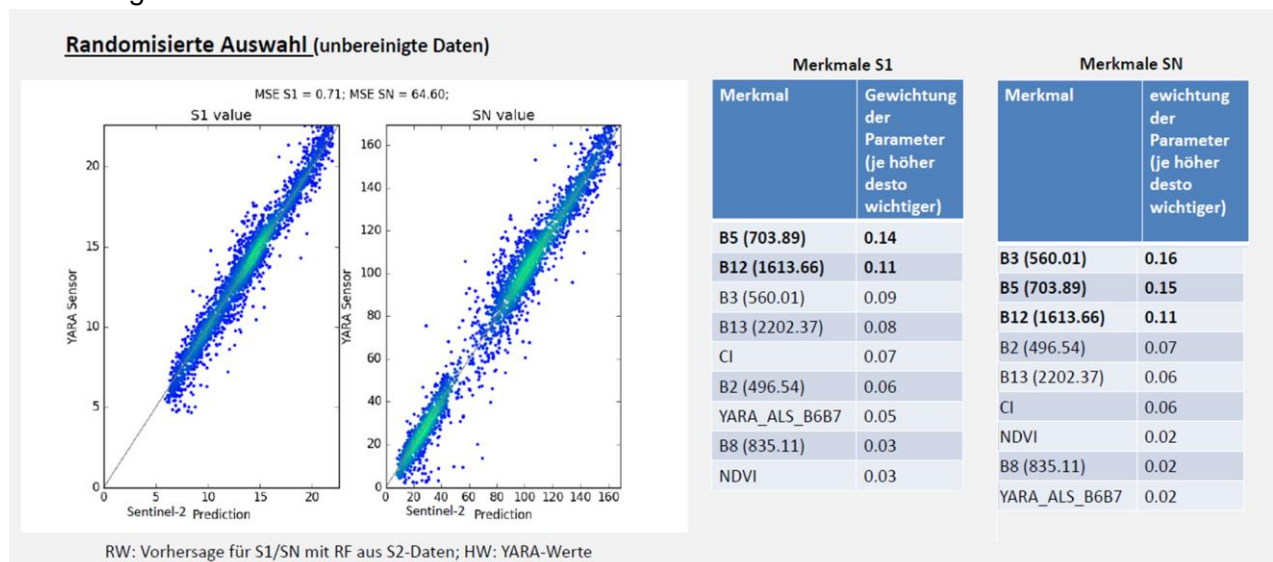
Hierfür wurden für 16 Schläge aus 2 Betrieben (Bahrdorf und Hakenstedt) aus mehreren Jahren (2015-18) die Yara N Sensoren mit den vorprozessierten Sentinel-2 Rasterdaten analysiert. Die Yara N Sensor Daten wurden als CSV Datenbank von der Hanse-Agro bereitgestellt und beinhalten die N Aufnahme von Winterraps gegen Spätherbst/Frühwinter.

Wir erstellten ein Random Forest Model mit den Sentinel-2 Daten und abgleiten Vegetationsindizes und den Yara N Sensormessungen (SN und S1 Wert als Größen für die N Aufnahme). Das Model wurde mit unabhängigen Daten auf die Vorhersagegüte überprüft. Es zeigte sich, dass ein gut trainiertes Modell aus Sentinel-2 Daten eine quantitative valide Ableitung der N Aufnahme für Winterraps ermöglicht (siehe folgende Abbildung).

- **Randomisierte Auswahl**
  - **Vorhersage S1**
    - 75% der Daten liegen unterhalb einer Abweichung von  $\pm 0.8$
    - 90% der Daten liegen unterhalb einer Abweichung von  $\pm 1.3$
  - **Vorhersage SN**
    - 75% der Daten liegen unterhalb einer Abweichung von  $\pm 7.4$
    - 90% der Daten liegen unterhalb einer Abweichung von  $\pm 12$

**Abbildung 8: Vorhersagegüte der S1 und SN Werte als Größen für die N Aufnahme von Winterraps auf Basis von Sentinel-2 Daten.**

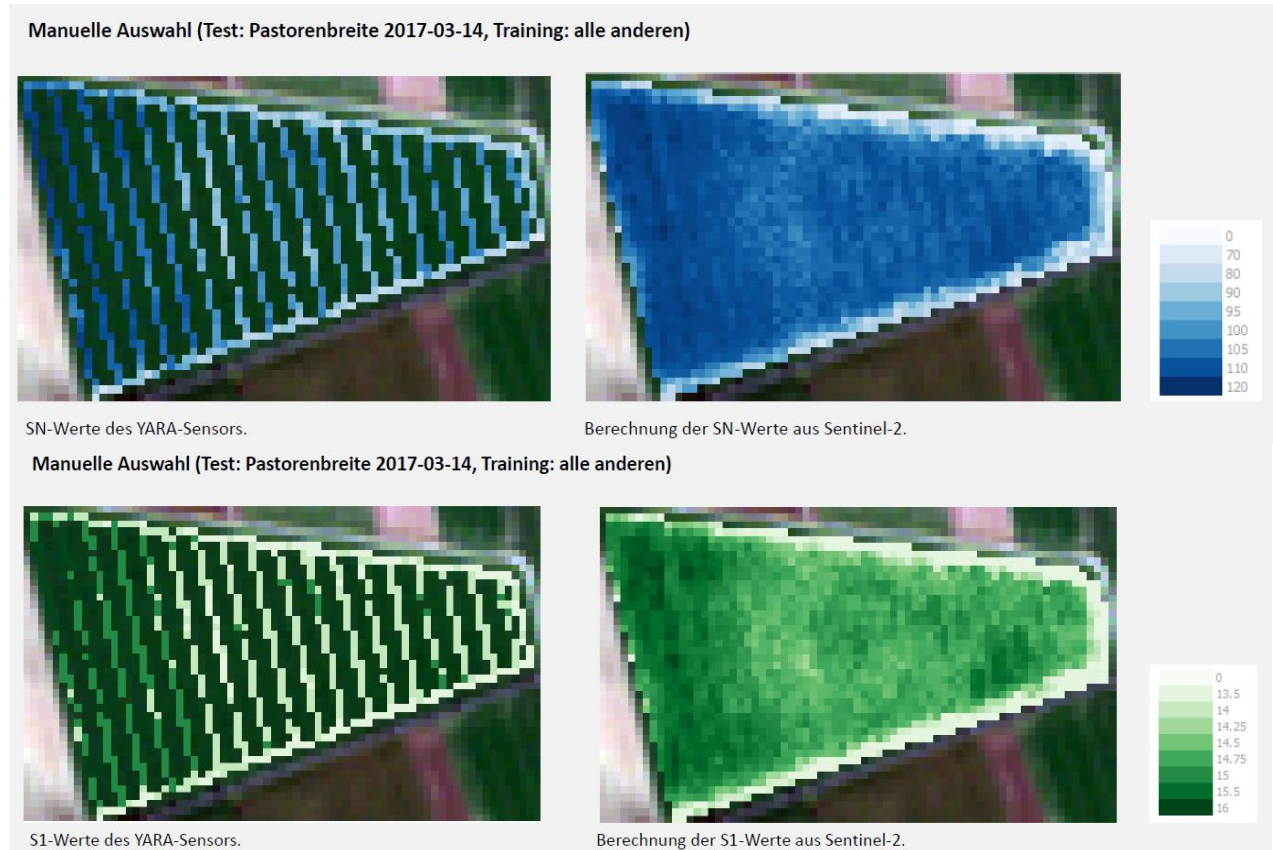
Abbildung 9 zeigt die Modellvorhersagen der N Aufnahme von Winterraps mittels Sentinel-2 Daten auf Basis des Random Forest Models. Die Scatterplots (links) zeigen die Vorhersagen für unabhängige Validationsdatensätze des Yara N Sensors gegen die Vorhersagen. Die Tabellen (rechts) zeigen die spektralen Bänder und Vegetationsindizes die ein hohes Gewicht für die Vorhersage besitzen.



**Abbildung 9: Modellvorhersagen der N Aufnahme von Winterraps mittels Sentinel-2 Daten auf Basis des Random Forest Models. Die Scatterplots (links) zeigen die Vorhersagen für unabhängige Validationsdatensätze des Yara N Sensors gegen die Vorhersagen. Die Tabellen (rechts) zeigen die spektralen Bänder und Vegetationsindizes die ein hohes Gewicht für die Vorhersage besitzen.**



Ein Vorteil der Auswertung der Sentinel-2 Daten ist die räumlich flächendeckende Auflösung der Informationen. Hieraus ergibt sich eine detaillierte Karte der N Aufnahme je Schlag (Abbildung 10).

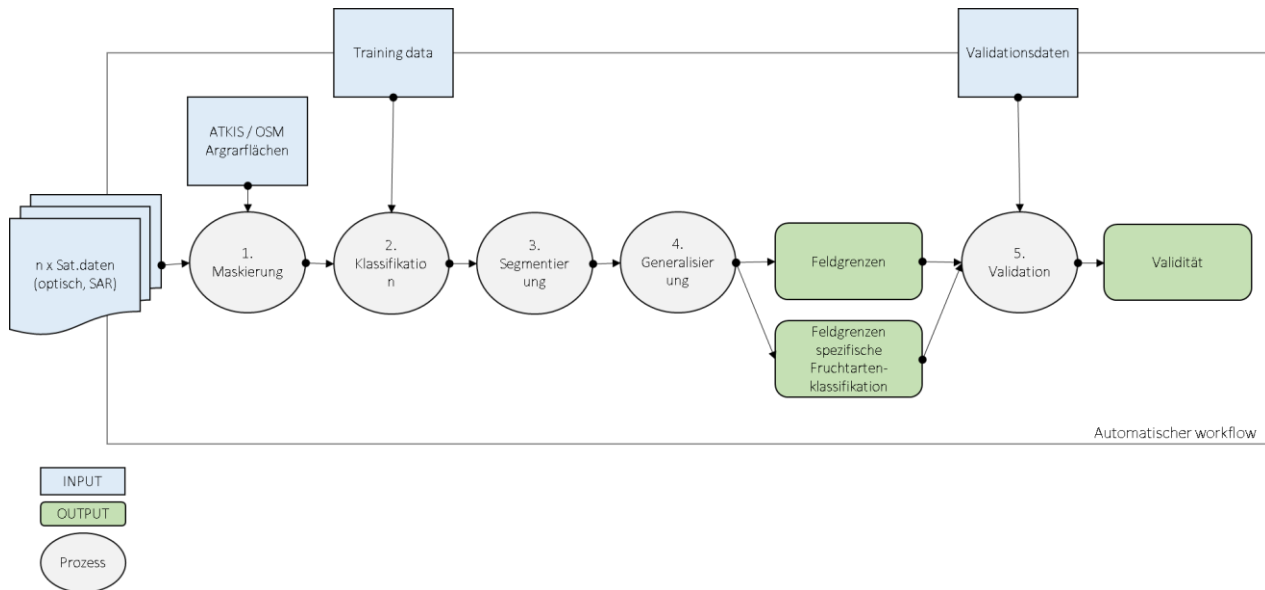


**Abbildung 10: Vergleich der gemessenen Yara Werte (links) und der Sentinel-2 Modellergebnisse (rechts) für den SN (oben) und S1 Wert (unten).**

Basierend auf diesen Ergebnissen vertiefte die Hanse-Agro die Analysen mit weiteren Yara Daten und verwendete die Ergebnisse für die Feldversuche.

Erkennung von Schlaggrenzen:

Die Ableitung der häufig variierenden Schlaggrenzen war als Bedarf für die Fruchtartenkartierung und automatisierte Berechnung von Bestandesparametern zum Projektstart vom JKI definiert worden. EOMAP entwickelte daraufhin einen automatisierten Workflow zur Ableitung der Schlaggrenzen auf Basis von Sentinel-2 Satellitendaten und verknüpfte dies mit einer Möglichkeit zur schlagspezifischen Klassifizierung der Fruchtarten. Die folgende Abbildung zeigt diesen Workflow auf.



**Abbildung 11: Workflow der Ableitung von Schlaggrenzen und Klassifikation der Kulturarten auf Basis von Sentinel-2 Daten**

Eingangsdaten sind multitemporale Satellitendaten, die im Idealfall die 1-4 ersten Monate der Vegetationsperiode berücksichtigen. Diese Daten werden als Datenkomposite mit – wenn vorhanden – bekannten Masken der Agrarflächen verschnitten. Daraufhin erfolgt eine Fruchtartenklassifikation der Daten mittels Trainingsdaten. Diese wird segmentierte und generalisiert. Als Ergebnis entsteht ein Vektorpolygon-Datensatz der die schlagspezifische Fruchtartenklassifikation enthält (Abbildung 12 und Abbildung 13).



**Abbildung 12: Bearbeitungsschritte der Ableitung von Schlaggrenzen und Klassifikation der Kulturarten auf Basis von Sentinel-2 Daten**



**Abbildung 13: Detailabbildung der Ableitung von Schlaggrenzen und Klassifikation der Kulturarten auf Basis von Sentinel-2 Daten**

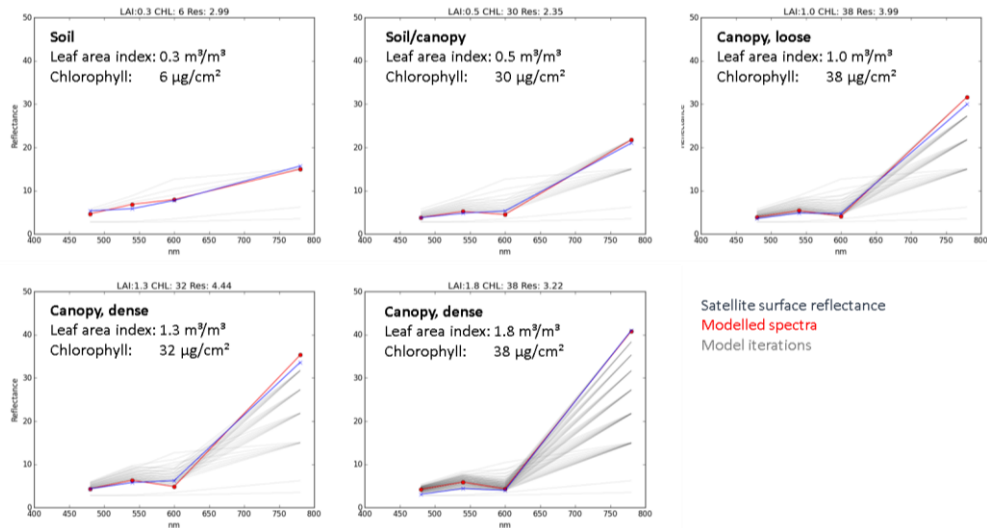
#### Ableitung von Bestandesparametern

Eine weitere durchgeführte Analyse beschäftigte sich mit der Möglichkeit quantitative Bestandesparameter durch die Inversion eines biophysikalischen Reflexionsmodells zu berechnen. Durch ein solches Modell können Informationen über die Bestandesdichte (Blattflächenindex) und des Chlorophyllgehaltes der (oberen) Blätter ermittelt werden, ohne dass eine empirische Kalibrierung benötigt wird. Diese Art der Modelle sind hochkomplex und rechenintensiv. Wir basierten unsere Analysen auf ein bekanntes und gut dokumentiertes Verfahren PROSAIL<sup>26</sup>. Es ist ein kombiniertes Modell der optischen Eigenschaften des Blattes und das bidirektionale Reflexionsmodell des Bestandes. Es verknüpft die spektrale Variation des Reflexionsvermögens des Bestandes, welche hauptsächlich mit dem biochemischen Inhalt der Blätter zusammenhängt, mit der Richtungsabhängigkeiten, die hauptsächlich mit der Architektur der Überdachung und dem Kontrast zwischen Boden und Vegetation zusammenhängen. Es hat sich aufgrund seiner Benutzerfreundlichkeit, allgemeinen Robustheit und konsistenten Validierung durch Labor- / Feld- / Satellitenexperimente im Laufe der Jahre zu einem der beliebtesten Strahlungsübertragungswerkzeuge entwickelt.

Für die Inversion des Modells erstellte EOMAP spektrale Datenbanken, welche die gängigen Kombinationen der Aufnahmegeometrie (Sensor und Sonne zum Target) berücksichtigen. Diese Datenbanken wurden für Sentinel-2 und Planet Dove Daten erstellt. Bei der Inversion wurde für jedes Pixel die vorprozessierten und atmosphärenkorrigierten Daten der Sentinel-2 Daten (vergl. vorhergehende Arbeitspakete) mit der Datenbank abgeglichen und das Spektrum aus der Datenbank ermittelt, welches die höchste Ähnlichkeit mit dem gemessenen Satelliten-Spektrum aufweist. Jedes der in der Datenbank gespeicherten Spektren ist mit den quantitativen Bestandesparametern Chlorophyll und Blattflächenindex (LAI) verknüpft und somit kann ein direkter Wert für jeden Pixel im Satellitenbild zugeordnet werden (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15).

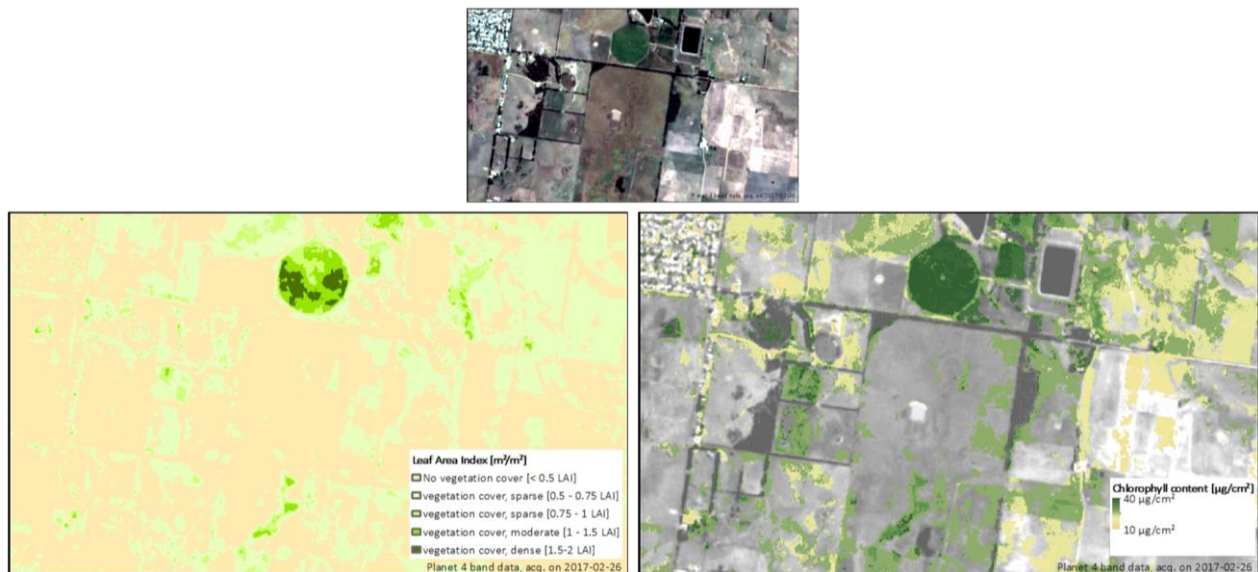
<sup>26</sup> Jacquemoud S., Verhoef W., Baret F., Bacour C., Zarco-Tejada P.J., Asner G.P., François C., & Ustin S.L. (2009), PROSPECT + SAIL models: a review of use for vegetation characterization. *Remote Sensing of Environment*, 113, S56-S66





**Abbildung 14: Beispiel der Ergebnisse des biophysikalischen Inversionsmodell zur Ableitung des Blattflächenindex und der Chlorophyllgehalte für unterschiedliche Bestandesdichten.**

Sowohl für Sentinel-2 als auch für kommerzielle Satellitendaten der Planet Doves (Abbildung 15) ergibt das Verfahren plausible Ergebnisse. Zu bemerken ist hierbei, dass die Planet Dove Daten mit einer räumlichen Auflösung von 3m und einer täglichen Abdeckung in der Lage sind die Aufnahmehäufigkeit zu erhöhen und somit speziell in häufig bewölkten Zeiträumen, wie z.B. zum Zeitpunkt der Ermittlung der N Aufnahme von Winterraps, die Chancen für eine erfolgreiche Satellitendatenaufnahme erhöhen.



**Abbildung 15: Beispiel der Ergebnisse des biophysikalischen Inversionsmodell zur Ableitung des Blattflächenindex und der Chlorophyllgehalte auf Basis von Planet Doves Daten.**

### 1.3 AP 4 Praxistests und On-Farm Versuche

EOMAP beteiligte sich über die Zusammenarbeit mit Hanse Agro an den On-Farm Versuchen und stellte die benötigten Satellitendaten sowie den wissenschaftlichen Support des Hanse Agro Teams.



### 1.4 AP 5 Verwertung und Kommunikation

EOMAP erstellte und betreute im Rahmen des Projektes die Projekthomepage agro-de.info (siehe folgenden Abbildung).

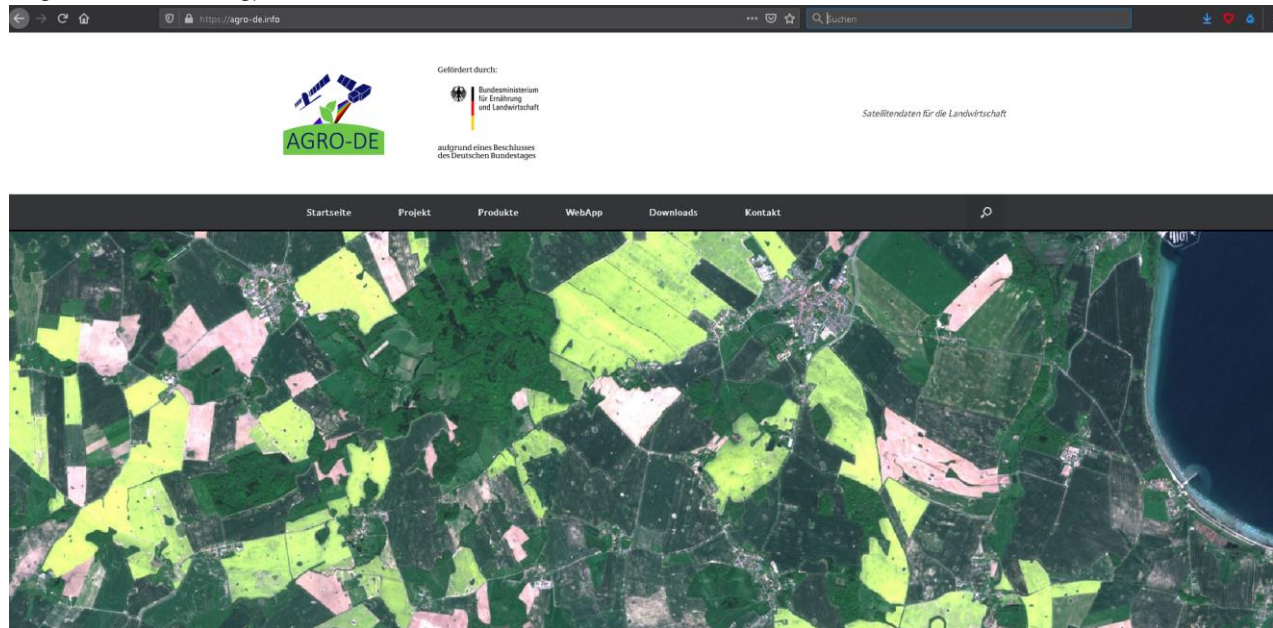


Abbildung 16: Startseite der Agro-DE Projekthomepage

Der vermutlich wichtigere Bestandteil der online Präsenz von Agro-DE bestand jedoch an der Erstellung und Pflege der WebApp des Projektes. Dies WebApp entspricht der online Nutzeroberfläche der im Projekt erzeugten Daten von EOMAP, als auch der Projektpartner. Technisch ist sie dementsprechend eng mit den Verarbeitungsketten von AP 2 Verknüpft.

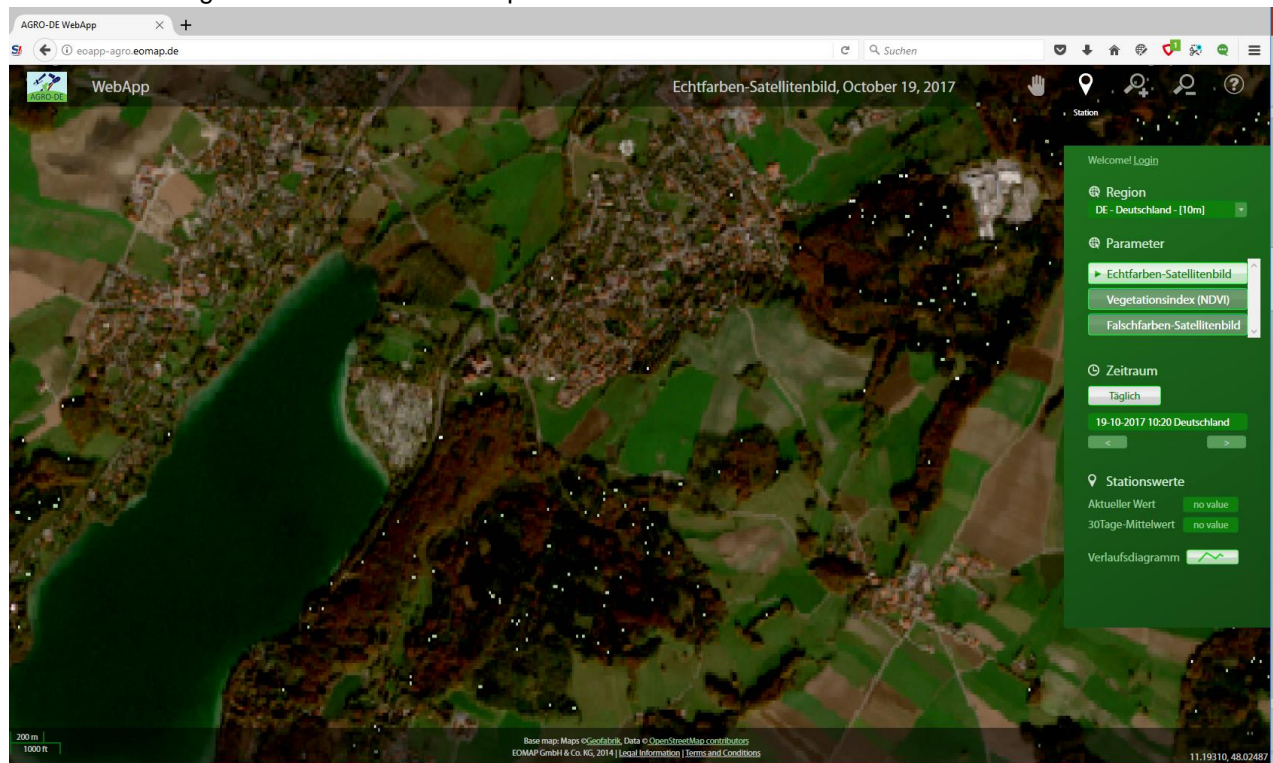
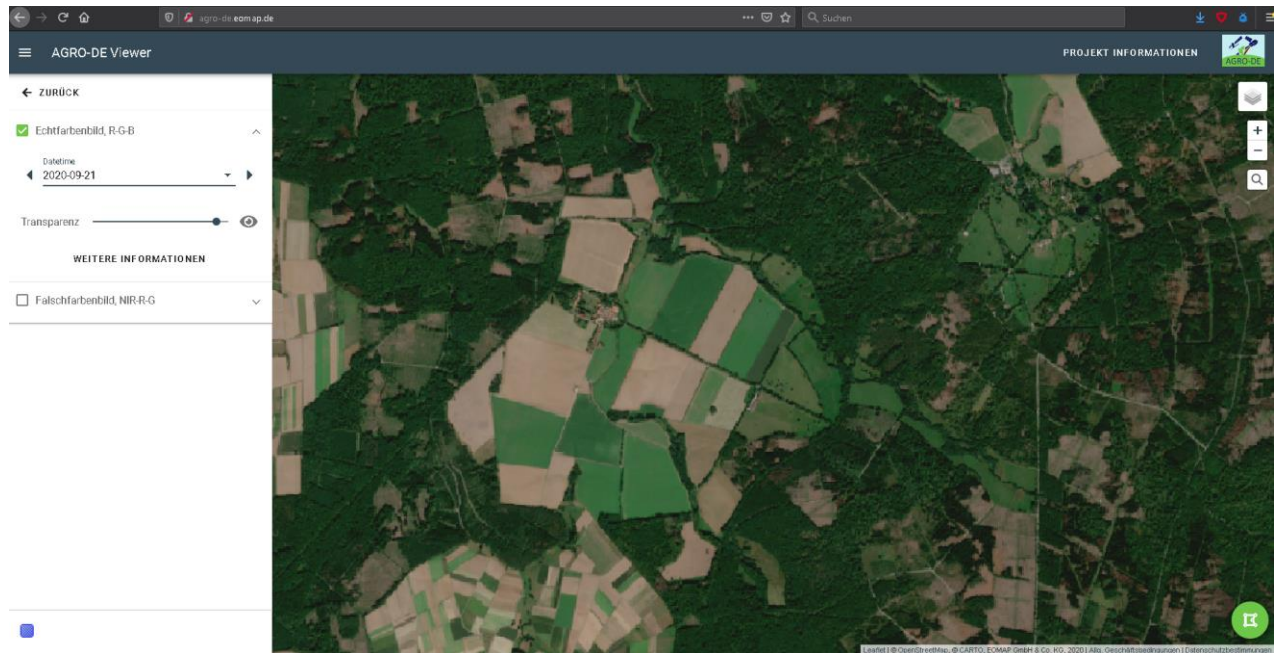
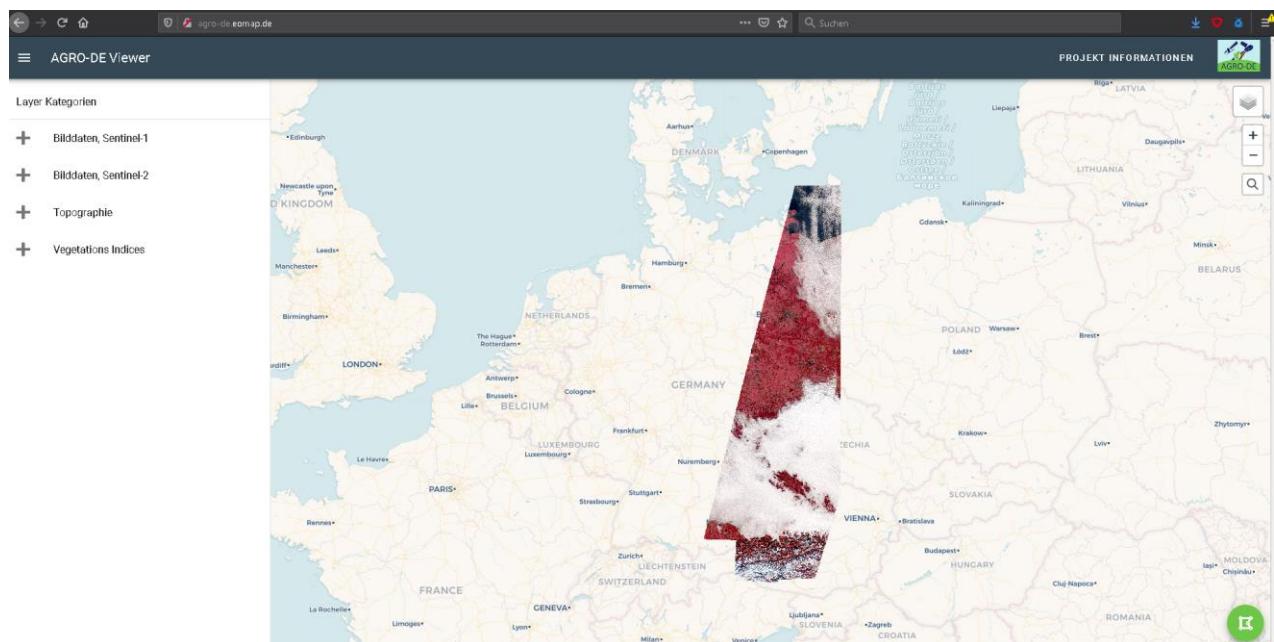


Abbildung 17: Screenshot der initialen Agro-DE webapp. Design und Funktionalitäten wurden im Laufe des Projektes überarbeitet.



**Abbildung 18: Screenshot der finalen Agro-DE webapp. Unterschiedliche Informationen und Bilddaten der Sentinel-2 Satelliten können in originaler räumlicher Auflösung der Satellitendaten visualisiert werden.**



**Abbildung 19: Screenshot der finalen Agro-DE WebApp.**

## 2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des Projektes waren die Personalkosten. Die Reisekosten beliefen sich auf ca. 1 Prozent der Gesamtkosten.

## 3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Sämtliche Arbeiten wurden in angemessener Weise entsprechend den sich aus dem Projektplan ergebenden Notwendigkeiten durchgeführt.



#### **4 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des Verwertungsplanes**

EOMAP Ambitionen in AGRO-DE waren es (1) die technischen und algorithmischen Prozessketten und Analysemethoden (weiter) zu entwickeln, (2) den Mehrwert dieser für die Projektpartner und Endnutzer aufzuzeigen und (3) das Potential einer möglichen kommerziellen Nutzung der erstellten Informationen und Lösungen zu identifizieren. Im Sinne dieses Verwertungsplans hat das Projekt für EOMAP seine Erwartungen erfüllt.

#### **5 Während des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen**

Während der Projektlaufzeit wurden auf unterschiedlichen Ebenen (national, international getrieben von Industrie und Forschung) unterschiedliche Forschungs- und Produktentwicklungen vorangetrieben, wie z.B. Copernicus Land oder Dienstleistungen der BayWa die den im Antrag definierten Projektzielen teils entsprechen bzw. in naher Zukunft relevante Informationen über Bestandesparameter (Copernicus Land) bereitstellen werden. Auswirkungen auf den Verwertungsplan und Ambitionen von EOMAP sehen wir derzeit nicht.

#### **6 Veröffentlichungen (erfolgt / geplant)**

Folgende Veröffentlichungen erfolgten:

- Vom All ins Feld, Artikel im Fachmagazin Bauernblatt, 7. Juli 2018: Vom All ins Feld
- Smarter Farming, Artikel im Fachmagazin GeoConnexion, Ausgabe 3/2017: Smarter Farming – A new project hopes to offer German farmers the benefits of the latest advances in satellite imagery

Weitere Daten und Informationsveröffentlichungen erfolgten über die WebApp und die Projekthomepage.

### ***III. Erfolgskontrollbericht***

Nicht veröffentlicht

### ***IV. Kurzfassung***

Das Verbundprojekt AGRO-DE des JKI, DLR, Hanse Agro und EOMAP zielte auf Anwendung von Sentinel Satellitendaten in der landwirtschaftlichen Beratung und Politikberatung. Hierfür wurden sowohl automatisierte Analyseverfahren, online Lösungen zur Datenbereitstellung, Analyse und Visualisierung entwickelt als auch in Praxisanwendungen getestet. U.a. zeigen die Ergebnisse auf, dass standardisiert prozessierte und analysierte Sentinel-2 Daten zur quantifizierten Berechnung der N Aufnahme (Winterraps) und ermöglichen einen einfachen Datenzugriff auf die Sentinel-2 und abgeleitete Produkte für jeden Interessierten. In dem Projekt wurde eine cloud basierte Software für Sentinel-2 Daten erstellt die über eine Web-Oberfläche zu bedienen ist. Diese und auch AGRO-DE Geodaten-Webapp weiterhin betreiben und für weitere Fragestellungen internal als auch für Dritte bereitstellen.