

Abschlussbericht zum Verbundprojekt AGRO-DE

Teilprojekt 2 – DLR



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abschlussbericht zum Verbundprojekt (Teilprojekt 2 – DLR)

Aufbau eines Clusters zur Bereitstellung von aktuellen Fernerkundungsprodukten für die Landwirtschaft (AGRO-DE)

für den Berichtszeitraum 01.07.2016 bis 30.06.2020

Projekträger: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (PT-BLE), Bonn

Zuwendungsempfänger:

| | |
|---|---|
| Dr. Holger Lilienthal (Koordinator), JKI-Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde Bundesallee 50, 38116 Braunschweig | Dr. Uta Heiden DLR - Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Landoberfläche Oberpfaffenhofen, 82234 Weßling |
| Dr. Knut Hartmann EOMAP GmbH & Co. KG, Schloss Seefeld Schlosshof 4, 82229 Seefeld | Dr. Dominik Gerwers Hanse Agro – Beratung und Entwicklung GmbH Kirchstraße 14a, 24214 Gettorf |

Förderkennzeichen: 2815704815 (JKI), 2815704915 (DLR), 2815705015 (EOMAP),
2815705115 (Hanse Agro)

Gesamtlaufzeit: 01.07.2016 - 30.06.2020

MitarbeiterInnen: Marvin Dierks, Dr. Michael Dreyer, Dr. Heike Gerighausen, Thilo Hahnkemeyer, Sabine Helm, Dr. Andreas Hirner, Anne Knifka, Dr. Marianne Jilge, Soner Üreyen, Norbert Zirps, Dr. Benjamin Leutner.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| 1. Kurzdarstellung der Projektergebnisse | 5 |
| 1.1. Aufgabenstellung | 5 |
| 1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde | 5 |
| 1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens | 5 |
| 1.4. Wissenschaftlich / Technischer Stand, an den angeknüpft wurde | 7 |
| 1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen | 8 |
| 2. Detaillierte Darstellung der Projektergebnisse | 8 |
| 2.1. Darstellung der Ziele und Ergebnisse | 8 |
| 2.1.1. AP 1 | 8 |
| 2.1.1.1 Infrastruktur | 9 |
| 2.1.1.2 Prozessorumsetzung | 9 |
| 2.1.1.3 Nutzer-Schnittstellen: CODE-DE Download Service | 10 |
| 2.1.1.4 Nutzer-Schnittstellen: Web Mapping Services | 11 |
| 2.1.2. AP 2 | 12 |
| 2.1.2.1 Atmosphärenkorrektur | 12 |
| 2.1.2.2 Wolkenmasken | 13 |
| 2.1.2.3 AGRO-DE Produkt Sentinel-2 Reflektanz (L2A): | 14 |
| 2.1.2.4 Akquisition und Prozessierung von flugzeuggetragenen Daten des hyperspektralen HySpex Sensors als Datengrundlage für die Validierung | 15 |
| 2.1.3. AP 3 | 16 |
| 2.1.3.1 AGRO-DE Basisprodukt Vegetation (L2B): | 16 |
| 2.1.3.2 AGRO-DE Produkt Vegetationsdynamik (L3): | 16 |
| 2.1.3.3 AGRO-DE Produkt Zeitliches Bodenkomposit (L3): | 17 |
| 2.1.4. AP 4 | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.5. AP 5 | 22 |
| 2.2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises | 23 |
| 2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit | 23 |
| 2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses | 24 |
| 2.5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen | 24 |
| 2.6. Veröffentlichungen | 24 |
| 3. Kurzfassung (1500 Zeichen) | 25 |
| 4. Anhang I | 26 |
| 4.1. Abbildungsverzeichnis | 26 |
| 4.2. Tabellenverzeichnis | 26 |
| 4.3. Literaturverzeichnis I | 27 |
| 4.4. Literaturverzeichnis II | 28 |
| 5. Anhang II - Erfolgskontrollbericht | 29 |
| 5.1. Beitrag des Ergebnisses zu den Förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms (ggf. unter Angabe des Schwerpunkts), soweit dies möglich | 29 |
| 5.2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und wesentliche gesammelte Erfahrungen | 29 |
| 5.3. Fortschreibung Verwertungsplan | 31 |
| 5.3.1. Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen | 31 |
| 5.3.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende | 31 |
| 5.3.3. Wissenschaftlich / Technische Erfolgsaussichten nach Projektende | 31 |
| 5.3.4. Wissenschaftlich / Technische Anschlussfähigkeit | 32 |
| 5.3.5. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben | 32 |
| 5.3.6. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer – z.B. Anwenderkonferenzen | 32 |
| 5.3.7. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung | 33 |

1. Kurzdarstellung der Projektergebnisse

1.1. Aufgabenstellung

Mit dem Projekt AGRO-DE sollte ein **Daten- und Auswertungscluster** geschaffen werden, welches landwirtschaftlichen Betrieben und Beratern, Lohnunternehmern und Service Providern ermöglicht, vorverarbeitete Fernerkundungsinformationen zeitnah nutzen zu können und in ihre Betriebsabläufe zu integrieren. Die Informationen sollten dabei in verschiedenen Formen (z.B. als Karten- und Datendienste), Informationstiefen (Bilddaten, Informationsextraktion, dynamisches Modellierungsergebnis) und Abrechnungsmodellen (kostenfrei und als Dienstleistungen) bereitgestellt werden. Hierbei sollte insbesondere das Potential der Erdbeobachtungssatelliten des Copernicus-Programms für landwirtschaftliche Anwendungen ausgeschöpft werden. Das DLR hatte die Aufgabe **Prozessierungsinfrastrukturen** aufzubauen und an die entsprechenden Anforderungen aus der landwirtschaftlichen Praxis anzupassen bzw. neue Techniken zu entwickeln. Eine weitere Aufgabe bestand in der Erstellung von Basisdaten und -produkten aus optischen multitemporalen Daten (z.B. Landsat und Sentinel-2), welche zur Vorbereitung und Entwicklung landwirtschaftlicher Services notwendig sind. Eine weitere Zielstellung des DLR war die Unterstützung beim Aufbau einer geeigneten Validationsstrategie, wobei vor allem **hyperspektrale Befliegungsdaten** erhoben werden sollten.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Abteilung Landoberfläche des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), welche das Projekt hauptsächlich durchgeführt hat, versteht sich als Bindeglied zwischen der ingenieurtechnisch-orientierten Einrichtung des Erdbeobachtungszentrums (EOC) und den angewandten Geowissenschaften und deren räumlich verteilten Anwendungen. Die für AGRO-DE benötigte Expertise in den Bereichen des fernerkundungsgestützten nachhaltigen Managements von Kulturlandschaften sowie in der Prozessierung von Massendaten wurde bereits vor AGRO-DE durch Projekte wie z.B. OPUS-GMES, GMES GIO, MSAVE, geoland2, ESA CCI "Burnt Area", TIMELINE und FastResponse demonstriert. Darüber hinaus gibt es seit über 20 Jahren Expertise in der Durchführung von hyperspektralen Befliegungskampagnen. Die ersten Arbeiten zu den Prozessoren TimeScan und SCMaP sind für dieses Projekt ebenfalls ausschlaggebend gewesen.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt AGRO-DE gliedert sich in fünf Arbeitspakete (AP). Im **AP-1 Prozesskette / Infrastruktur** wurden die technisch-infrastrukturellen Grundlagen geschaffen, um die Massendaten, die von den Satellitensystemen regelmäßig aufgenommen werden, automatisiert aufbereiten zu können (siehe Kapitel

2.1.1). Ein operationelles, deutschlandweites Monitoring landwirtschaftlicher Flächen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung erfordert eine Hochleistungsrechnerinfrastruktur (HPC) sowie darauf speziell angepasste Prozessoren. Hierzu wurden die AGRO-DE Prozessoren für mehrere unterschiedliche HPC-Umgebungen konzipiert und dann auf diesen umgesetzt. Im Rahmen des Projekts AGRO-DE wurden Prozessierungen auf den hauseigenen Systemen GEOFARM und CALVALUS implementiert. Zudem wurden die Prozessoren auf der CODE-DE Plattform implementiert (siehe auch Kapitel 2.1.1.12.1.1). Um Prozessoren trotz sich ändernder Infrastrukturen (z.B. Beispiel wechselnde Cloud-Services) aber auch unterschiedliche Datenlokalitäten (z.B. dem Abruf von Rohdaten aus CODE-DE oder Copernicus DIAS Systemen) einsetzen zu können, wurden die Prozessoren mittels Docker containerisiert, womit eine Parallelprozessierung möglich ist. Weiterhin vereinfacht die Nutzung von eigenständigen Containern den Transfer zwischen unterschiedlichen HPC-Systemen (siehe Kapitel 2.1.1.2). Um die Datenprodukte öffentlich nutzbar zu machen, wurden Webservices erstellt. Das DLR hat im Laufe des Projekts mehrere Webschnittstellen eingerichtet, darunter den Downloadservice über das CODE-DE Portal (siehe Kapitel 2.1.1.3) und verschiedene Web Mapping Services über die DLR-eigene Geoservice Plattform (siehe Kapitel 2.1.1.4).

Ziel des **AP-2 war die Vorprozessierung der optischen Erdbeobachtungsdaten** (siehe Kapitel 2.1.2), welche Voraussetzung für die Weiterverarbeitung zu höherwertigen Produkten ist. Dazu zählen die Atmosphärenkorrektur (siehe Kapitel 2.1.2.1), um den Einfluss der Atmosphäre, d.h. räumlich und zeitlich variable Strahlungsabsorption und -streuung durch Wasserdampf, Aerosole, Ozon usw. „herauszurechnen“ und die Ableitung von Wolkenmasken (siehe Kapitel 2.1.2.2) um die vollautomatische L3-Produkterstellung zu gewährleisten. Hierfür wurden 4 verschiedene Wolkenklassifikationsalgorithmen getestet und analysiert. Zum finalen optischen Vorprozessierungsprodukt aus Sentinel-2 Daten (siehe Kapitel 2.1.2.3) gehören somit 1) die Reflektanzen (Level 2A Produkt) mit einer räumlichen Auflösung von 10 m, 2) die Wolkenmasken zu jeder vorprozessierten Szene und 3) die umfangreichen Metadaten, die Statistiken zu Wolkenbedeckung, Original L1C Metadaten, Dateichecksummen, sowie allgemeine Informationen zu den verwendeten Prozessoren enthalten. Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde zudem zwei Befliegungen (20.04.2017, 01.06.2017) mit dem DLR-eigenen flugzeuggetragenen Sensor HySpex über den Testflächen des JKI durchgeführt, die Daten vorprozessiert und ein spektraler Vergleich der HySpex-Daten mit Sentinel-2 Daten und Bodenmessungen vorgenommen und ausgewertet (siehe Kapitel 2.1.2.4).

Der Fokus des **AP-3 lag auf der Produkterstellung**, wobei die vorverarbeiteten Daten (AP-2) veredelt (siehe Kapitel 2.1.3) und Basisprodukte für die Charakterisierung des Bodens und des Zustandes und der Dynamik der Vegetation erstellt wurden. Die Umsetzung erfolgte parallel, es wurden auf der einen Seite Vegetationsindizes abgeleitet, die bio-physikalische Eigenschaften aus der spektralen Signatur der Vegetation, wie beispielsweise die photosynthetische Aktivität, der Blattflächenindex, Trockenstress usw. quantifizieren (siehe Kapitel 2.1.3.1). Daraus konnten zeitliche Statistiken zur Vegetationsdynamik mittels einer Weiterentwicklung des DLR TimeScan-Prozessors (Esch, 2018) abgeleitet werden (siehe Kapitel

2.1.3.2). Ein weiteres wichtiges Basisprodukt wurde basierend auf dem Soil Composite Mapping Processor (SCMaP) weiterentwickelt und an die Anforderungen des Projekts angepasst (Rogge et al., 2018). Der SCMaP Prozessor verarbeitet sowohl Landsat (4-8) als auch Sentinel-2 Daten (siehe Kapitel 2.1.3.3). Darüber hinaus wurde das „3-Klassenprodukt“ mittels externer Daten validiert.

Das **AP-4 Praxistests und On-Farm Versuche** wurde durch die Bereitstellung der Basisdaten (Vegetations- sowie Bodenbasisdaten), sowie durch Beratungen und Diskussionen zum Potential und der Verbesserung/Adaption der Basisdaten unterstützt.

Damit ein Weiterbetrieb der AGRO-DE Infrastruktur auch nach dem Projektende gewährleistet werden kann, war das Ziel des **AP-5 Verwertung und Kommunikation** die Entwicklung eines Geschäftsmodells. Dies wurde vom DLR durch die Darstellung und Verfügbarmachung der AGRO-DE Basisprodukte mittels Webservices unterstützt. Die Services werden in Kapitel 2.1.1 im Abschnitt „Nutzer-Schnittstellen: Web Mapping Services“ ausführlich beschrieben.

1.4. Wissenschaftlich / Technischer Stand, an den angeknüpft wurde

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. Spektroskopischen Informationen wurden mit Labor- und Felduntersuchungen sowie basierend auf flugzeuggestützten Systemen sowohl für Vegetation (u.a. Curran, 1989; Xie et al., 2008) als auch für Böden (u.a. Ben-Dor et al., 2009; Mulder et al., 2011) abgeleitet. Zusätzlich können Informationen in Bezug auf die räumliche Variabilität, Ernteflächen, Feldgrößen und die Abgrenzung von Managementzonen direkt oder indirekt aus Fernerkundungsdaten abgeleitet werden (Pinter et al., 2003). Zeitreihendaten verschiedener Plattformen können auch für eine erweiterte Überwachung und Modellierung eingesetzt werden, so dass u.a. phänologische Zyklen einzelner Anbaufrüchte abgeleitet werden können (z.B. Esch et al., 2014), die Nettoprimärproduktion geschätzt (z.B. Wang et al., 2005) und Ertragsschätzungen und Ernteprognosen (Lilienthal & Geringhausen, 2015) abgeleitet werden können. Für die operationelle Prozessierung und für die nachfolgende Bereitstellung großer Datenmengen verfügte das DLR bereits vor Projektstart über geeignete Verarbeitungskapazitäten, welche vor allem in den Projekten OPUS-GMES, GMES GIO, MSAVE, geoland2, ESA CCI „Burnt Area“ und TIMELINE aufgebaut wurden. Zudem stand zum Zeitpunkt des Projektstarts standardmäßig in der ESA-Prozessierung kein atmosphärenkorrigiertes L2A Produkt zur Verfügung. Daher wurde ein am DLR auf Basis des etablierten Atmosphärenkorrektur-Programms ATCOR im Auftrag der ESA entwickelter Prototyp-Prozessor zur Erzeugung von L2A für Sentinel-2 genutzt (Makarau et al., 2015; Richter et al., 2011).

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

AGRO-DE wurde als Pilotprojekt für das vom BMWi geförderte Projekt CODE-DE ausgewählt, um die Funktionalitäten wie Datendownload, Datenprozessierung, Datenarchivierung und –verteilung einrichten und nutzen zu können. Um die Funktionalitäten der CODE-DE Plattform zu implementieren und nutzen zu können, war eine enge Zusammenarbeit mit dem gesamten CODE-DE Team am DLR sowie bei der Firma Brockmann Consult notwendig.

2. Detaillierte Darstellung der Projektergebnisse

2.1. Darstellung der Ziele und Ergebnisse

2.1.1. AP 1

Ziel des AP-1 war die Schaffung der technisch-infrastrukturellen Grundlagen, um Massendaten (Satellitenbilddaten) automatisiert aufbereiten zu können. Ein operationelles, deutschlandweites Monitoring landwirtschaftlicher Flächen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung erfordert eine Hochleistungsrechnerinfrastruktur (HPC) sowie darauf speziell angepasste Prozessoren. Hierzu wurden die AGRO-DE Prozessoren für mehrere unterschiedliche HPC Umgebungen konzipiert und dann auf diesen umgesetzt. Abbildung 1 zeigt einen Überblick über die entwickelte Infrastruktur der Prozessoren für die deutschlandweite Quantifizierung der Vegetationsdynamik basierend auf Sentinel-2 Daten, die zugehörigen AGRO-DE Produkte, sowie die öffentliche Bereitstellung von AGRO-DE Produkten über Nutzerschnittstellen. Die einzelnen Komponenten werden im Folgenden beschrieben.

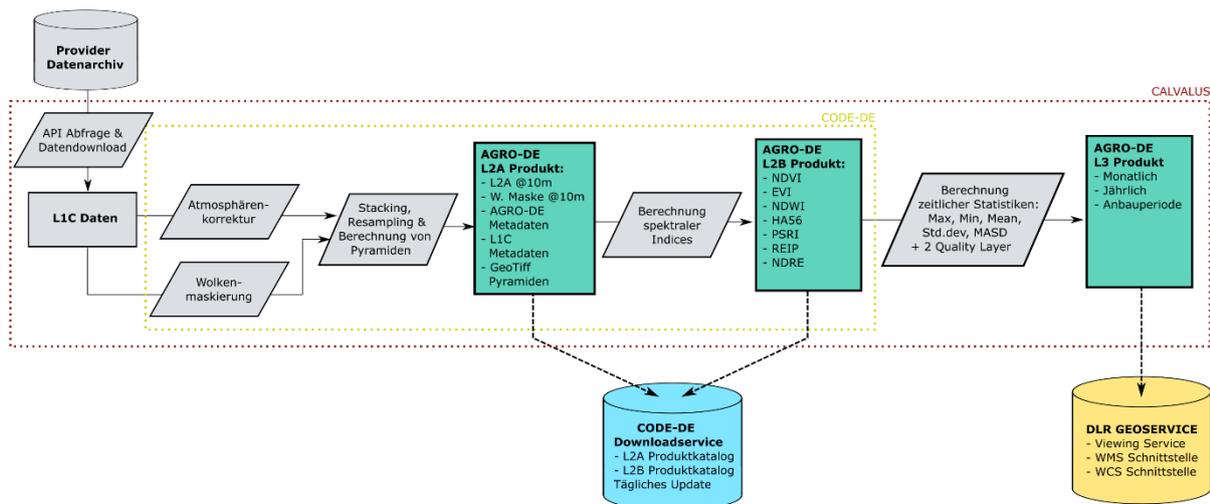


Abbildung 1: Umsetzungskonzept der AGRO-DE Prozesskette für die Vorprozessierung von Sentinel-2 Daten

2.1.1.1 Infrastruktur

Das DLR betreibt mehrere HPC Systeme für die Massenverarbeitung von Erdbeobachtungsdaten (Tabelle 1). Im Rahmen des Projekts AGRO-DE wurden Prozessierungen auf den hauseigenen Systemen GEOFARM und CALVALUS sowie auf der CODE-DE Plattform implementiert. Als besonders geeignet für die AGRO-DE Anwendungen hat sich das DLR-eigene CALVALUS-System erwiesen, dass es ermöglicht, durch die Nutzung eines Hadoop Distributed Filesystems (HDFS) auf den Rechenknoten selbst Prozessoren nahe am Speicherort auszuführen und damit einen Großteil der sonst notwendigen Datentransfers von Speicherknoten zu Rechenknoten zu vermeiden. Prozessoren werden dabei gezielt auf den Rechenknoten ausgeführt, auf denen bereits ein möglichst großer Teil der Eingangsdaten gespeichert vorliegt.

Tabelle 1 Überblick über die HPC Umgebungen die für die Umsetzung und Produktion der AGRO-DE Produkte eingesetzt wurden.

| System | RAM | CPUs | AGRO-DE Nutzung |
|--|----------|--------------|--|
| GEOFARM | >72 TB* | >2000 Kerne* | Landsat L2A & Bodenprodukte |
| CALVALUS | 2,4 TB | 252 Kerne | Landsat & Sentinel-2: L2A, L2B, L3 Vegetationsprodukte & Bodenprodukte |
| CODE-DE | 128 GB** | 28 Kerne** | Sentinel-2: L2A, L2B Produkte |
| *Maximaler Ausbau; tatsächliche Ressourcenzuteilung ist geringer und erfolgt pro Projekt | | | |
| **Zugeteilter Knoten | | | |

2.1.1.2 Prozessorumsetzung

Der reibungslose Austausch von Prozessierungswerkzeugen zwischen HPC Systemen ist eine Voraussetzung dafür, dass unterschiedliche Werkzeuge in verschiedenen Varianten kombiniert werden können, um flexibel auf sich ändernde Infrastrukturen, zum Beispiel wechselnde Cloud-Services, aber auch unterschiedliche Datenlokalitäten, zum Beispiel dem Abruf von Rohdaten aus CODE-DE oder Copernicus DIAS Systemen, reagieren zu können. Um diese Flexibilität zu gewährleisten, wurden Strategien entwickelt, um Werkzeuge gekapselt und auf verschiedenen Systemen ausführen zu können. Kern dieser Entwicklung war die Containerisierung von Prozessoren mittels Docker¹. Docker ist eine hocheffiziente, container-basierte Virtualisierungslösung auf Betriebssystemebene, die eine isolierte, statische Umgebung für Prozessoren bietet, die aber im Vergleich zu klassischen virtuellen Maschinen nur einen minimalen Ressourcen-Footprint besitzt, der zu nahezu keinen Performanceeinbußen oder Latenzen führt. Durch die Isolation zwischen Containern ist es darüber hinaus ohne weiteres möglich, mehrere Instanzen parallel zu betreiben. Weiterhin vereinfacht die Nutzung von eigenständigen Containern den Transfer zwischen unterschiedlichen HPC Systemen. Verbleibende Anpassungsarbeiten

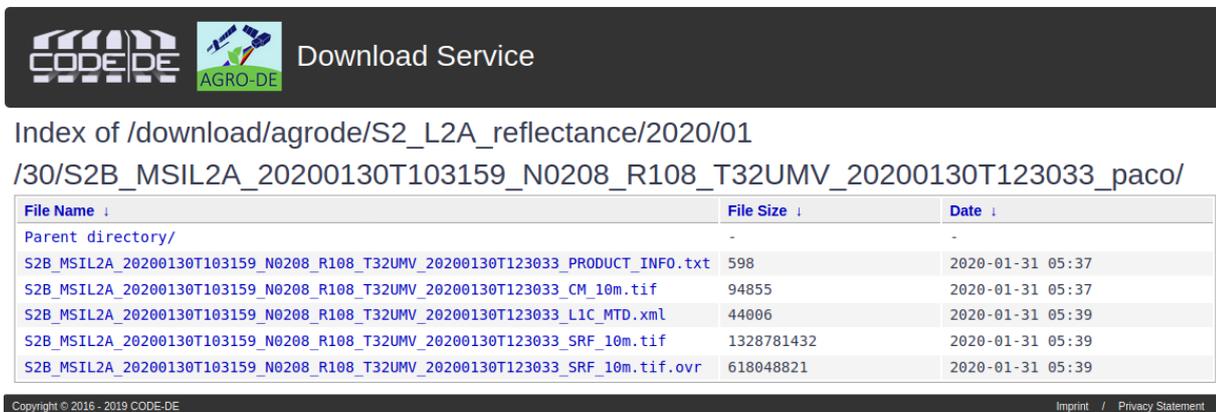
¹<https://www.docker.com/>

beschränken sich damit auf Dateninput und Datenoutput, was in der Regel über variable APIs der HPC-Umgebung umgesetzt werden muss.

Für die konkrete Implementierung der AGRO-DE Verarbeitungskette wurden die Prozessoren in Docker-Images angelegt. Durch Übergabe einer XML-Datei mit Eingangsdaten und Prozessoreinstellungen wurden diese Images als Container gestartet und verarbeiteten den jeweiligen Eingangsdatensatz. Die Anzahl parallellaufender Container ist dabei nur durch die zur Verfügung stehende Hardware, wie Input/Output Kapazitäten, Arbeitsspeicher, CPUs und Netzwerkkonnektivität limitiert. Die Implementierung der Prozessoren in Form von Docker-Images wurde auch genutzt, um intern entwickelte Software mit Projektpartnern auszutauschen. So wurden beispielsweise DLR-Softwareentwicklungen mittels eines Docker-Images den Projektpartnern des JKI übergeben.

2.1.1.3 Nutzer-Schnittstellen: CODE-DE Download Service

Die AGRO-DE Prozessoren wurden so konzipiert, dass prinzipiell die Möglichkeit einer externen, öffentlichen Nutzung durch Serviceprovider, landwirtschaftliche Betriebe und Berater, oder Behörden gegeben sein sollte. Dies geschah vor dem Hintergrund des Zieles, vorverarbeitete Fernerkundungsinformationen zeitnah in Wert setzen zu können und in laufende landwirtschaftliche Betriebsabläufe integrieren zu können. Der performante Zugang zu Daten und Services ist daher ein elementarer Bestandteil des Projekts.



The screenshot shows the 'Download Service' interface for CODE-DE. It displays a file list for the directory '/download/agrode/S2_L2A_reflectance/2020/01/30/S2B_MSIL2A_20200130T103159_N0208_R108_T32UMV_20200130T123033_paco/'. The table below is a reproduction of the data shown in the screenshot.

| File Name | File Size | Date |
|---|------------|------------------|
| Parent directory/ | - | - |
| S2B_MSIL2A_20200130T103159_N0208_R108_T32UMV_20200130T123033_PRODUCT_INFO.txt | 598 | 2020-01-31 05:37 |
| S2B_MSIL2A_20200130T103159_N0208_R108_T32UMV_20200130T123033_CM_10m.tif | 94855 | 2020-01-31 05:37 |
| S2B_MSIL2A_20200130T103159_N0208_R108_T32UMV_20200130T123033_L1C_MTD.xml | 44006 | 2020-01-31 05:39 |
| S2B_MSIL2A_20200130T103159_N0208_R108_T32UMV_20200130T123033_SRF_10m.tif | 1328781432 | 2020-01-31 05:39 |
| S2B_MSIL2A_20200130T103159_N0208_R108_T32UMV_20200130T123033_SRF_10m.tif.ovr | 618048821 | 2020-01-31 05:39 |

Copyright © 2016 - 2019 CODE-DE | Imprint / Privacy Statement

Abbildung 2 Beispiel für auf CODE-DE zum Download stehendes Sentinel 2 L2A Produkt. Dieses beinhaltet Metadaten, Wolkenmaske und Reflektanzen, sowie zugehörige, vorberechnete GeoTiff Pyramiden für performantere Darstellung in GIS Systemen.

AGRO-DE hatte sich deshalb als Pilotprojekt für das vom BMWi geförderte Projekt CODE-DE angeboten, um die Funktionalitäten wie Datendownload, Datenprozessierung, Datenarchivierung und –verteilung nutzen zu können. In der Funktion als CODE-DE Pilotprojekt wurde dem AGRO-DE Projekt ein Rechenknoten, Zugang zum dortigen Copernicus-Archiv, sowie die Möglichkeit, großvolumige Downloadservices öffentlich anzubieten, genehmigt². Abbildung 2 zeigt exemplarisch einen zur

² Zum Ende der AGRO-DE Projektlaufzeit wurde CODE-DE an ein neues Projektkonsortium übergeben. Infolgedessen wurde das CODE-DE HPC-System von Grund auf neu strukturiert. AGRO-DE hat seither keinen Status als Demonstrator Projekt mehr.

Projektlaufzeit eingerichteten Downloadservice auf CODE-DE. Insgesamt wurden dort für die Jahre 2015 bis 2020 mit nur eintägiger Latenz alle über Deutschland berechneten L2A und L2B Produkte (Details zu den Produkten in Kapitel 2.1.2) zum Download angeboten.

2.1.1.4 Nutzer-Schnittstellen: Web Mapping Services

Zusätzlich zu den Downloadservices auf CODE-DE wurden die Level 3 AGRO-DE Produkte als Web-Mapping-Services über den DLR GEOSERVICE öffentlich zugänglich gemacht (Tabelle 2). Dies beinhaltet einerseits interaktive Viewer, die jedem Endnutzer auch ohne GIS Kenntnisse ermöglichen, die Produkte interaktiv zu erkunden sowie mehrere API-Schnittstellen für den automatisierten Zugriff für Expertennutzer mittels GIS-Systemen aber auch für App-Entwickler.

Tabelle 2: Übersicht über öffentliche interaktive AGRO-DE Data Viewer und Web Mapping Schnittstellen.

| | |
|--|---|
| Jährliche Vegetationsdynamik | https://geoservice.dlr.de/web/maps/de:agrode:yearly |
| Monatliche Vegetationsdynamik | https://geoservice.dlr.de/web/maps/de:agrode:monthly |
| 5-jähriges Bodenkomposit | https://geoservice.dlr.de/web/maps/eoc:scmap:five |
| 30-jähriges Bodenkomposit | https://geoservice.dlr.de/web/maps/eoc:scmap:thirty |
| WMS Schnittstelle: Alle AGRO-DE Services | https://geoservice.dlr.de/eoc/land/wms? |
| WCS Schnittstelle: Alle AGRO-DE Services | https://geoservice.dlr.de/eoc/land/wcs? |

Abbildungen 3 und Abbildung 4

Abbildung 3 zeigen exemplarisch die interaktiven Dataviewer für die AGRO-DE Vegetations- und Bodenprodukte, die über geoservice.dlr.de bereitgestellt werden. Vorteil dieser Art der Anwendung ist, dass die gesamte Datenverarbeitung und Darstellung serverseitig ausgeführt wird und somit bis auf einen Webbrowser vom Endnutzer keine spezialisierte Software benötigt wird.

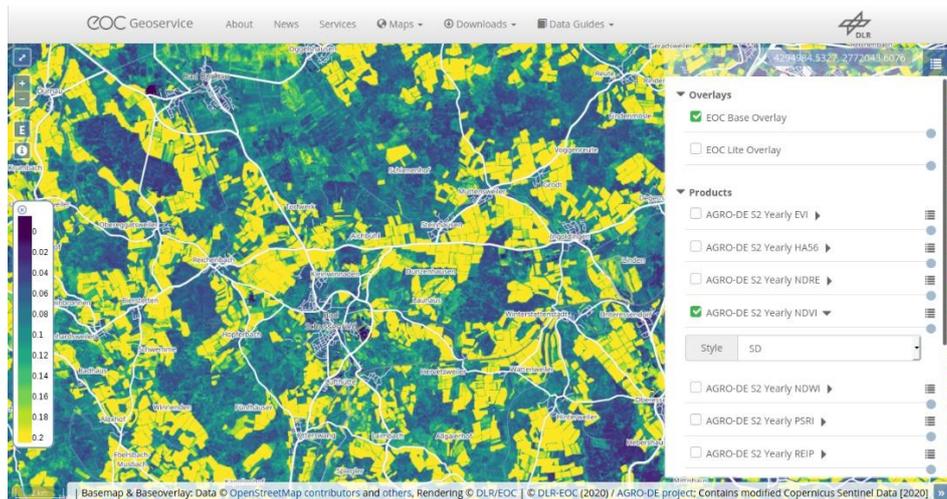


Abbildung 3 Interaktive Darstellung von AGRO-DE Vegetationsdynamikprodukten auf EOC-Geoservice. Dargestellt: NDVI Standardabweichung im Jahr 2019.

Die bestehenden Prozessoren wurden abgeschaltet. Die im Rahmen des AGRO-DE Projektes entwickelten Prozessoren auf CODE-DE sind deshalb nicht mehr aktiv und der beschriebenen Downloadservices über CODE-DE nicht mehr verfügbar.

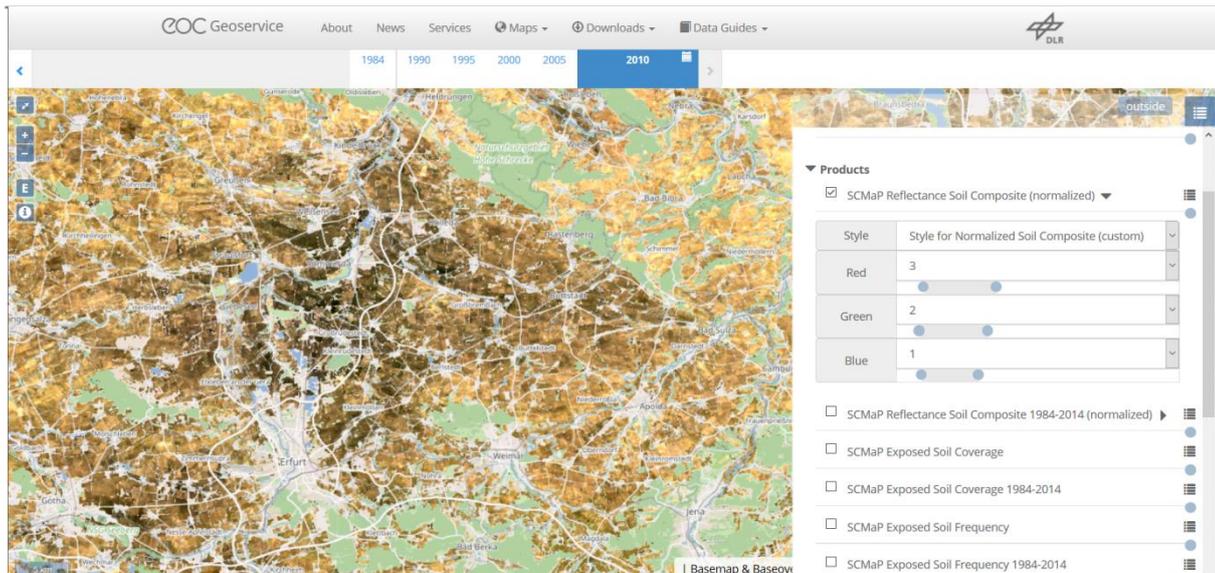


Abbildung 4: Darstellung des Bodenkomposits auf dem EOC-Geoservice mit individuell gewählter Kanalkombination und angepassten Streckungsbereichen der Reflektanzwerte der gewählten Kanäle.

Über die API-Schnittstellen in Form eines Web-Mapping-Service (WMS) werden die AGRO-DE Layer den Endnutzern in Form von vorgerenderten Grafiklayern übermittelt. Über den statischen WMS hinaus steht auch eine flexiblere Web-Coverage-Service (WCS) Schnittstelle zur Verfügung, die es erlaubt, per web-request die tatsächlichen Pixelwerte abzufragen. Diese Schnittstelle kann beispielsweise von App-Entwicklern genutzt werden, um konkrete Pixelwerte, wie einen mittleren monatlichen NDVI, abzufragen und diesen dann für weitere Analysen zu nutzen.

2.1.2. AP 2

Ziel des AP-2 war die Vorprozessierung EO Daten, welche Voraussetzung für die Weiterverarbeitung zu höherwertigen Produkten ist. Die Nomenklatur der Produkte folgt dabei entsprechend der in der Fernerkundung üblichen Level-basierten Einordnung (vgl. auch Abbildung 1). Eingangsdaten (Landsat und Sentinel-2) in die AGRO-DE Prozesskette waren stets Level 1C (L1C) Daten, d.h. georeferenzierte und radiometrisch kalibrierte *top-of-atmosphere* Radianzen. Diese wurden durch Atmosphären- und Terrainkorrektur zu Level 2A (L2A), d.h. zu bodennahen Reflektanzwerten prozessiert.

2.1.2.1 Atmosphärenkorrektur

Die Atmosphärenkorrektur ist ein essentieller Bestandteil in der Vorverarbeitung optischer Fernerkundungsdaten. Dieser Schritt ist notwendig, um den Einfluss der Atmosphäre, d.h. räumlich und zeitlich variable Strahlungsabsorption und -streuung durch Wasserdampf, Aerosole und Ozon, „herauszurechnen“, um zur eigentlichen Zielvariable, den Reflektanzspektren der Landbedeckung zu gelangen. Eine zuverlässige Atmosphärenkorrektur ist die Voraussetzung für die Ableitung quantitativer Fernerkundungsprodukte und Zeitreihenanalysen. Für die AGRO-DE-Produktpalette wurde die

Atmosphärenkorrektur für Sentinel-2 mittels der DLR-internen Software PACO durchgeführt, die die Python-basierte Weiterentwicklung der ebenfalls am DLR entwickelten Software ATCOR-2/3 darstellt. Die Atmosphärenkorrektur für Landsat-Daten wurde mittels ATCOR-2/3 durchgeführt. Geländebedingte Strahlungseffekte wurden durch radiometrische Terrainkorrektur basierend auf dem frei verfügbaren SRTM-Geländemodell korrigiert.

2.1.2.2 Wolkenmasken

Als zusätzlicher und wichtiger Schritt wurde auf allen Szenen eine Wolkendetektion durchgeführt. Die Qualität der Wolkenmaske ist insbesondere bei multitemporalen Analysen von besonderer Bedeutung. Nach wie vor stellt die vollautomatische Detektion von Wolken und Wolkenschatten jedoch eine Herausforderung in der Fernerkundung dar. Im Rahmen des AGRO-DE Projektes wurde deshalb einiger Aufwand in die Identifikation eines geeigneten Wolkenklassifikationsalgorithmus investiert. Schlussendlich wurde der Fmask Algorithmus (Zhu & Woodcock 2012) eingesetzt. Der Fmask („*Function of Mask*“) Algorithmus wurde ursprünglich für Landsat-Aufnahmen entwickelt und wird zur Klassifikation von Wolken sowie Wolkenschatten verwendet. Der Algorithmus hat sich als Standard für die Erstellung von Wolkenmasken etabliert und ist weitverbreitet in seiner Anwendung. Da der Sentinel-2 Sensor keinen thermalen Kanal aufweist, konnte der Fmask-Algorithmus jedoch nur in Teilen auf Sentinel-2 übertragen werden. In Abbildung 5b wird beispielhaft ein Ergebnis der Fmask Funktion für eine Sentinel-2 Aufnahme dargestellt. Bei Sentinel-2 klassifiziert Fmask Wolken nicht akkurat, so werden Randflächen von Wolken und mittelhohe sowie tiefe Wolkenfelder nicht detektiert. Des Weiteren werden helle Oberflächen, wie z.B. Gebäudeoberflächen, fälschlicherweise als Wolken klassifiziert. Die Verwendung von Fmask-Wolkenmasken für die Weiterverarbeitung von Sentinel-2 Aufnahmen hat sich daher als problematisch erwiesen, weil wolkenbedeckte Bildpunkte nicht von weiterführenden Untersuchungen ausgeschlossen werden konnten.

Frantz et al. 2018 haben den Fmask-Algorithmus an die Eigenschaften der Sentinel-2 Sensoren angepasst, wodurch die resultierenden Wolkenmasken deutlich verbessert werden konnten. So wurde ein neuer Cloud Displacement Index (CDI) entwickelt, der den Parallaxenwinkel der Kameras im nahen Infrarotbereich ausnutzt. Die unterschiedlichen Blickwinkel der Infrarotdetektoren ermöglichen eine genauere Klassifikation von Wolken und trennen Wolken sowie helle Oberflächen auf der Landoberfläche mit einer höheren Genauigkeit. Die entsprechenden Ergebnisse werden in Abbildung 5c und d dargestellt. Aufgrund dieser Ergebnisse wurde der FMask-Algorithmus mit Parallaxtest für die AGRO-DE Produktkette eingesetzt. Da die Originale Fmask-Software nur in Matlab verfügbar ist, wurde stattdessen die äquivalente Python-Implementierung von Fmask (<http://www.pythonfmask.org>) verwendet, die zusätzlich eben diesen Parallaxtest bietet.

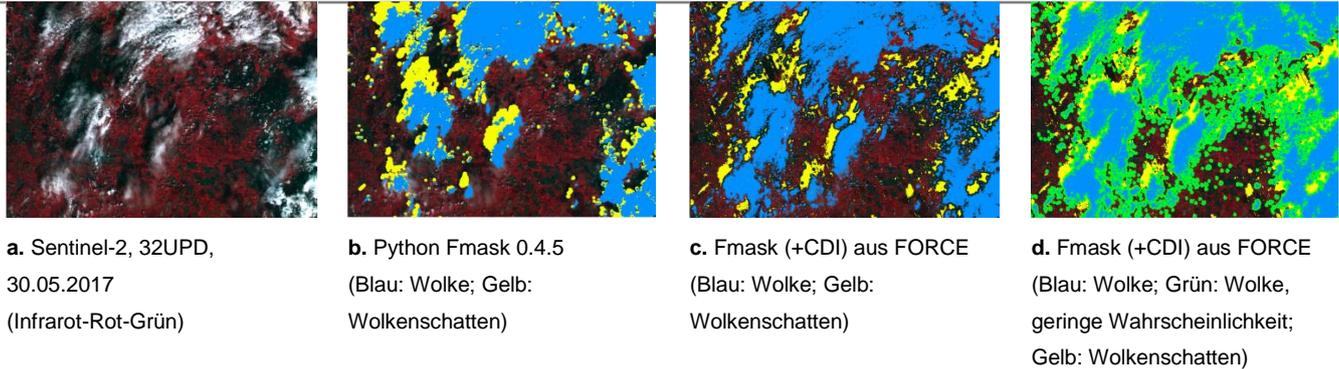


Abbildung 5: Darstellung der Ergebnisse eines aktualisierten Fmask-Algorithmus zur Klassifikation von wolkenbedeckten Pixeln.

Die Auswirkungen der jeweiligen Wolkenmasken auf die temporalen Metriken werden in Abbildung 6 dargestellt. In Abbildung 6a werden temporale Metriken, die mittels Wolkenmasken, basierend auf dem ursprünglichen Fmask-Algorithmus generiert wurden, gezeigt. Das Ergebnis ist gekennzeichnet durch größere Datenlücken, vor allem über Siedlungsflächen, die hellere Oberflächen aufweisen und daher als Wolke klassifiziert werden und nicht in die Berechnung der temporalen Metriken einfließen.

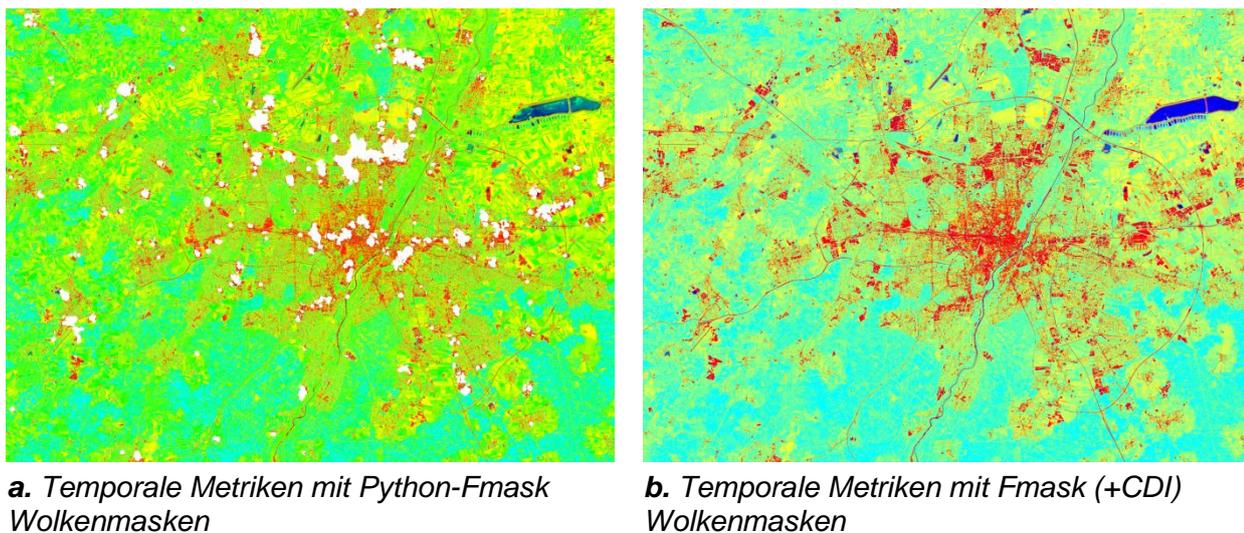


Abbildung 6: Vergleich von temporalen Metriken, die mit unterschiedlichen Wolkenmasken prozessiert wurden.

2.1.2.3 AGRO-DE Produkt Sentinel-2 Reflektanz (L2A):

Das finale AGRO-DE Sentinel-2 L2A Produkt, welches in dieser Form als near-realtime data über die CODE-DE Plattform zum Download angeboten wurde, war wie folgt strukturiert:

- **Reflektanzen (Level 2A Produkt):** Atmosphärenkorrektur erfolgt mittels DLR-PACO inklusive radiometrischer Terrainkorrektur basierend auf dem 30m SRTM-Geländemodell. Bänder mit einer Ursprungsaufösung von 20m wurden auf 10m resampled.
- **Wolkenmasken:** berechnet mittels Python-Implementierung des FMask-Algorithmus unter Nutzung Sentinel-2 spezifischer Parallaxeffekte zur Reduktion von Missklassifikationen über Städten.

- **Metadaten:** Statistiken zu Wolkenbedeckung, Original L1C-Metadaten, Dateichksummen, sowie allgemeine Informationen zu den verwendeten Prozessoren.

2.1.2.4 Akquisition und Prozessierung von flugzeuggetragenen Daten des hyperspektralen HySpex Sensors als Datengrundlage für die Validierung

Im Rahmen des Projektes waren für 2017 zwei Flugkampagnen mit dem hyperspektralen flugzeuggetragenen Sensors HySpex vorgesehen, die jeweils drei Gebiete bei Braunschweig erfassen sollten. Die erste Befliegung fand am 20.04.2017, die zweite am 01.06.2017 statt. Die Vorprozessierung und Aufbereitung der Daten wurden nach standardisierten Verfahren durchgeführt. Nach radiometrischer Korrektur der im Flug aufgenommenen DN (Digital Numbers) nach Brachmann et al. (2016) und Gege et al. (2009) erfolgte eine Ortho-Rektifizierung der Radianzen mittels ORTHO (Müller et al. 2005) unter Nutzung der aufgezeichneten Höhen und der Flugdaten in Kombination mit einem digitalen Höhenmodell (DEM). Um die Fehlausrichtung der Boresight-Winkel zu korrigieren, erfolgte eine geometrische Kalibration während jeder Kampagne. Die Co-Registrierung der VNIR- (visible & nahes Infrarot) und SWIR-Kanäle (short wave infrared) erfolgte nach der BRISK Methode (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints) nach Schwind et al. (2014). Anschließend erfolgte die Atmosphärenkorrektur der hyperspektralen Daten mittels ATCOR4 (Richter & Schläpfer 2002). Abschließend wurde im Rahmen der Vorprozessierung der Savitzky-Golay Filter angewendet, um die Daten spektral zu glätten (Schläpfer & Richter 2011). Überlappende Kanäle (154-160) der beiden Sensoren sowie die Kanäle der Absorptionsbereiche (Kanäle 132-160, 176-192, 211-242 und 290-331) wurden entfernt, sodass der finale vorprozessierte Datensatz 290 Kanäle umfasst.

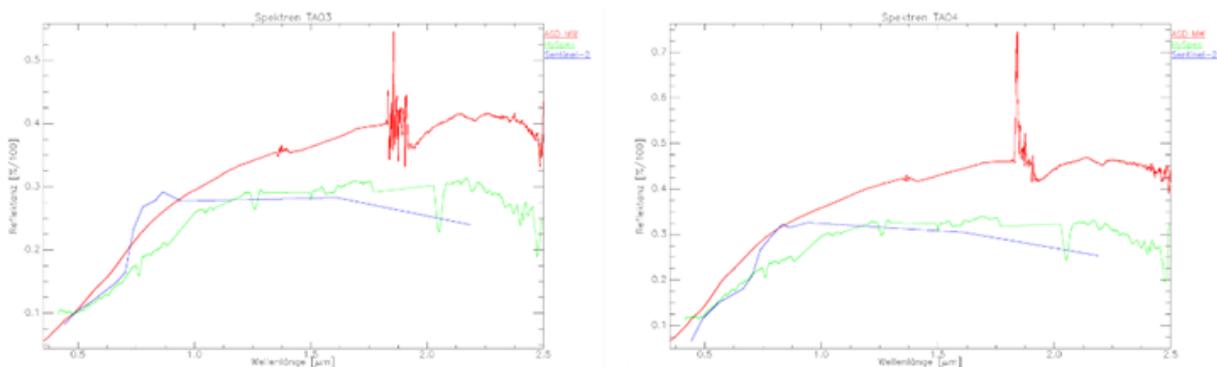


Abbildung 7: Reflektanzen der prozessierten ASD-Daten (rot) im Vergleich zu Reflektanzen der Sensoren HySpex (grün) und Sentinel-2 (blau).

Während der ersten Befliegung war ein Bodenteam vom DLR aus Oberpfaffenhofen mit einem ASD-Feldspektrometer im Feld, um spektrale Reflexionsdaten und Bodenproben zu sammeln. Die Beprobung fand im östlichen der drei Gebiete auf landwirtschaftlich genutzten und zu dem Zeitpunkt vegetationslosen Flächen bei Bahrdorf und Velpke statt. Abbildung 7 zeigt die Reflektanzen der prozessierten ASD-Daten (rot) im Vergleich zu Reflektanzen der Sensoren HySpex (grün) und Sentinel-2 (blau).

2.1.3. AP 3

Der Fokus des AP-3 lag auf der Produkterstellung, wobei die vorverarbeiteten Daten (AP-2) veredelt und neue Informationsprodukte erstellt wurden. Ziel war es, Basisprodukte für die Charakterisierung des Bodens und der Vegetation zu erstellen.

2.1.3.1 AGRO-DE Basisprodukt Vegetation (L2B):

Die Berechnung spezieller Vegetationsindizes aus spektralen Reflektanzen sind eine etablierte Vorgehensweise zur Ableitung bio-physikalischer Eigenschaften aus der spektralen Signatur der Vegetation, wie beispielsweise die photosynthetische Aktivität, der Blattflächenindex und Trockenstress. Die Anzahl der in der Literatur vorgeschlagenen Vegetationsindices ist nahezu unerschöpflich. In Diskussion mit den AGRO-DE Projektpartnern wurde daher ein Set an Indizes definiert, welches für die weitergehenden Anwendungen als vielversprechend angesehen wurde. Die folgenden Indizes wurden daher zur Berechnung ausgewählt: Enhanced Vegetation Index (EVI); HanseAgro Index ($HA56=100*(\log(B6)-\log(B5))$); Normalized Difference Red-Edge Index (NDRE); Normalized Difference Vegetation Index (NDVI); Normalized Difference Water Index (NDWI); Plant Senescence Reflectance Index (PSRI) und Red Edge Inflection Point Index (REIP). Das Set dieser Indizes wurde einen Tag nach Aufnahme über die CODE-DE Plattform als AGRO-DE L2B Produkt zum Download angeboten. Weiterhin diente das L2B Produkt als Eingangsdatensatz für die Ableitung der Zeitreihenstatistiken des L3 Produktes.

2.1.3.2 AGRO-DE Produkt Vegetationsdynamik (L3):

Wie schematisch in Abbildung 1 dargestellt, wurde, aufbauend auf den AGRO-DE L2B-Produkten sowie den Wolkenmasken der L2A-Produkte, zeitliche Statistiken zur Vegetationsdynamik mittels einer Weiterentwicklung des DLR TimeScan-Prozessors (Esch, 2018) abgeleitet. Da die Umsetzung dieses Prozessors regelmäßig größere Rechenressourcen, als die auf CODE-DE zur Verfügung stehenden erfordert, wurde die Implementierung der Prozesskette nur auf dem DLR CALVALUS-System umgesetzt. Die zeitliche Dynamik der Vegetationsflächen wurde für die spektralen Indizes EVI, HA56, NDRE, NDVI, NDWI, PSRI, REIP über frei wählbare Zeiträume berechnet. Standardmäßig wurden dabei die folgenden zeitlichen Statistiken abgeleitet: Maximum (Max), Minimum (Min), Mittelwert (Mean), Standardabweichung (SD), Mittlere Änderung aufeinander folgender Zeitschritte (MASD). Da die Anzahl der zur Verfügung stehenden Beobachtungen durch Wolkenbedeckung und Satellitenabdeckung (swath) lokal stark schwanken kann, was wiederum einen Einfluss auf die abgeleiteten Statistiken hat, wurden stets zwei zusätzliche Qualitätssicherungslayer auf Pixelebene mit berechnet. Dies sind: 1) Gesamtanzahl der gemachten Aufnahmen (Satellitenüberflüge) und 2) Anzahl valider Beobachtungen (wolkenfreie Beobachtungen).

Standardmäßig wurden die Statistiken über die folgenden Zeitabschnitte berechnet: a) monatlich, b) jährlich, c) Anbauperiode von Sommergetreide (April – September), d) Anbauperiode von Wintergetreide (September – Juli), e) Monatlich multi-annuell (z.B. Juni 2017, Juni 2018, Juni 2019). Wie in Abschnitt 2.1.1 beschrieben, wurden die berechneten Produkte für das gesamte Gebiet der Bundesrepublik für die Jahre 2016, 2017, 2018 und 2019 über den DLR-GEOSERVICE mittels interaktiver Dataviewer (Abbildung 3 und Abbildung 4) sowie WMS- und WCS-Schnittstellen einerseits den Projektpartnern sowie andererseits der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

2.1.3.3 AGRO-DE Produkt Zeitliches Bodenkomposit (L3):

Eine wichtige Basisinformation für landwirtschaftliche Anwendungen ist zusätzlich zum Zustand und der Dynamik der Vegetation, der Aufbau, die Beschaffenheit sowie die Fruchtbarkeit des Bodens. Erdbeobachtungsdaten können dafür genutzt werden, um die wichtigen Funktionen des Bodens zu erfassen und bewerten zu können (Ben-Dor, 2009, Nanni & Dematté, 2006). Im Rahmen des Projekts AGRO-DE wurde ein am DLR entwickeltes Verfahren weiterentwickelt, welches großflächige (deutschlandweite) Analysen des Bodens ermöglicht.

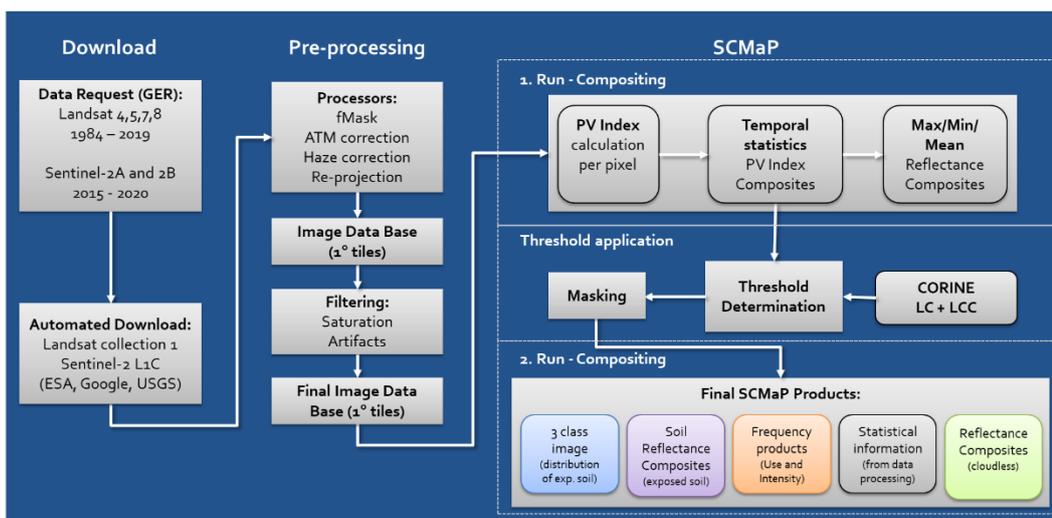


Abbildung 8: „Soil Composite Mapping Processor (SCMaP)“ modifiziert nach Rogge et al., 2018.

Basis ist das Verfahren der Kompositbildung, wobei aus multispektralen Erdbeobachtungszeitreihen unbedeckte Bodenpixel extrahiert und zu einem neuen „künstlichen“ Bild zusammengefasst werden. Die Nutzung von Zeitreihen gegenüber Einzelaufnahmen ermöglicht eine Vergrößerung der zu untersuchenden Bodenfläche. Dazu wurde der am DLR entwickelte *Soil Composite Mapping Processor* (SCMaP) weiterentwickelt und die Produkte an die Anforderungen des Projekts angepasst (Rogge et al., 2018). Die Anforderungen sind a) Automatisierung der Schwellwertableitung zur Erfassung des unbedeckten Bodens aus multispektralen Zeitreihen, b) Integration aktueller Landsat-8-Daten in die Prozesskette, c) Ableitung verschiedener SCMaP-Produkte für den Zeitraum von 1984 – 2019 und d) Umsetzung der Prozesskette auf die Verarbeitung von Sentinel-2 Daten. In Abbildung 8 ist die modulare Prozesskette des SCMaP abgebildet.

Ein wichtiger Schritt zur operationellen Erstellung der SCMaP-Produkte ist die Ableitung von Schwellwerten basierend auf spektralen Indizes, welche eine Trennung zwischen unbedeckten Boden und anderen Landbedeckungsarten ermöglichen (für die Beschreibung der Methodik siehe Rogge et al., 2018). Die Erstellung der Bodenkomposite basiert auf der Bestimmung von Schwellwerten, die sich anhand der berechneten minimalen als auch maximalen Indizes einzelner Landbedeckungsklassen ergeben. Hierfür war bislang eine manuelle Selektion einzelner Trainingspixel konstanter Landbedeckungsklassen erforderlich. Im Rahmen des AGRO-DE Projekts würde das Verfahren automatisiert.

Für die Berechnung der Indizes einzelner Landbedeckungsklassen wurden die verfügbaren CORINE-Landbedeckungsklassen auf insgesamt 9 Klassen aggregiert. Die Landbedeckungsklassifizierung, welche im Vektorformat vorliegt, wurde auf die räumliche Auflösung der Landsat-Daten gerastert. Über den Betrachtungszeitraum stabile Pixel ergeben sich anhand gleichbleibender Landbedeckungsklassen über den untersuchten Zeitraum und der räumlich zugehörigen Indexwerte aus der SCMaP-Prozessierung. Aus diesen sogenannten stabilen Pixeln wurden bestimmte Quantitäten zufällig zum Testen der Stabilität der Schwellwerte extrahiert. Die Schwellwertextraktion wurde für eine feste Anzahl von 2500, 5000 und 10000 stabiler Pixel je Landbedeckungsklasse je Testkachel für jeweils 10 Durchläufe über 5-Jahreszeiträume durchgeführt. Zusätzlich wurden die Schwellwerte für 0,07% sowie für eine feste Anzahl von 25000 je Landnutzungsklasse aus den stabilen Pixeln für gesamt Deutschland der 5-Jahreskomposite bestimmt.

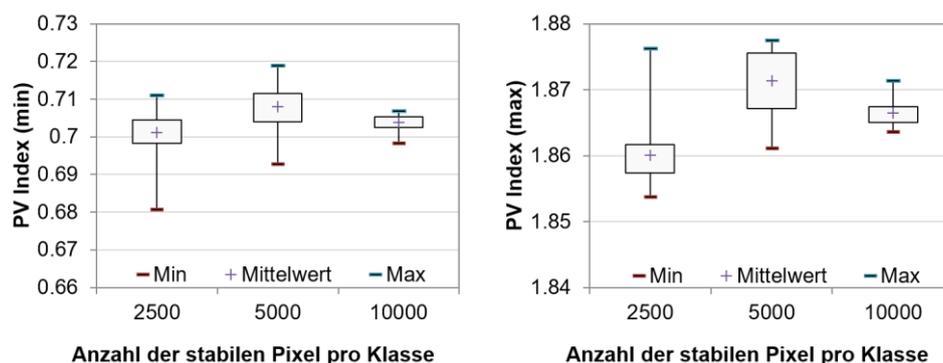


Abbildung 9: Varianz der automatisch extrahierten stabilen Pixel für die Bestimmung des Minimums (links) und Maximum (rechts) Schwellwertes

Die Analysen haben gezeigt, dass die ermittelten Schwellwerte relativ konstant bleiben unabhängig der verwendeten Anzahl stabiler Pixel sowie der zufälligen Auswahl. Abbildung 9 visualisiert die geringe Varianz der extrahierten Schwellwerte für die zufällige 10-fach wiederholte Auswahl stabiler Pixel für ein Testgebiet in Bayern. Die neuesten Ergebnisse des Schwellwertverfahrens bzw. der Schwellwerte, die für Deutschland gelten, sind in Zepp et al. (eingereicht) veröffentlicht.

Abbildung 10 zeigt die wichtigsten Produkte des SCMaP-Prozessors, welche Grundlage für Test zum Potential für landwirtschaftliche Anwendungen waren bzw. zur Weiterverarbeitung in Richtung spezieller Bodenparameter verwendet werden können. Alle Produkte liegen für den gleichen Zeitraum vor.

Reflektanzkomposit: Es gibt drei verschiedene wolkenfreie Reflektanzkomposite. Das *Mean-Composite* wird durch die Mittelung aller validen Pixel über alle Kanäle ermittelt. Valide sind alle Pixel, die frei von

Schnee, Wolken, Wolkenschatten, Haze, und anderen Atmosphärenartefakten sind. Das *Mean-Composite* ermöglicht eine Übersicht über die grundsätzlichen Landbedeckungen in Deutschland. Die *Maximum- und Minimum-Composite* sind Zwischenprodukte und werden für die Schwellwertableitung zur Detektion vegetationsfreier Bodenpixel verwendet (siehe oben).

Index-Komposite: Hierbei handelt es sich um die zeitlichen Statistiken von spektralen Indizes, die für den Zeitraum der Bodenprodukterstellung beispielsweise die Dynamik der Vegetation beschreiben. Dabei werden die Komponenten des DLR TimeScan-Prozessors (Esch, 2018) genutzt.

Bodenreflektanzkomposit: Dies ist das Hauptprodukt des SCMaP-Prozessors. Es handelt sich um die Mittelung aller validen Pixel, welche vegetationsfreien und offenen Boden zeigen. Die Mittelung erfolgt über alle Kanäle. Valide sind alle Pixel, die frei von Schnee, Wolken, Wolkenschatten, Dunst, und anderen Atmosphärenartefakten sind. Das Bodenreflektanzkomposit in der RGB Darstellung 7-5-3 zeigt die unterschiedlichen Bodenmineralgehalte, permanente Bodenfeuchteunterschiede sowie den unterschiedlichen Gehalt an organischem Kohlenstoff im Oberboden. Das Produkt für Deutschland in der normalisierten Form (siehe DLR-Geoservice und Abbildung 4) zeigt anhand der Farbgebung die grundsätzlichen Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit.

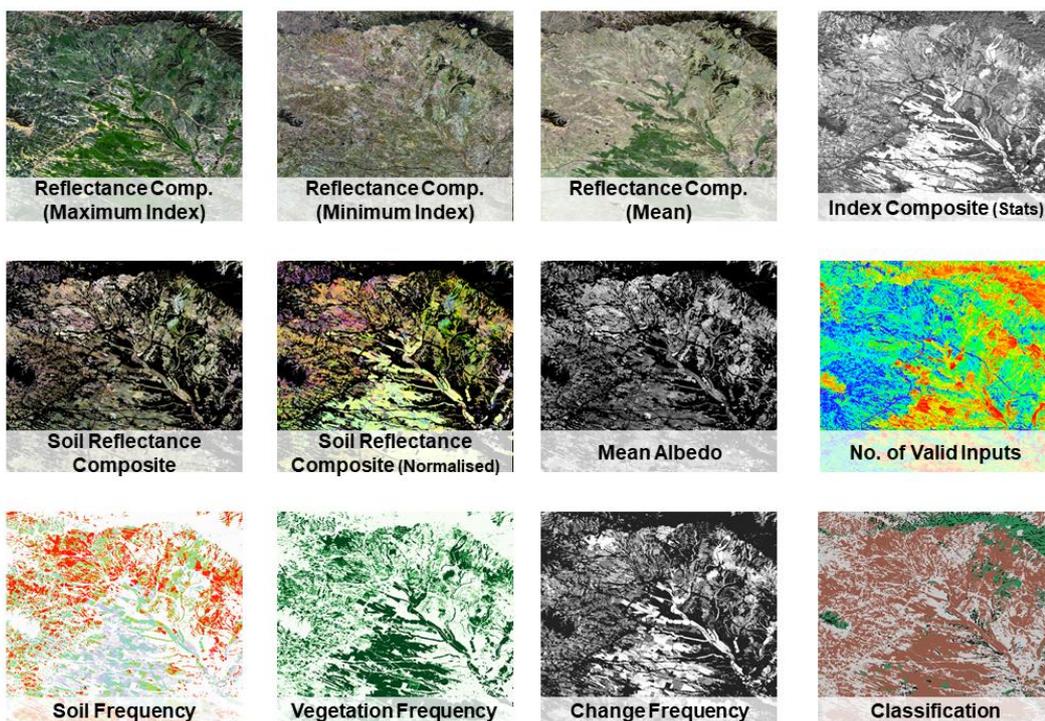


Abbildung 10: Produkte der modularen SCMaP-Prozesskette

Valide Pixel: Die Anzahl der Pixel, welche für die Kompositbildung verwendet wird, ist ein entscheidendes Qualitätskriterium. Je mehr Pixel in die Mittelung einfließen, desto stabiler wird der Reflektanzwert, da mehr spektrale Variationen berücksichtigt werden.

Frequenzprodukte: Das *Soil Frequency* Produkt erfasst prozentual, wie viele offene Bodenpixel es im Vergleich zu den validen Pixeln gibt. Dieses Produkt ist ein Indikator für die Bodenerosionswahrscheinlichkeit und kann zusammen mit anderen Parametern, wie z.B. dem Relief,

neue Erkenntnisse zur nachhaltigen Nutzung des Bodens geben. Das *Change Frequency* Produkt hingegen erfasst, wie oft es einen Wechsel zwischen vegetationsbestandenen und vegetationsfreien Zustand des Bodens gab. Damit lassen sich Rückschlüsse auf die Nutzungsintensität der landwirtschaftlichen Flächen ableiten.

3-Klassenprodukt: Dieses Produkt beinhaltet 3 Klassen: 1: permanente Vegetationsflächen, 2: permanente vegetationsfreie Flächen und 3: Flächen, mit einem Wechsel zwischen vegetationsfreiem bzw. vegetationsbestandenen Zustand (Abbildung 11). Klasse 3 repräsentiert dabei größtenteils die landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland mit einigen wenigen zu vernachlässigenden Ausnahmen. Diese Klasse wird zudem als Maske für die Erstellung des Bodenreflektanzproduktes verwendet. Daher sind Qualität und Vollständigkeit der erfassten Flächen von großer Bedeutung und werden mittels externer Daten zur landwirtschaftlichen Fläche validiert (siehe unten).

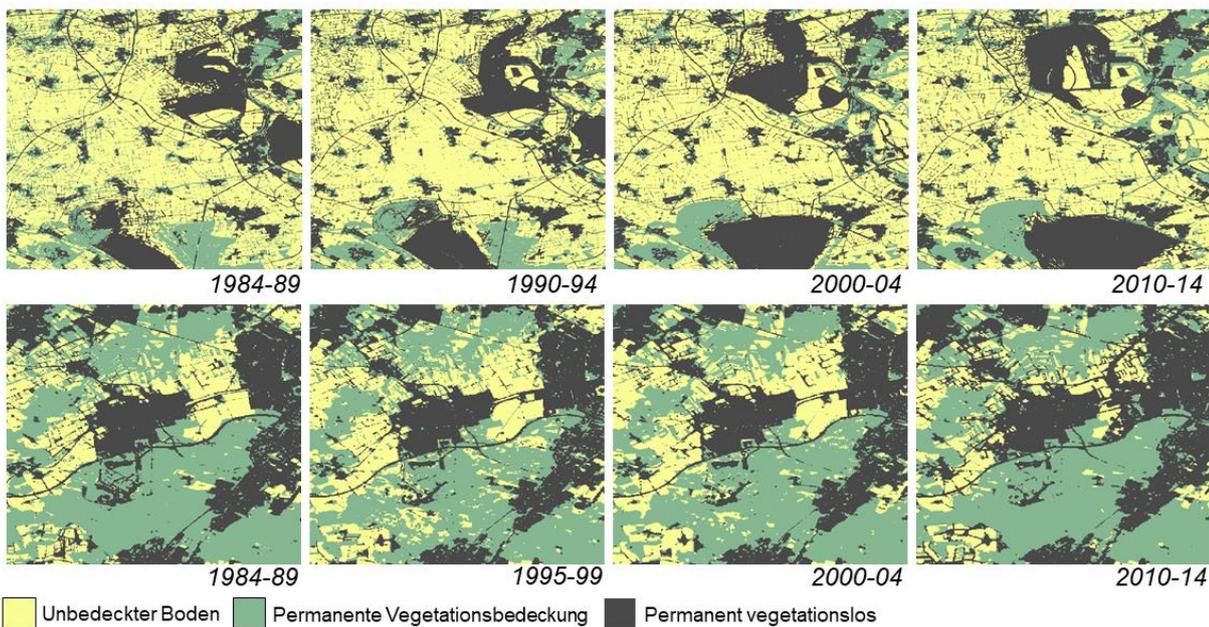


Abbildung 11: Auswahl der SCMaP 3-Klassenprodukte in 5-Jahres Zeitabschnitten.

Im Rahmen des AGRO-DE Projekts wurden alle Produkte für das Gebiet von Deutschland in fünfjährigen Zeiträumen errechnet (1984-89, 1990-94, 1995-99, 2000-04, 2005-09, 2010-14 und 2015-19). Damit ist ein Datengrundlage geschaffen, die die Untersuchung der Entwicklung der Böden in Deutschland von 1984 bis 2019 ermöglicht und zusätzlich mithilfe der Frequenz- und der 3-Klassenprodukte erste Hinweise auf möglich Treiber der Bodenveränderung geben. Nach Rücksprache mit dem Landesamt für Umwelt in Bayern (LFU), welches seit vielen Jahren Dauerbodenbeobachtungsflächen betreut, ist die messbare Veränderung von Böden hauptsächlich auf den Wechsel der Landnutzung zurückzuführen, wie z.B. der Umnutzung von Weideflächen in Flächen zur Intensivlandwirtschaft.

Validierung

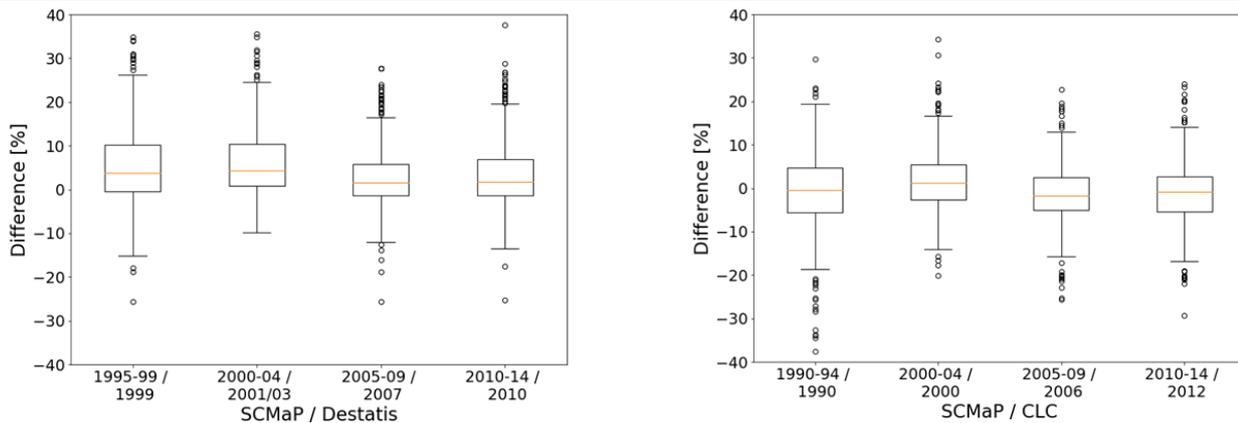
Für die Validierung der Klasse 3 (Flächen, mit einem Wechsel zwischen vegetationsfreiem bzw. vegetationsbestandenen Zustand = landwirtschaftliche Flächen) wurden die somit erfassten Flächen mit

den Daten des statistischen Bundesamtes (DESTATIS) als auch mit den als Ackerland klassifizierten Flächen der CORINE Landnutzungsdatensätze (CLC) verglichen. Aus beiden Validierungsdatensätzen wurde der permanente Grünlandanteil extrahiert, da diese Flächen durch ihre permanente Vegetationsbedeckung nicht von SCMaP als landwirtschaftliche Fläche identifiziert werden können. Hohe Korrelationswerte wurden für alle verglichenen Zeiträume ermittelt. Im Ergebnis kann man sagen, dass SCMaP die landwirtschaftlich genutzten Flächen mit hoher Zuverlässigkeit bestimmt (Abbildung 12).

| Zeitraum | R | R ² | RMSE |
|----------------|------|----------------|-------|
| 1990-94 / 1990 | 0.89 | 0.79 | 8.945 |
| 2000-04 / 2000 | 0.94 | 0.89 | 2.682 |
| 2005-09 / 2006 | 0.94 | 0.89 | 6.710 |
| 2010-14 / 2012 | 0.93 | 0.86 | 7.152 |
| 2015-19 / 2018 | 0.89 | 0.79 | 10.61 |

Abbildung 12: Vergleich der prozentual genutzten landwirtschaftlichen Flächen pro Landkreis der SCMaP Daten und der statistischen Informationen von DESTATIS. Vergleichen wurden jeweils die aus den fünfjährigen Kompositen abgeleiteten Flächen mit der im jeweiligen Zeitraum liegenden Erhebung von Destatis. Eine hohe Korrelation der beiden Datensätze ist deutlich zu erkennen.

An die Validierung anknüpfend wurden die zeitliche und räumliche Verlässlichkeit der Daten konkreter beurteilt. Hierfür wurden die bereits zur Validierung aufbereiteten Datensätze von DESTATIS über die prozentualen Anteile an landwirtschaftlich genutzten Flächen pro Landkreis aus den Jahren 1999, 2001&2003, 2007 sowie 2010 mit den betreffenden fünfjährigen SCMaP-Kompositen verglichen. Auch die prozentualen Anteile der landwirtschaftlich genutzten Flächen ermittelt aus den CLC Datensätzen von 1990, 2000, 2006 und 2012 wurde mit den aus den Bodenkompositen abgeleiteten prozentualen Anteilen an landwirtschaftlich genutzter Fläche mit den jeweiligen fünfjährigen Kompositen verglichen. Berechnet wurde jeweils die Abweichung der prozentualen landwirtschaftlichen Flächen pro Landkreis der verglichenen Datensätzen (SCMaP – DESTATIS / SCMaP – CLC) in den einzelnen Zeiträumen. Wie aus Abbildung 13 ersichtlich, ergibt sich aus dem direkten Vergleich der landwirtschaftlich genutzten Fläche ermittelt von SCMaP im Vergleich zu den Erhebungen von DESTATIS eine geringe prozentuale Abweichung im Mittel über alle Landkreise. Neben vorhandenen Ausreißern überschätzt SCMaP systematisch aber geringfügig die landwirtschaftliche Fläche, allerdings variiert die mittlere Abweichung zwischen 3.03% (SCMaP: 2005-09 / DESTATIS: 2007) und 6.6% (SCMaP: 2000-04 / DESTATIS: 2001/03). Der Bereich in dem 50% der verglichenen Landkreise variieren, erstreckt sich von 7,26% (SCMaP: 2005-09 / DESTATIS: 2007) bis 10,71% (SCMaP: 1995-99 / DESTATIS: 1999).



- a) *Differenz der prozentualen landwirtschaftlichen Fläche pro Landkreis abgeleitet aus den SCMaP Daten im Vergleich zu den aus den DESTATIS Statistiken hervorgehenden landwirtschaftlich genutzten Flächen (ohne permanente Grünländer) pro Landkreis in den vier verglichenen Zeiträumen.*
- b) *Differenz der Abweichung der prozentualen landwirtschaftlichen Fläche pro Landkreis abgeleitet aus den SCMaP Daten im Vergleich zu den aus den als Ackerland klassifizierten Flächen (ohne permanente Grünländer) der CORINE Landnutzungsdaten pro Landkreis in den vier verglichenen Zeiträumen.*

Abbildung 13: Differenz der prozentualen landwirtschaftlichen Fläche pro Landkreis zwischen a) SCMaP und DESTATIS und b) zwischen SCMaP und CLC (CORINE).

SCMaP-Produkte basierend auf Sentinel-2

Im Rahmen des AGRO-DE Projekts konnte die Prozesskette auf die Verarbeitung von Sentinel-2A und 2B Daten umgesetzt werden. Neben der Anpassung der Download- und Vorprozessierungsroutinen wurden vor allem die Inputdaten für die Schwellwertableitung angepasst und neue Schwellwerte abgeleitet. Die vollständige Evaluierung der SCMaP/S2 Produkte ist noch nicht abgeschlossen. Ein wesentlicher Unterschied liegt allerdings in der zur Verfügung stehenden validen Pixel pro Jahr, welche deutlich höher sind, als es für die SCMaP/Landsat-Produkte bekannt ist. Durchschnittlich stehen je nach Wolkenvorkommen im Monat und geografischer Breite bis zu 9 (Juli 2018) Szenen zur Verfügung, was die Verlässlichkeit der SCMaP-Produkte im Vergleich zu Landsat-Daten deutlich erhöhen kann und somit kürzere Zeiträume für die Kompositbildung ermöglicht.

2.1.4. AP 4

Nicht relevant fürs DLR

2.1.5. AP 5

Damit ein Weiterbetrieb der AGRO-DE-Infrastruktur auch nach dem Projektende gewährleistet werden kann, war das Ziel dieses APs die Entwicklung eines Geschäftsmodells. Dies wurde vom DLR durch die Darstellung und Verfügbarmachung der AGRO-DE Basisprodukte mittels Webservices unterstützt. Die

Beschreibung der Services werden in Kapitel 2.1.1 im Abschnitt „Nutzer-Schnittstellen: Web Mapping Services“ ausführlich beschrieben.

2.2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Tabelle 3: Die wichtigsten Posten des zahlenmäßigen Nachweises aus der Abrechnungsübersicht vom 14.12.2020 zum vorläufigen Verwendungsnachweis des Projekts AGRO-DE.

| Kostenart | 3016213 | 3026988 | Gesamt |
|--|-------------------|-----------------|-------------------|
| 0813 - Material | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0823 - F+E-Fremdleistungen | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 630010 VERR. EINZELKOSTEN- GEHAELTER KAT 1 | 505.593,27 | 4.387,50 | 509.980,77 |
| Personaleinzelkosten | 505.593,27 | 4.387,50 | 509.980,77 |
| 630130 VERR. GEMEINKOSTEN- GEHAELTER BAT | 48.542,10 | 351,00 | 48.893,10 |
| 639901 VERR. INST/ HA- SACHGEMEINKOSTEN | 52.913,59 | 351,00 | 53.264,59 |
| 639902 BEITR. BGA / AFA | 37.272,48 | 263,25 | 37.535,73 |
| 639903 VERR. GEMEINKOSTEN AUS ILY | 27.611,84 | 394,88 | 28.006,72 |
| 639904 VERR. GEMEINKOSTEN AUS KST-UMLAGE | 202.437,05 | 1.623,38 | 204.060,43 |
| Institutsgemeinkosten | 368.777,06 | 2.983,51 | 371.760,57 |
| sonstige Personaleinzelkosten | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0837 - Personalkosten | 874.370,33 | 7.371,01 | 881.741,34 |
| 424680 REISEKOSTEN AB R3 | 7.821,82 | 0,00 | 7.821,82 |
| 424685 Reisekosten -Externe- | 100,00 | 0,00 | 100,00 |
| 0838 - Reisekosten | 7.921,82 | 0,00 | 7.921,82 |
| 0847 - vorhabenspezifische Abschreibungen | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 424770 Büro- u. DV-Bedarf | 14.854,70 | 0,00 | 14.854,70 |
| 424810 AUS- UND FORTBILDUNGSKOSTEN | 1.135,56 | 0,00 | 1.135,56 |
| 0850 - sonstige unmittelbare Vorhabenkosten | 15.990,26 | 0,00 | 15.990,26 |
| 664452 ILY Sitzungs- / Kantineing. EK | 25,18 | 0,00 | 25,18 |
| 766350 UEU: D-ILY SDKL | -8,67 | 0,00 | -8,67 |
| verrechnete innerbetriebliche Leistungen | 16,51 | 0,00 | 16,51 |
| 635100 VERR. GROSSANLAGEN-BELEGUNG | 1.593,66 | 0,00 | 1.593,66 |
| verrechnete Eigennutzung Grossanlagen | 1.593,66 | 0,00 | 1.593,66 |
| 0856 - Kosten innerbetrieblicher Leistungen | 1.610,17 | 0,00 | 1.610,17 |
| Summe | 899.892,58 | 7.371,01 | 907.263,59 |
| 838391 ZUSCHUESSE DRITTER | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 848413 ZAHLUNGSEINGÄNGE "PF BUND SONSTIGE" | -849.133,72 | 0,00 | -849.133,72 |
| 848423 VERRECHNUNG ZAHLUNGSEING. "PF BUND SONS | 849.133,72 | 0,00 | 849.133,72 |
| 848433 ERTRÄGE "PROJEKTFÖRDERUNGEN BUND SONS | -897.588,04 | -7.371,01 | -904.959,05 |
| sonstige Erlöse und Erträge | -897.588,04 | -7.371,01 | -904.959,05 |

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Ein wesentlicher Bestandteil des Projekts AGRO-DE war die Schaffung einer nahezu operationellen Umgebung, die Einbindung der entsprechenden Software, welche die essentiellen Algorithmen miteinander verknüpft und eine Prozesskette schafft sowie letztendlich die Ableitung wichtiger Erdbeobachtungsbasisprodukte, die dann für weiterführende Analysen und Produkte verwendet wurden. Dies erfordert ein breites Spektrum von Expertenwissen zu(r): 1) Operationellen Cloud-Prozessierungsumgebungen, 2) Orchestrierung von Prozessen, 3) Schaffung und Anpassung von Software, 4) Fachspezifischen Algorithmen, 5) Datenbanken, Datentransfer, 6) EO-Datenverarbeitungs- und Vorprozessierungsalgorithmen wie z.B. Atmosphärenkorrekturen, Wolkenmaskierungen, Georeferenzierung, 6) Algorithmen zur Ableitung von Basisprodukten zur Vegetation und Böden, 7)

Webschnittstellen und 8) Datenstandards und INSPIRE-Standards. Am DLR ist dieses breite Spektrum vorhanden und konnte für das Projekt eingesetzt und den Projektpartnern für die weitere Arbeit zur Verfügung gestellt werden. Die Koordination der Experten ist dabei ein ebenfalls wesentlicher Posten, um alle entsprechend in die Prozesse und Ziele des Projekts einzubinden. Zur Erreichung des hochgesteckten Ziels des Projekts waren daher die Kosten notwendig und angemessen.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses

Es gab mehrfache Anfragen an das DLR zur Weiternutzung der Basisprodukte Vegetation, nicht nur von Projektpartnern, sondern Externen, wie z.B. das UFZ, private Firmen, welche im Nahrungsmittelsektor aktiv sind und auch fachfremden Behörden, wie beispielsweise das LWF, welche das Potential der Techniken in Analysen zur Waldgesundheit zusammen mit dem DLR testen. Die Basisprodukte für den Boden genießen große Aufmerksamkeit, insbesondere in der wissenschaftlichen nationalen und internationalen Community und werden in den Projektes SOIL-DE (BMEL), WORLDSOILS (ESA) und auch im Copernicus-Umfeld angefragt.

2.5. Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Neben den Entwicklungen des AGRO-DE-Projekts konzentrierten sich auch andere Forschungsinitiativen und Unternehmen auf die Überwachung der Entwicklung und des Zustands der landwirtschaftlichen Vegetation. Im Rahmen des ESA-geförderten Projekts sen2agri³ wurde ein Prozessor zur Überwachung des Vegetationszustands mittels Sentinel-2 NDVI- und LAI-Indizes sowie einiger phänologischer Deskriptoren entwickelt. In diesem Fall wurde der Prozessor an sich, nicht aber die prozessierten Daten, öffentlich zur Verfügung gestellt und zielt damit mehr auf Nutzung durch Fernerkundungsexperten. Im Gegensatz dazu wurden die Prozessoren des AGRO-DE Projektes intern betrieben und nur die abgeleiteten Informationen zum tatsächlichen Vegetationszustand öffentlich zugänglich gemacht. Das heißt, die technischen Komplexitäten der fernerkundlichen Produkterstellung wurden abstrahiert und es können direkt auf die angepeilten Nutzerkreise von etwa landwirtschaftlichen Betrieben oder Behörden, zugeschnittene Endprodukte zur Verfügung gestellt werden.

2.6. Veröffentlichungen

Siehe Literaturverzeichnis II

³ www.esa-sen2agri.org

3. Kurzfassung (1500 Zeichen)

Das Gesamtziel des Vorhabens AGRO-DE war es, über die Nutzung von Fernerkundung bedarfsorientierte und neuartige Geoinformationsprodukte bzw. –services bereitzustellen. Das DLR hat dafür mehrere Hochleistungsrechnerinfrastrukturen (HPC) bereitgestellt sowie darauf speziell angepasste Prozessoren mittels Dockercontainer parallelisiert implementiert. Somit sind die technisch-infrastrukturellen Grundlagen geschaffen, um die Massendaten automatisiert aufbereiten zu können und auch flexibel zwischen Prozessierungsinfrastrukturen wechseln zu können.

Der zweite Schwerpunkt des DLR lag auf der Definition, Erstellung und Produktion von Basisprodukten zur Beschreibung der Dynamik der Vegetation sowie des Bodens basierend auf den Erdbeobachtungsarchiven der global aufnehmenden Erdbeobachtungsmissionen Landsat und Sentinel-2. Dazu zählen sowohl atmosphärenkorrigierte Reflektanzprodukte sowie pixelbasierte Informationen zu Wolken, Wolkenschatten, Nebel, Schnee und andere Datenartefakten. Weiterführende Produkte sind szenenbasierte Vegetationsindizes, Kompositprodukte zur Vegetationsdynamik für verschiedenen Zeiträume sowie neue für Bodenanalysen optimierte Bodenreflektanzkomposite, Informationsprodukte zur Erosionswahrscheinlichkeit und zur Nutzungsintensität landwirtschaftlicher Flächen. Um die Datenprodukte öffentlich nutzbar zu machen, wurden Webservices, darunter der Downloadservice über das CODE-DE Portal und verschiedenen Web-Mapping und Web-Coverage-Services über die DLR-eigene Geoservice Plattform eingerichtet.

4. Anhang I

4.1. Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Umsetzungskonzept der AGRO-DE Prozesskette für die Vorprozessierung von Sentinel-2 Daten | 8 |
| Abbildung 2 Beispiel für auf CODE-DE zum Download stehendes Sentinel 2 L2A Produkt. Dieses beinhaltet Metadaten, Wolkenmaske und Reflektanzen, sowie zugehörige, vorberechnete GeoTiff Pyramiden für performantere Darstellung in GIS Systemen..... | 10 |
| Abbildung 3 Interaktive Darstellung von AGRO-DE Vegetationsdynamikprodukten auf EOC-Geoservice. Dargestellt: NDVI Standardabweichung im Jahr 2019. | 11 |
| Abbildung 4: Darstellung des Bodenkomposits auf dem EOC-Geoservice mit individuell gewählter Kanalkombination und angepassten Streckungsbereichen der Reflektanzwerte der gewählten Kanäle. | 12 |
| Abbildung 5: Darstellung der Ergebnisse eines aktualisierten Fmask-Algorithmus zur Klassifikation von wolkenbedeckten Pixeln. | 14 |
| Abbildung 6: Vergleich von temporalen Metriken, die mit unterschiedlichen Wolkenmasken prozessiert wurden. | 14 |
| Abbildung 7: Reflektanzen der prozessierten ASD-Daten (rot) im Vergleich zu Reflektanzen der Sensoren HySpex (grün) und Sentinel-2 (blau). | 15 |
| Abbildung 8: „Soil Composite Mapping Processor (SCMaP)“ modifiziert nach Rogge et al., 2018. | 17 |
| Abbildung 9: Varianz der automatisiert extrahierten stabilen Pixel für die Bestimmung des Minimums (links) und Maximum (rechts) Schwellwertes | 18 |
| Abbildung 10: Produkte der modularen SCMaP-Prozesskette..... | 19 |
| Abbildung 11: Auswahl der SCMaP 3-Klassenprodukte in 5-Jahres Zeitabschnitten. | 20 |
| Abbildung 12: Vergleich der prozentual genutzten landwirtschaftlichen Flächen pro Landkreis der SCMaP Daten und der statistischen Informationen von DESTATIS. Vergleichen wurden jeweils die aus den fünfjährigen Kompositen abgeleiteten Flächen mit der im jeweiligen Zeitraum liegenden Erhebung von Destatis. Eine hohe Korrelation der beiden Datensätze ist deutlich zu erkennen. | 21 |
| Abbildung 13: Differenz der prozentualen landwirtschaftlichen Fläche pro Landkreis zwischen a) SCMaP und DESTATIS und b) zwischen SCMaP und CLC (CORINE). | 22 |

4.2. Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1 Überblick über die HPC Umgebungen die für die Umsetzung und Produktion der AGRO-DE Produkte eingesetzt wurden. | 9 |
| Tabelle 2: Übersicht über öffentliche interaktive AGRO-DE Data Viewer und Web Mapping Schnittstellen..... | 11 |
| Tabelle 4: Die wichtigsten Posten des zahlenmäßigen Nachweises aus der Abrechnungsübersicht vom 14.12.2020 zum vorläufigen Verwendungsnachweis des Projekts AGRO-DE. | 23 |

4.3. Literaturverzeichnis I

- de los Reyes, Raquel und Langheinrich, Maximilian und Schwind, Peter und Richter, Rudolf und Pflug, Bringfried und Bachmann, Martin und Müller, Rupert und Carmona, Emiliano und Zekoll, Viktoria und Reinartz, Peter (2020) *PACO: Python-Based Atmospheric Correction*. *Sensors*, 20 (5), Seiten 1-21. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). DOI: 10.3390/s20051428 ISSN 1424-8220.
- David Frantz, Erik Haß, Andreas Uhl, Johannes Stoffels, Joachim Hill (2018). Improvement of the Fmask algorithm for Sentinel-2 images: Separating clouds from bright surfaces based on parallax effects, *Remote Sensing of Environment*, 215, 471-481, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.046>.
- Zepp, S., Jilge, M., Metz-Marconcini, A., Heiden, U., (submitted). The influence of vegetation index thresholding on EO-based assessments of exposed soils in Germany between 1984 and 2019. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Curran P. (1989) Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*, vol 30, pp 271-278.
- Xie Y., Sha Z., Yu M. (2008) Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review, *Journal of Plant Ecology*, vol 1, no 1, pp. 9–23. Zhang J., Rivard B., Sánchez-Azofeifa A., Castro-Esau K. (2006) Intra- and inter-class spectral variability of tropical tree species at La Selva, Costa Rica: Implications for species identification using HYDICE imagery. *Remote Sensing of Environment*, vol 105, pp. 129 – 141.
- Mulder V.L., de Bruin S., Schaepman M.E., Mayr, T.R. (2011) The use of remote sensing in soil and terrain mapping — A review, *Geoderma*, vol 162, pp. 1- 19.
- Ben-Dor E., Chabrillat S., Dematté J.A.M., Taylor G.R., Hill J., Whiting M.L., Sommer S. (2009) Using Imaging Spectroscopy to study soil properties, *Remote Sensing of Environment*, 113, S38–S55.
- 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.
- 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.
- 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.
- Lilienthal H., Gerighausen H. (2015) Regionale fernerkundliche Erfassung des aktuellen landwirtschaftlichen Ertragspotenzials. *Feldtag Precision Farming Hanse Agro Beratung & Entwicklung GmbH, Bährdorf*.
- Makarau A., Richter R., Storch T., Reinartz P. (2015) SENTINEL-2 Level 2A Product Prototype Processor: Research and Design Aspects. In: *Proceeding of The International Conference (BSUIR, Minsk, Belarus, 28th October 2015)*, pp. 262-263. BSUIR. Information Technologies and Systems 2015 (ITS 2015), 28 Oct 2015, Minsk, Belarus. ISBN 78-985-543-171-9.
- Richter R., Wang X., Bachmann M., Schlaepfer D. (2011) Correction of cirrus effects in Sentinel-2 type of imagery. *Int. J. Remote Sensing*, Vol.32, 2931-2941.
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 118, 83-94.
- Frantz, D., Haß, E., Uhl, A., Stoffels, J., & Hill, J. (2018). Improvement of the Fmask algorithm for Sentinel-2 images: Separating clouds from bright surfaces based on parallax effects. *Remote Sensing of Environment*.
- Brachmann, J., A. Baumgartner, P. Gege (2016): The Calibration Home Base for Imaging Spectrometers; SOI: 10.17815/jlsrf-2-137 ISSN 2364-091X.
- Gege, P., J. Freis, P. Haschberger, P. Schötz, H. Schwarzer, P. Strobl, B. Suhr, G. Ulbrich, W.J. Vreeling (2009): Calibration facility for airborne imaging spectrometers. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61, Seiten 387-397. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2009.01.006.
- Müller, R., M. Lehner, P. Reinartz, M. Schroeder (2005): Evaluation of Spaceborne and Airborne Line Scanner Images Using a Generif ORTHO image processor. *High Resolution Earth Imaging for*

- Geospatial Information, Vo. XXXVI. High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Hannover, 17.-20. Mai. ISBN ISSN No. 1682-1777.
- Richter, R., D. Schläpfer (2002): Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 2: atmospheric/topographic correction. *International journal of Remote Sensing*, 23 (13), Seiten 2631-2649.
- Schläpfer, D., R. Richter (2011): Spectral Polishing of High Resolution Imaging Spectroscopy Data, presented at 7th SIG-IS Workshop on Imaging Spectroscopy, Edinburgh, pp. 7.
- Schwind, P., M. Schneider, R. Müller (2014): Improving HySpex Sensor Co-Registration Accuracy using BRISK and Sensor-model based RANSAC. *ISPRS Archives, XL-1*, Seiten 371-376. *ISPRS Archive. Pecora 19 Symposium in conjunction with the Joint Symposium of ISPRS Technical Commission I and IAG Commission 4*, 17-20 Nov 2014, Denver, USA. DOI: 10.5194/isprasarchives-XL-1-371-2014.
- Statistisches Bundesamt (2015): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung 2014. Wiesbaden, URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/FeldfruechteGruenland/FeldfruechteGruenland.html#Tabellen>.
- Nanni M.R., Dematte J.A.M. (2006) Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. *Soil Science Society of America Journal* 70, 393–407.

4.4. Literaturverzeichnis II

- Esch, Thomas und Üreyen, Soner und Zeidler, Julian und Hirner, Andreas und Asamer, Hubert und Metz-Marconcini, Annekatrin und Tum, Markus und Böttcher, Martin und Kuchař, Štěpán und Svaton, Vaclav und Marconcini, Mattia (2018) Exploiting Big Earth Data from Space – First Experiences with the TimeScan Processing Chain. *Big Earth Data*, Seiten 36-55
- Zepp, Simone und Steininger, Michael und Möller, Markus und Heiden, Uta (2020) Entwicklung von Indikatoren zur Bewertung der Ertragsfähigkeit, Nutzungsintensität und Vulnerabilität genutzter Böden in Deutschland - SOIL-DE - AP4 Erdbeobachtung und Bodeninformationen. *Innovationstage DIGITAL*, 21./22. Okt. 2020, Deutschland.
- Heiden, Uta und Zepp, Simone und Jilge, Marianne und Metz-Marconcini, Annekatrin und Zeidler, Julian und Esch, Thomas und Rogge, Derek (2020) Monitoring soils using satellite images - Products of the Soil Composite Mapping Processor (SCMaP). *Soil Carbon: Potentials recognized – but how to implement? An interactive expert brainstorming session on identifying practical pathways for achieving impact at scale*, 28.04.2020, Online.
- Zepp, Simone und Jilge, Marianne und Metz-Marconcini, Annekatrin und Marconcini, Mattia und Heiden, Uta (2019) Soil Composite Mapping Processor (SCMaP) product suite as EO soil monitoring data base - potential and challenges. *World Soils User Consultation Meeting*, 02.-03. Jul 2019, ESA-ESRIN, Frascati, Italy.
- Zepp, Simone und Jilge, Marianne und Rogge, Derek und Heiden, Uta (2019) The potential of the Soil Composite Mapping Processor (SCMaP) for analysis of exposed soils in Europe based on Landsat imagery from 1984-2017. *Living Planet Symposium*, 13.-17. Mai 2019, Mailand, Italien.
- Zepp, Simone und Jilge, Marianne und Rogge, Derek und Heiden, Uta (2019) Analysing the potential of exposed soils in European countries based on Landsat imagery from 1984-2017 using the Soil Composite Mapping Processor (SCMaP). *EGU General Assembly 2019*, 07.-12. April 2019, Vienna, Austria.
- Zepp, Simone und Heiden, Uta und Jilge, Marianne und Metz-Marconcini, Annekatrin und Zeidler, Julian und Hirner, Andreas und Rogge, Derek (2018) The potential of the Soil Composite Mapping Processor (SCMaP) for analyzing temporal changes of exposed soils in Germany between 1984-2014. *38th Annual EARSeL Symposium*, 9.-12. Jul. 2018, Chania, Crete, Greece.
- Rogge, Derek und Bauer, Agnes und Zeidler, Julian und Müller, Andreas und Esch, Thomas und Heiden, Uta (2018) *Building an exposed soil composite processor (SCMaP) for mapping spatial and temporal characteristics of soils with Landsat imagery (1984-2014)*. *Remote Sensing of Environment*, 205, Seiten 1-17. Elsevier. DOI: 10.1016/j.rse.2017.11.004 ISSN 0034-4257

Zepp, S., Jilge, M., Metz-Marconcini, A., Heiden, U., (submitted). The influence of vegetation index thresholding on EO-based assessments of exposed soils in Germany between 1984 and 2019. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.

5. Anhang II - Erfolgskontrollbericht

5.1. Beitrag des Ergebnisses zu den Förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms (ggf. unter Angabe des Schwerpunkts), soweit dies möglich

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 Copernicus-Daten ermöglichen die Ableitung von landwirtschaftlichen Informationen, die zur Verbesserung des Ressourceneinsatzes, vor allem von Düngemitteln, verwendet werden können. Neben der Planung eines optimierten Ressourceneinsatzes wurden die Daten auch für die Erfolgskontrolle durchgeführter Maßnahmen eingesetzt, so dass neben einer Dokumentation auch die Effizienz beurteilt werden konnte. Hinsichtlich des Datenzugangs und der Interpretation der Informationen ergaben sich aber auch große Herausforderungen, die nach wie vor nicht von der praktischen Landwirtschaft zu leisten sind. Das AGRO-DE Konsortium hat sich diesen Aufgaben angenommen und die Copernicus Daten für die Landwirtschaft aufbereitet und Interpretationshilfen für die Praxis geliefert.

Mit dem Projekt AGRO-DE wurden die neuartigen Daten und Methoden einem großen Nutzerkreis verfügbar gemacht und Verfahren aus der Wissenschaft in die praktische Agrarwirtschaft übertragen. Der Einsatz von Fernerkundungsdaten in der Landwirtschaft war bisher sehr limitiert, da einerseits eine Datenverfügbarkeit zum Zeitpunkt der landwirtschaftlichen Maßnahme nicht garantiert werden konnte. Mit dem Verbund wurde nun die Wirtschaft in die Lage versetzt, die landwirtschaftliche Beratung mit den neuen Informationen besser an die Vor-Ort Bedingungen anzupassen und gleichzeitig veredelte Datenprodukte für eine weitere Vermarktung der Daten zu erstellen.

5.2. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und wesentliche gesammelte Erfahrungen

Im Folgenden werden wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse, welche das DLR im Rahmen des Vorhabens erzielt hat, tabellarisch zusammengefasst. Dazu zählen auch die erreichten Nebenergebnisse sowie gesammelte Erfahrungen bei der Einrichtung der Infrastruktur, Umsetzung der Prozessoren sowie die Nutzung der Basisprodukte.

| Ergebnis des Vorhabens | Zusätzlich erreichte Nebenergebnisse | Gesammelte Erfahrungen | Kapitel |
|--|---|--|--------------------|
| Einrichtung von HPC Umgebungen die für die Umsetzung und Produktion der AGRO-DE Produkte | <ul style="list-style-type: none"> Nutzung und Inwertsetzung der Funktionalitäten der CODE-DE Plattform | <ul style="list-style-type: none"> Wichtig ist eine Trennung von Entwicklungsumgebung und operationeller Umgebung: Im Projekt wurden alle Prozessoren erst auf der DLR-internen Entwicklungsumgebung GEOFARM und CALVALUS getestet und dann erst auf die operationelle CODE-DE Plattform übertragen | 2.1.1.1 |
| Containerisierung von Prozessoren | | <ul style="list-style-type: none"> hocheffiziente, container-basierte Virtualisierungslösung auf Betriebssystemebene Betrieb mehrerer Instanzen gleichzeitig möglich (Parallelisierung) | 2.1.1.2 |
| Einrichtung von webbasierten Nutzerschnittstellen (Downloadservice, WMS, WCS) | <ul style="list-style-type: none"> Die Funktionalitäten des DLR Geoservice konnte aufgrund des Bedarfs des AGRO-DE Projekts verbessert werden | <ul style="list-style-type: none"> Bedarf an Speicherkapazitäten für die Webservices darf nicht unterschätzt werden und sollte realistisch in der Antragsphase budgetiert werden | 2.1.1.3 2.1.1.4 |
| Erstellung von Wolkenmasken für jede Sentinel-2 Szene | <ul style="list-style-type: none"> Untersuchung verschiedener Wolkenmaskenalgorithmien | <ul style="list-style-type: none"> Einen perfekt funktionierenden Wolkenmaskierungsalgorithmus gibt es nicht, vielmehr hat jeder seine Stärken und Schwächen. Für AGRO-DE kam nur eine konservative Erkennung der Wolken infrage auch wenn dadurch ein höherer Prozentsatz an Pixeln nicht genutzt werden konnte. | 2.1.2.2 |
| Basisprodukt Vegetationsdynamik | <p>Neue Produkte zu den zeitlichen Statistiken integriert:</p> <ul style="list-style-type: none"> Gesamtanzahl der gemachten Aufnahmen (Satellitenüberflüge) Anzahl valider Beobachtungen (wolkenfreie Beobachtungen) | <ul style="list-style-type: none"> Hierbei handelt es sich um Kompositprodukte, entscheidend über die Qualität und Verwertbarkeit der Produkte sind die zur Verfügung stehenden Beobachtungen, welche durch Wolkenbedeckung und Satellitenabdeckung (swath) limitiert werden. Die genannten neuen Produkte sind daher von großer Bedeutung. | 2.1.3.1 2.1.3.2 |
| Basisprodukte Boden | <ul style="list-style-type: none"> Automatisierung der Schwellwertableitung zur Erfassung des unbedeckten Bodens aus multispektralen Zeitreihen | <ul style="list-style-type: none"> Die automatisch abgeleiteten Schwellwerte zu Trennung zwischen unbedecktem Boden und anderen Landbedeckungsarten können durch standardisierte Landnutzungs-klassifizierungen erfasst werden. In AGRO-DE wurde dafür der CORINE Datensatz verwendet. Ein räumlich höher aufgelöster Landbedeckungsdatensatz ist zu empfehlen. | 2.1.3.3 |

5.3. Fortschreibung Verwertungsplan

5.3.1. Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen

Keine.

5.3.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Ziel des Vorhabens war es, landwirtschaftlichen Betrieben und Beratern, Lohnunternehmern und Serviceprovidern über die Nutzung von Fernerkundung bedarfsorientierte und neuartige Geoinformationsprodukte bzw. –services bereitzustellen, um auf dieser Basis eine Optimierung ihrer Betriebsabläufe zu ermöglichen. Bislang wurde der operationelle Einsatz von Fernerkundung in der Landwirtschaft durch diverse Faktoren erschwert. Einige dieser Hürden wurden im Projekt gezielt beseitigt. Beispielsweise wurden notwendige Verfahrensentwicklungen und Prozessumsetzungen getestet und Produkte zum Testen zur Verfügung gestellt. Die Erfahrungen aus kommerzieller Sicht ein erhebliches Potential für die Weiterentwicklung und Kommerzialisierung. Zudem können unter der Voraussetzung einer weiteren Anschubfinanzierung (Entwicklungsphase) verschiedene Informationsebenen und –granularitäten, sowie daran gekoppelte Abrechnungsmodelle (kostenfrei und als Dienstleistungen) umgesetzt werden, was die Verwertbarkeit weiter steigern sollte. Folgende Entwicklungsphasen sind vorstellbar nach Projektende:

- 2021 – 2022: Entwicklungsphase (Entwicklung operationeller Service + technische Testphase)
- 2023 – 2024: Wirtschaftliche Phase (wirtschaftliche Testphase und Operation)
- 2025 – 2028: Expansionsphase (Räumliche und technische Erweiterung)

5.3.3. Wissenschaftlich / Technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Das Innovationspotenzial des Projektes AGRO-DE ist sehr hoch. Ein derartiges Konzept zur zeitnahen nationalen Bereitstellung von aktuellen aufbereiteten und veredelten Satelliteninformationen für einige Produkte (z.B. Boden und ausgewählte Vegetationsindizes) ist derzeit einmalig. Durch die Bereitstellung flächendeckender Informationen zur Landwirtschaft ist eine Stimulation weiterer wissenschaftlicher Auswertungen auf der Basis der AGRO-DE Daten zu erwarten und auch schon umgesetzt. Beispielsweise wurden die Projekte SOIL-DE (BLE) und WORLDSOILS (ESA) erfolgreich eingeworben, in denen die in AGRO-DE entwickelten Konzepte und Produkte weiterentwickelt und präzisiert werden. Durch die Kombination mit weiteren Daten (Bodendaten, Agrarstatistik, agrarökonomischen Daten) werden neue Auswertungsmethoden überhaupt erst möglich. Zentrale methodisch-technische Bausteine liegen prototypisch bei den einzelnen Partnern vor und können auf die entsprechenden Anforderungen aufgrund

der Zielsetzung des Projektes angepasst, erweitert und optimiert werden. Somit verlangt AGRO-DE zwar die Bereitstellung spezifischer, wissenschaftlich und technisch sehr anspruchsvoller Lösungen, allerdings kann hier auf eine fundierte Basis an Verfahren, Expertise und Erfahrung aller Partner aufgesetzt werden.

5.3.4. Wissenschaftlich / Technische Anschlussfähigkeit

Durch die in AGRO-DE aufgebaute Kompetenz und Dateninfrastruktur der Projektpartner bildet das Projekt die Basis für eine langfristige Datenanalyse, Archivierung und Anwendung der neuen Sentinel 1 und 2 Missionen für landwirtschaftliche Fragestellungen und hat somit die Basis für nachfolgende Forschungsprojekte bereitet. Die besondere Herausforderung hinsichtlich der effizienten Nutzung der Sentinel-Datenströme liegt dabei in der (1) zeit- und kosteneffizienten Verfügbarkeit, Bereitstellung und Handhabung der erwarteten Datenmengen (2) Entwicklung neuer und flexibler Methoden zur automatisierten, nutzerorientierten Informationsgewinnung aus den neuen Satellitendaten, (3) Standardisierung und Qualitätsbewertung der resultierenden Produkte und Services. Diese Aspekte werden im Projekt federführend durch das DLR und in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern erarbeitet. Die wissenschaftliche und wirtschaftlichen Anschlussfähigkeit ist als sehr hoch einzuschätzen.

5.3.5. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Die im Projekt gestellten Ziele wurden weitestgehend erreicht. Im Laufe des Projekts hat sich ein weiteres Ziel ergeben, welches die Implementierung einiger Produktservices auf der deutschen Copernicus-Plattform CODE-DE (<https://code-de.org/>) beinhaltete. Dazu wurde ein separates Pilotprojekt beim Raumfahrtmanagement des DLR beantragt und genehmigt, in welchem verschiedene Produkte von Level 2 bis Level 4 prozessiert werden sollten. Es stellte sich heraus, dass die CODE-DE Plattform noch nicht den technischen Reifegrad hatte, um einfach und unkompliziert Services nach einer kurzen Anleitung zu implementieren. Dennoch ist es gelungen die Prozessierung zum Level 2A (Atmosphärenkorrektur und Reprojektion) und die Ableitung von im Projekt CODE-DE festgelegten spektralen Indizes (Level 3) auf CODE-DE als Service einzurichten. Prozessiert wurde ab 2019 fortlaufend. Die Daten wurden zudem zum Download deutschlandweit zur Verfügung gestellt. Die Einrichtung des geplanten Services zur Frischmasseableitung (Level 4) der Vegetation auf den landwirtschaftlichen Flächen ist aufgrund technischer Schwierigkeiten auf der CODE-DE Plattform nicht gelungen.

5.3.6. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer – z.B. Anwenderkonferenzen

Im Anschluss des Projekts ergeben sich folgende Präsentationsmöglichkeiten, bei denen Nutzer sich über die Ergebnisse des Projekts informieren können:

-
- <https://agro-de.info/> (EOMAP)
 - <https://geoservice.dlr.de/web/> (DLR)

5.3.7. Einhaltung der Kosten- und Zeitplanung

Die Kosten wurden fast vollständig aufgebraucht. Eine Mittelumwidmung wurde im Oktober 2019 beantragt und genehmigt (Begründung: Von den ursprünglich für die Anlage DEMMIN vorgesehenen Kosten von 18.504,26 EUR sollen 16.894,09€ für die Beschaffung von Speicherplatz zur Prozessierung, Speicherung und Visualisierung der AGRO-DE-Basisprodukte aufgewendet werden).

Das Projekt war ursprünglich für 3 Jahre von 07/2016 – 06/2019 geplant. In Laufe des Projekts kam es zu mehreren Mittelverschiebungen und einer kostenneutralen Verlängerung im Projekt, wodurch das Projekt tatsächlich im Juni 2020 endete. Zur Mittelverschiebung kam es, da zwei Mitarbeiter des AGRO-DE Projekts aus dem DLR ausgeschieden sind und sich die Suche nach neuen Mitarbeitern als schwierig gestaltete. Der Grund der kostenneutralen Verlängerung war nötig, da es zu einer zeitlichen Verzögerung bei der Datenprozessierung der Sentinel-1 und Sentinel-2 Daten gekommen ist. Hintergrund ist die Änderung der Datenstruktur durch den Satellitenbetreiber ESA Anfang 2018, die zu einer deutlichen Erhöhung der Rechenzeiten und zu einer Verschlechterung der geometrischen Lagegenauigkeiten geführt hat.