CopGruen Offenbodendienst – technische Dokumentation

31. Oktober 2024

Simone Zepp, Kathleen Langner

Inhalt

1. Bedeutung von Umbrüchen auf die Wertigkeit von Dauergrünländern 2
2. Input Daten 2
2.1. SCMaP 3
2.2. Maske unbedeckter Böden 3
2.3. Clear Sky Observation 4
2.4. Aufbereitung der SCMaP Daten 9
3. Technische Umsetzung des Dienstes 9
3.1. Wahl der Eingabeparameter 11
3.2. Funktionsweise des Offenbodendienstes 11
3.2.1 Aufbereitung Inputpolygone 11
3.2.2 Ableitung von unbedeckten Böden 11
4. Output 12
5. Validierung 13
5.1. Vergleich mit LRT Flächen 14
5.2. Vergleich mit Nutzungsdaten (NRW) 14
5.3 Hinweise auf Überschätzung 15
6. Sonstiges 16
7. Zitierhinweis 16

1. Bedeutung von Umbrüchen auf die Wertigkeit von Dauergrünländern

Grundgedanke hinter den hier vorgestellten Arbeiten war die Entwicklung eines Dienstes zur Ermittlung des wahrscheinlichen Zeitraums der umbruchsfreien Nutzung von Dauergrünland (DGL) in Deutschland. Aufgrund der Artenvielfalt und der ökosystemaren Bedeutung gilt DGL als wertvolles Habitat, dessen Nutzung und Bearbeitung seit 2013 durch die Einführung der „Greening"-Auflagen reglementiert ist. Vor 2013 erfuhr DGL einen stetigen Flächenrückgang, welcher durch die eingeführten Schutzmaßnahmen gebremst werden konnte. Da DGL zum Großteil durch Intensivierung, steigenden Flächenverbrauch für urbane Infrastruktur und Ackernutzung noch immer unter einem hohen Nutzungsdruck steht, gelten Bearbeitungen wie Umbrüche oder Umwandlungen als reglementierte Eingriffe in das Ökosystem und sind lediglich genehmigungspflichtig durchführbar.

Kenntnis über die räumlich und zeitlich hochaufgelöste Dynamik von Umbrüchen unterstützt die Bewertung von Grünlandflächen, da diese unter anderem als Kohlenstoffspeicher höchste Klimarelevanz besitzen. Vor allem die Funktion als Kohlenstoffsenke wird durch Umbrüche signifikant gestört, sodass Kohlenstoff freigesetzt wird und in der Atmosphäre aktiv werden kann. Eine Grünlandfläche gilt vor allem dann als besonders wertvoll, wenn sie zeitlich möglichst lange keinen anthropogenen Eingriff erfahren hat. Zudem ist jahrzehntealtes DGL auch hinsichtlich der Boden-Biodiversität und der damit verbundenen Bereitstellung von ökosystemaren Dienstleistungen von hoher Wertigkeit. Neben den genannten existieren zahlreiche weitere Eigenschaften, die eine langfristige Erfassung der räumlichen und zeitlichen Dynamiken von DGL ins Interesse, nicht nur für die Landesumweltämter, rücken. Um dabei besonders wertvolles DGL zu identifizieren, ergab sich hieraus für das Projekt die zentrale zu beantwortende Frage:

„Wie alt ist das betrachtete Grünland"?

Wie für die Umsetzung der anderen Dienste des Projektes CopGruen soll zur Beantwortung dieser Frage hauptsächlich auf bereits bestehendes Wissen, Datenprodukte und Algorithmen zurückgegriffen und in Wert gesetzt werden, um deutschlandweit rückblickend räumliche und zeitliche Dynamiken und darüber hinaus die Qualität von DGL abzuschätzen. Nach Recherche zeigten sich die Daten des *Soil Composite Mapping Processors* als potentiell geeignet. Die auf multispektralen Satellitenbildszenen basierenden, jährlich prozessierten Produkte bieten auf Grund der Verfügbarkeit bis 1984 die Möglichkeit für retrospektive Auswertungen zur Abschätzung des Alters und der Wertigkeit von DGL. Hinweise auf das Alter und potentielle Umbrüche werden dabei über die Identifizierung von offenen, vegetationslosen Böden, welche der Prozessor operationell aus Satellitenbilddaten extrahiert, ermöglicht.

2. Input Daten

Für die Umsetzung des Dienstes wurden Daten des *Soil Composite Mapping Processors* (SCMaP) verwendet (Rogge et al. 2018). Die Bereitstellung erfolgte über das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Im Folgenden werden der Prozessor und die verwendeten Daten kurz skizziert.

2.1. SCMaP

SCMaP ist ein automatisierter Prozessor zur Ableitung von Bodeninformationen aus multispektralen Satellitenbilddaten (Landsat und Sentinel-2). Auf Basis des pixelbasierten Kompositansatzes werden, mittels zwei aus den Bilddaten abgeleiteten Grenzwerten, offene Böden für einen definierbaren Zeitraum identifiziert. Diese Grenzwerte separieren die Bilddaten in permanent vegetationsbedeckte Pixel, permanent vegetationslose Pixel und den Bildteil, mit einem Wechsel von Vegetationsbedeckung und offenem Boden. Alle Pixel mit einem Wechsel zwischen offenem Boden und Vegetationsbedeckung werden dann in einem Komposit gespeichert und zeigen die räumliche Verbreitung mindestens einmal offener, vegetationsloser Böden des gewählten ein- bis mehrjährigen Zeitraums.

Das Hauptprodukt der SCMaP Prozesskette, welches allerdings für den Offenbodendienst keine Anwendung findet, ist das sog. Bodenreflektanzkomposit. Dieses zeigt pro Pixel die gemittelten spektralen Reflektanzen aller durch die Grenzwerte identifizierten Szenen und findet Anwendung für die großflächige Ableitung von Bodeninformationen, wie beispielsweise dem organischen Kohlenstoffgehalt oder der Textur von Ackerflächen.

Input für SCMaP können derzeit die auf Zeitserienanalysen optimierten Bilddaten der europäischen Zwillingssatelliten Sentinel-2 (Heiden et al. 2022) sowie Daten des US-Amerikanischen Landsatprogramms (Zepp et al. 2021) sein. Für den Offenbodendienst wurden vom DLR Jahreskomposite zwischen 1984 und 2017 auf Basis von Landsat-Daten und zwischen 2018 und 2022 auf Basis von Sentinel-2 Daten zur Verfügung gestellt. Für die auf Sentinel-2-Daten basierenden Komposite gingen Aufnahmen der Sensoren beider Zwillingssatelliten ein. Da 2018 das erste Jahr mit einer kompletten Datenaufnahme von Sentinel-2 A und –B war, erfolgte die Prozessierung der Sentinel-2 Komposite ab 2018, obwohl Sentinel-2 A bereits seit 2015 operationell Daten liefert. Für die auf Landsat-Produkten basierenden Komposite wurden Daten von Landsat-4 (konkret wurden hier Daten zwischen 1984-1992 verwendet), von Landsat-5 (1984-2011), von Landsat-7 (1999-2018) und von Landsat-8 (2015-2018) integriert. Werden für Jahre Daten von zwei Landsat Sensoren erhoben, gehen diese zusammen in die jährliche Ableitung der Bodeninformationen ein. Die Prozessierung und Bereitstellung erfolgte für beide Datensätze gekachelt für gesamt Deutschland. Derzeit existiert noch keine Prozessorversion, die ein harmonisiertes Datenprodukt aus Landsat und Sentinel-2 verarbeiten kann (Stand Oktober 2024).

2.2. Maske unbedeckter Böden

Der für den Offenbodendienst verwendete Datensatz der SCMaP Produktpalette ist eine binäre Maske, welche Informationen darüber enthält, ob ein Pixel im betrachteten einjährigen Kompositzeitraum mindestens einmal offenen, vegetationslosen Boden aufweist (Abbildung 1). Hauptsächlich entspricht dies der Verbreitung von Ackerflächen, da diese zu mindestens einem Zeitpunkt im Bewirtschaftungsjahr durch Pflügen oder andere Bearbeitungspraktiken offenen, vegetationslosen Boden zeigen und das restliche Jahr Vegetationsbewuchs aufweisen. Allerdings werden neben offenen Böden der Ackerflächen auch Grünländer, die durch Bearbeitungsformen, wie zum Bsp. Pflügen oder Grasnarbenerneuerung, temporär vegetationslos sind und offenen Boden aufweisen, erfasst und in der Bodenmaske gespeichert. Diese jährlichen Masken bilden das Kernelement des Offenbodendiensts.

Allerdings muss hier darauf hingewiesen werden, dass das verwendete Produkt nicht für den Zweck der Ableitung von Umbrüchen, bzw. zur Identifikation von offenen Dauergrünlandböden optimiert ist. In einer Analyse von Zepp et al. (2021) wurden die Bodenmasken mit statistischen Daten zur

räumlichen Verteilung von Ackerflächen in Deutschland verglichen, wobei bis auf Landkreisebene, der kleinsten für die Validierung zur Verfügung stehenden Raumeinheit, hohe Korrelationskoeffizienten (R^2 0,79 – 0,97) ermittelt werden konnten. Allerdings wurden hier lediglich Vergleiche mit Ackerflächen gezogen, da Grünländer in der Regel (vor allem ab dem gesetzlich reglementierten Umbruchsverbot) unberührt bleiben und keinen offenen Boden zeigen. Erfolgt jedoch ein Grünlandumbruch und eine Offenlegung von Boden zu einer Zeit eines wolkenfreien Überfluges der verwendeten Sensoren, erkennt der Prozessor hier den offenen Boden und integriert die Flächen in die Bodenmaske, sodass die verwendeten SCMaP Produkte ein hohes Potential auch zur Ableitung von Umbrüchen und zur Bestimmung des Grünlandalters haben.

Abbildung 1: Räumliche Verbreitung offener, vegetationsloser Böden. Für jedes der farblich in beige dargestellten Rasterpixel wurde durch den SCMaP Algorithmus mindestens einmal offener Boden im betrachteten Kompositzeitraum (01.01. – 31.12.2022) identifiziert.

Mit Hilfe der Maske wird analysiert, ob auf einer Fläche rückblickend jährlich offener Boden identifiziert werden konnte. Diese Information kann dann als Hinweis auf einen potentiellen Umbruch, der im betreffenden Jahr stattgefunden hat, dienen.

Aufgrund der derzeitigen Konzeptionierung des SCMaP Prozessors kann der Zeitraum, zu dem der Umbruch stattgefunden hat, jedoch nicht weiter eingegrenzt werden. Zudem ist die Genauigkeit der Bodenmaske davon abhängig ob die offenen Böden zeitlich mit wolkenlosen Überflügen übereinstimmen.

2.3. Clear Sky Observation

Neben der Maske an offenen Böden wird ergänzend ein statistischer Output der SCMaP Produktpalette für eine bessere Einschätzung der Ergebnisse verwendet. Auf Pixelebene steht die Information der Anzahl der in den Prozessor eingehenden wolkenlosen Satellitenbildszenen (clear sky observations – cso) für die einjährigen Kompositzeiträume zur Verfügung (vgl. Abbildung 2). Studien

verschiedener Autoren (Bsp.: Castaldi et al. 2021, Dvorakova et al. 2022, Zepp et al. 2023) haben gezeigt, je mehr wolkenfreie Szenen in die jeweiligen Kompositingansätze eingehen, desto valider sind die Ergebnisse der Prozessoren bzw. der daraus abgeleiteten Informationen. Zudem hat eine Analyse von Zepp et al. 2021 gezeigt, dass die räumliche Vergleichbarkeit der von SCMaP identifizierten offenen Böden mit Referenzdaten für Zeiträume mit einer hohen Anzahl an Inputdaten (v.a. 2009 – 2019) höhere Korrelationskoeffizienten erreicht, als Zeiträume mit einer geringeren Anzahl an Inputszenen.

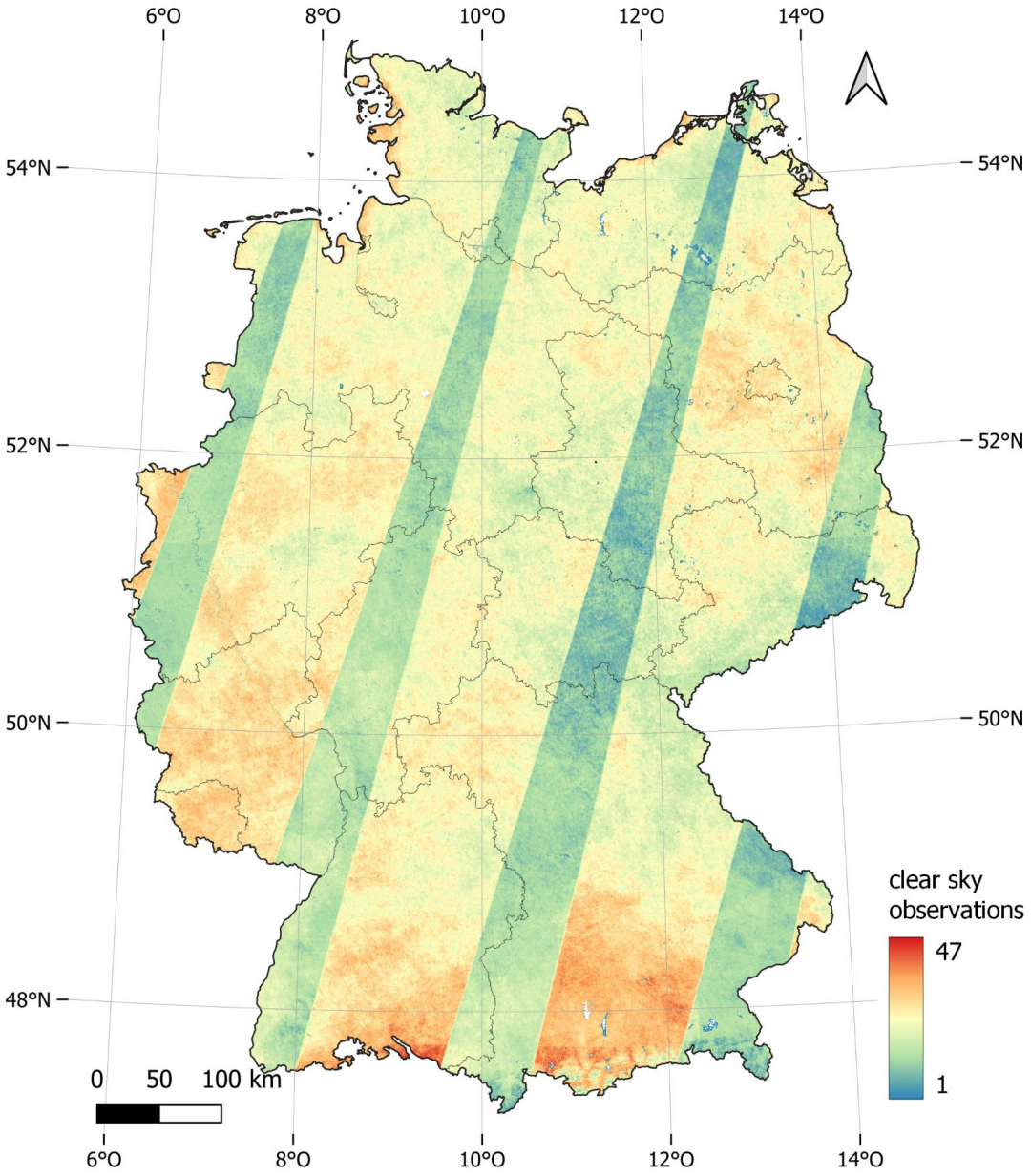


Abbildung 2: Summierte Anzahl an wolkenfreien Sentinel-2 Szenen (clear sky observations – cso) für den Kompositzeitraum 01.01. - 31.12.2022 für gesamt Deutschland, die in den SCMaP Prozessor zur Ableitung der Bodeninformationen eingingen.

Die Anzahl der wolkenlosen Satellitenbildszenen, auf denen die Aussagen über potentielle Umbrüche beruhen, sollen den Nutzenden als Information dienen, wie valide die Identifizierung der abgeleiteten Information aus dem Offenbodendienst ist.

Allerdings kann die Anzahl der wolkenfreien Szenen nur einen groben Hinweis auf die Verlässlichkeit der abgeleiteten Information bieten, da keine Aussagen darüber getroffen werden können, ob beispielsweise in der kritischen Jahreszeit, zu der meistens Grünlandumbrüche durchgeführt werden,

wolkenfreie Szenen zur Analyse zur Verfügung stehen. Auch besteht keine Information darüber, wie lange und wann im Jahr Lücken in den Aufnahmen existieren. Allerdings bietet eine hohe Anzahl an Szenen eine Verlässlichkeit der Aussagen, da davon ausgegangen werden kann, dass die Szenen durch Umbrüche hervorgerufene unbedeckte Böden ganzjährig abdecken.

Verschiedene Parameter können die Verfügbarkeit der wolkenfreien Szenen steuern. Sensorspezifische Eigenschaften haben dabei den geringsten Einfluss auf die Datendichte, da die multispektralen Sensoren der verschiedenen Satelliten vergleichbar konzeptioniert sind. Deutlicher wird die Datendichte durch unterschiedliche Überfluggeometrien der Satellitensysteme beeinflusst.

Abbildung 3 zeigt die mittlere jährliche Anzahl an wolkenlosen Satellitenbildszenen über gesamt Deutschland, die in den SCMaP Prozessor eingingen. Zu Beginn der Zeitreihe, in den 1980er Jahren, stehen dabei eine deutlich geringere Anzahl an Szenen zur Verfügung als im Vergleich zu den unmittelbar vergangenen Jahren. Da die Komposite aus den Jahren 2018 bis 2022 auf Basis der Zwillingssatelliten Sentinel-2 A und -B erstellt wurden, die einzeln spätestens alle zehn Tage denselben Punkt auf der Erdoberfläche überfliegen und in Kombination eine Abdeckung von drei bis fünf Tagen erreichen, sind hier mehr wolkenlose Satellitenbildszenen für die Prozessierung zur Verfügung. Zwar sind teilweise auch für die Komposite zwischen 1984 und 2017 Daten von zwei Landsat Sensoren eingegangen, allerdings haben die Satelliten eine deutlich geringere Überflugrate im Vergleich zu Sentinel-2. Jeder Satellit des Landsat-Programms nimmt in einem Intervall von maximal 16 Tagen denselben Punkt auf der Erdoberfläche auf. Je nach Systemkombination kann hier eine Reduktion auf bis zu acht Tagen erreicht werden. Die Kombination von Sensoren trägt somit unter anderem zur abweichenden Datenverfügbarkeit bei.

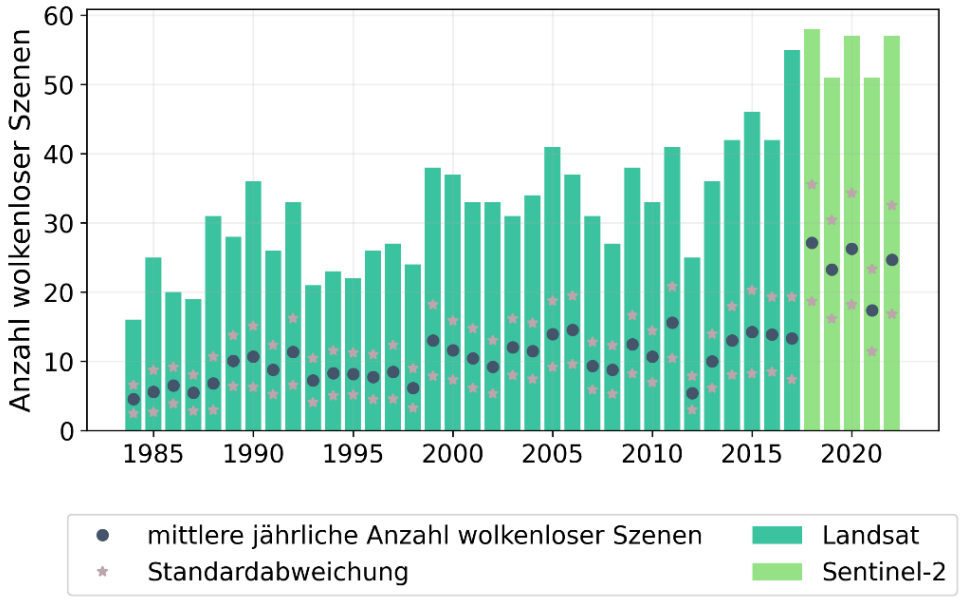


Abbildung 3: Statistiken der wolkenlosen Satellitenbildszenen pro Jahr für gesamt Deutschland. Die Grafik zeigt die jährliche Spannweite (der minimal und maximal pro Pixel verfügbaren wolkenlosen Szenen), die jährliche mittlere Anzahl (o) sowie die jährliche Standardabweichung (*) der wolkenlosen Szenen, welche in den SCMaP Prozessor zur Ableitung der offenen Böden für gesamt Deutschland eingingen.

Neben den satellitenbezogenen Einflüssen auf die Anzahl der zur Verfügung stehenden Szenen spielen auch meteorologische Bedingungen der jeweiligen Jahre eine Rolle. Da die multispektralen Instrumente als passive Fernerkundungssensoren bei Bewölkung keine reflektierte Strahlung von der Erdoberfläche detektieren können, zeigen Jahre mit einer hohen Anzahl an Sonnenscheinstunden, eine höhere Zahl an wolkenfreien Szenen. Vor allem in den Jahre 2018, 2020 und 2022 sind jeweils durch

positive Anomalien der jährlichen Sonnenscheinstunden (DWD 2024) die höchsten mittleren Anzahlen an wolkenlosen Szenen vorhanden.

Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, soll die Anzahl an wolkenlosen Szenen in der Endausgabe von den Nutzenden auch als Information über die Güte des Dienstes verwendet werden können. Hierbei ist vor allem relevant, eine Untergrenze zu definieren, die verdeutlicht, für welche Jahre die abgeleiteten Aussagen zu Offenboden als weniger aussagekräftig angesehen werden müssen. Eine zu geringe Anzahl an wolkenlosen Szenen kann bedeuten, dass die Zeitreihe nicht ausreichend dicht ist und ein potentieller Offenboden übersehen wird.

Vor allem da die beiden Systeme eine unterschiedliche Aufnahmefrequenz haben, muss die Auswertung, bzw. die Definition des Grenzwertes systembezogen getroffen werden. Zudem existieren für die frühen Jahre des Beobachtungszeitraums eine geringere Anzahl an wolkenlosen Szenen im Vergleich zu den späteren Jahren. Zudem kommt es durch jährlich unterschiedliche Kombinationen von Landsatsensoren zu variierenden Szenenanzahlen. Diesbezüglich wurde die Definition der kritischen Untergrenze jährlich vorgenommen.

Wie in Abbildung 2 ersichtlich kommt es durch die Überfluggeometrien der Satelliten zu Gebieten in denen sich zwei Flugbahnen überlappen. In diesen Räumen stehen mehr Aufnahmen zur Verfügung, als im Vergleich zu den Flächen, die nur jeweils von einem Flugsteifen abgetastet werden. Zur Definition der kritischen Untergrenze wurden deshalb die Bereiche mit nur einer Abtastung extrahiert. Steht hier eine ausreichende Anzahl an wolkenfreien Szenen zur Verfügung, sind auch in den Überlappungsbereichen ausreichend Szenen durch die doppelte Abdeckung zur weiteren Analyse vorhanden. Zudem basiert die Definition des Grenzwerts ausschließlich auf Flächen, die in der Bodenmaske enthalten sind. Abbildung 4 verdeutlicht beispielhaft für das Jahr 2022 auf welchen Flächen die Ableitung der Grenzwerte basieren.

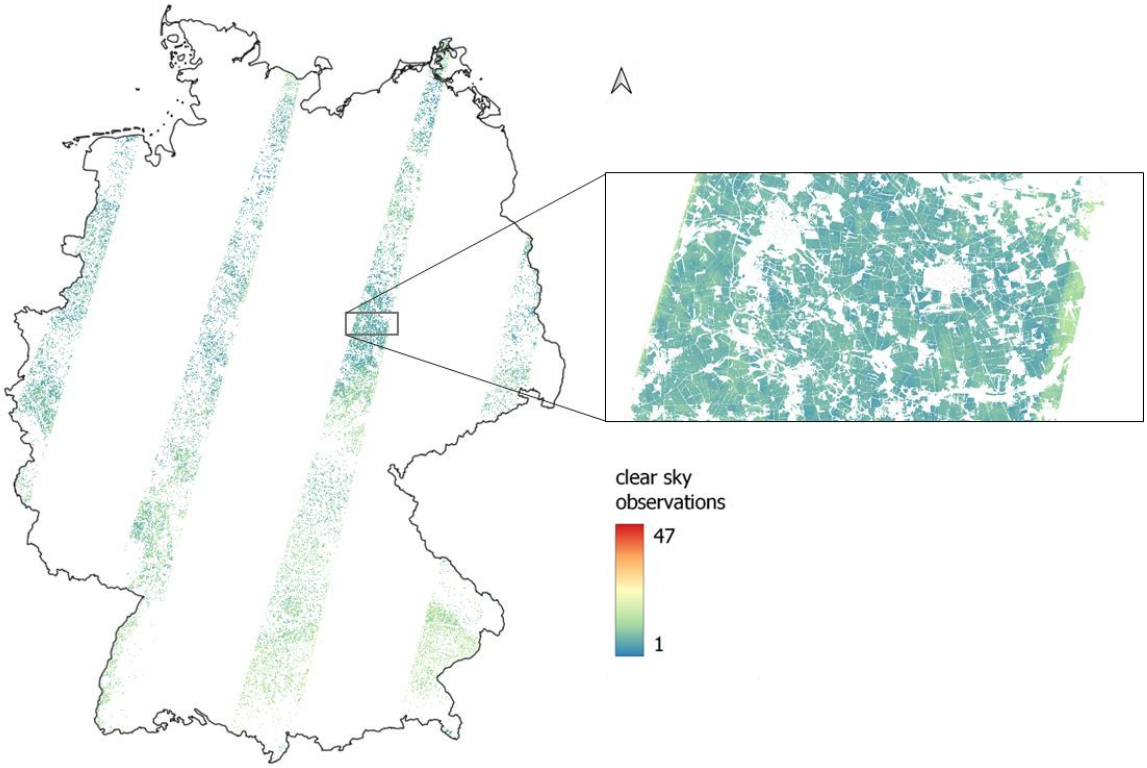


Abbildung 4: Flächen, die zur Definition der minimalen Untergrenze für den Kompositzeitraum 01.01 bis 31.12.2022 einfließen. Die Ableitung des Grenzwerts basiert ausschließlich auf Flächen, die in der Bodenmaske enthalten sind und die jeweils nur von einem Überflugstreifen abgetastet werden.

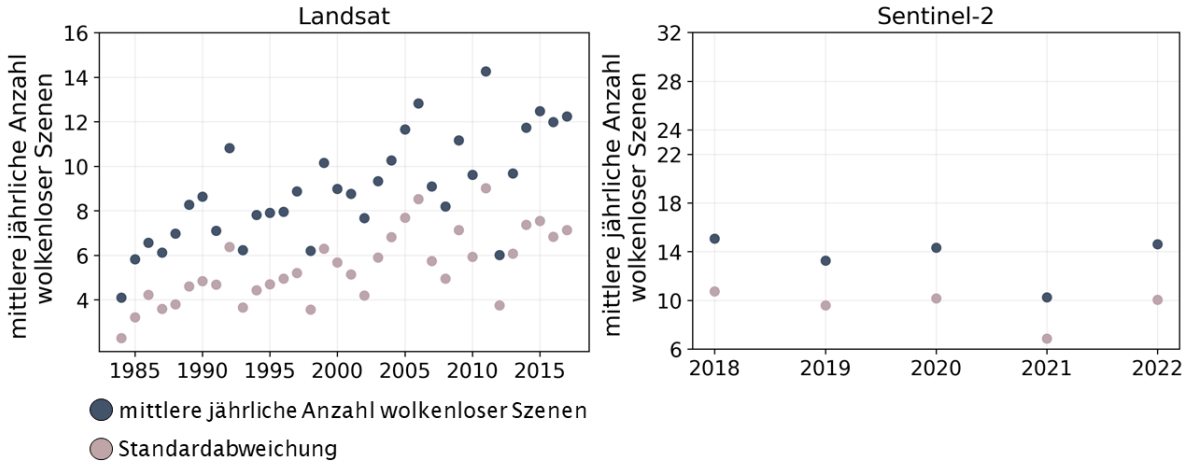


Abbildung 5: Mittlere Anzahl an wolkenlosen Szenen pro Jahr für die Landsat und Sentinel-2 Komposite. Als Grundlage der Berechnung dienen die Flächen, die in keinem Überlappungsbereich liegen und in den Bodenmasken der SCMaP-Daten enthalten sind. Zur Identifizierung der Grenzwerte wird jährlich die Standardabweichung vom Mittelwert an wolkenfreien Beobachtungen verwendet.

Zur Definition der kritischen Untergrenze an verfügbaren wolkenfreien Szenen wurde in einem ersten Schritt sensorspezifisch der Mittelwert pro Jahr für die extrahierten Flächen gebildet. In Abbildung 5 ist dies für Landsat und Sentinel-2 dargestellt. Statistisch zeigt die untere Standardabweichung vom Mittelwert eine potentielle Untergrenze, ab welcher die Anzahl der wolkenfreien Szenen, die in den SCMaP Prozessor eingehen, zur Ergebnisableitung als weniger valide angesehen werden kann. Hier können meteorologische und sensorbedingte Einflüsse gegebenenfalls die Erkennung unbedeckter Böden limitieren oder überhaupt die Erfassung von zu analysierenden Flächen verhindern.

Tabelle 1: Jährliche mittlere Anzahl an wolkenlosen Szenen und jährliche Grenzwerte zur Identifizierung der Flächen, bei welchen aufgrund einer zu geringen Anzahl an wolkenlosen Szenen die Erkennung offener Böden, bzw. überhaupt die Erfassung der zu analysierenden Flächen, weniger valide sind.

Jahr	Mittelwert	Grenzwert
1984	4,10	2,28
1985	5,82	3,21
1986	6,56	4,23
1987	6,13	3,60
1988	6,97	3,80
1989	8,28	4,61
1990	8,63	4,84
1991	7,10	4,68
1992	10,82	6,38
1993	6,24	3,66
1994	7,82	4,44
1995	7,91	4,70
1996	7,95	4,96
1997	8,87	5,20
1998	6,20	3,57
1999	10,15	6,30
2000	8,98	5,68
2001	8,77	5,15
2002	7,67	4,20
2003	9,34	5,91

Jahr	Mittelwert	Grenzwert
2004	10,27	6,82
2005	11,65	7,69
2006	12,82	8,52
2007	9,10	5,75
2008	8,19	4,95
2009	11,16	7,13
2010	9,61	5,94
2011	14,27	9,01
2012	6,01	3,76
2013	9,68	6,08
2014	11,73	7,37
2015	12,48	7,55
2016	11,98	6,83
2017	12,24	7,13
2018	15,06	10,74
2019	13,27	9,60
2020	14,33	10,16
2021	10,24	6,86
2022	14,60	10,06

Tabelle 1 zeigt im Überblick die jährlich abgeleiteten Grenzwerte, wie viele wolkenfreien Szenen minimal für eine valide Erfassung zur Verfügung stehen müssen. Konkret bedeutet dies, dass wenn beispielsweise im Jahr 2011 auf einem zu analysierenden Polygon im Mittel weniger als 9,01

wolkenlose Szenen zur Verfügung stehen, diese Fläche nicht in die Beurteilung eingehen kann. Das potentielle Grünlandalter kann demnach rückblickend nur bis 2012 bestimmt werden.

In Kapitel 4 wird erläutert, wie Nutzende im Output erkennen, ob für ein analysiertes Polygon während der Zeitreihe ausreichend wolkenlose Szenen zur Verfügung standen oder der kritische Grenzwert unterschritten wurde.

2.4. Aufbereitung der SCMaP Daten

Für die Durchführung des Dienstes müssen die im Rasterformat vorliegenden gekachelten SCMaP Daten aufbereitet werden. In einem ersten Schritt werden die Teilraster zu einem Mosaik zusammengefügt. Dies geschieht pro Jahr jeweils für die Bodenmaske und den Rasterstapel mit Informationen über die wolkenlosen Szenen. Anschließend werden die Raster auf die Fläche Deutschlands zugeschnitten, um die Datenmenge und den Speicherplatzbedarf der Inputraster zu reduzieren.

Zu beachten ist, dass die Sentinel-2 Komposite in einem anderen Koordinatensystem vorliegen als die Landsat Komposite. Es wird bewusst keine Reprojizierung eines Datensatzes auf den anderen vorgenommen, da so Ungenauigkeiten bei der Transformation in den Rasterstapel integriert werden könnten. Auch die unterschiedlichen räumlichen Auflösungen (Landsat: 30 m Pixelauflösung, Sentinel-2: 20 m Pixelauflösung) werden bezüglich selbiger Gründe nicht angepasst und beibehalten.

Die aufbereiteten SCMaP Daten gehen als Input in den eigentlichen Offenbodendienst ein.

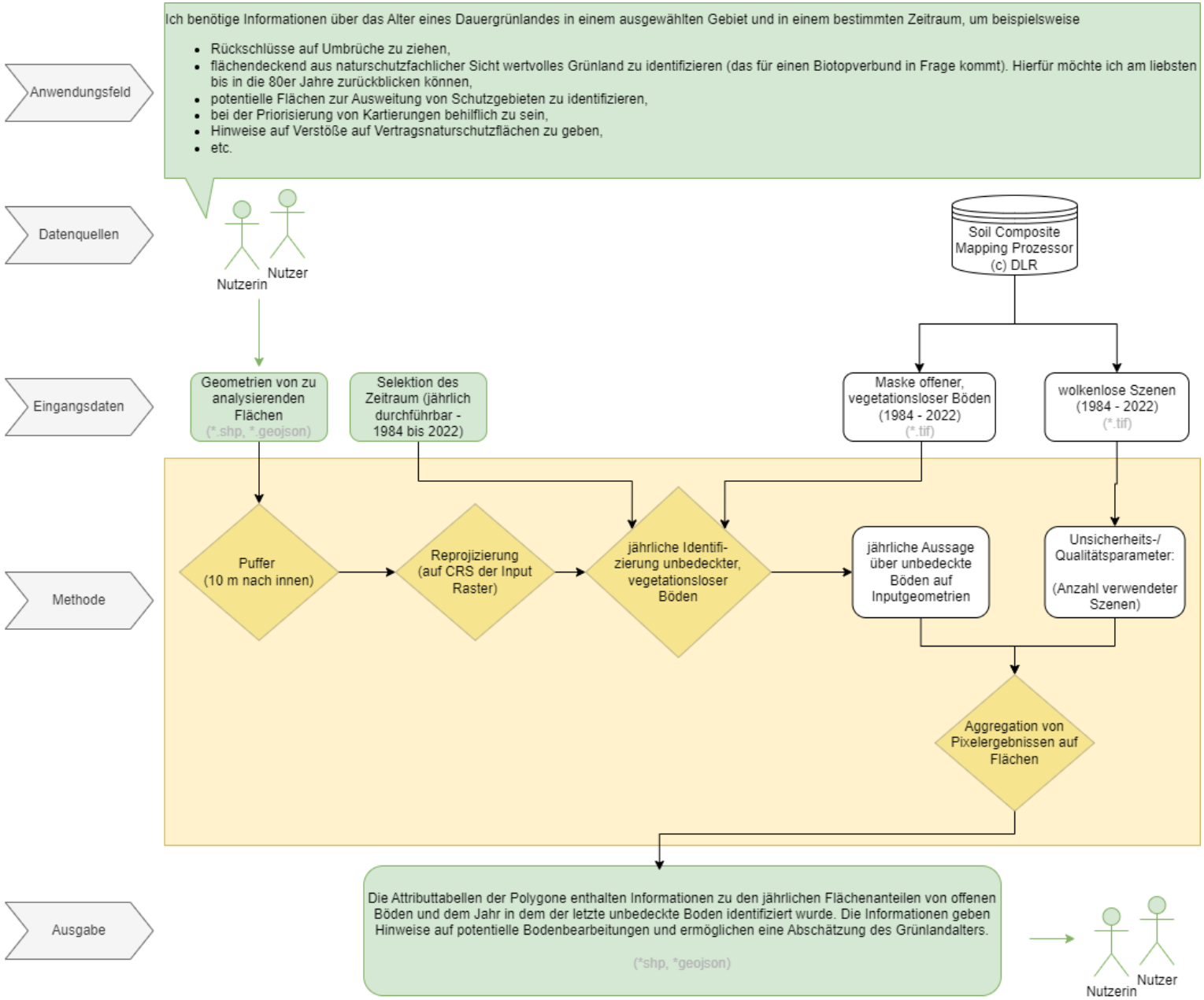
3. Technische Umsetzung des Dienstes

Nach der Aufbereitung der Daten erfolgte die technische Umsetzung. Grundlegend sollen für den Dienst Flächen von Nutzendendaraufhin untersucht werden, ob im betrachteten Zeitraum die SCMaP Komposite innerhalb dieser Flächen offenen Boden zeigen. Dies kann dann mit einem Umbruch oder einer anderen mechanischen Bearbeitung des DGL wie Grasnarbenerneuerungen in Verbindung gebracht werden und zudem Rückschlüsse über das Alter der betrachteten Fläche ermöglichen.

Ziel war es, eine Methodik aufzusetzen, welche die Flächen der Nutzenden mit den Bodenmasken verschneidet und alle Jahre ausgibt, für welche offener Boden in den SCMaP Masken identifiziert wurde. Informationen über die Anzahl an wolkenfreien Szenen dienen darüber hinaus als Qualitätsmerkmal, um die Güte der abgeleiteten Informationen, bzw. die statistische Wahrscheinlichkeit, dass ein offener Boden potentiell übersehen wurde, zu bestimmen. Um kongruent mit den anderen Diensten zu arbeiten und die Weiterarbeit mit den Daten zu erleichtern, werden Aussagen über potentielle Umbrüche den Nutzenden abschließend als polygonbezogene Flächeninformationen zur Verfügung gestellt.

Abbildung 6 zeigt einen Überblick über die Vorgehensweise des Dienstes. Konkret beinhaltet dieser die Aufbereitung der von den Nutzenden bereitgestellten Polygone, die Verschneidung dieser mit den SCMaP Daten, die Analyse hinsichtlich offener Böden sowie die abschließende Ausgabe der abgeleiteten Informationen als raumbezogene Flächen-Geometrien. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte im Detail erläutert.

Abbildung 6: Konzeptionierung des Offenbodendienst (Stand 04.09.2024).



3.1. Wahl der Eingabeparameter

Nutzende haben die Möglichkeit, verschiedene Parameter für den Durchlauf des Dienstes zu bestimmen. Zum einen kann das Ausgabeformat der raumbezogenen Flächengeometrien definiert werden. Hier kann zwischen den beiden gängigen Geodatenformaten ESRI Shapefile oder GeoJSON, gewählt werden. Standardmäßig wird als Ausgabeformat das Datenformat der Eingabedaten gewählt. Darüber hinaus kann der Zeitraum, für den die Flächen analysiert werden, bestimmt werden. Hier ist eine Selektion eines zusammenhängenden Zeitraums zwischen 1984 und 2022 (Stand August 2024) möglich. Zu beachten ist, dass sich das hieraus ergebende Alter des Grünlands nur auf das jeweilig gesetzte Endjahr bezieht.

3.2. Funktionsweise des Offenbodendienstes

3.2.1 Aufbereitung Inputpolygone

Vor der Verschneidung der Inputpolygone mit den Masken werden die Geodaten der Nutzenden mit den zu analysierenden Eingabepolygonen aufbereitet. In einem ersten Schritt erfolgt eine Pufferung der Polygone von zehn Metern nach innen, um mögliche Mischeffekte an den Grenzen auszuschließen. Anschließend erfolgt eine Umprojizierung der Polygone auf die Koordinatensysteme der Bodenmasken. Die gepufferten, umprojizierten Flächen werden dann mit den beiden Rasterdatensätzen (Bodenmaske und Informationen über die Anzahl der wolkenlosen Szenen) für die Untersuchungszeiträume verschnitten, um Aussagen über mögliche Umbrüche treffen zu können.

3.2.2 Ableitung von unbedeckten Böden

Pro zu analysierender Fläche wird in einem ersten Schritt identifiziert, ob die jährlichen Bodenmasken unbedeckten Boden zeigen. Ist dies der Fall, wird die prozentuale Fläche unbedeckten Bodens für jedes gepufferte Polygon der Inputgeodaten für die Jahre, in denen unbedeckter Boden identifiziert wurde, berechnet. Diese Berechnung erfolgt gewichtet, sodass alle auch anteilig von den Flächen geschnittenen Pixel in die Kalkulation eingehen. Außerdem wird die mittlere Anzahl wolkenfreier Szenen pro gepuffertem Nutzerpolygon, für jedes der selektierten Jahre, ebenfalls flächenmäßig gewichtet berechnet und mit den jährlich definierten Grenzwerten verglichen. Abschließend wird für jedes Eingabepolygon das Jahr in der selektierten Zeitreihe, in welchem zuletzt unbedeckter Boden identifiziert wurde, extrahiert. Alle abgeleiteten Parameter werden in einem Shapefile im definierten Ausgabeformat als Output den Nutzenden zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung gestellt (siehe Kapitel 4).

Zu beachten ist, dass für die Analyse des Jahres, in dem zuletzt offener Boden gefunden wurde, nur Jahre für die auf der betrachteten Fläche anteilig mehr als 30% offener Boden erfasst wurde eingehen. Dieser Grenzwert wurde definiert, da eine Analyse der Bilddaten zeigte, dass in den SCMaP Masken pixelweise offener Boden auf DGL auftritt, was nicht auf realen Offenboden zurückzuführen ist. Mit dem gesetzten Grenzwert sollen räumliche Falschklassifikationen und Artefakte, beispielsweise hervorgerufen durch eine unzureichende Wolkenmaskierung, ausgeschlossen werden.

Abbildung 7 zeigt für vier Bildbeispiele die Inputflächen der Nutzenden (dunkelblaue Flächen), die durch den Offenbodendienst gepufferten Flächen (hellblaue Flächen) sowie die Masken offener Böden. Für Fläche 1 werden 0,74%, für Fläche 2 13,70%, für Fläche 3 10,90% und für Fläche 4 100,00% offener Boden des gepufferten Polygons identifiziert. Im Bildbeispiel 1 verursacht die berechnete Fläche allerdings ein einzelnes Pixel, welches ohne weiteren Zusammenhang mit den Nachbarregionen

das Feld schneidet. Hier liegt die Vermutung nahe, dass es sich durch SCMaP um eine Falschklassifikation (beispielsweise durch ein Artefakt in der Wolkenmaskierung) handelt. Durch den Grenzwert einer minimal 30%igen Flächenabdeckung geht das betreffende Jahr nicht in die Ermittlung des Jahres, in dem zuletzt offener Boden gefunden wurde, ein. Die prozentualen Anteile an offenem Boden pro Polygon auch unter 30% wird den Nutzenden allerdings im Output zur Verfügung gestellt, um selbst beurteilen zu können, ob der gefundene Offenboden hier der Realität entsprechen könnte (beispielsweise bekannte Teilnutzung eines Polygons). Bildbeispiel 4 zeigt hingegen die Identifikation von offenem Boden für das gesamte Inputpolygon. Die Bodenmaske bildet das Feld komplett ab.

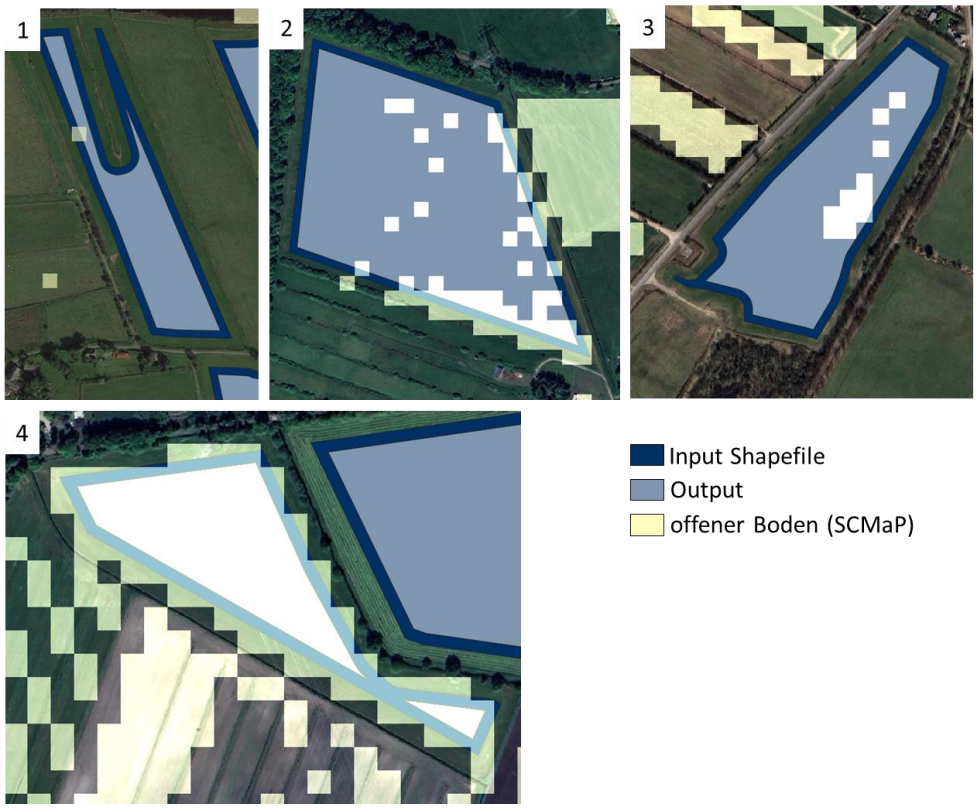


Abbildung 7: Bildbeispiele zur Lage der originalen Input Geometrien der Nutzenden (dunkelblau, die gepufferten Outputpolygone (hellblau), welche vom Offenbodendienst verarbeitet werden und die räumliche Erstreckung der SCMaP Bodenmaske (gelb).

4. Output

Die Nutzenden erhalten nach dem erfolgreichen Durchlauf des Offenbodendiensts polygonbezogene Flächeninformationen mit den gepufferten Geometrien im Eingangskoordinatensystem. In den Attributtabellen werden an die bestehenden Informationen der Inputpolygone die im Rahmen des Offenbodendienstes abgeleiteten Statistiken angehängt (Abbildung 8).

Die angehängte Spalte (letzter_oB) beinhaltet pro Polygon das Jahr, in dem die Masken zuletzt offenen Boden (> 30%) zeigen. Auf Basis dieser Information ist auch die im Interesse stehende Eingangsfrage des Offenbodendienstes nach dem Alter des Grünlandes zu beantworten. Das in der Spalte eingetragene Jahr bis zum Endjahr des gewählten Zeitraums (maximal bis 2022; Stand August 2024) lässt Hinweise auf das Alter des Grünlandes zu. Allerdings müssen die Nutzenden in Betracht ziehen, dass dazwischen möglicherweise ungünstige Wetterverhältnisse einzelner Jahre keine Analyse mancher Flächen zugelassen haben und ein Offenboden übersehen wurde. Hier sollen die jährlichen Informationen der wolkenfreien Szenen den Nutzenden als Einschätzung dienen.

Pro prozessiertem Jahr (maximal möglicher Zeitraum: 1984 bis 2022) werden für jedes Polygon zwei weitere Spalten angehängt. Zum einen wird ausgegeben, wie hoch der prozentuale Flächenanteil an offenem Boden für das jeweilige Jahr ist (ant_[JAHR]). Die berechnete Fläche bezieht sich hierbei auf den gepufferten Anteil des Inputpolygons der Nutzenden. Ist hier der Wert 0 eingetragen, wurde kein offener Boden im jeweiligen Jahr ermittelt. Zum anderen wird pro Polygon für alle Jahre der prozessierten Zeitreihe ausgegeben, ob ausreichend wolkenfreie Szenen, welche in den SCMaP Prozessor eingehen (cso_[JAHR]). Diese Information dient vor allem zur Abschätzung der Güte der abgeleiteten Information zu unbedecktem Boden. Die Aussage über die Anzahl der Szenen wird klassifiziert ausgegeben. Ist ein Polygon mit einem „+“ versehen, sind basierend auf den statistischen Analysen ausreichend Szenen zur Analyse zur Verfügung. Ein „-“ hingegen bedeutet, dass die Anzahl der wolkenfreien Szenen die in Kapitel 2.3 definierte Untergrenze in diesem Jahr unterschritten hat und möglicherweise ein Offenboden übersehen wurde. Ist in der Attributtabelle für eines der prozessierten Jahre weder ein Eintrag zu flächenanteiligem offenem Boden noch eine mittlere Anzahl an wolkenfreien Szenen gegeben, stand für das entsprechende Jahr keine Szene für den SCMaP Prozessor zur Verfügung oder die betreffende Fläche war zu klein zur Analyse. Hierzu sind Angaben in der Attributspalte „Infos“ zu entnehmen.

Infos	letzter_oB	ant_2018	cso_2018	ant_2019	cso_2019	ant_2020	cso_2020	ant_2021	cso_2021	ant_2022	cso_2022
Polygon wird verarbeitet	0	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
Polygon wird verarbeitet	0	0	+	0	+	0	+	0	+	0	+
Polygon durch Puffer verloren	*NULL*	*NULL*	*NULL*	*NULL*	*NULL*	*NULL*	*NULL*	*NULL*	*NULL*	*NULL*	*NULL*
Polygon wird verarbeitet	0	15,46	+	1,53	+	34,50	-	0	+	2,56	+
Polygon wird verarbeitet	0	0	+	1,17	+	6,36	+	0	+	1,06	+
Polygon wird verarbeitet	0	2,93	+	2,93	+	1,47	+	0	+	1,47	+
Polygon wird verarbeitet	2022	23,15	+	29,47	+	64,50	+	0	+	35,13	+
Polygon wird verarbeitet	2019	0	+	72,36	+	11,00	+	0	+	0	+

Abbildung 8: Attributtabelle der prozessierten Polygone der Nutzenden. An die bestehenden Attribute angehängt sind die aus dem Offenbodendienst ermittelten Informationen (letzer_oB: Jahr in dem die Masken zuletzt unbedeckten Boden zeigen; ant_[JAHR]: prozentualer Anteil unbedeckter Boden des gepufferten Inputpolygons; cso_[JAHR]: klassifizierte Information, ob eine ausreichend hohe Anzahl wolkenfreier Szenen pro Polygon zur Verfügung stand; Infos: Aussage darüber, ob das Polygon ausreichend groß zur Verarbeitung war).

5. Validierung

Um die Aussagen des Dienstes und die Verwendbarkeit der Masken besser einschätzen zu können, wurde eine Validierung ausgewählter Testflächen durchgeführt. Eine umfassende, rückblickende, deutschlandweite Validierung des Dienstes war nicht realisierbar aufgrund von fehlenden Referenzdaten. Vor allem in der Vergangenheit vor dem definierten Umbruchsverbot wurden Umbrüche kaum dokumentiert. Im Projekt standen demnach lediglich Datensätze zur Verfügung, auf denen ein Umbruch und damit ein vom Satelliten aus sichtbarer offener, vegetationsloser Boden eher unwahrscheinlich ist. Eine Identifikation von offenem Boden ist hier als eine Falschklassifikation zu interpretieren. Dieser Anteil sollte möglichst gering sein. Die in den folgenden beiden Kapiteln gezeigten Vergleiche decken jeweils die Jahre 2018 bis 2022, bzw. 2019 bis 2022 ab.

5.1. Vergleich mit LRT Flächen

Für eine erste Abschätzung der Ergebnisse des Offenbodendienstes dienen Informationen zur räumlichen Verbreitung der Lebensraumtypflächen (LRT). Vor allem die LRT Flächen 6510 (Magere Flachland-Mähwiesen) sind für die Validierung von besonderem Interesse. Hier kommt es nur in Ausnahmefällen zu Bearbeitungsmaßnahmen, die offenen, vegetationslosen Boden zur Folge haben. Für die Validierung standen LRT Flächen von Brandenburg (BB), Baden-Württemberg (BW), Bayern (BY), Mecklenburg-Vorpommern (MV), Niedersachsen (NI), Nordrhein-Westfahlen (NW), Schleswig-Holstein (SH) und Sachsen (SN) zur Verfügung.

Flächen mit gefundenem offenem Boden deuten auf eine Falschklassifikation des Offenbodendienstes hin, da nur in seltenen Ausnahmefällen Umbrüche, die offene Böden induzieren, vor allem nach dem Umbruchsverbot, auftauchen dürfen. Tabelle 2 zeigt die jährlichen prozentualen Anteile an LRT 6510 Flächen auf denen offener Boden pro Bundesland erfasst wurde. Bis auf wenige Ausnahmen zeigt dieser Vergleich die hohe Erfassungsgenauigkeit, bzw. geringe Falschklassifikation des Offenbodendienstes. Auffallend ist, dass im Jahr 2018 die höchsten Falschklassifikationen identifiziert wurden. Auch das Jahr 2022 zeigt für einen Großteil der untersuchten Bundesländer einen hohen Anteil an Falschklassifikationen.

Tabelle 2: Ergebnisse der Validierung des Offenbodendiensts. Vergleich mit LRT 6510 Flächen in Deutschland.

	BB	BW	BY	MV	NI	NW	SH	SN
LRT 6510 Flächen	263	4594	885	159	276	762	4677	417
offener Boden [%] 2018	9,89	1,24	2,47	0,01	7,33	16,47	5,10	0,48
offener Boden [%] 2019	3,05	0,50	0,90	0,63	2,17	1,32	0,72	0,96
offener Boden [%] 2020	1,15	0,88	0,68	2,53	1,09	1,71	1,02	0,48
offener Boden [%] 2021	1,17	0,22	0,91	2,52	1,25	1,34	0,88	0,48
offener Boden [%] 2022	2,28	1,72	1,55	0,02	2,91	1,18	1,40	0,74

5.2. Vergleich mit Nutzungsdaten (NRW)

Für einen weiteren Vergleich wurden Nutzungsdaten über beantragte und für förderfähig festgestellte Landschaftselemente in Nordrhein-Westfahlen (NRW) verwendet. Die Daten stehen auf Grund der offenen Datenpolitik in NRW historisch bis in das Jahr 2019 zurück kostenfrei zur Verfügung und wurden direkt vom Onlineportal Open.Geodata NRW abgerufen (https://www.opengeodata.nrw.de, 07. August 2024).

In einem ersten Schritt wurden die Daten aufbereitet. Hierfür wurden die Flächen extrahiert, die über die gesamte Zeitreihe dieselbe Geometrie haben, da kein pixelbasierter Validierungsansatz durchgeführt wurde. Anschließend wurden relevante Nutzungsgruppen mit einem passenden phänologischen Zyklus aus dem Datensatz extrahiert (459 – Dauergrünland, 602 – Kartoffeln, 171 – Mais, 132 – Sommergerste, 143 – Sommerhafer, 113 – Sommerhartweizen, 312 – Sommerraps, 122 – Sommerroggen, 603 – Zuckerrüben, 131 – Wintergerste, 142 – Winterhafer, 112 – Winterhartweizen, 311 – Winterraps, 121 – Winterroggen, 115 – Winterweichweizen). Insgesamt konnten so 64.679 Flächen aus dem Datensatz zur Validierung extrahiert werden.

Der Validierungsdatensatz bestand aus 45.419 DGL- und 7.817 Ackerflächen. Davon wurden auf 533 (1,72%) im Jahr 2019, auf 704 (1,56%) im Jahr 2020, auf 90 (0,25%) im Jahr 2021 und auf 1.243 DGL-Flächen (2,74%) im Jahr 2022 offener Boden gefunden. Ähnlich wie beim Vergleich mit den LRT Flächen wird auch im Jahr 2022 der Anteil an offenem Boden am deutlichsten überschätzt. Mit insgesamt

allerdings maximal 2,74% Flächen auf denen offener Boden gefunden zeigt auch dieser Vergleich die Anwendbarkeit des konzipierten Ansatzes basierend auf den SCMaP Daten.

Eine Gegenprobe mit ausschließlich Ackernutzung über den gesamten Beobachtungszeitraum zeigt zudem, dass auf mehr als minimal 96,22% (2021) der Flächen offener Boden gefunden wurde.

Tabelle 3: Ergebnisse der Validierung des Offenbodendiensts. Vergleich mit Informationen über die Nutzung aus NRW.

	DGL	Acker
Flächen	45.419	7.817
offener Boden [%] 2019	1,72	98,14
offener Boden [%] 2020	1,56	97,90
offener Boden [%] 2021	0,25	96,22
offener Boden [%] 2022	2,74	98,37

5.3 Hinweise auf Überschätzung

Eine deutliche Überschätzung der offenen Böden und somit der Hinweise auf Umbrüche von Dauergrünländern, bzw. eine unzureichende Ermittlung des Grünlandalters wurde jeweils am deutlichsten für die Jahre 2018 und 2022 für den Großteil der untersuchten Bundesländer gefunden. Auffallend ist, dass vor allem in diesen Jahren fast flächendeckend hohe Dürreintensitäten im Oberboden (0 – 25 cm) gemessen wurden (UFZ 2024).

Durch die Verwendung der multispektralen Datengrundlage zur Ableitung von offenen Böden ist die Trennung von diesen und nicht photosynthetisch aktiver Vegetation (NPV) (z.B. ausgetrocknete Vegetation, Ernterückstände, etc.) die größte Herausforderung im SCMaP Workflow. Spektral unterscheiden sich die beiden Oberflächenformen nur geringfügig. Falschklassifikationen werden durch eine möglichst konservative Wahl der Grenzwerte zwar weitgehend vermieden, dennoch ist eine komplette Trennung aufgrund der spektralen Ähnlichkeit nicht möglich. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass vor allem in Jahren mit großflächig vorkommender trockener Vegetation die Verwendung der SCMaP Bodenprodukte zur Identifikation von offenen Böden auf jährlicher Analysebasis an Grenzen kommt.

Wie beschrieben ist SCMaP konzipiert, um ein spektrales Komposit aller Pixel, die in einer Zeitreihe von mehreren Jahren unbedeckten Boden zeigen, zu generieren. Anschließend wird dies für großflächige Bodenanalysen hauptsächlich von Ackerstandorten verwendet. Für das spektrale Komposit werden alle einzelnen Vorkommen von offenem Boden über die Zeitreihe gemittelt, sodass einzelne Falschklassifikationen weniger ins Gewicht fallen, als bei der jährlichen Analyse von offenem Boden auf Dauergrünländern. Diese zeigen meist nur zu einem Zeitpunkt im Jahr offenen Boden. Auch können Dauergrünländer aufgrund der Phänologie vor allem in regenarmen Perioden austrocknen und durch das Vorkommen von trockener Vegetation dann fälschlicherweise als offener Boden durch den SCMaP Algorithmus erkannt werden. Für die Zukunft interessant wäre beispielsweise die Ausgabe, wann der offene Boden erkannt wurde, so können die Nutzenden weiter eingrenzen, ob der gefundene offene Boden zeitlich mit einem Umbruch übereinstimmen kann. Auch ist eine durch die Nutzenden zu treffende Auswahl, welche Monate auf offenen Boden hin analysiert werden sollen von Interesse, da so regionsspezifisch Falschklassifikationen zu Zeiten in denen beispielsweise eine spektrale Trennung von Boden und trockener Vegetation nicht möglich ist, ausgeschlossen werden.

Die gezeigten Ergebnisse aus den Kapiteln 5.1 und 5.2 zeigen allerdings, mit den genannten Einschränkungen, grundlegend ein hohes Potential der Anwendbarkeit der SCMaP Bodenprodukte zur

Identifikation von offenen Böden auf Dauergrünländern mit dem Ziel Aussagen über Umbrüche oder das Grünlandalter zu treffen.

6. Sonstiges

Im Folgenden werden stichpunktartig Informationen, die während der Konzeptionierung des Offenbodendienstes gewonnen wurden, welche aber nicht wesentlich für die Umsetzung des Dienstes waren, aufgezählt:

- Für die Jahre 2018 bis 2020 stehen sowohl Sentinel-2 als auch Landsat Komposite zur Verfügung. Da Sentinel-2 eine höhere räumliche Auflösung bietet und durch die Verwendung der Zwillingssatelliten auf mehreren Inputszenen basiert, wurde entschieden, für diese drei Jahre die Sentinel-2 Komposite zu verwenden.
- In die Sentinel-2 Komposite gehen ganzjährig Daten ein, während für die Landsat Komposite die Monate Januar und Dezember exkludiert wurden. Dies wurde hauptsächlich prozessorbedingt entschieden, da zum Konzeptionierungszeitpunkt des Prozessors Falschklassifikationen von Schnee als offener Boden identifiziert wurden. Durch einen Ausschluss der beiden Wintermonate, in denen offener Boden unwahrscheinlich ist, wurden die Falschklassifikationen umgangen.
- Vom DLR wurde explizit darauf hingewiesen, dass die zur Verfügung gestellten Daten für den hier angedachten Einsatzzweck nicht optimiert wurden und es sich lediglich um Nebenprodukte des Prozessors handelt. Konkret ist die Bodenmaske nicht optimiert darauf, ein möglichst genaues Abbild landwirtschaftlich genutzter Flächen zu ermitteln. Um diese Tatsache auch für die Nutzenden des Dienstes transparent zu machen, wurde dies in der Dokumentation erwähnt.
- Die Datensätze, v.a. die Komposite auf Basis von Sentinel-2 Daten, sind teilweise mit vorläufigen Prozessierungsversionen generiert und können während der Projektlaufzeit bzw. darüber hinaus neu bereitgestellt werden, was eine erneute Implementierung der Rohdaten in den Algorithmus bedeutet. Auf die Benutzung des Dienstes wiederum sind keine Auswirkungen zu erwarten.
- Die Landsat basierten SCMaP Daten stammen vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum
- Die Daten liegen in unterschiedlichen Koordinatensystemen vor (Sentinel-2: ESPG:3035; Landsat: ESPG:4326). Wie beschrieben wurde auf eine Umprojizierung verzichtet.

7. Zitierhinweis

Zepp, S., Holtgrave, A.-K., Jilge, M. (2024): CopGruen – Offenbodendienst. Ein Verbundprojekt von Bful, LANUV, LfU Schleswig-Holstein, RLP AgroScience, Thünen Institut, TU Berlin.

Bei Verwendung des Dienstoutputs müssen folgende Methodenpaper zitiert werden:

Rogge, D., Bauer, A., Zeidler, J., Mueller, A., Esch, T., & Heiden, U. (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, 1-17. (SCMaP - Landsat)

Heiden, U., d'Angelo, P., Schwind, P., Karlshöfer, P., Müller, R., Zepp, S., Reinartz, P. (2022). Soil reflectance composites—improved thresholding and performance evaluation. Remote Sensing, 14(18), 4526. (SCMaP - Sentinel-2)

Literatur

Castaldi, F. (2021). Sentinel-2 and Landsat-8 multi-temporal series to estimate topsoil properties on croplands. *Remote Sensing*, *13*(17), 3345.

Dvorakova, K., Heiden, U., Pepers, K., Staats, G., van Os, G., & van Wesemael, B. (2023). Improving soil organic carbon predictions from a Sentinel–2 soil composite by assessing surface conditions and uncertainties. *Geoderma*, *429*, 116128.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2024): Anomalie der Sonnenscheindauer. https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2023/1/14.html (zuletzt abgerufen: 16.09.2024)

Heiden, U., d'Angelo, P., Schwind, P., Karlshöfer, P., Müller, R., Zepp, S., ... & Reinartz, P. (2022). Soil reflectance composites—improved thresholding and performance evaluation. *Remote Sensing*, *14*(18), 4526.

Rogge, D., Bauer, A., Zeidler, J., Mueller, A., Esch, T., & Heiden, U. (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*, 1-17.

UFZ – Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (2024). Dürremonitor Deutschland – Dürren 1952 – 2023 (jährlich). URL: https://www.ufz.de/index.php?de=47252 (zuletzt abgerufen: 16.09.2024).

Zepp, S., Jilge, M., Metz-Marconcini, A., & Heiden, U. (2021). The influence of vegetation index thresholding on EO-based assessments of exposed soil masks in Germany between 1984 and 2019. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *178*, 366-381.

Zepp, S., Heiden, U., Bachmann, M., Möller, M., Wiesmeier, M., & van Wesemael, B. (2023). Optimized bare soil compositing for soil organic carbon prediction of topsoil croplands in Bavaria using Landsat. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *202*, 287-302.