

# Offenlandmonitor Mahddienst- technische Dokumentation

V3 – Oktober 2024

Ann-Kathrin Holtgrave

**Vorläufige Ansprechpersonen:**

Technische Fragen: Felix Kessler LUP GmbH; Felix.Kessler@lup-umwelt.de

Fachliche Fragen: Matthias Herkt LANUV NRW; Matthias.Herkt@lanuv.nrw.de

## Inhalt

- 1. Einleitung ..... 2
- 2. Daten ..... 2
  - 2.1. Anwendungsgebiet (räumlich) ..... 2
  - 2.2. Satellitendaten ..... 3
  - 2.3. Referenzdaten ..... 3
- 3. Methode und Funktionsweise ..... 5
  - 3.1. Technische Umsetzung des Dienstes ..... 5
  - 3.2. Pixelbasierte Mahdkarten ..... 5
  - 3.3. Aggregation auf Polygone ..... 7
    - 3.3.1. Bearbeiten der Eingangsdaten ..... 7
    - 3.3.2. Aggregierte Mahdinformationen ..... 8
    - 3.3.3. Mahdzeiträume ..... 8
    - 3.3.4. Mahdhäufigkeit ..... 9
    - 3.3.5. Qualitätsmetriken ..... 9
- 4. Output ..... 10
- 5. Validierung ..... 14
  - 5.1. Vergleich Grünlandmaske mit Offenland-LRT Flächen ..... 14
  - 5.2. Pixelbasierte Mahdereignisse ..... 14
  - 5.3. Aggregation ..... 14
- 6. Fehlerquellen / Einschränkungen ..... 16
- 7. Zitierhinweis ..... 17
- Literatur ..... 17

## 1. Einleitung

Der Mahd-Dienst ist eine mit und für Landesumweltämter konzipierte deutschlandweit verfügbare satellitengestützte Web-Anwendung zur Erfassung der Mahdhäufigkeit sowie wahrscheinlicher Mahdzeiträume auf Grünlandflächen. Eine kurze Einführung finden Sie im Read Me. Dieses Dokument beinhaltet die technische Dokumentation des Dienstes.

Die Intensität der Grünlandnutzung hat einen großen Einfluss auf die Biodiversität, die Artenzusammensetzung, die Bodengesundheit, die Kohlenstoffbindung und die landwirtschaftliche Produktivität des Grünlands. Ein wichtiger Indikator für die Nutzungsintensität ist die Mahdhäufigkeit, die durch satellitengestützte Fernerkundung erfasst werden kann. Darüber hinaus ist der Zeitpunkt der ersten Mahd entscheidend für effektive Naturschutzmaßnahmen. Aus Sicht des Naturschutzes ist die Wertigkeit von Dauergrünland (DGL) eng an die Art der Nutzung und den Grad der Nutzungsintensität vor allem von Wiesen gekoppelt. Die Kenntnis über die räumliche und zeitliche Dynamik dieser beiden Indikatoren kann demnach sowohl Kontrollaufgaben im Vertragsnaturschutz unterstützen als auch über die Schutzgebietsgrenzen hinaus zur Bewertung von Grünlandflächen für eine künftige Besserstellung im Rahmen von Ausgleichsmaßnahmen beitragen.

Eine Differenzierung nach intensiver und extensiver Nutzung des Grünlandes geht vielfach zusammen mit einer mehr oder weniger guten Versorgung mit Nährstoffen und Bodenwasser. Dieser Zusammenhang spiegelt sich somit auch in der Produktivität der Wiese wider und ermöglicht es, als Indikator für die Intensität der Nutzung die Schnittzeitpunkte sowie die Schnitthäufigkeit heranzuziehen. Darüber hinaus lassen sich durch die Auswertung der Nutzungsintensität schließlich die aus Sicht der Biodiversität und des Klimaschutzes bedeutendsten, sehr langjährig extensiv genutzten Wiesen identifizieren, die sich für Agrarförderung oder Schutzgebietsausweisungen anbieten und als Kernflächen für einen Grünland-Biotopverbund gelten können. Ihre räumliche Verteilung und mögliche Entwicklungskorridore können unmittelbar für die Landschaftsplanung und die Agrarförderung eingesetzt werden.

Zusätzlich können die so identifizierten Flächen als Hilfestellung für die naturschutzfachliche Bewertung von Grünlandflächen dienen. Darüber hinaus können Erkenntnisse über die Mahdzeitpunkte dabei unterstützen optimale Kartierzeitpunkte für Mähwiesen festzulegen. Auch bei der Auswertung und Planung von Insektenmonitoring kann es hilfreich sein zu wissen, wann Bearbeitungen stattgefunden haben.

## 2. Daten

Die für den Mahddienst benötigten Informationen zu Mahdereignissen werden vom Johann Heinrich von Thünen-Institut bereitgestellt und liegen als Raster-Datensatz für die Jahre ab 2017 für alle Grünlandflächen Deutschlands vor (Schwieder et al. 2022, 2024). Sie können als Cloud Optimized Geotiffs frei zugänglich abgerufen werden.

### 2.1. Anwendungsgebiet (räumlich)

Der Dienst wurde für eine deutschlandweite Nutzung entwickelt. Begrenzt sind die Ergebnisse auf jährlich erstellten Grünlandmasken (Schwieder et al. 2024b). Dabei werden alle Flächen, die innerhalb der ATKIS Basis-DLM Klassen Ackerland, Grünland, kleine Gehölze, Heideflächen, Moorflächen oder unbegrünte Flächen liegen, jährlich anhand von Sentinel-1, Sentinel-2 und Landsat 8 Zeitreihen sowie weiteren Umweltdaten und einem digitalen Geländemodell zu einer Kulturartenkarte klassifiziert (Blickensdörfer et al. 2021). Für die Mahdkarte werden nur die jährlichen Grünland-Flächen verwendet.

## 2.2. Satellitendaten

Der Dienst basiert auf einem Algorithmus, der Mahdereignisse auf Grundlage von Sentinel-2 A und B Satellitenbilder (S2) des Copernicus-Programms der ESA und Landsat 8 Satellitenbilder des Landsat-Programms der NASA mit einer Auflösung von  $10 \times 10 \text{m}^2$  berechnet (Schwieder et al. 2021, 2022, 2024). S2 hat 13 optische Bänder mit Wellenlängen zwischen 443 und 2202 nm und einer räumlichen Auflösung von 10, 20 oder 60 m. S2 hat eine Wiederholungszeit von 10 Tagen bei denselben Blickwinkeln am Äquator (Thales Alenia Space Team, 2022). Landsat nimmt Bilder in 9 Bändern von 430 bis 1380 nm mit einer Wiederholungszeit von sechs Tagen auf. Mit Ausnahme des panchromatischen Bandes haben die Bilder von Landsat eine räumliche Auflösung von 30 m (United States Geological Survey, 2019). Die Überlappung der verschiedenen Bahnen in höheren Breitengraden ermöglicht dort eine höhere Wiederholungshäufigkeit.

Analysefähige Satellitendaten (Level-2) werden durch einen FORCE-Datenwürfel bereitgestellt (Framework for Operational Radiometric Correction for Environmental Monitoring) (Frantz, 2019). Die S2- und Landsat-Szenen wurden mit Hilfe des FORCE-Verarbeitungssystems radiometrisch und geometrisch korrigiert, neu projiziert und wolkenmaskiert. Während dieses Prozesses wurde die Landsat-Auflösung von 30m auf 10m mittels Nearest-Neighbor-Resampling angepasst.

## 2.3. Referenzdaten

Für die Analyse der Mahdereignisse standen insgesamt 390 Polygonen aus acht in Deutschland verteilten Testgebieten zur Verfügung (Abbildung 1). Je nach Polygon lagen Referenzdaten für ein oder mehrere Jahre zwischen 2017 und 2022 vor. Die Referenzdaten stammen aus unterschiedlichen Quellen, die entweder direkt für das CopGrün Projekt erhoben wurden oder im Zuge anderer Arbeiten zur Verfügung standen. In den meisten Fällen wurden die genauen Mahdtermine für die Flächen geliefert. Für einige Flächen standen wöchentliche Informationen darüber, ob in der Zeit seit dem letzten Besuch eine Mahd stattgefunden hat, zur Verfügung.

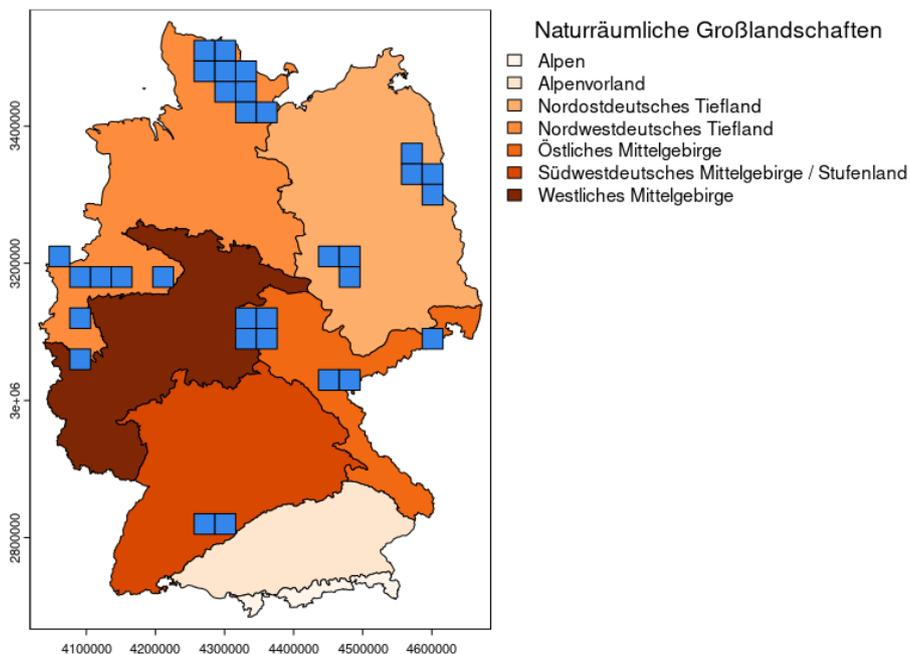


Abbildung 1: Lage der Referenzdaten innerhalb der naturräumlichen Großlandschaften (BfN 2022), für die Mahdtermine oder Mahdzeiträume in mindestens einem Jahr ab 2017 bekannt war (blaue Quadrate). Fast alle naturräumlichen Großlandschaften sind vertreten.

Des Weiteren standen Flächen der Offenland-Lebensraumtypen (LRT) aus zehn Bundesländern mit insgesamt 68 587 Einzelflächen und 614 ha zur Verfügung (Abbildung 2 & 3). Die LRT-Flächen wurden verwendet, um die Überschneidung mit der Mahdkulisse zu überprüfen, um abzuschätzen, für welche LRT der Dienst Daten liefern kann. Die Anzahl an Flächen und die Flächensummen unterscheiden sich stark je nach Bundesland und LRT-Typ. So liegen besonders viele Grünlandflächen in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein vor. Heideflächen lagen vor allem in Nordrhein-Westfalen und Moorflächen besonders in Schleswig-Holstein und Nordrhein-Westfalen vor. Den größten Flächenanteil nahmen dabei die Grünland LRT *Magere Flachland-Mähwiesen* (6510), Heide LRT *Trockene Heiden* (4030) und Moor LRT *Geschädigte Hochmoore (die möglicherweise noch auf natürlichem Wege regenerierbar sind)* (7120).

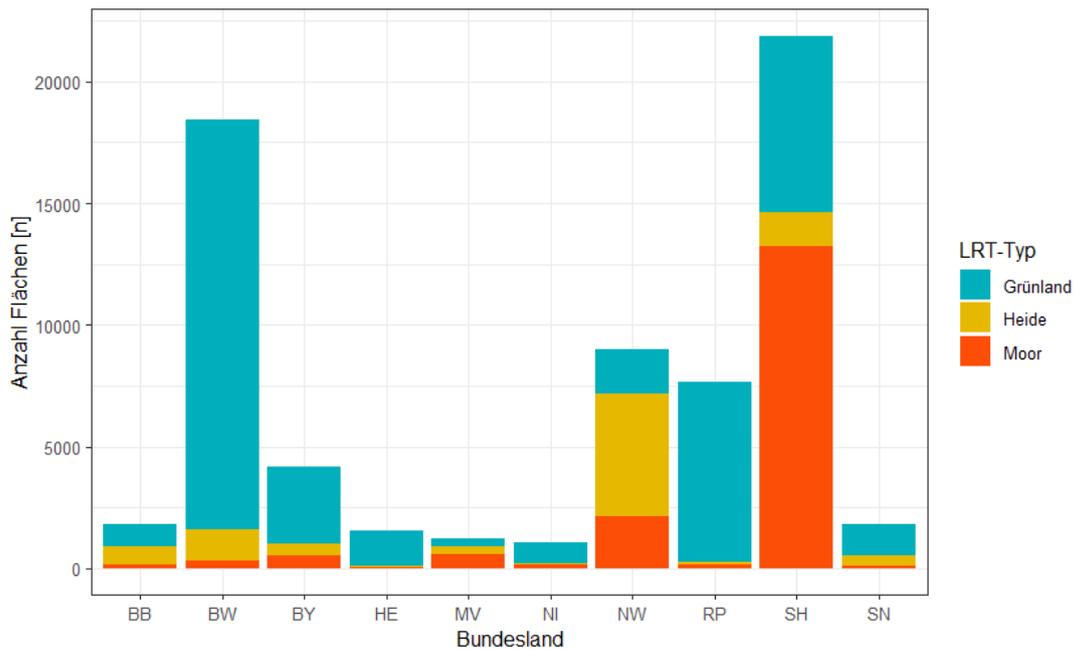


Abbildung 2: Anzahl an LRT Referenzflächen aus den verschiedenen Bundesländern aufgeteilt nach LRT-Typ.

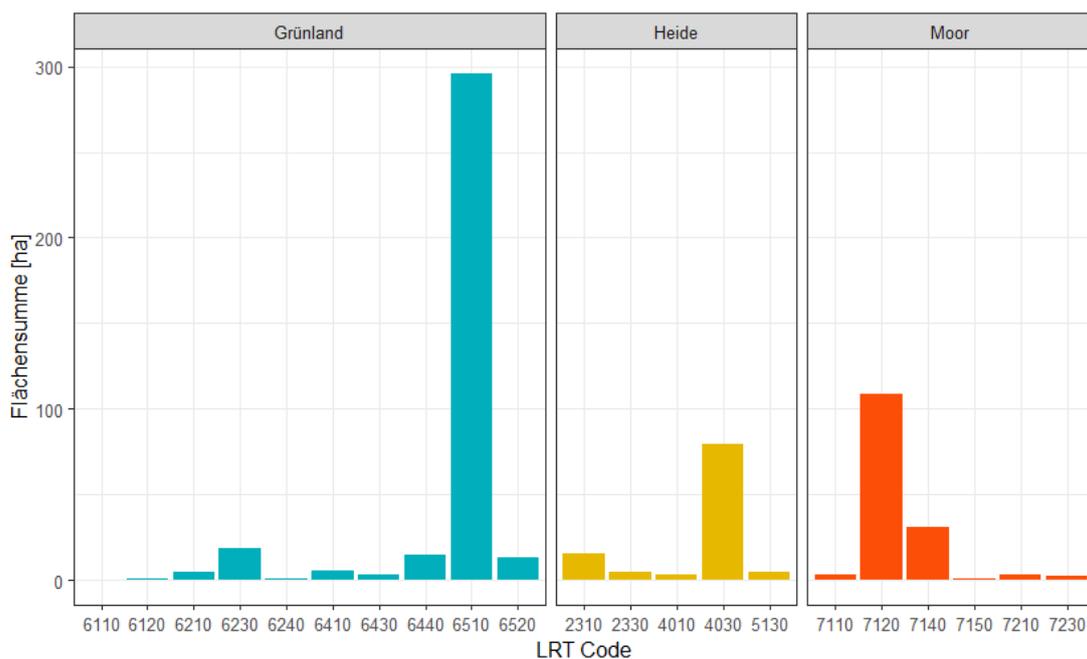


Abbildung 3: Summe aller Flächengrößen der Referenzdaten nach LRT-Code und LRT-Typ in Hektar.

## 3. Methode und Funktionsweise

### 3.1. Technische Umsetzung des Dienstes

Die Nutzenden 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 gängigen Geodatenformaten ESRI Shapefile und 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 ab 2017 möglich. Die Analyse erfolgt immer auf den Zeitraum der Vegetationsperiode beschränkt, die auf den Zeitraum vom 1. März bis zum 15. November festgelegt ist. Außerdem laden die Nutzenden ihre Polygone, für die sie Mahdinformationen wünschen, hoch. Die Angabe einer ID Spalte, die für jede Geometrie eine eindeutige ID beinhaltet, hilft später die Ergebnisse den ursprünglichen Flächen zuzuordnen, ist aber nicht zwingend notwendig.

Die Ergebnisse des Dienstes werden in Form von Polygonattributen ausgegeben. Zu beachten ist, dass die Polygone der Nutzenden Flächen gleicher Nutzung (z. B. Felder, Schläge, Parzellen) enthalten sollten. Ergebnisse für Suchräume wie ganze Landkreise, Bundesländer oder „Bounding Boxen“ können mit diesem Mahddienst nicht berechnet werden.

### 3.2. Pixelbasierte Mahdkarten

Die ausführliche Beschreibung der Methodik für die pixelbasierten Mahdkarten entnehmen Sie bitte Schwieder et al. (2022). Dies ist eine Zusammenfassung.

Alle innerhalb einer Vegetationsperiode von März bis November verfügbaren S2 und Landsat 8 Aufnahmen werden zu einer Zeitreihe von Bildern aufgearbeitet, die eine dichte Zeitreihe von Informationen über den Vegetationszustand in Form des Enhanced Vegetation Index (EVI) ergeben (Huete et al., 2002). Diese Zeitreihen werden verwendet, um Biomasseentnahme zu detektieren. Der Algorithmus von Schwieder et al. (2022, 2024) basiert auf einem pixelbasierten Schwellenwertverfahren. Dabei werden die Mähereignisse in den S2 und Landsat 8 EVI Zeitreihen auf der Grundlage von Residuen aus einer angenommenen ungestörten Phänologie erkannt (siehe Abbildung 4). Ein selbstanpassender Regelsatz ermöglichte es, regionale Variationen in der Phänologie der Landoberfläche und nicht-stationäre Zeitreihen zu berücksichtigen.

In der Mitte der Saison wird nach einem Maximum gesucht. Dieses wird als der absolute maximale EVI Wert in einem Zeitraum definiert, in dem mit maximalem Grünlandwachstum gerechnet wird (hier zwischen: 30. April und 28. August). Anschließend können weitere Maxima mit einem Abstand von mindestens 15 Tagen vor oder nach diesem Maximum identifiziert werden.

Die Maxima werden als Scheitelpunkte einer EVI Zeitreihe verwendet, um zwischen diesen linear zu interpolieren. So wird eine Kurve erzeugt, die sich einer ungestörten Vegetationsperiode annähert. Die Differenz der EVI-Werte zwischen den interpolierten Werten und den ursprünglichen EVI-Werten, die zwischen den Maxima beobachtet wurden, wird berechnet. Zusätzlich wird die Differenz der Werte zweier aufeinanderfolgender Beobachtungen gebildet. Darauf basierend werden im nächsten Schritt Regeln angewendet, die abrupte Wertveränderungen in den Zeitreihen als potenzielle Schnitte qualifizieren. Die Regeln basieren auf adaptiven Grenzwerten und ermöglichen so die Identifizierung von Schnittereignissen trotz regionaler Variationen der Phänologie der Landoberfläche.

Die jährlichen Raster werden innerhalb der Mahdkulisse für ganz Deutschland ausgegeben (Abbildung 5). Der Rasterstack enthält 17 Bänder. Darunter die Anzahl der Mahdereignisse, die maximale Lücke

zwischen zwei Satellitenszenen, das Datum der Mahdereignisse 1-7 sowie weitere Qualitätsparameter pro Pixel (Beispiel in Abbildung 6).

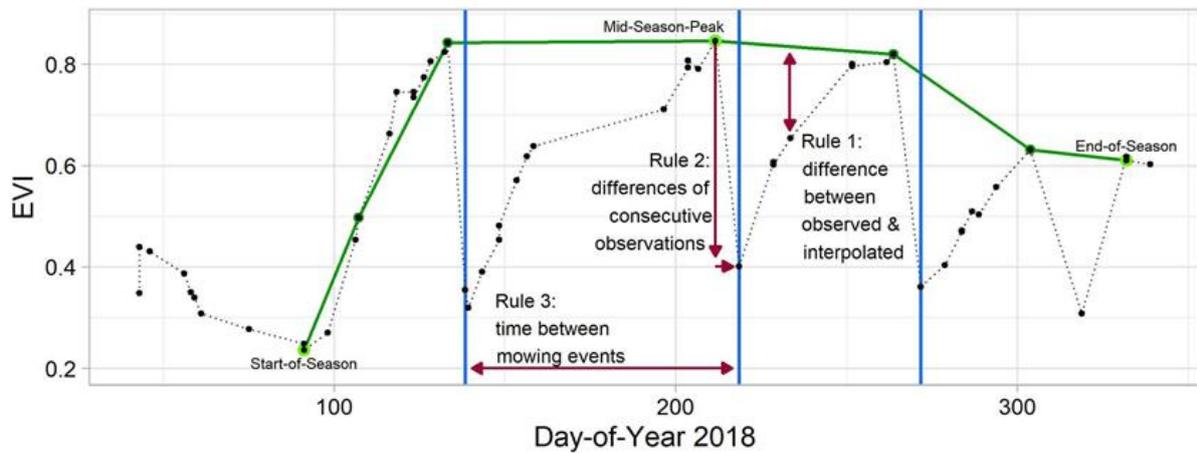


Abbildung 4: Abbildung übernommen aus Schwieder et al. (2022). Beispiel einer Grasland Phänologie, die L8 und S2} aufgenommen und als EVI)-Zeitreihe dargestellt wurde, mit drei erkannten Mahdereignissen (blaue Linien). Die grünen Punkte markieren den definierten Beginn und das Ende der Saison, den Peak in der Grünlandsaisonmitte und die zusätzlichen lokalen EVI)-Maxima. Die grüne Linie zeigt die lineare Interpolation. Bei positiver Bewertung der Regeln eins bis drei wird in Regel vier geprüft, ob zwischen zwei Mahdvorgängen Aufwuchs erkennbar ist. Mahdereignisse, denen ein unnatürlich schneller Aufwuchs folgt, werden durch Regel fünf ausgeschlossen.

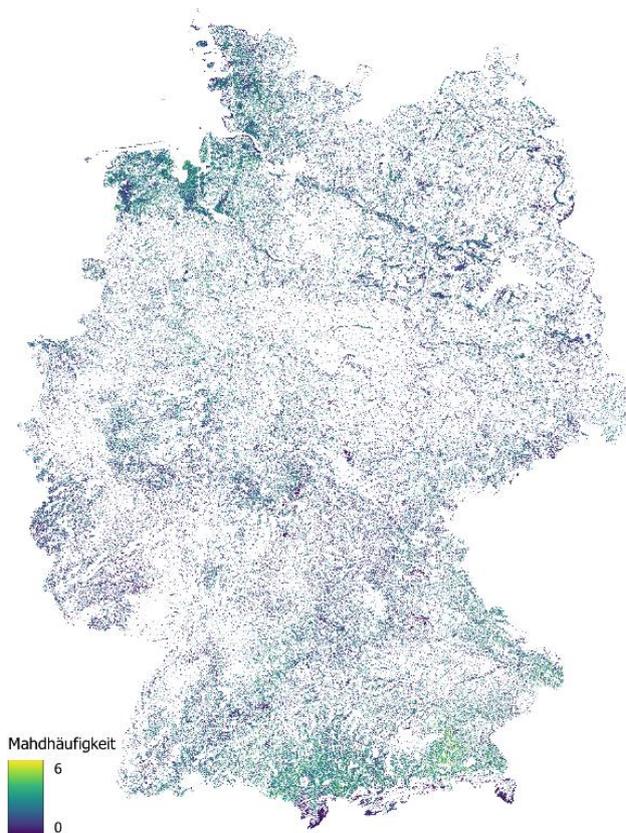


Abbildung 5: Deutschlandweite Darstellung der pixelbasierten Mahdhäufigkeit aus dem Jahr 2020

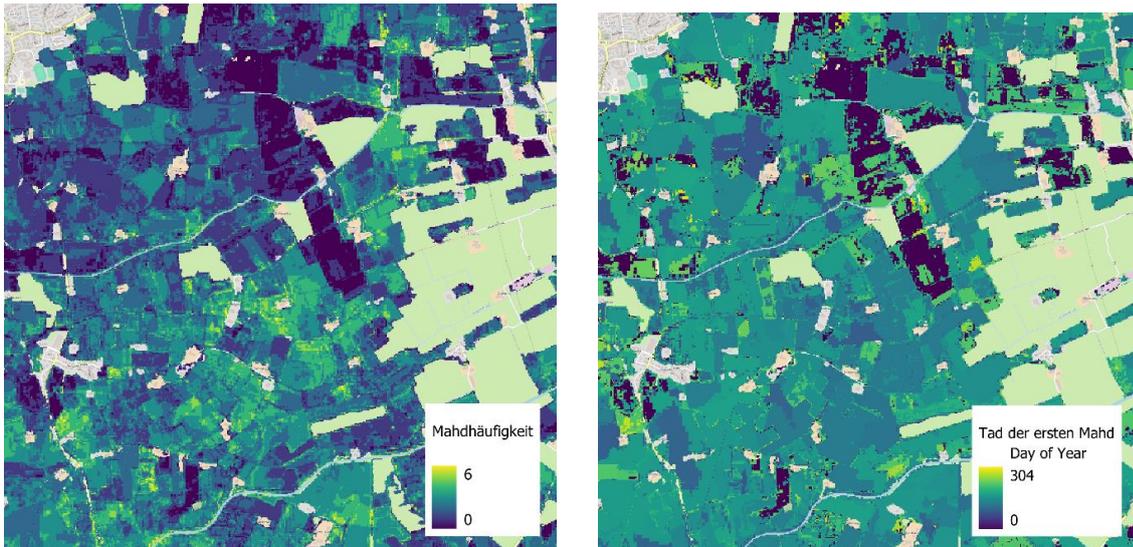


Abbildung 6: Ausschnitt aus der pixelbasierten Mahdkarte mit Mahdhäufigkeit (links) und Tag der ersten Mahd als Tag des Jahres (rechts).

### 3.3. Aggregation auf Polygone

Die pixelbasierten Ergebnisse werden in diesem Mahd-Dienst nicht direkt an die Nutzenden weitergegeben, da eine weitere Aufbereitung auf polygonbezogene Ergebnisse besser in die Arbeitsprozesse in Landesumweltämtern zu integrieren sind. Daher werden die Ergebnisse vor der Weitergabe auf die von den Nutzenden definierten Flächen bzw. die Flächen der Grünlandmaske aggregiert.

In der Prozessierungsumgebung des Offenlandmonitors auf CODE-DE werden nach Upload von Nutzenden-Geometrien über das Frontend im Mahddienst die Geometrien mit den Thünen Mahdkarten wie folgt weiterverarbeitet:

#### 3.3.1. Bearbeiten der Eingangsdaten

Alle Eingangspolygone der Nutzenden werden einer Topologieprüfung unterzogen und bei ungültigen Geometrien ggf. gültig gemacht. Dadurch können die später ausgegebenen Geometrien geringfügig von den Eingangsgeometrien abweichen.

Multipolygone in den Eingangsdaten werden durch den Dienst in einem ersten Schritt in einzelne Polygone zerlegt und im Weiteren eigenständig verarbeitet. Dies führt zu mehreren Ergebnissen pro Multipolygon-Eingangsfläche und pro Eingangs-ID.

Um Randeffekte zu vermeiden, werden die Polygone 10 m nach innen gepuffert. Sehr kleine oder schmale Flächen werden dadurch aus der Analyse ausgenommen. Es findet keine weitere Filterung nach verbleibender Flächengröße statt. Dennoch sollten Sie berücksichtigen, dass Ergebnisse für sehr kleine Flächen weniger verlässlich sind. Sicherere Ergebnisse können ab einer (gepufferten) Flächengröße von 0,25ha erwartet werden. Besonders bei Flächen unter 0,01 ha sollten Ergebnisse als sehr unsicher betrachtet werden. Die Information über die verbleibende Flächengröße sowie eine Einschätzung dieser wird als Attribut in den Ergebnissen mit ausgegeben.

Die Pufferung kann zu neuen Multipolygonen führen. Diese werden in der Analyse jedoch als ein Polygon betrachtet.

Zwischenzeitlich werden die Geometrien in die einheitliche Projektion EPSG:3035 (ETRS89-extended / LAEA Europe) gebracht, vor der Ausgabe an die Nutzer:innen jedoch wieder in die ursprüngliche Projektion zurück projiziert.

Um die genaue Geometrie sichtbar zu machen, dessen Fläche tatsächlich in die Berechnung der Mahdinformationen einging, wird die nach innen gepufferte Fläche mit der oben genannten Grünlandmaske maskiert. Da diese Maske jährlich entsteht, können Ergebnispolygone jedes Jahr etwas anders aussehen. Ebenso können durch diesen Prozessierungsschritt weitere Polygone aus der Analyse rausfallen. Den Nutzenden werden zusätzlich zu den veränderten Ergebnisgeometrien die originalen Geometrien zur Verfügung gestellt, die zu jeder Geometrie die Information enthalten, ob sie in die Analyse eingegangen sind oder aus welchem Grund sie aus der Analyse herausgefallen sind.

### 3.3.2. Voraussetzungen

Die Ergebnisse des Dienstes werden in Form von neuen Polygonattributen ausgegeben. Dafür müssen die pixelbasierten Berechnungsergebnisse auf die Flächenpolygone zusammengefasst werden.

Es müssen dabei folgende Punkte beachtet und sinnvoll in Zusammenhang gestellt werden:

- Ein Mahdereignis auf einer Fläche wird gegebenenfalls nicht auf allen Pixeln der Fläche erkannt.
- Durch Unterschiede in der Satellitenbildzeitreihe (lokale Wolken etc.) kann dasselbe Mahdereignis an unterschiedlichen Tagen identifiziert werden.
- Teilflächenmahd kann zu einem ähnlichen Ergebnis führen (Mahdereignisse werden an unterschiedlichen Tagen identifiziert).

So kommt es vor, dass innerhalb einer Fläche verschiedene Tage vorkommen, an denen eine Mahd gefunden wurde. Die Position (erste Mahd, zweite Mahd etc.) kann verschieden sein, auch wenn derselbe Tag gefunden wurde.

Je nach pixelbasierter Information wird die Aggregation angepasst durchgeführt. Für Mahdzeitraum, Mahdhäufigkeit und Fehlermetriken werden unterschiedliche Ansätze verwendet:

### 3.3.3. Mahdzeiträume

Der Algorithmus nach Schwieder et al. (2022) gibt als Ergebnis je Pixel Mahdzeitpunkte aus. Bei diesem Ergebnis handelt es sich jedoch nicht um die tatsächlichen Mahdzeitpunkte, sondern die vom Algorithmus als diese identifizierten. Abhängig von der Dichte der Satellitenbildzeitreihe kann der tatsächliche Mahdtermin einige oder viele Tage früher stattgefunden haben. Daher sollten die ausgegeben Mahdtermine von den Nutzenden als Hinweis für wahrscheinliche Mahdzeiträume betrachtet werden.

Um die einzelnen Mahdereignisse innerhalb eines Polygons zusammenfassen, werden alle Mahdereignisse aller Pixel einer Fläche extrahiert und die prozentualen Anteile an der Gesamtpixelzahl der Fläche berechnet. Als ersten Schwellwert werden alle Termine, die auf unter 10% Flächenanteil kommen, herausgefiltert.

Für eine Fläche können sehr nah aneinander liegende Mahddaten als identifizierte Mahdereignisse vorkommen. Abstände von unter sieben Tagen bzw. unter einem Monat können zwei Bedeutungen haben. Erstens: Aufgrund von Wolkenbedeckung leicht unterschiedlicher Satellitenzeitreihen können Mahdereignisse je Pixel etwas anders identifiziert worden sein. Zweitens: Es hat eine (um wenige Tage verschobene) Teilflächenmahd stattgefunden.

Da der gewählte Algorithmus ohnehin keine Genauigkeit erreichen kann, um beispielsweise für den Vertragsnaturschutz rechtssichere Aussagen zu treffen, ob sich der oder die Landwirt\*in an die Regularien gehalten hat, sondern die Ergebnisse dazu genutzt werden sollen die Nutzungsintensität der Flächen abzuschätzen, wurde im Weiteren das Szenario der Teilflächenmahd außer Acht gelassen und sehr nah beieinander liegende Mahdereignisse als ein Ereignis anzusehen und zusammenzufassen.

Daher werden Mahd-Termine innerhalb einer Fläche, die weniger als 7 Tage Abstand zueinander haben, gruppiert. Der Mittelwert aller Mahddaten dieser Gruppe wird für alle Beobachtungen dieser Gruppe als neuer Mahdtermin gesetzt.

Das ermittelte Mahddatum ist aufgrund von mehreren Faktoren (Lücken in Satellitenzeitreihen, unterschiedliche Zeitreihen der versch. Pixel innerhalb eines Polygons, ...) nur eine ungefähre Annäherung an den tatsächlichen Mahdtermin. Wir haben empirisch ermittelt, dass der wahrscheinlichste Zeitraum der tatsächlichen Mahd zwischen 9 Tagen vor und 5 Tagen nach dem angegebenen Mahdtermin liegt (Abbildung 7).

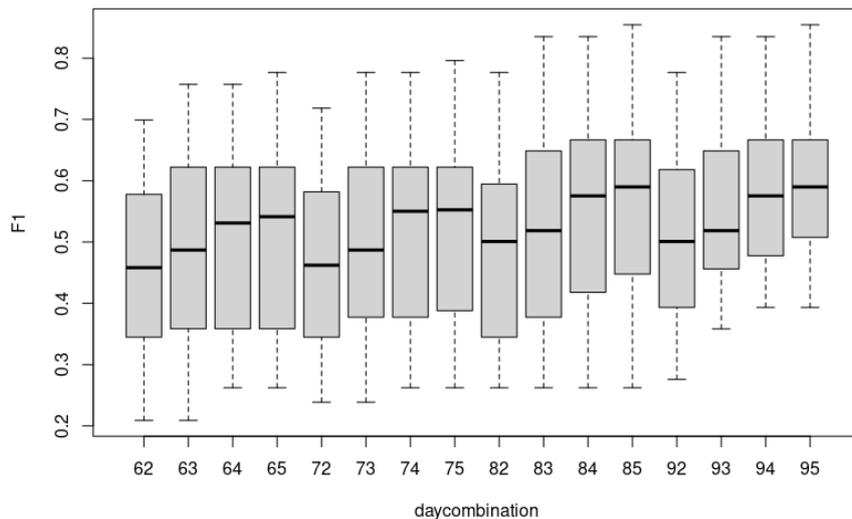


Abbildung 7: Boxplot des F-Score (F1) in Abhängigkeit von der Wahl unterschiedlicher Mahdzeiträume (daycombination). Die erste Zahl beschreibt jeweils wie viele Tage vor dem Mahdereignis zu dem Mahdzeitraum zählen, die zweite Zahl entsprechend wie viele danach.

Die Summe der generierten Mahdtermine wird ebenfalls angegeben. Bei einer unerwartet hohen Zahl bzw. großen Abweichung zur Mahdhäufigkeit (s.u.) kann davon ausgegangen werden, dass auf der Fläche sehr heterogene Satellitenzeitreihen der Pixel oder Teilflächenbewirtschaftung vorlagen.

### 3.3.4. Mahdhäufigkeit

Die Mahdhäufigkeit pro Pixel wird bereits in den Ursprungsrastern mit angegeben. Falls es innerhalb eines Polygons Pixel gibt, die unterschiedliche Mahdhäufigkeiten anzeigen, werden die jeweiligen Flächenanteile pro Mahdhäufigkeit berechnet und der am häufigsten auftretenden Wert angegeben (Modalwert / majority). Der Flächenanteil, der zu diesem Modalwert geführt hat, wird ebenfalls mit angegeben, wobei relativ niedrige Flächenanteile ebenfalls darauf hinweisen können, dass auf der Fläche sehr heterogene Satellitenzeitreihen der Pixel oder Teilflächenbewirtschaftung vorlagen.

### 3.3.5. Qualitätsmetriken

Es werden mehrere Metriken mit ausgegeben, um die Ergebnisse besser einschätzen zu können. Es werden die Größe des Polygons nach Innenpufferung und Ausschließen von Bereichen, die außerhalb der Prozessierungsmaske liegen und Flächenanteile des Polygons, die für das angegebene Mahdereignis gestimmt haben mit angegeben. Außerdem werden verschiedene Informationen zu der Satellitenverfügbarkeit ausgegeben:

- Maximaler Abstand zw. Satellitenszenen
- Minimum Anzahl Satellitenbeobachtungen
- Mittlere Anzahl Satellitenbeobachtungen

Daraus kann abgeleitet werden, ob zum Beispiel Lücken zwischen einzelnen Satellitenszenen so groß sein könnten, dass eine Mahd übersehen worden sein könnte. Bei einer Lücke, die größer ist, als die Zeit die das Grünland braucht, um wieder aufzuwachsen, kann es sein, dass ein Mahdereignis übersehen wird. Diese Zeit kann je nach Nutzungsintensität und Witterung unterschiedlich sein. Die Anzahl der wolkenfreien Szenen kann nur einen groben Hinweis auf die Verlässlichkeit der abgeleiteten Information bieten, da keine Aussagen darüber getroffen werden können, wann wolkenfreie Szenen zur Analyse zur Verfügung stehen oder wann im Jahr Lücken in den Aufnahmen existieren (Abbildung 8). Allerdings deutet eine hohe Anzahl an Szenen eher auf eine Verlässlichkeit der Aussagen, da davon ausgegangen werden kann, dass keine Mahd übersehen wurde. Ab ca. 16 Satellitenszenen kann im Normalfall von einer ausreichenden Abdeckung ausgegangen werden (Schwieder et al. 2022).

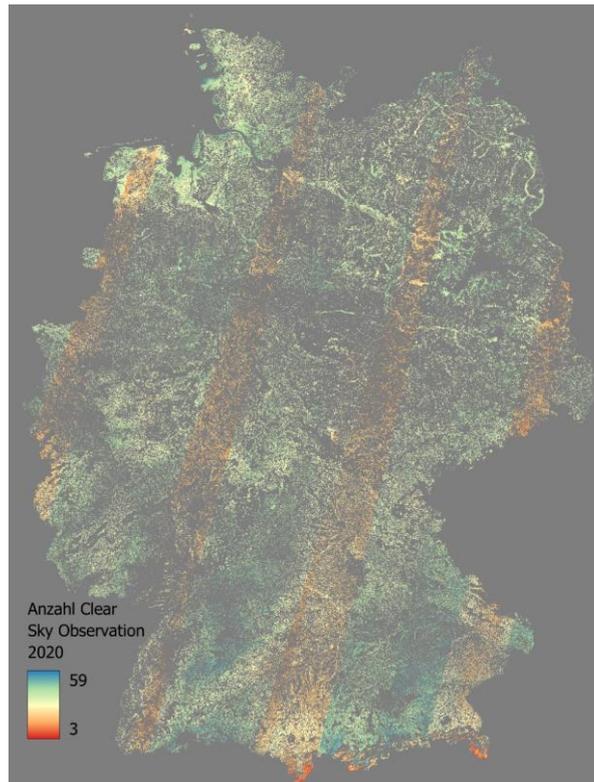


Abbildung 8: Anzahl wolkenfreier Pixel innerhalb der Grünlandkulisse 2020, die zur Berechnung der Mahdereignisse zur Verfügung standen

## 4. Output

Die Nutzenden bekommen als Ergebnis zwei Dateien (sätze) pro Jahr zurück. Die Output Dateien können über die Offenlandmonitor-Plattform heruntergeladen werden. Teile der Ergebnisse können vorab zur Überprüfung in einer Web-Karte betrachtet werden. Eine der Dateien entspricht den hochgeladenen Polygonen mit allen originalen Attributen und zwei neuen Attributen: Eine neue, eindeutige, interne ID [cg\_id] und die Information, ob ein bestimmtes Polygon prozessiert wurde oder ggf. im Laufe der Vorprozessierung ausgeschlossen wurde inklusive des Ausschlussgrundes.

Die zweite Datei enthält die Mahdergebnisse für die prozessierten Polygone. Diese wurden durch die Pufferung um 10 m und zum Teil durch die Übereinstimmung mit der Grünlandmaske verkleinert (Abbildung 9). Da die Maske von Jahr zu Jahr etwas variiert, können auch die Ergebnis-Polygone von Jahr zu Jahr etwas unterschiedlich sein.

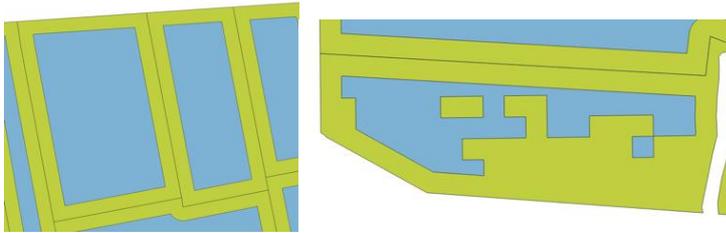


Abbildung 9: Originale Geometrien (grün) und Ergebnisgeometrien (blau).

Die Mahdergebnisse enthalten ebenfalls die neue ID „cg\_id“ und die berechneten Mahd- und Qualitätsinformationen. Die Attribute werden in Tabelle 1 genauer beschrieben.

Tabelle 1: Attributübersicht für die beiden Output Dateien, die den Ergebnisdateien (Ausgabe A) und den originalen Polygonen entsprechen (Ausgabe B).

Attributname Download*	Attributname Online-Karte	Beschreibung	Ausgabe
Originales ID-Attribut	-	Flächenkennung entsprechend der Eingangs-Datei	A, B
cg_ID	-	Eindeutige ID Zuweisung pro Polygon	A, B
ber_ha	Berechnungs Fläche in HA	Fläche für Berechnung in Hektar	A
groesse	Bewertung Flächengröße	Einteilung der Fläche nach ihrer Größe: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ber_ha &lt; 0,01 "extrem klein" (Ergebnis sehr unsicher)</li> <li>▪ ber_ha &lt; 0,1 "sehr klein" (Ergebnis unsicher)</li> <li>▪ ber_ha &lt; 0,25 "klein" (Ergebnis eher unsicher)</li> <li>▪ ber_ha &lt; 0,5 "ok" (Ergebnis eher sicher)</li> <li>▪ ber_ha &gt; 0,5 "gut"</li> </ul>	A
jahr	Jahr	Ergebnis Jahr	A
anzahl	Mahdhäufigkeit	Mehrheitsvotum (Modalwert) für Mahdanzahl aller gültigen Pixel innerhalb des Polygons; Kann niedriger sein als die Gesamtheit der unter mahd_N aufgeführten Mahdtermine, wenn darunter welche sind, die einen geringen Flächenanteil haben (d.h. der entsprechende Wert bei ant_N ist recht niedrig)	A
ant_anz	-	Prozentsatz (Anteil) an gültigen Pixeln innerhalb der Geometrie, die zu dem Modalwert geführt haben	A
mahd_N**	Datum erste Mahd / Mahd N	potentieller Mahdtermin (durchschnittlicher Mahdtermin aus Gruppe von Pixeln, die Mahdtermine im Abstand von max. 7 Tagen haben)	A
ant_N**	Flächenanteil Mahddatum N	Flächenanteil (%) für das Mahdereignis N (auch für „Brachen“, also N=00)	A

anz_sum	Summe der Mahdereignisse	Anzahl aller gefundenen Mahdtermine innerhalb des Polygons  Ein großer Unterschied zwischen anz_sum und anzahl kann auf eine heterogen genutzte Fläche oder unsichere Ergebnisse hinweisen	A
mx_abst	Maximaler Abstand zw. Satellitenszenen	Maximale Lücke zwischen zwei Satellitenbildern pro Polygon in Tagen  Bei einer Lücke, die größer ist, als die Zeit die das Grünland braucht, um wieder aufzuwachsen, kann es sein, dass ein Mahdereignis übersehen wurde. Diese Zeit kann je nach Nutzungsintensität und Witterung unterschiedlich sein.	A
min_cso	Minimum Anzahl Satellitenbeobachtungen	Minimale Anzahl an Satellitenbildern, die in die Berechnung mit eingegangen sind („Clear Sky Observation“  Ab ca. 16 Satellitenszenen kann im Normalfall von einer ausreichenden Abdeckung ausgegangen werden.	A
mit_cso	mittlere Anzahl Satellitenbeobachtungen	Durchschnitt Anzahl an Satellitenbildern, die in die Berechnung mit eingegangen sind	A
proz_JJ	-	Information ob dieses Polygon prozessiert wird, zu klein ist oder außerhalb der Prozessierungsmaske lag. JJ steht für das jeweilige Jahr	B

\* Die Attributnamen müssen abgekürzt ausgegeben werden, da ArcGIS nur mit kurzen Spaltennamen umgehen

\*\* N = laufende Nummer des detektierten Mahdereignisses

Abbildung 10 zeigt die Aggregation des pixelbasierten Mahd-Rasters auf Polygone beispielhaft für die Mahdhäufigkeit. Es ist zu erkennen, dass die Ergebnis-Polygone 10 m nach innen gepuffert sind und teilweise auf die Mahd-Maske zugeschnitten sind.

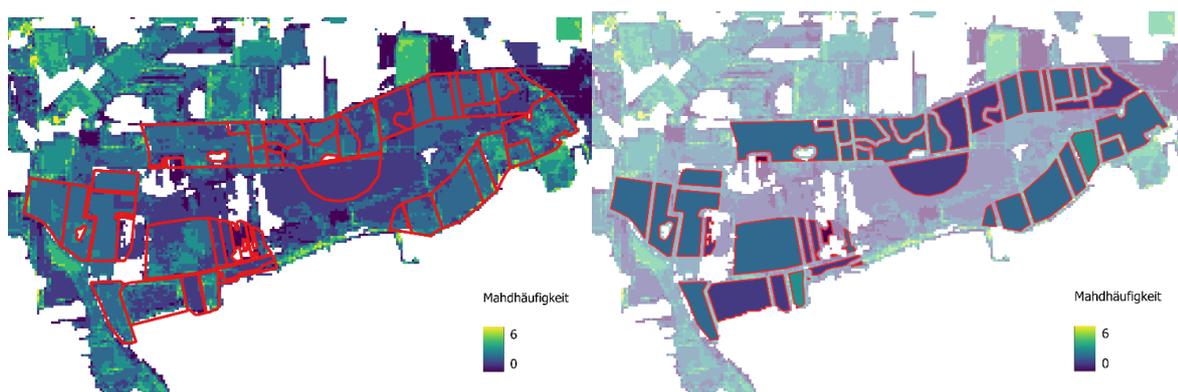


Abbildung 10: Aggregation der Mahdhäufigkeit vom pixelbasierten Raster (links) zu polygonbasierter Ausgabe (rechts)

Die Tabelle 2 zeigt ein Beispielergebnis für ein Polygon. Es kann folgendermaßen interpretiert werden:

- Die Fläche des Polygons, die zur Berechnung des Ergebnisses verwendet wurde ist 0,23 ha [ber\_ha]

- Diese Flächengröße wird von uns als „klein“ eingestuft. [groesse] D.h. die Anzahl an Pixeln, die zu diesem Ergebnis führen ist möglicherweise klein (1 Sentinel Pixel = 10x10m<sup>2</sup> = 0,01 ha → max. 23 Pixel). Diese Beurteilung ist nicht als absolut anzusehen – so beinhaltet z.B. ein quadratisches Polygon mehr komplette Pixel als ein gleich großes schmales, langes Polygon. Dies kann eine Begründung bei uneindeutigen Ergebnissen sein.
- Das Ergebnis liegt für das Jahr 2020 vor [jahr]
- Für die Mehrzahl aller Pixel innerhalb des Polygons wurde genau 1 Mahd gefunden [anzahl]
- 100 % aller Pixel führten zu dem Mehrheits-Vote von 1 Mahd [ant\_anz]
- Es gab kein Pixel, auf dem keine Mahd gefunden wurde [ant\_00]
- Um den 22.06.2020 herum wurden auf 100 % der Fläche eine Mahd gefunden [mahd\_01 & ant\_01]
- Es wurde kein weiterer Mahdtermin gefunden [mahd\_02 ff.]
- Die Summe aller gefundenen Mahdtermine entspricht 1 [anz\_sum].
- Der maximale Abstand zwischen 2 Satellitenszenen innerhalb der verwendeten Zeitreihe für dieses Polygon ist 23 Tage [mx\_abst]
- Die minimale Anzahl an wolkenfreien Szenen pro Pixel, die für das Ergebnis dieses Polygons verwendet wurden, ist 45 [min\_cso], was hier auch der mittleren Anzahl an wolkenfreien Szenen (Clear Sky Observation) für dieses Polygon entspricht [mit\_cso]. Die drei Qualitätsparameter [mx\_abst, min\_cso, mit\_cso] lassen die Annahme zu, dass die Satellitenzeitreihe gut für die Analyse geeignet war und wahrscheinlich kein Mahdereignis verpasst wurde.
- → Für dieses Polygon kann davon ausgegangen werden, dass eine einzige Mahd im Mahdzeitraum -9/+5 Tage um den 22.06.2020 herum stattgefunden hat

Tabelle 2: Beispielergebnisse für ein Polygon.

Attributname Download*	Wert
cg_id	20
ber_ha	0,23
groesse	klein
jahr	2020
anzahl	1
ant_anz	100
ant_00	NULL
mahd_01	22.06.2020
ant_01	100
mahd_02	NULL
ant_02	NULL
anz_sum	1
mx_abst	23
min_cso	45
mit_cso	45

## 5. Validierung

### 5.1. Vergleich Grünlandmaske mit Offenland-LRT Flächen

Die Grünlandmaske des Thünen Instituts wurde mit den uns vorliegenden Referenzdaten verschnitten. Die Übereinstimmung der Prozessierungsmaske mit vorliegenden FFH Flächen ist in Abbildung 11 zu sehen. Die Abbildung zeigt, dass besonders in den Grünland-LRT Flächen die Maske gut funktioniert. Heide und Moor LRT sind häufig nicht in der Grünlandmaske vertreten. Das bedeutet, dass der Dienst für Heide- und Moorflächen (bis auf *Wacholderheiden* (LRT-Code 5130) und *Kalkreiche Niedermoore* (LRT-Code 7230)) in vielen Fällen keine Ergebnisse liefern kann. Auch für die von felsigen Oberflächen durchzogenen *Kalk-Pionierrasen* (LRT-Code 6110) sind kaum Ergebnisse zu erwarten.

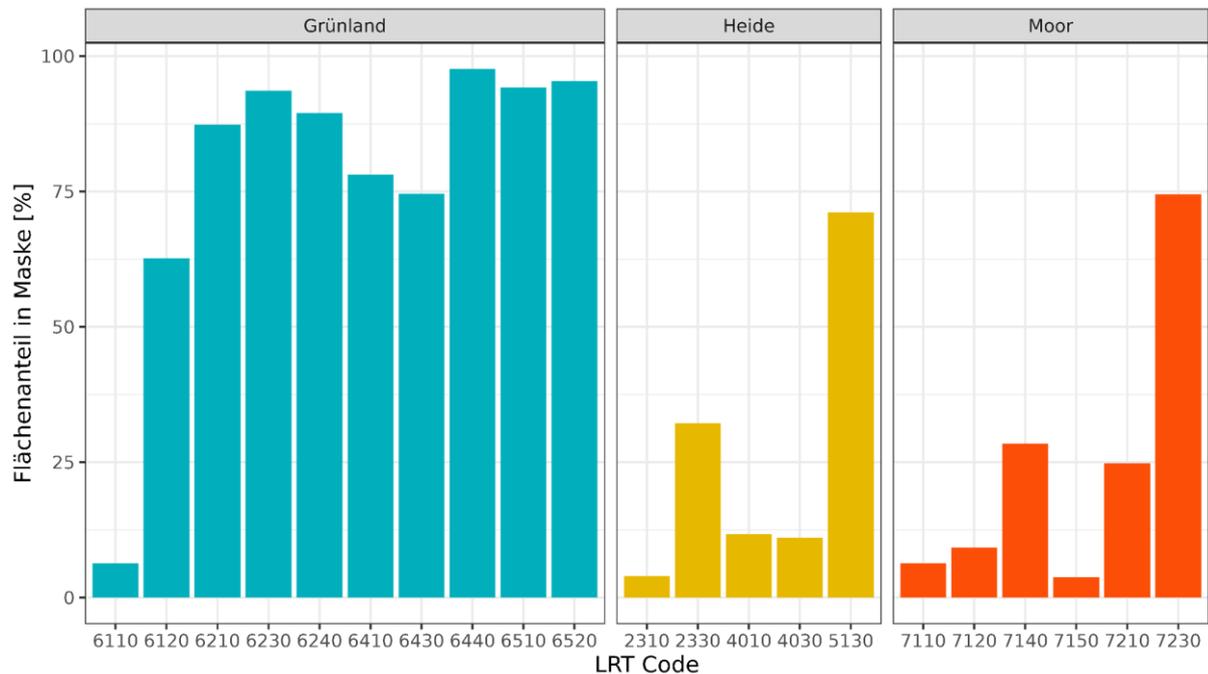


Abbildung 11: Flächenanteile der Referenzflächen, die innerhalb der Thünen-Grünlandkulisse von 2020 liegen in Prozent.

### 5.2. Pixelbasierte Mähereignisse der TI-Mahdkarte

Der mittlere absolute prozentuale Fehler zwischen detektierten und gemeldeten Mähereignissen die hier beschriebene pixelbasierte Methode von Schwieder et al. betrug im Durchschnitt 40% (2018), 36% (2019) und 35% (2020). Mähereignisse wurden im Durchschnitt 11 Tage (2018), 7 Tage (2019) und 6 Tage (2020) nach dem gemeldeten Mähen erkannt.

### 5.3. Aggregation

Das beschriebene Verfahren wurde für die zur Verfügung stehenden Mahd-Referenzflächen getestet. Insgesamt stimmte die Mahdhäufigkeit in 57% der Fälle exakt mit den Referenzdaten überein. In 86% der Fälle stimmte die Mahdhäufigkeit +/- 1 mit den Referenzdaten überein. Bei einer Fehleinschätzung wird in den meisten Fällen die Mahdhäufigkeit um eine Mahd unterschätzt (Abbildung 12). Die Abbildung 13 zeigt eine Unterscheidung der Unter- und Überschätzung der Mahdhäufigkeit je nach tatsächlicher Mahdhäufigkeit der Referenzdaten.

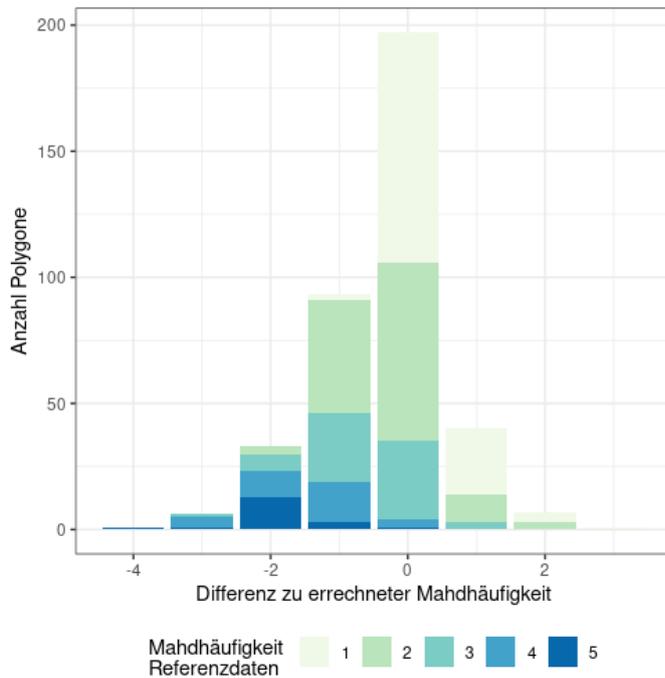


Abbildung 125: Differenz zwischen errechneter und tatsächlicher Mahdhäufigkeit nach Mahdhäufigkeit in den Referenzdaten

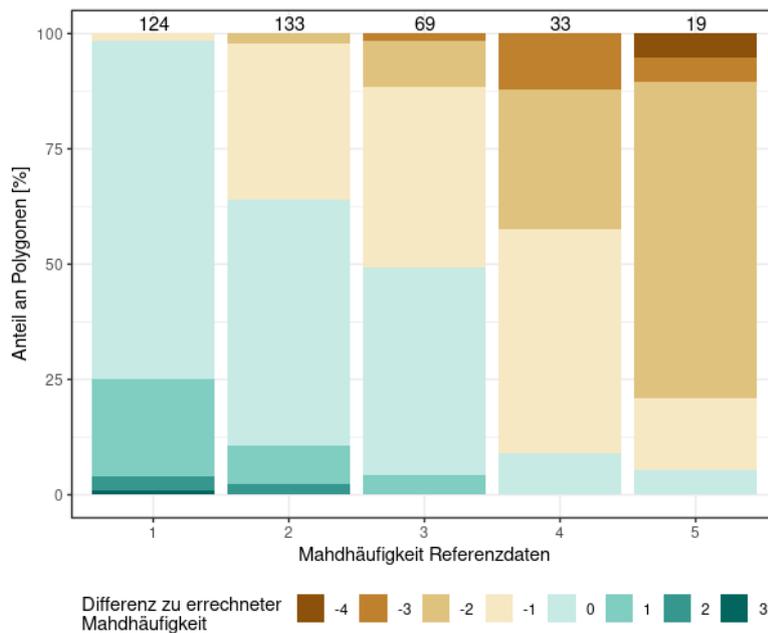


Abbildung 63: Unterscheidung der Unter- und Überschätzung der Mahdhäufigkeit je nach tatsächlicher Mahdhäufigkeit der Referenzdaten

Bei den Berechnungen für die einzelnen Mahdtermine wurde ein Mahdtermin als korrekt anerkannt, wenn das Referenzdatum in dem Mahdzeitraum von -9 und +5 Tage um den berechneten Mahdtermin lag. Wurden in den Referenzdaten keine genauen Mahdtermine, sondern Mahdzeiträume angegeben, wurde der Referenzzeitraum bei Überlappung mit dem errechneten Mahdzeitraum als korrekt anerkannt. Dabei ergab sich eine Sensitivität (Richtig-positiv-Rate) von 0,63, ein positiver Vorhersagewert (Genauigkeit) von 0,58 und ein F1 Wert von 0,62. Der F1-Wert ist bis zu einem gewissen Grad von der Satellitenverfügbarkeit abhängig und verschlechtert sich mit steigender durchschnittlicher maximaler Lücke zwischen zwei Satellitenbildern (Abbildung 14).

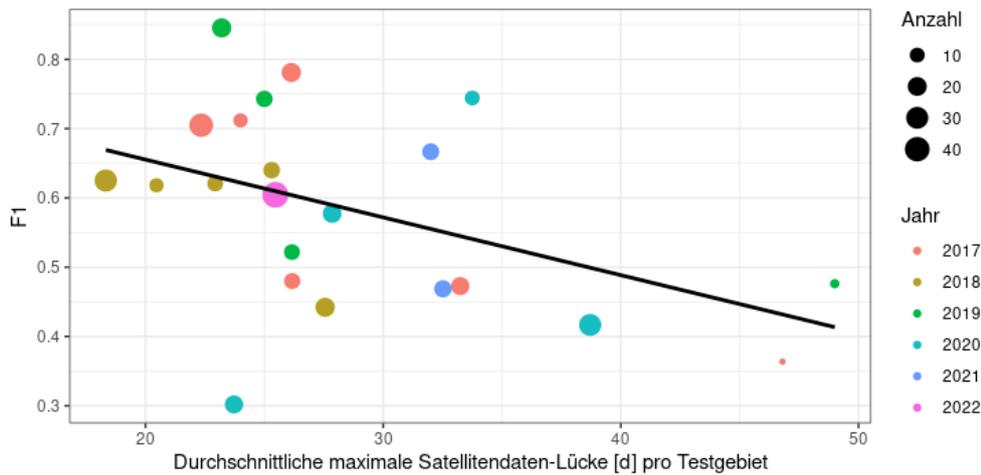


Abbildung 74: Abhängigkeit des F1 Werts bei der Berechnung korrekter Mahdtermine in Abhängigkeit zu der durchschnittlichen maximalen Satellitendaten-Lücke pro Testgebiet

Es zeigt sich, dass die Ergebnisse für Mähweiden deutlich schlechter sind (F-Score Mittelwert von 0,36) als für die Betrachtung von Flächen, die nur gemäht werden (Wiesen; F-Score Mittelwert von 0,62). Dies deutet darauf hin, dass der Algorithmus nicht zwischen einer abrupten Biomassenentnahme durch Mahd oder durch Beweidung unterscheiden kann und somit in solchen Fällen falsche Mahdereignisse identifiziert.

## 6. Fehlerquellen / Einschränkungen

Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei den Mahdereignissen nur um Hinweise auf einen möglichen Zeitraum für Biomasseentnahmen, die in der Regel in dem Mahdzeitraum von -9 und +5 Tage um den berechneten Mahdtermin liegt.

Eine Mahd kann nur dort erkannt werden, wo auch ein Satellitenbild vorhanden ist. Größere Lücken zwischen Aufnahmen führen zu einer verspäteten Erkennung oder, wenn das Gras bereits wieder aufgewachsen ist, zum Verpassen eines Ereignisses. Obwohl in den Satellitenbildern Wolken und Wolkenschatten herausgefiltert wurden, kann es immer vorkommen, dass die Filterung nicht ganz korrekt funktioniert hat. Nicht detektierte Wolken oder Wolkenschatten können das Ergebnis verfälschen und zusätzlich erkannte Mahdereignisse können die Folge sein. Auch Überstau oder Überflutungen auf den Flächen können zu gestörten Satellitensignalen führen und so das Ergebnis verfälschen.

Beweidung – insb. Stoßbeweidung – und Grünlandmahd sowie Mulchmahden etc. sind anhand der genutzten Satellitenzeitreihen nicht zu unterscheiden, da diese nur eine Biomasseentnahme anzeigen kann - nicht jedoch die Methode der Entnahme. Fällt das Delta der Biomasseentnahme sehr klein aus, was insbesondere bei geringem Aufwuchs durch z. B. geringen Niederschlag, bei einem späteren Schnitt oder der Nachmahd der Fall sein kann, kann es vorkommen, dass dieser Schnitt nicht erkannt wird.

Entsprechen die Nutzer-Polygone nicht Flächen einheitlicher Bewirtschaftung, können die Ergebnisse uneindeutig sein.

## 7. Zitierhinweis

Holtgrave, A., Rattay, M. (2024): CopGrün – Mahddienst. Ein Verbundprojekt von Bful, LANUV, LfU Schleswig-Holstein, RLP AgroScience, Thünen Institut, TU Berlin.

### **Bei Verwendung des Dienstoutputs müssen folgende Methodenpaper zitiert werden:**

Schwieder, M., Wesemeyer, M., Frantz, D., Pfoch, K., Erasmi, S., Pickert, J., Nendel, C., & Hostert, P. (2022). Mapping grassland mowing events across Germany based on combined Sentinel-2 and Landsat 8 time series. *Remote Sensing of Environment*, 269, 112795. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112795

Schwieder, M., Lobert, F., Tetteh, G. O., & Erasmi, S. (2024). Grassland mowing events across Germany detected from combined Sentinel-2 and Landsat time series for the years 2017 - 2021 [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.10609590

## Literatur

Blickensdörfer, L., Schwieder, M., Pflugmacher, D., Nendel, C., Erasmi, S., & Hostert, P. (2022). Mapping of crop types and crop sequences with combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat 8 data for Germany. *Remote Sensing of Environment*, 269, 112831

Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2022). Naturräumliche Gliederung (WMS) [Data set]. <https://nokis.mdi-de-dienste.org/trefferanzeige?docuuuid=685e36cd-87a7-4e7c-a780-ab7b19d54115>

Frantz, D. (2019). FORCE—Landsat + Sentinel-2 Analysis Ready Data and Beyond. *Remote Sensing*, 11, 1124

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213. Schwieder, M., Wesemeyer, M. (2021). Mowing detection [Source Code]. <https://github.com/davidfrantz/force-udf/tree/main/python/ts/mowingDetection>. Letzter Zugriff: 16.09.2024

Schwieder, M., Wesemeyer, M., Frantz, D., Pfoch, K., Erasmi, S., Pickert, J., Nendel, C., & Hostert, P. (2022). Mapping grassland mowing events across Germany based on combined Sentinel-2 and Landsat 8 time series. *Remote Sensing of Environment*, 269, 112795. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112795

Schwieder, M., Lobert, F., Tetteh, G. O., & Erasmi, S. (2024). Grassland mowing events across Germany detected from combined Sentinel-2 and Landsat time series for the years 2017 - 2021 [Data set]. Zenodo. DOI: 10.5281/zenodo.10609590

Schwieder, M., Tetteh, G. O., Blickensdörfer, L., Gocht, A., & Erasmi, S. (2024b). Agricultural land use (raster): National-scale crop type maps for Germany from combined time series of Sentinel-1, Sentinel-2 and Landsat data (2022) (Version v201) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10628809>

Thales Alenia Space Team (2022): Sentinel-2 Product Specification. S2-PDGS-TAS-DI-PSD. <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/S2-PDGS-TAS-DI-PSD-V14.9.pdf>.

United States Geological Survey (2019): Landsat 8 (L8). Data Users Handbook.