

Monitoring von blütenreichen Flächen mittels Fernerkundung

SOPHIE PROKOPH¹, JASMIN CHEEMA², ANITA KIRMER³, ANGELA LAUSCH⁴ & LUTZ BANNEHR¹

Zusammenfassung: Seit einigen Jahren werden in der Landwirtschaft gezielt blütenreiche Flächen angelegt, um die Nektar- und Pollenquellen für Bestäuber und andere Nützlinge zur Verfügung zu stellen, Trittsteine in der Landwirtschaft zu schaffen und damit dem Rückgang der Artenvielfalt entgegenzuwirken. Für den Erfolg dieser Maßnahmen ist die Anzahl der etablierten Pflanzenarten und der Blühaspekt über die Vegetationsperiode entscheidend. Dieser Artikel gibt einen Einblick, wie Fernerkundung dabei helfen kann, die Erfolgs- und Effizienzkontrolle, welche bisher mit aufwändigen Vor-Ort-Erfassungen geprüft wird, einfacher zu gestalten. Untersucht wurde einerseits, ob und wie sich blütenreiche Flächen anhand von hochauflösenden RGB-Luftbildern klassifizieren und von anderen Landbedeckungsarten unterscheiden lassen. Die Fernerkundungsdaten wurden mit dem Gyrocopter der Hochschule Anhalt von Versuchsanlagen (Feldraine, mehrjährige Blühstreifen, Buntbrachen) auf und um den Campus Strenzfeld der Hochschule Anhalt (bei Bernburg, Sachsen-Anhalt) erhoben. Das Vorgehen bei der Identifikation von Blühflächen bestand im Wesentlichen aus drei Schritten: Segmentierung, GLCM-Berechnung und Klassifikation. Die Ergebnisse sind als sehr positiv zu bewerten (Overall Accuracy > 0.98), da bei der Klassifikation nur wenige Segmente zwischen den Klassen „Blühflächen“ und „nicht-Blühflächen“ verwechselt wurden. Des Weiteren wurde anhand hochaufgelöster RGB-Daten versucht, den Artenreichtum, die Blütenfarbe und -menge sowie den Einfluss von Gräserreichtum auf die Ergebnisse über eine RGB-Farbraumanalyse abzuleiten. Ebenso sollte geprüft werden, welche Datengrundlage und räumliche Bodenpixelauflösung für die Fragestellungen geeignet sind. Die Ergebnisse zeigen, dass eine qualitative Einschätzung des Blütenreichtums möglich ist; für eine quantitative Einschätzung spielt allerdings die Bodenpixelauflösung eine entscheidende Rolle. Der Artenreichtum blühender Pflanzen korreliert mit der Anzahl der vorkommenden Blühfarben und kann somit grob abgeschätzt werden. Ein hoher Gräserreichtum wirkt sich nicht negativ auf die prozentual ermittelte Blütenmenge aus. Bei der Einschätzung der vorwiegenden Blühfarbe besteht noch Optimierungsbedarf.

1 Einleitung und Stand der Forschung

Seit 1990 wurde in Naturschutzgebieten ein besorgniserregender Biomasserückgang der Fluginsekten von etwa 75 % festgestellt (HALLMANN et al. 2017; SORG et al. 2013; RADA et al. 2018). Als bedeutende Einflussgröße wird die Landwirtschaft gesehen, da eine verstärkte Flächeninanspruchnahme, Monokulturen, der Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln, sowie verändertes

¹ Hochschule Anhalt, FB3 AFG, Bauhausstraße 8, D-06846 Dessau, E-Mail: [Sophie.Prokoph, Lutz.Bannehr]@hs-anhalt.de

² Technische Universität Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Helmholtzstraße 10, D-01069 Dresden, E-Mail: jasmin.cheema@tu-dresden.de

³ Hochschule Anhalt, FB1 LOEL, Strenzfelder Allee 28, D-06406 Bernburg, E-Mail: anita.kirmer@hs-anhalt.de

⁴ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Department Landschaftsökologie, Permoserstraße 15, D-04318 Leipzig, E-Mail: angela.lausch@ufz.de

Flächenmanagement, etc. als Faktoren zusammenwirken (NABU - NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND E.V. 2022).

Heutzutage wird das Landschaftsbild in Deutschland von großen Nutzflächen geprägt, in denen es kaum noch integrierte oder vernetzte Biotope für Pflanzen und Tiere gibt. Diesem Trend versucht man, z. B. durch Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) entgegenzuwirken. In Sachsen-Anhalt wird u. a. die Anlage von mehrjährigen Wildpflanzen-Blühstreifen oder -flächen und Buntbrachen über AUKM subventioniert (FENCHEL et al. 2015). Darüber hinaus können artenarme, grasdominierte Randstrukturen zwischen Wegen und Ackerflächen durch die Ansaat von artenreichen Wildpflanzenmischungen in kräuter- und blütenreiche Feldraine umgewandelt werden, die in ausgeräumten Landschaften eine wichtige Funktion als Verbindungskorridore und Trittsteine übernehmen (KIRMER et al. 2018, 2019).

Der Erfolg der Ansaaten ist abhängig von der verwendeten Saatgutmischung sowie vom Management und kann beispielsweise über die Anzahl und Deckung der angesäten und spontan etablierten Pflanzenarten (Zielarten, Gräser, Ruderalarten, invasive Neophyten) bzw. über die vorkommenden Insektenarten kontrolliert werden (KIRMER et al. 2018; SCHMIDT et al. 2020, 2021).

Mit verschiedenen Fernerkundungstechnologien können Zustände, Zustandsänderungen und Wechselwirkungen von Pflanzeigenschaften (plant traits) großflächig, kontinuierlich und zunehmend harmonisiert erfasst werden (LAUSCH et al. 2016; PAUSE et al. 2020).

Dass sich mit Fernerkundung Vegetationsveränderungen, insbesondere auch bei Blühpflanzen aufzeigen lassen, zeigen folgende Beispiele:

- MÜLLEROVÁ et al. (2013) hat nachgewiesen, dass sich der invasive Neophyt Riesen-Bärenklau (auch als Herkulesstaude bekannt) durch seine riesigen Blütenstände in Satellitenaufnahmen detektieren lässt.
- SMIGAJ und GAULTON (2021) haben mit einer Random Forrest Klassifikation anhand von hochaufgelösten RGB- und multispektralen Daten den Blütenreichtum in Hecken untersucht.
- LANDMANN et al. (2015) hat in afrikanischen Savannen mithilfe von hyperspektraler Satellitenfernerkundung Blühpflanzen kartiert.
- FEILHAUER et al. (2016) konnte unter Einsatz von hyperspektralen airborne Fernerkundungs-Technologien drei verschiedene Bestäubungsarten klassifizieren.

In diesem Artikel wird einerseits eine Möglichkeit aufgezeigt, Blühstreifen/ -flächen anhand von hochaufgelösten Luftbilddaten zu klassifizieren, andererseits wird ein Ansatz vorgestellt, um die Blütenfarbe und -menge abzuleiten. Die Untersuchung erfolgte mittels KI-Klassifikationsalgorithmen, statistischen Verfahren sowie einer RGB-Farbraumanalyse.

Die verwendeten fernerkundlichen Methoden sollen dazu beitragen, die Erfolgs- und Effizienzkontrolle von Ansaaten einfacher zu gestalten. Folgende Fragestellungen wurden dabei bearbeitet und sind Gegenstand des vorliegenden Papers:

- Wie lassen sich blütenreiche Flächen anhand von multisensoralen Luftbildern in einem Gebiet klassifizieren und von anderen Landbedeckungsarten unterscheiden?
- Lassen sich Artenreichtum, Blütenfarbe und -menge anhand hochaufgelöster RGB-Daten ableiten? Hat das Vorhandensein von Gräsern auf diese Erfassung eine Auswirkung?
- Welche Datengrundlage ist für die Fragestellungen notwendig/ausreichend?

2 Untersuchungsgebiet und Datenerfassung

Das Untersuchungsgebiet Strenzfeld liegt in der Nähe von Bernburg in Sachsen-Anhalt, Deutschland (Abb. 1). Hier befinden sich auf bzw. um den Campus Strenzfeld der Hochschule Anhalt verschiedene Versuchsanlagen für Felddraine, mehrjährige Blühstreifen und Buntbrachen (Abb. 2).



Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes als RGB-Orthomosaik.

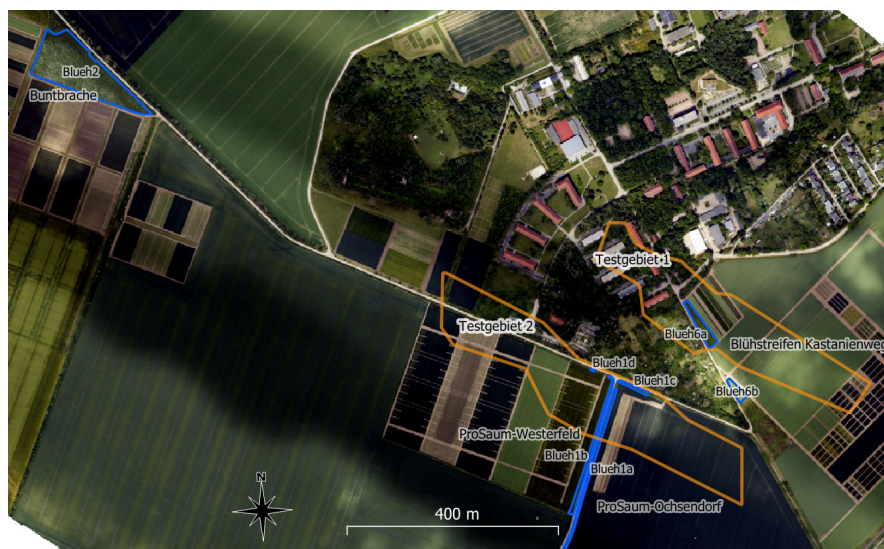


Abb. 2: Lage der ausgewählten Versuchsanlagen für Blühstreifen und -flächen (blau) und Testgebiete (orange). Bei dem Feldrain Blueh1a (ProSaum-Ochsendorf) handelt es sich um einen 2010 angelegten Blockversuch aus sechs Varianten und fünf Wiederholungen, in dem vier Varianten mit einer artenreichen Ansaatmischung aus 49 gebietseigenen Wildpflanzen angesät wurden (Kirmer et al. 2018). Hier wurden die ersten 12 Parzellen betrachtet (im Norden). Blueh1b ist ein 2011 angesäter artenreicher Feldrain. Beide Feldraine beinhalten unterschiedliche Mahdtermine (Mai, Juni, September). Blueh1c und Blueh1d sind kleine Flächen mit Ansaaten. Bei Blueh2 handelt es sich um eine Buntbrache. Blueh6a und Blueh6b sind mehrjährige Blühstreifen neben dem Kastanienweg. Testgebiet 1 beinhaltet Blueh6a. Testgebiet 2 beinhaltet Blueh1c, Blueh1d und Teile von Blueh1a sowie von Blueh1b.

Das Untersuchungsgebiet wurde 2021 zu verschiedenen Zeitpunkten (Mai, Juni, August, September) mit dem Gyrocopter der Hochschule Anhalt befliegen. Der Vorteil dieser Trägerplattform gegenüber Satelliten besteht darin, dass eine wesentlich höhere räumliche Auflösung der Bilddaten erreicht werden kann (sensorabhängig, < 10 cm). Diese ist zwar in der Regel nicht so hoch ist wie bei UAVs (Unmanned Aerial Vehicle), aber im Vergleich dazu ist eine höhere Gebietsabdeckung pro Überflug möglich sowie eine größere Vielfalt an parallel installierter Fernerkundungssensorik möglich.

Der Gyrocopter ist mit einer komplexen Sensorik, wie einem Hyperspektralscanner (HySpex VNIR 1600), einer hochauflösenden 100 Mpix RGB-Kamera (Phase One iXM-100) sowie einer Thermalkamera (FLIR A655sc) ausgestattet (BANNEHR et al. 2021). Die Befliegungen wurden in Flughöhen von 300 m bzw. 500 m durchgeführt, um einzelne Blütenstände, die nur wenige Zentimeter groß sind, erfassen zu können. Mittels eines GPS (Global Positioning System) und einer IMU (Inertial Measurement Unit) können die resultierenden Bilddaten lagegenau verortet werden. Nach einer GPS-Korrektur mit dem Inertial Explorer erfolgte die weitere Datenprozessierung (im Wesentlichen geometrische Entzerrung) mit der Software Agisoft Metashape für die Thermal- und RGB-Daten (getrennt) und mit PARGE für die Hyperspektraldaten.

Für diese Untersuchungen wurden vorerst nur die Daten vom 13. Juni 2021 betrachtet. Während der Befliegung war wechselhaftes Wetter, was sich besonders im RGB-Bild durch verschieden stark belichtete Bereiche widerspiegelt (Abb. 1) und eine Herausforderung bei der Datenauswertung darstellt. Die resultierenden Luftbilder haben die folgende räumliche Auflösung: 4 cm (RGB-Orthomosaik), 20 cm (bildbasiertes digitales Oberflächenmodell, bDOM), ca. 15 cm (Hyperspektraldaten) sowie ca. 65 cm (Thermaldaten). Für die Analysen in dieser Studie wurden zunächst die RGB-Daten herangezogen. Die Hyperspektral- und Thermaldaten sollen aber zukünftig noch bei der Beantwortung weiterer Fragestellungen eingesetzt werden. In Tabelle 1 sind einige weitere Metainformationen zu den verwendeten Luftbildern zusammengefasst. Bei der Genauigkeitsangabe der räumlichen Auflösung ist zu beachten, dass der angegebene Wert ohne Berücksichtigung einer Forward Motion Compensation-Korrektur berechnet wurde und somit die von Metashape berechnete, aber nicht die tatsächliche räumliche Auflösung darstellt.

Tab. 1: Räumliche und radiometrische Auflösung sowie spektraler Bereich für die jeweiligen Bilddaten von der Befliegung am 13.06.2021.

	Räumliche Auflösung		Radiometrische Auflösung	Spektraler Bereich
	Bei 300 m Flughöhe	Bei 500 m Flughöhe		
RGB-Orthomosaik	≈ 4 cm	≈ 5,4 cm, 11 cm	16 bit	rot, grün, blau
bDOM	≈ 8,6 cm	20 cm	-	-

Zudem erfolgten am 15. und 16. Juni 2021 vor Ort Erhebungen von Referenzdaten. Unter anderem wurden Blütenreichtum (BRT), Gräserreichtum (GRT) und Artenreichtum (ART) mittels einer Skala von 0 (kein Vorkommen) bis 5 (sehr häufiges Vorkommen) abgeschätzt sowie die dominanten Blütenfarben und Pflanzenarten, Wuchshöhe und der Mahdstatus dokumentiert.

3 Methodik/Datenanalyse

3.1 Klassifikation blütenreicher Flächen

Bei dem Vorkommen mehrerer Pflanzenarten innerhalb einer blütenreichen Fläche handelt es sich nicht um eine Objektklasse, die auf einer einzelnen spektralen Signatur mit Variationen beruht, sondern um eine Reihe von Klassen, deren Reflexionsverhalten sich massiv voneinander unterscheiden können und die räumlich zusammen vorkommen. Pixelbasierte Methoden, die die benachbarten Pixel bei der Klassenzuweisung nicht beachten, geraten deshalb an ihre Grenzen. Demnach liegt es nahe, den räumlichen Kontext der umliegenden Pixel und somit deren spektrale Information in die Klassifikation mit einzubeziehen. Hier wurden zwei Ansätze ausgewählt, um die relative Lage der Pixel zu berücksichtigen. Der erste besteht darin, eine überwachte objektbasierte Klassifikation basierend auf einem GEOBIO Ansatz durchzuführen (BLASCHKE 2010). Das bedeutet, dass die Aufnahme im Vorfeld in Gruppen von Pixeln aufgeteilt wird, die bis zu einem gewissen Grad homogen sind und von denen ausgegangen wird, dass sie zu einer Klasse gehören (Segmentierung).

Anschließend werden Statistiken für diese Segmente kalkuliert, die dann die Basis für die darauffolgende Klassifikation bilden. In diesem Fall werden Maximal-, Minimal- und Mittelwert sowie die Standardabweichung und der Median berechnet. Da es nur darum geht, die blütenreichen Flächen zu erfassen, handelt es sich um eine One Class Classification (OCC). Das bedeutet, dass es nur zwei Klassen gibt: „Blühfläche“ und „nicht-Blühfläche“. Für die Blühflächen wurden Referenzsegmente manuell ausgewählt, während für die Repräsentation der nicht-Blühflächen zufällig 20 Prozent der restlichen Segmente zum Training verwendet wurden. Die verbleibenden Segmente wurden dann nach dem Training klassifiziert. Als Klassifikationsmethode wurde Support Vector Machines (SVM) gewählt, welche auch bei einer geringen Menge an Referenzdaten anwendbar ist. Außerdem ist sie als nicht-parametrischer Algorithmus nicht auf Klassen mit einer Normalverteilung angewiesen. Als Datengrundlage dienen das RGB-Orthomosaik und das darauf basierende DOM, insgesamt somit vier Eingangskanäle. Letzteres wurde einbezogen, da rein visuell eine mögliche Schwierigkeit in der Unterscheidung von Bäumen und Blühflächen vermutet wurde.

Zum Testen dieses Ansatzes wurden zwei Testgebiete ausgewählt (Abb. 2). Das erste enthält eine artenreiche Blühfläche und das zweite enthält mehrere Flächen, in denen fast keine bzw. wenige Blüten vorhanden sind. Die räumliche Verkleinerung ist auch durch die ressourcenintensiven Aufgaben (Segmentierung/Statistikberechnung) begründet.

Für die Segmentierung wurden die drei Bänder aus dem RGB-Datensatz genommen. Neben diesen und dem DOM wurden noch Texturparameter extrahiert, die ebenfalls in die Klassifikation eingeflossen sind. Für das Generieren von Texturbändern wurde die Grey Level Co-Occurrence (GLCM) Matrix verwendet. Mit dieser Methode können verschiedene Größen, welche die Textur auf unterschiedliche Weisen charakterisieren, ausgegeben werden. Da die möglichen Ergebnisbänder teilweise korreliert sind, wurden lediglich folgende fünf Texturparameter verwendet: Kontrast, Entropie, Mittelwert, Varianz und Korrelation. Diese wurden auf jedes Eingangsband angewendet und ebenso die Statistiken dafür berechnet. Somit ergab sich eine Anzahl von 120 Werten pro Segment ($4(\text{Kanäle}) * 5(\text{Statistik}) + 4(\text{Kanäle}) * 5(\text{Statistik}) * 5(\text{Textur})$).

Das Vorgehen besteht demnach im Wesentlichen aus drei Schritten: Segmentierung, GLCM-Berechnung und Klassifikation.



Abb. 3: Gegenüberstellung eines sehr blütenarmen (Blueh1a_P3, oben), wenig blütenreichen (Blueh1a_P6, Mitte) und sehr blütenreichen (Blueh6a, unten) Gebietes. Zu sehen ist ein RGB-Ausschnitt mit 11 cm (links) und 5,4 cm (Mitte) Auflösung im Vergleich zu einem vor Ort aufgenommenen Foto (rechts).

3.2 RGB-Farbraumanalyse

Es liegt die Vermutung nahe, dass sich Blüten aufgrund der bunten -nicht grünen- Blütenfarben in den sowohl radiometrisch als auch räumlich hochaufgelösten RGB-Luftbildern (als nicht grüne Pixel) erkennen und durch eine RGB-Farbraumanalyse bzw. Darstellung der pixelweisen Farbhäufigkeiten einschätzen lassen. Die Variationen des Blütenreichtums verschiedener Untersuchungsgebiete sind mit bloßem Auge in den Daten sichtbar (Abb. 3). Aus den Blühflächen wurden ein oder mehrere gleichgroße Ausschnitte für die weitere Untersuchung ausgewählt. Es stellte sich heraus, dass die Region Blueh6b stark überbelichtet ist, so dass diese Flächen von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen wurden. Somit verblieben 27 Flächen für die weitere Analyse.

Mit möglichst wenig Aufwand (Rechenzeit, Datenvorbereitung, ...) wurden zwei Möglichkeiten untersucht, über einen Algorithmus sowohl Blütenmenge als auch die überwiegende Blütenfarbe zu ermitteln.

Ein erster Ansatz beruht auf der Idee, sich den RGB-Farbraum als dreidimensionales Koordinatensystem vorzustellen, bei dem die drei Achsen durch die drei Kanäle rot (R), grün (G) und blau (B) gebildet werden. Diese Vorstellung gleicht einem Farbwürfel, bei dem der Nullpunkt dieses Systems schwarz ist, die Ecke mit den Maximalwerten weiß repräsentiert und die übrigen Eckpunkte die Farben rot, grün und blau (entlang der Koordinatenachsen) oder gelb, cyan und magenta abbilden (Abb. 4).

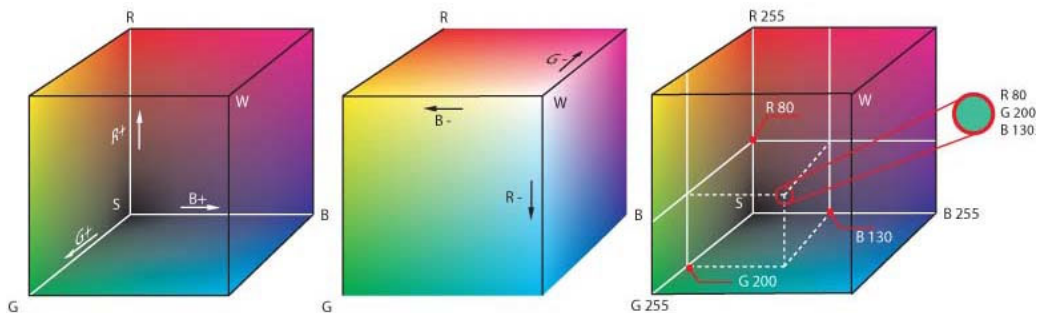


Abb. 4: Darstellung des RGB-Farbraumes als dreidimensionales Koordinatensystem [Bildquelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/RGB_farbwuerfel.jpg]

Es bestand die Annahme, dass blütenreiche Gebiete auffällig viele Punkte im entsprechenden Farbbereich haben. Für diese Untersuchung wurden für jeden der 27 Ausschnitte die Grauwerte pro Kanal jeweils in fünf Klassen (lineare Einteilung) zusammengefasst. Anschließend wurde für jede Klasseneinteilung die Anzahl der hierin vorkommenden Pixel ermittelt. Die Ergebnisse bestehen aus drei Diagrammen pro Ausschnitt, die für die verschiedenen Blickrichtungen die Verteilung und Häufigkeit der Pixelfarben je nach Farbkanal aufzeigen, um zu prüfen wie sich die Farbräume blütenreicher und blütenarmer Gebiete unterscheiden (Abb. 7 bis 9, S. 229f). Dazu wurde die freie Software R verwendet.

Da die Farbräume allerdings nicht der oben aufgeführten linearen Einteilung entsprechen, wurden die Farbräume der in den Pixeln erkennbaren Blütenfarben (rot, weiß, gelb, helllila, hellgelb) aus dem RGB-Orthomosaik abgegriffen (Abb. 5). Vereinzelt blaue Blüten waren in den Pixeln nicht erkennbar.

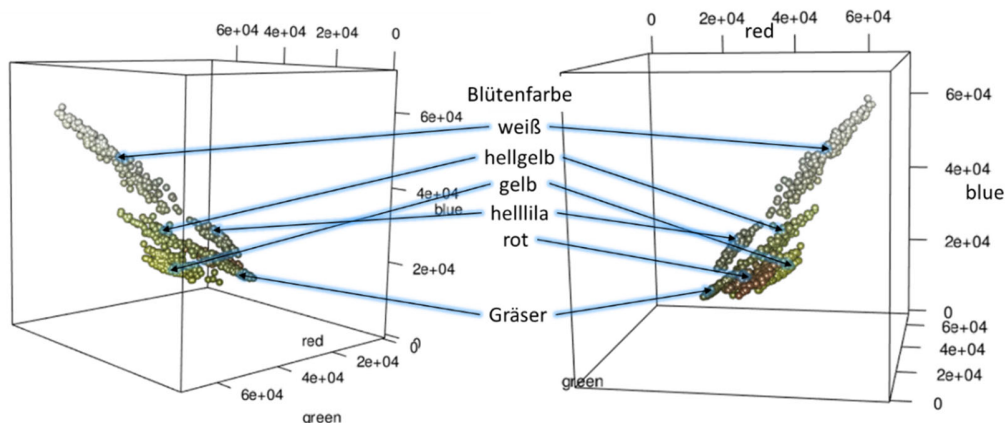


Abb. 5: R-Plot mit Punkthaufen der vorkommenden Blütenfarben und Gräser im 3D-Farbraum. Die Punkthaufen der einzelnen Blütenfarben haben eine ellipsoidische Form.

In einem zweiten Ansatz wurde für die einzelnen 27 Untersuchungsflächen geprüft, welche Pixel innerhalb eines Farbraums (Mittelwert \pm einfache Standardabweichung) liegen. Ermittelt wurden sowohl die Anzahl für alle Farbräume als auch die prozentuale Blütenabdeckung (Verhältnis aus Anzahl der nicht grünen Farbpixel und Gesamtpixelzahl der jeweiligen Untersuchungsfläche). Dies wurde ebenso für den Farbraum der Gräser durchgeführt, um später zu prüfen, ob sich der Gräserreichtum auf die Erfassung von Blütenfarbe und -menge auswirkt.

Die Blütenmenge entspricht der prozentualen Blütendeckung und wurde mit den vor Ort erfassten Werten des Blütenreichtums verglichen. Die vorherrschende Blütenfarbe wurde als richtig gewertet, wenn die meisten Pixel diesem Farbraum zugeordnet werden konnten. Bei zwei vorherrschenden Blütenfarben wurden die beiden Farbräume mit den meisten Pixeln zur Einschätzung herangezogen.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Klassifikation blütenreicher Flächen

Die Resultate für die Segmentierung und die Klassifikation sind in Abb. 6 dargestellt. Die Segmentierung hat sehr gute Ergebnisse gebracht, die zur weiteren Bearbeitung genutzt wurden. Defizite gibt es bei Blueh1a in Bezug auf die Erfassung der kleinen Trennungstücke zwischen den Parzellen. Bei Blueh6a ist nur ein kleiner Bereich am nordöstlichen Rand problematisch, in dem ein Teil der Blühfläche dem Segment des Nachbarschlages zugeteilt wurde. Zur überwachten Klassifikation wurden drei Trainingssegmente aus Blueh6a gewählt, mit dem Ziel die leicht unterschiedlichen Muster aufzugreifen. Eine gleiche Herangehensweise wurde bei den fünf gewählten Segmenten in Testgebiet 2 gewählt.

Beide Klassifikationsergebnisse zeigen eine hohe Overall Accuracy (Testgebiet 1: 0.997, Testgebiet 2: 0.984), unterscheiden sich jedoch in der Quote der richtig erkannten Blühflächen-Segmente, der Producers' Accuracy, (Testgebiet 1: 0.917, Testgebiet 2: 0.571). Das bedeutet, die hohen Zahlen für die Overall Accuracy resultieren, insbesondere für Testgebiet 2, von den richtig erkannten nicht-Blühflächen-Segmenten (Testgebiet 1: 1.0, Testgebiet 2: 0.996). Diese sind in sehr

viel höherer Zahl vorhanden und beeinflussen deshalb die Overall Accuracy positiv. Das deutet möglicherweise auf Overfitting des angewendeten Modells, eine zu starke Anpassung an die Trainingsdaten, hin. Davon unabhängig legt die Tatsache, dass nur ein Segment in Testgebiet 1 falsch klassifiziert wurde, den Verdacht nahe, dass ein hoher Blütenreichtum das Alleinstellungsmerkmal für Blühflächen ist. Eine weitere Schlussfolgerung ist, dass die Klassifizierung von nicht blütenreichen Blühflächen anfälliger für Verwechslungen ist. Ursachen für solche Uneindeutigkeiten können Grasflächen oder Teile von Feldern sein, die ähnliche spektrale Eigenschaften aufweisen aber nicht dieselben Funktionen erfüllen können.

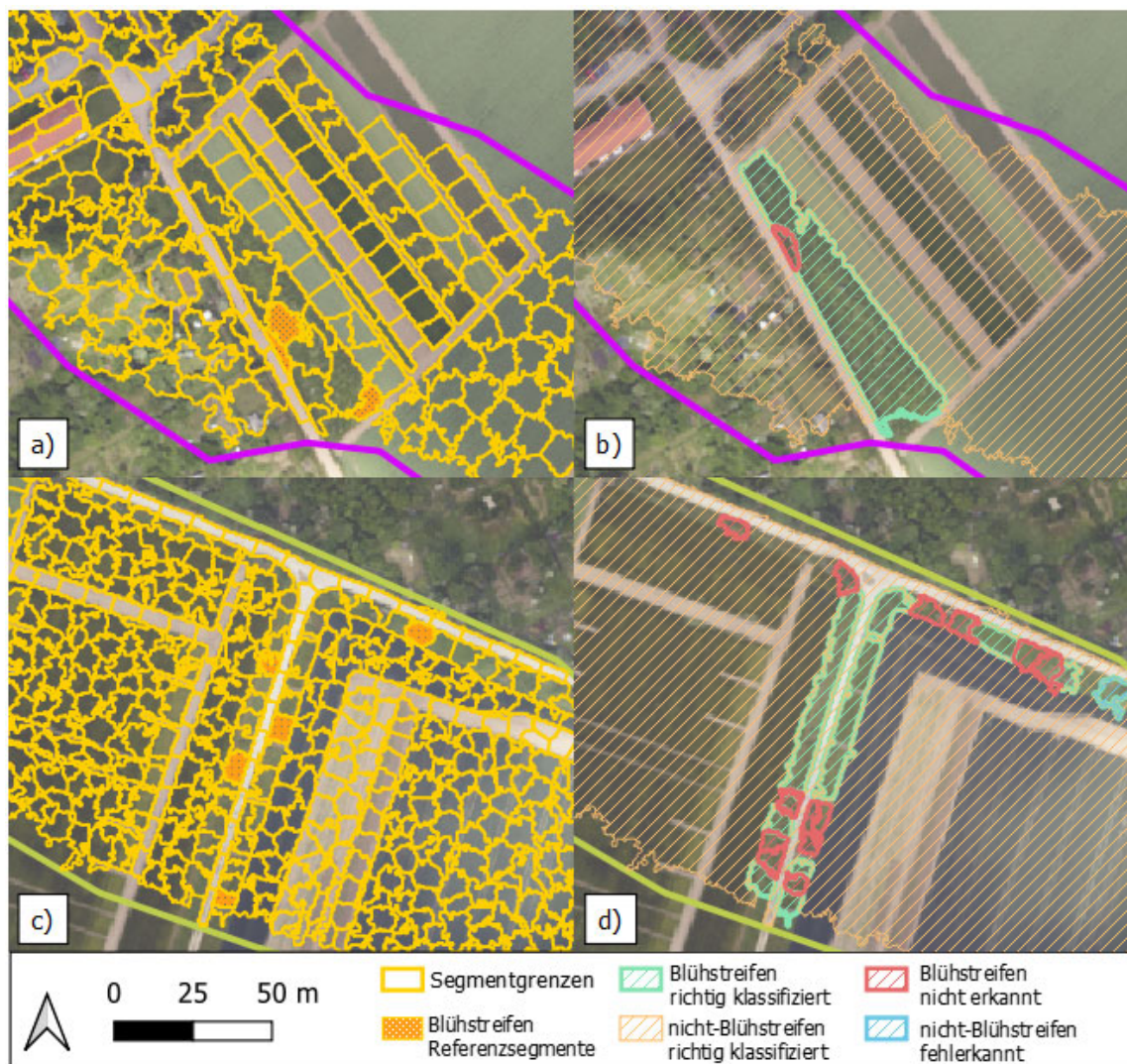


Abb. 6: Ergebnisse der Segmentierung und Klassifikation. Segmentierungsergebnis und die daraufhin ausgewählten Trainingsgebiete für die Blühflächen der Testgebiete a) 1 und c) 2 mit den dazugehörigen Klassifikationsergebnissen b) und d). In b) und d) sind die Teile der Blühflächen, die richtig klassifiziert wurden, grün markiert, während rot für die nicht erkannten Segmente steht. Hellorange sind die richtig erkannten nicht-Blühflächen. Segmente, die fälschlicherweise als nicht-Blühflächen klassifiziert wurden, sind blau dargestellt.

4.2 RGB-Farbraumanalyse

Mittels einer RGB-Farbraumanalyse wurden der Blütenreichtum, der Einfluss des Gräserreichtums auf den berechneten Blütenreichtum, die Erkennung der vorherrschenden Blühfarbe sowie der Artenreichtum untersucht.

4.2.1 Blütenreichtum

Um den Blütenreichtum abzuschätzen, wurde zunächst die Verteilung der RGB-Farbwerte (11 cm Auflösung) in einem dreidimensionalen Farbraum betrachtet. Pro Ausschnitt wurden drei Diagramme generiert, die die Häufigkeit und Verteilung der Pixelfarben darstellen. Dabei sind die Grauwerte der Kanäle jeweils in fünf Klassen zusammengefasst (1 entspricht Grauwerten von 0 bis 13106, 2 entspricht Grauwerten von 13107 bis 26213, usw.). In den Abb. 7 bis 9 sind die Diagramme für Ausschnitte mit verschieden hohem Blütenreichtum und verschiedenen Blühfarben dargestellt, „band1“ entspricht dabei dem roten Kanal, „band2“ dem grünen und „band3“ dem blauen Kanal. Bei dem blütenarmen Gebiet Blueh1a_P3 liegt die Mehrzahl der Pixel bei {3,3,2} (Abb. 8), dies lässt sich jedoch nicht für alle blütenarmen Gebiete bestätigen.

Bei Blühfarben im weiß-hellgelben Bereich gilt: Je blütenreicher, desto mehr sind Pixel mit hohen Datenwerten für die drei Bänder vertreten. Bei den helllila Blüten lässt sich dieser Trend allerdings nicht feststellen, jedoch sind hier auch deutlich mehr Pixel in anderen Farbklassen als bei blütenarmen Gebieten vorhanden. Allgemeingültige Aussagen zum Blütenreichtum und zu den vorherrschenden Blühfarben lassen sich anhand der Diagramme nur insofern treffen, als dass bei höherem Blütenreichtum eine stärkere Streuung der Werte entlang der Hauptdiagonale zu erkennen ist.

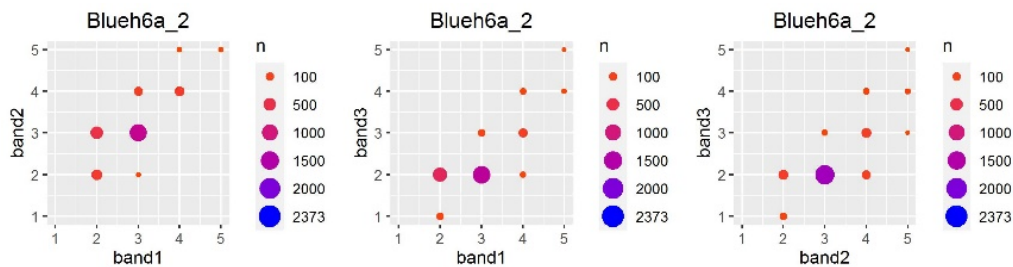


Abb. 7: Beispiel für eine RGB-Farbraumanalyse eines sehr blütenreichen Gebietes (Blueh6a_2, BRT=5, GRT=1, ART=4, vorwiegende Blühfarbe=hellgelb). Band1, band2 und band3 steht für die Farbkanäle rot, grün und blau, n gibt die Anzahl der Pixel dieses Ausschnittes an.

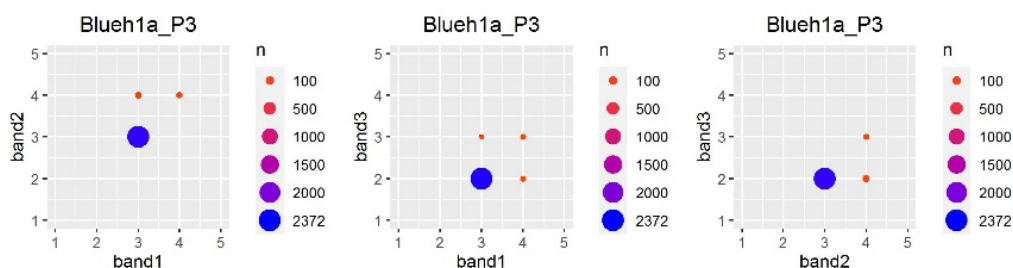


Abb. 8: Beispiel für eine RGB-Farbraumanalyse eines sehr blütenarmen Gebietes (Blueh1a_P3, BRT=1, GRT=3, ART=2, vorwiegende Blühfarbe=hellgelb). Band1, band2 und band3 steht für die Farbkanäle rot, grün und blau, n gibt die Anzahl der Pixel dieses Ausschnittes an.

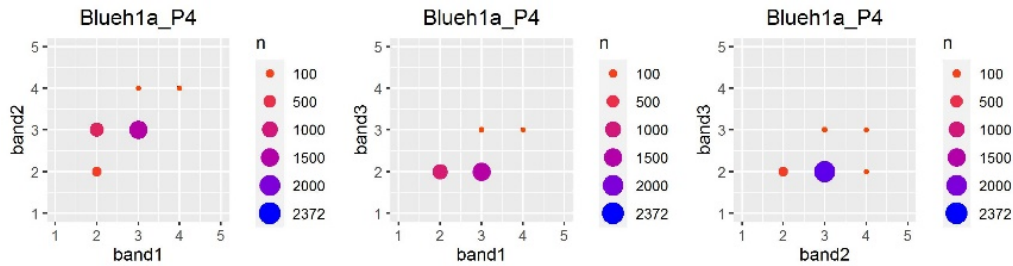


Abb. 9: Beispiel für eine RGB-Farbraumanalyse eines blütenreichen Gebietes (Blueh1a_P4, BRT=3, GRT=3, ART=2, vorwiegende Blühfarbe=helllila). Band1, band2 und band3 steht für die Farbkäle rot, grün und blau, n gibt die Anzahl der Pixel dieses Ausschnittes an.

Entsprechend des zweiten Ansatzes wurden sowohl die Anzahl der Pixel für die vorherrschenden Farbräume (rot, weiß, gelb, helllila, hellgelb) als auch die prozentuale Blütendeckung (Verhältnis aus Anzahl der Blühfarbenpixel und Gesamtpixelzahl der jeweiligen Untersuchungsfläche) ermittelt.

Die berechnete prozentuale Blütenabdeckung und der vor Ort geschätzte Blütenreichtum wurden gegenübergestellt. Ein Vergleich dieser Gegenüberstellung für verschiedene räumliche Auflösungen soll bei der Planung und Optimierung zukünftiger Befliegungen helfen. Eine niedrigere räumliche Auflösung wäre leichter zu realisieren (kürzere Befliegungsdauer, da höhere Gebietsabdeckung pro Überflug) und mit weniger Kosten verbunden.

Unabhängig von der Bodenpixelauflösung (Groud Sampling Distance, GSD) ist der gleiche Trend zu erkennen (Vergleiche beide Diagramme in Abb. 10).

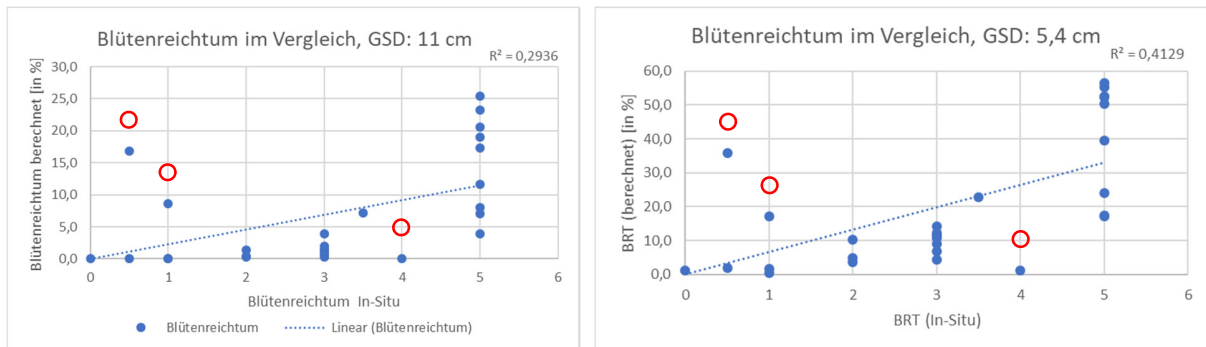


Abb. 10: Prozentual berechneter Blütenreichtum im Vergleich zu dem vor Ort geschätzten Blütenreichtum bei einer GSD von 11 cm (links) und 5,4 cm (rechts). Zwischen dem berechneten und dem In-Situ Blütenreichtum wurde ein linearer Zusammenhang angenommen. Die Regressionskoeffizienten $R^2=0.29$ (links) und $R^2=0.41$ (rechts) werden stark durch drei Ausreißer (rote Markierungen) und die hohen Schwankungen bei den als sehr blütenreich (5) eingestuft Gebieten beeinflusst.

Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass sich der für die einzelnen Gebiete berechnete Blütenreichtum je nach Bodenpixelauflösung stark voneinander unterscheidet. So sind die Werte bei einer höheren GSD (hier 5,4 cm) etwa doppelt so hoch wie bei einer geringeren Auflösung von 11 cm. Eine mögliche Ursache dafür wird in der Bildung von Mischpixeln vermutet. Das wiederum deutet darauf hin, dass die Bodenpixelauflösung der Luftaufnahme bei der Erfassung

der kleinen Blüten einen deutlich größeren Einfluss hat, um quantitative Aussagen bezüglich der Blütenmenge treffen zu können. Eine genauere Untersuchung der prozentualen Blütenmenge anhand von Referenzdaten, bei der die prozentuale Blütenabdeckung erfasst wurde, soll zukünftig durchgeführt werden.

Außerdem fällt bei einer Gegenüberstellung der vor Ort geschätzten Blütenmenge und der prozentual ermittelten Blütenmenge aller Ausschnitte auf, dass es besonders in den als sehr blütenreich (5) eingestuften Gebieten hohe Variationen der berechneten Blütenmenge gibt. Die Ursache hierfür wird darin gesehen, dass bei einer sehr hohen Blütenmenge das subjektive Empfinden die Schätzwerte beeinflusst und nicht weiter unterschieden werden kann zwischen *sehr vielen* und *noch viel mehr* Blüten. Ein Lösungsansatz zum Vermeiden dieses Problems ist, den berechneten prozentualen Blütenreichtum in Klassen zusammenzufassen (Abb. 11). Daher wurde die berechnete prozentuale Blütendeckung ebenfalls in sechs Klassen eingeteilt (0 keine Blüten, 5 sehr hoher Blütenreichtum). Die Stufen orientieren sich dabei an der für Vegetationsaufnahmen gebräuchlichen LONDO-Skala (TRAXLER 1997). Abhängig von der räumlichen Auflösung musste die Skala allerdings leicht angepasst werden.

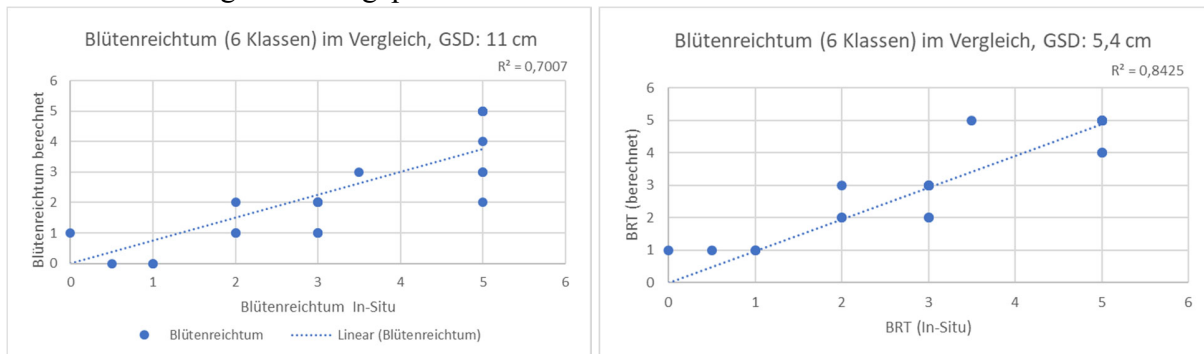


Abb. 11: Gegenüberstellung des in Klassen zusammengefassten berechneten Blütenreichtums im Vergleich zu dem vor Ort geschätzten Blütenreichtum je nach GSD ohne die drei stärksten Ausreißer: Blueh1a_P3, Blueh1a_P8, Blueh1b_P2. Links für 11 cm Auflösung (Klasseneinteilung: 0: 0, 1: Werte > 0 und <= 1 %, 2: Werte > 1 % und <= 5 %, 3: Werte > 5 % und <= 10 %, 4: Werte > 10 % und <= 15 %, 5: Werte > 15 %); Rechts 5,4 cm Auflösung (Klasseneinteilung: 0: 0, 1: Werte > 0 und <= 3 %, 2: Werte > 3 % und <= 8 %, 3: Werte > 8 % und <= 15 %, 4: Werte > 15 % und <= 20 %, 5: Werte > 20 %).

Für die beiden untersuchten Auflösungen sehen die Ergebnisse ähnlich aus, wobei das Ergebnis bei einer GSD von 5,4 cm mit einem Regressionskoeffizienten von 84 % im Vergleich zu dem Luftbild mit 11 cm GSD (mit $R^2=70\%$) noch besser ist. Bei den Diagrammen in Abb. 11 wurden die drei stärksten Ausreißer (Blueh1a_P3, Blueh1a_P8 und Blueh1b_P2) nicht mit berücksichtigt. Die Ursache für diese Abweichungen bleibt ungeklärt.

4.2.2 Einfluss des Gräserreichtums auf den Blütenreichtum

Der Verdacht, dass sich ein hoher Gräserreichtum aufgrund der helllila bis gelblichen Farbe der Gräser positiv auf den berechneten Blütenreichtum auswirkt (durch fehlerhafte Zuordnung der Pixel), konnte widerlegt werden. Zwar liegen die Farbräume der Klassen nah beieinander, aber bei einem hohen Gräserreichtum steigt weder die Zahl der hellgelben oder helllila Pixel noch der pro-

zentuale berechnete Blütenreichtum (Abb. 12). Allerdings haben die untersuchten Flächen mit hohem Blütenreichtum auch nur einen geringen Gräserreichtum und die Flächen mit hohem Gräserreichtum nur einen geringen Blütenreichtum.

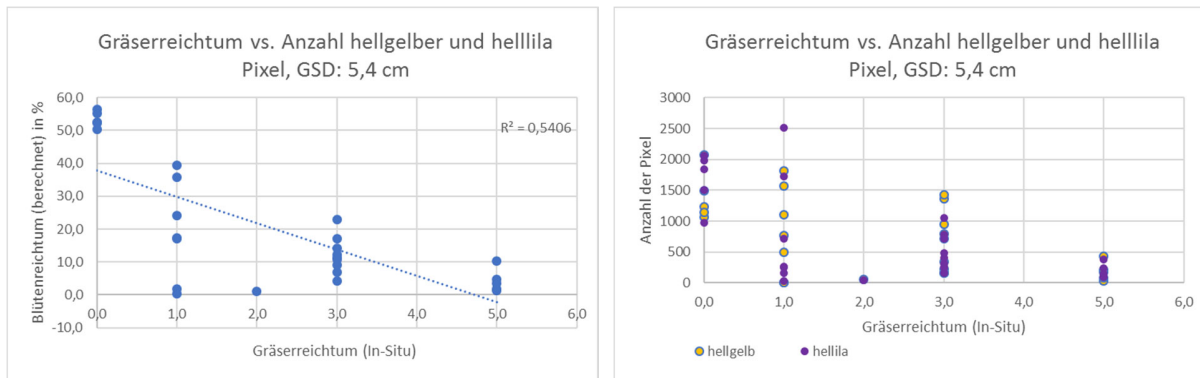


Abb. 12: Bei einem hohen Gräserreichtum steigt weder der prozentuale berechnete Blütenreichtum (links) noch die Zahl der hellgelben oder helllila Pixel (rechts). Dies geht mit der Beobachtung vor Ort einher, dass bei hohem Gräserreichtum weniger Blüten vorhanden waren.

4.2.3 Erkennung der vorherrschenden Blütenfarbe

Als vorherrschende Blütenfarben traten weiß, gelb, helllila und hellgelb sowie Kombinationen davon auf. Die über den vorgestellten Ansatz ermittelte vorherrschende Blütenfarbe wurde als richtig gewertet, wenn die meisten Pixel diesem Farbraum zugeordnet werden konnten. Bei zwei vorherrschenden Blütenfarben wurden die beiden Farbräume mit den meisten Pixeln zur Einschätzung herangezogen (daher ist hier auch die Gesamtzahl höher als die Zahl der Untersuchungsflächen). Die Ergebnisse ließen sich mit Hilfe einer Konfusionsmatrix auswerten.

Für beide untersuchten Bodenpixelauflösungen geben die Konfusionsmatritzen die gleiche Overall Accuracy von 57 % an. Auch die Zahl der richtig erkannten vorwiegenden Blühfarben (20) und die der falsch erkannten (15) ist bei beiden Bodenpixelauflösungen gleich hoch.

Bei genauerer Betrachtung kann festgestellt werden, dass bei einer GSD von 11 cm die nicht blühenden Gebiete besser erkannt wurden. Allerdings kam es zu häufigen Verwechslungen bei den vorwiegend hellgelb blühenden Flächen. Bei einer GSD von 5,4 cm haben hingegen viele Gebiete die meisten helllila-farbenen Pixel, obwohl die vorwiegende Blühfarbe eine andere ist. Bei den beiden verschiedenen hohen Bodenpixelauflösungen wurden vorwiegend gelbblühende Flächen nicht als solche erkannt. Dies deutet darauf hin, dass die Erkennung der vorwiegenden Blühfarbe(n) über diese Methode nur bedingt praktikabel ist.

Mögliche Ursachen bilden zum einen die Ähnlichkeit der Farbräume (z. B. weiß und helllila, gelb und hellgelb) und zum anderen, dass es bei der Bestimmung der vorwiegenden Blühfarbe mitunter nur wenige Pixel Unterschied gab, was zu einer fehlerhaften Zuordnung führte.

Zudem hat die Genauigkeitseinschätzung der vorwiegenden Blühfarbe über die genannte Methode mit einer Konfusionsmatrix den Nachteil, dass bei einer geringen Anzahl der Untersuchungsgebiete Fehlklassifizierungen die Gesamtgenauigkeit stark beeinträchtigen.

Eine Erhöhung des Stichprobenumfangs durch Einbeziehung weiterer Befliegungsdaten zu anderen Zeitpunkten ist geplant. Ebenso steht die Prüfung der gewählten Methode zur Diskussion.

Als Alternative könnte beispielsweise die Zuordnung der Pixel in die entsprechende Farbklasse über einen anderen Klassifikationsalgorithmus, der die ellipsoidische Form der einzelnen Farbräume berücksichtigt, untersucht werden.

4.2.4 Erkennung der vorherrschenden Blütenfarbe

Der vor Ort erfasste Artenreichtum wurde in Bezug zu der Anzahl der anhand der RGB-Luftbilder ermittelten vorkommenden Blühfarben gesetzt. Hierbei muss erwähnt werden, dass bei der Auflösung von 11 cm die vorkommenden Blütenfarben gezählt wurden, sobald mindestens drei Pixel darin erkannt wurden. Bei der Auflösung von 5,4 cm GSD wurde die Farbe erst gezählt, wenn mehr als zehn Pixel der jeweiligen Farbklasse erkannt wurden.

Bei dem Vergleich zwischen Artenreichtum und des anhand der RGB-Luftbilder ermittelten Farbreichtums ist insbesondere bei einer GSD von 11 cm ein klarer proportionaler Zusammenhang erkennbar (Abb. 13). Bei dem Punkt (3,5|0) handelt es sich um einen der oben bereits benannten Ausreißer Blueh1a_P8. Der Artenreichtum kann grob über die Anzahl der vorkommenden Blühfarben abgeschätzt werden, eine genaue Zahl der vorkommenden Arten kann über eine Farbraumanalyse jedoch nicht ermittelt werden, da verschiedene Arten die gleiche Blütenfarbe haben. Außerdem wurden in dieser Untersuchung nur die blühenden Arten betrachtet.

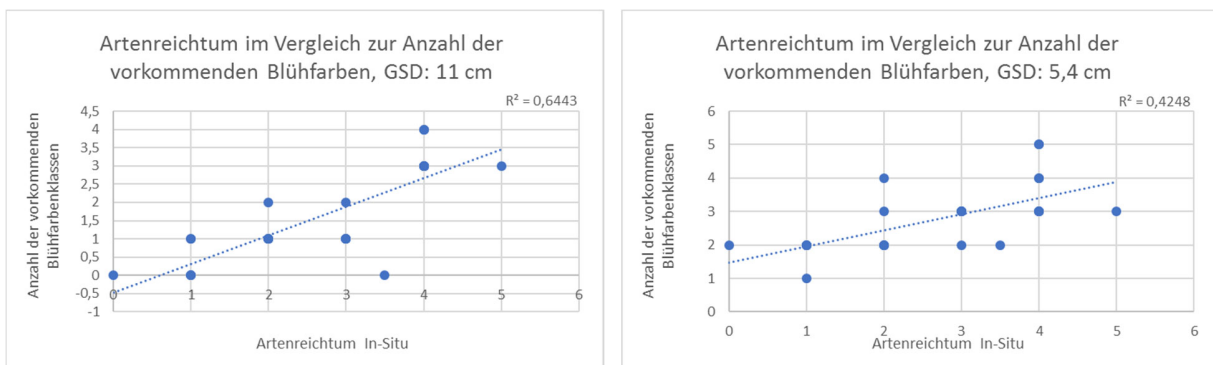


Abb. 13: Vergleich zwischen dem vor Ort erfassten Artenreichtum und der Anzahl der ermittelten vorkommenden Blütenfarben mit einer GSD von 11 cm (links) und einer GSD von 5,4 cm (rechts).

5 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass im Rahmen dieser Erarbeitung die vorausgegangenen Fragestellungen beantwortet werden konnten und Potential für weiterführende Untersuchungen aufweisen.

Es konnte ein Algorithmus entwickelt werden, mit dem die Identifikation von Blühflächen anhand weniger bekannter Gebiete möglich ist.

Ebenso wurde gezeigt, dass eine qualitative Einschätzung des Blütenreichtums möglich ist, wobei insbesondere nach der Eliminierung von Ausreißern und des in Klassen zusammengefassten berechneten prozentualen Blütenreichtums gute Ergebnisse vorliegen (Overall Accuracy > 70 %). Eine quantitative Abschätzung der Blütenmenge ist stark abhängig von der Bodenpixelauflösung, da bei einer höheren räumlichen Auflösung deutlich mehr farbige Blütenpixel erkannt werden, was

bei der Berechnung zu einer höheren prozentualen Abdeckung des Blütenreichtums führt. Der Artenreichtum blühender Pflanzen korreliert mit der Anzahl der vorkommenden Blühschattungen und kann darüber grob abgeschätzt werden. Ein hoher Gräserreichtum wirkt sich nicht negativ auf die prozentual ermittelte Blütenmenge aus. Bei der Einschätzung der vorwiegenden Blühschattung besteht noch Optimierungsbedarf. So kann die Schattungserschätzung z. B. mit Hilfe eines Klassifikationsverfahrens durchgeführt werden.

Zur besseren Ergebnisvalidierung sollten mehr Datensätze z. B. von weiteren Zeitpunkten und Gebieten einbezogen werden. Diese Gebiete sollten mehrere ähnliche Blühflächen aufweisen, um die Übertragbarkeit besser abschätzen zu können, und damit die Trainings- und Testsegmente nicht vom gleichen Blühstreifen stammen (weniger Korrelation). Die zu verschiedenen Zeitpunkten und Regionen erfassten Fernerkundungsdaten unterliegen allerdings verschiedenen Beleuchtungsbedingungen, die das Ergebnis beeinflussen. Daher sollte bei einem Vergleich zukünftigen Befliegungsdaten eine Atmosphärenkorrektur vorgenommen werden oder die Verwendung von Ratios (Bildung von Kanalverhältnissen, um z. B. verschiedene Beleuchtungsbedingungen zu kompensieren) bevorzugt werden.

Die erforderliche räumliche Bodenpixelauflösung richtet sich nach dem jeweiligen Anwendungsfall: Oft ähneln sich die Ergebnisse und weisen den gleichen Trend auf, haben allerdings verschiedene Genauigkeiten. In weiteren Testreihen sollte die prozentuale Blütendeckung mit Vor-Ort-Daten verglichen werden, um so auch spezifischere Aussagen bezüglich der quantitativen Einschätzung der Blütenmenge treffen zu können.

Bezogen auf die Klassifikation von blütenreichen Flächen sollte mehr Forschung betrieben werden. Mit einer Unterteilung von Blühstreifen in Subklassen, deren Charakteristiken weniger weitläufig sind, könnte man Klassifikatoren besser trainieren und das Potential von Fehlklassifizierungen verringern. Um Overfitting zu reduzieren, könnte ein anderer Klassifikator herangezogen werden, der mit dem Input von einer positiven und einer negativen Klasse, die aus mehreren sehr unterschiedlichen Subklassen besteht, besser umgehen kann. Auch sollten die Hyperspektraldaten näher untersucht werden: welche Bänder sind inwiefern ausschlaggebend und auf welche Bänder könnte verzichtet werden, ohne Genauigkeit einzubüßen.

Es ist vorstellbar, dass der entwickelte Klassifikationsalgorithmus auf Satellitendaten übertragen werden könnte (ggf. mit Anpassungen), um die globale Verteilung der blütenreichen Flächen zu erkennen. Desweiteren sollen zusätzliche Fernerkundungsdaten, die zu anderen Vegetationszeitpunkten erhoben wurden, auf zeitliche Veränderungen des Blühverhaltens untersucht werden.

6 Literaturverzeichnis

- BANNEHR, L., GABLER, M. & PROKOPH, S., 2021: Forschungsgyrocopter der Hochschule Anhalt - Sensorik. Sensorik. Institut für Geoinformation und Vermessung. <https://gyrocopter.afg.hs-anhalt.de/index.php/sensorik>, letzter Zugriff 13.01.2022.
- BLASCHKE, T., 2010: Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **65**(1), 2-16, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>.

- FEILHAUER, H., DOKTOR, D., SCHMIDTLEIN, S. & SKIDMORE, A. K., 2016: Mapping pollination types with remote sensing. *J Veg Sci*, **27**(5), 999-1011. <https://doi.org/10.1111/jvs.12421>.
- FENCHEL, J., BUSSE, A., REICHARDT, I., ANKLAM, R., SCHRÖDTER, M., TISCHEW, S., MANN, S. & KIRMER, A., 2015: Hinweise zur erfolgreichen Anlage und Pflege mehrjähriger Blühstreifen und Blühflächen mit gebietseigenen Wildarten (mit Hinweisen zu einjährigen Blühstreifen und Blühflächen sowie Schonstreifen). MLU Sachsen-Anhalt (Hrsg.), Magdeburg.
- HALLMANN, C. A., SORG, M., JONGEJANS, E., SIEPEL, H., HOFLAND, N. & SCHWAN, H., 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE*, **12**(10), e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>.
- KIRMER, A., RYDGREN, K. & TISCHEW, S., 2018: Smart management is key for successful diversification of field margins in highly productive farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **251**, 88-98. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.028>.
- KIRMER, A., JESCHKE, D. KIEHL, K. & TISCHEW, S., 2019: Praxisleitfaden zur Etablierung und Aufwertung von Säumen und Feldrainen. 2. Auflage 2/2019. Bernburg: Hochschule Anhalt Hochschulbibliothek. <https://www.offenlandinfo.de/themen/saeume-feldraine-und-bluehstreifen/>, letzter Zugriff 13.01.2022.
- LANDMANN, T., PIROINEN, R., MAKORI, D. M., ABDEL-RAHMAN, E. M., MAKAU, S., PELLIKKA, P. & RAINA, S. K., 2015: Application of hyperspectral remote sensing for flower mapping in African savannas. *Remote Sensing of Environment*, **166**, 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.06.006>.
- LAUSCH, A., BANNEHR, L., BECKMANN, M., BOEHM, C., FEILHAUER, H., HACKER, J. M., HEURICH, M., JUNG, A., KLENKE, R., NEUMANN, C., PAUSE, M., ROCCHINI, D., SCHAEPMAN, M.E., SCHMIDTLEIN, S., SCHULZ, K., SELSAM, P., SETTELE, J., SKIDMORE, A.K. & CORD, A.F., 2016: Linking Earth Observation and taxonomic, structural and functional biodiversity: Local to ecosystem perspectives. *Ecological Indicators*, **70**, 317-339. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.022>.
- MÜLLEROVÁ, J., PERGL, J. & PYŠEK, P., 2013: Remote sensing as a tool for monitoring plant invasions: Testing the effects of data resolution and image classification approach on the detection of a model plant species *Heracleum mantegazzianum* (giant hogweed). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **25**, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.03.004>.
- NABU – NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND E.V., 2022: Intensive Landwirtschaft ist Hauptgrund für Insektensterben - NABU. <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/landnutzung/landwirtschaft/artenvielfalt/insektensterben/index.html>, letzter Zugriff 13.01.2022.
- PAUSE, M., HAHN, A. & LAUSCH, A., 2020: Verbesserung der Informationslage zur Flächennutzung mittels aktueller und zukünftiger Fernerkundungsdaten. 12. Dresdner Flächennutzungssymposium, <https://doi.org/10.26084/12dfns-p024>.
- RADA, S., SCHWEIGER, O., HARPKE, A., KÜHN, E., KURAS, T., SETTELE, J. & MUSCHE, M., 2019: Protected areas do not mitigate biodiversity declines: A case study on butterflies. *Divers Distrib*, **25**(2), S. 217-224. <https://doi.org/10.1111/ddi.12854>.
- SCHMIDT, A., KIRMER, A., HELLWIG, N., KIEHL, K. & TISCHEW, S., 2021: Evaluating CAP wildflower strips: High-quality seed mixtures significantly improve plant diversity and related pollen and nectar resources. *Journal of Applied Ecology*, 1-12, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14102>.

- SCHMIDT, A., KIRMER, A., KIEHL, K. & TISCHEW, S., 2020: Seed mixture strongly affects species-richness and quality of perennial flower strips on fertile soil. *Basic and Applied Ecology*, **42**, 62-72, <https://doi.org/10.1016/j.baae.2019.11.005>.
- SMIGAJ, M. & GAULTON, R., 2021: Capturing hedgerow structure and flowering abundance with UAV remote sensing. *Remote Sens Ecol Conserv*, **7**(3), 521-533, <https://doi.org/10.1002/rse2.208>.
- SORG, M., SCHWAN, H., STENMANS, W. & MÜLLER, A., 2013: Ermittlung der Biomassen flugaktiver Insekten im Naturschutzgebiet Orbroicher Bruch mit Malaise Fallen in den Jahren 1989 und 2013. *Mitteilungen aus dem Entomologischen Verein Krefeld*, **1**, 1-5. <https://www.boerenlandvogels.nl/content/ermittlung-der-biomassen-flugaktiver-insekten-im-naturschutz-gebiet-orbroicher-bruch-mit-mala>, letzter Zugriff 05.11.2021.
- TRAXLER, A., 1997: *Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings. Teil A Methoden, Methoden, Praxis, angewandte Projekte*. Wien: Umweltbundesamt (Monographien / Umweltbundesamt, 89A).