

Matthias Pietsch, Jana Schlaugat, Lars Huth, Dae Yong Kim, Tom Wulf (Hrsg.)

Fernerkundung und Drohneneinsatz in Naturschutz und Grünlandmanagement



**Matthias Pietsch, Jana Schlaugat, Lars Huth,
Dae Yong Kim, Tom Wulf (Hrsg.)**

**Fernerkundung und Drohneneinsatz
in Naturschutz und Grünlandmanagement**

Berichte aus der Landschafts- und Umweltplanung

**Matthias Pietsch, Jana Schlaugat, Lars Huth,
Dae Yong Kim, Tom Wulf (Hrsg.)**

**Fernerkundung und Drohneneinsatz
in Naturschutz und Grünlandmanagement**

Shaker Verlag
Düren 2023

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Buch ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 Internationalen Lizenz (CC-BY)

Weitere Informationen: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Copyright Shaker Verlag 2023

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

Print-ISBN 978-3-8440-9178-6

PDF-ISBN 978-3-8440-9179-3

ISSN 1611-1087

<https://doi.org/10.2370/9783844091793>

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Grußwort des Ministers für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt

Liebe Leserinnen und Leser,

der Erhalt von artenreichem Grünland ist heute wichtiger denn je. In unterschiedlicher Ausprägung bietet es Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten – auch für jene, deren Bestand heute stark gefährdet ist. Grünland ist für die Sicherung der biologischen Vielfalt also von entscheidender Bedeutung. Neben diesem großen ökologischen Wert bereichert es zudem unser Landschaftsbild, gerade im Frühjahr und Sommer zur Blütezeit. Dadurch leistet Grünland auch einen wichtigen Beitrag zur Erholung des Menschen.



Das Problem: Seit Mitte des 20. Jahrhunderts befinden sich insbesondere extensiv genutzte, artenreiche Dauergrünlandflächen in Deutschland auf dem Rückzug – durch Umwandlung, Nutzungsintensivierung oder Aufgabe der Bewirtschaftung. Zur Stärkung der Biodiversität sind daher vielgestaltige Ansätze von Nöten. Hier setzt die Fachtagung an. Sie vermittelt interessante Einblicke und Erfahrungen, wie moderne Technik zu Erhalt und Verbesserung von Biodiversität beitragen kann. Vorgestellt werden zudem Forschungsprojekte zum Einsatz von Drohnen und Fernerkundungsdaten aus verschiedenen Bundesländern.

Durch nachhaltige Bewirtschaftung kann langfristig ein hoher Flächenanteil an naturschutzfachlich wertvollem Grünland in Deutschland gesichert und weiter gefördert werden. Ich danke der Hochschule Anhalt, dass sie dieses wichtige Thema aufgreift und im Rahmen einer Tagungsreihe zukunftsfähige Lösungen sucht.

A handwritten signature in blue ink. The signature is cursive and reads 'Armin Willingmann'. The ink is dark blue and the handwriting is fluid and legible.

Prof. Dr. Armin Willingmann

Minister für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt

Grußwort der Präsidentin des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

Grünland ist seit Jahrhunderten eine wichtige Grundlage für die landwirtschaftliche Produktion. In der Vergangenheit bestimmten die natürlichen Standortbedingungen der Wiesen und Weiden die Nutzungsformen und den Ertrag. Die Ertragsbedingungen konnten nur begrenzt beeinflusst werden, etwa über Stallmistdüngung und Mergeln oder durch eine Be- und Entwässerung, die in ihren Auswirkungen jedoch überwiegend moderat blieb. Es ergaben sich - verglichen mit der Gegenwart - meist geringe bis mäßige Grünlanderträge, aber ausgesprochen artenreiche Wiesen und Weiden. Auf ihnen konzentriert sich ein erheblicher Teil der Biodiversität Mitteleuropas – Pflanzen, Wirbellose mit einer Vielzahl von Insekten bis hin zu Wiesenvögeln.

Seit gut einhundert Jahren und ganz besonders in den letzten Jahrzehnten haben sich neue Möglichkeiten entwickelt, die Ertragsfähigkeit der landwirtschaftlich genutzten Böden zu erhöhen. Diese Entwicklung machte auch vor Wiesen und Weiden nicht halt. Tiefgreifende Entwässerung, massive Mineral- oder Gülledüngung, regelmäßiger Umbruch und Neuansaat ausgewählter Gräser gehören dazu. Sie ermöglichen bei Vielschnittnutzung und Intensivweide hohe Erträge, lassen aber fast alle typischen Grünlandarten immer mehr verschwinden. Hinzu kam erheblicher Grünlandverlust durch Umwandlung in Ackerland, der oft durch die vorausgegangene Entwässerung möglich wurde. Bei nicht intensivierungsfähigen Standorten, wie extrem flachgründigen, trockenen Böden, wurde verbreitet die Nutzung aufgegeben. Auf diesen Grünländern kam es in der Folge zu Verbuschung und Wiederbewaldung – sie gingen ebenfalls verloren. Es wurde klar, dass sich der Naturschutz den wenigen verbliebenen, noch vergleichsweise extensiv genutzten und artenreichen Wiesen und Weiden besonders aufmerksam widmen muss. Dies führte nicht nur zu einschlägigen Schutzbestimmungen auf nationaler und EU-Ebene, sondern auch zu konkreten, meist mit öffentlichen Mitteln geförderten Erhaltungsmaßnahmen. Hier zu nennen sind Vertragsnaturschutz, freiwillige Naturschutzleistungen oder der Natura-2000-Ausgleich. Solche Schutzanstrengungen müssen gezielt gesteuert und die Wirksamkeit der Maßnahmen mit Monitoring überwacht werden. Beides sind wichtige Aufgaben des Naturschutzes.

Mit der Nutzung von Fernerkundungsdaten zur - zunächst noch relativ groben - Erfassung von Biotop- und Nutzungstypen mit Color-Infrarot-Luftbildern hat sich das Landesamt für Umweltschutz bereits Anfang der 1990er Jahre befasst. Heute können weiterentwickelte Konzepte und neuartige Technik eingesetzt werden, um bei Monitoring und Steuerung von Managementmaßnahmen zu unterstützen. Umfangreiche Untersuchungen dazu wurden im Rahmen des BMBF-Vorhabens „Farming 4.0 im Grünland“ getätigt. Auf der Fachtagung „Fernerkundung und Drohneneinsatz in Naturschutz und Grünlandmanagement“ der Hochschule Anhalt wurden neben den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens weitere Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in verschiedenen Bereichen des Naturschutzes vorgestellt und ihre Chancen und Grenzen diskutiert. Die Inhalte werden im vorliegenden Tagungsband dargestellt. Die Breite der möglichen Anwendung ist eindrucksvoll und die Technik entwickelt sich immer weiter. Mit der Einführung des „smart farming“ können Bewirtschaftungsvorgänge luftbildgestützt direkt

auch auf die Erfordernisse des Naturschutzes ausgerichtet werden. Denkbar ist beispielsweise, dass zukünftig Vogelbrutplätze oder lokale und kleinräumige Vorkommen gefährdeter Arten in Acker- oder Grünlandschlägen bei Bewirtschaftungsvorgängen automatisiert erfasst und dann gezielt geschont werden. Der vorliegende Tagungsband gibt Ihnen auch einen Ausblick auf solche und andere Möglichkeiten.

Dr. Sandra Hagel

Präsidentin des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt

Grußwort des Präsidenten der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt

Digitalisierung hat als Treiber von Entwicklungen in der Landwirtschaft eine lange Tradition und wird in der Praxis in verschiedensten Anwendungsbereichen und -formen bereits seit mehr als 20 Jahre intensiv genutzt. Daraus ergeben sich vielfältige Chancen, Agrarproduktion sowohl wirtschaftlich erfolgreich als auch standortangepasst und ressourcenschonend zu betreiben. Entscheidende Grundlage dafür ist die digitalisierte Erfassung von Systemzuständen. Die heute dafür zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten sind beträchtlich und erweitern sich beständig. Eine fortwährende Herausforderung besteht darin, die notwendige Informationsverarbeitung durch adäquate Datenfusion und -analyse zu unterstützen. Der Einsatz von Fernerkundungsdaten kann dazu einen wichtigen Beitrag leisten.

Trotz der erkennbaren Verbesserungen der landwirtschaftlichen Technologien im Hinblick auf eine standortangepasste Flächennutzung und -bewirtschaftung ist der anhaltende Trend des Verlusts an Biodiversität in der Agrarlandschaft und insbesondere auf Grünlandstandorten unübersehbar. Wegen der Vielfalt und Komplexität solcher Systeme ist es jedoch sehr anspruchsvoll, deren konkrete Zustandsveränderungen einschließlich ihrer Dynamik zu erfassen und die Ursachen und Prozesse zu entschlüsseln, die diesen Veränderungen zugrunde liegen. Hierfür bietet die Anwendung von Technologien der Fernerkundung ein großes Potential. Im vorliegenden Tagungsband wird dies beispielhaft für verschiedene Ansätze und konkrete Anwendungsfälle aufgezeigt.

Prof. Dr. Falko Holz

Präsident der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt

Im Rahmen des Forschungsvorhaben „Farming 4.0 im Grünland: Nachhaltige Nutzung und Erhöhung der Biodiversität durch den Einsatz von UAV (BIOSENS-NATURA2000)“ (gefördert durch die Förderrichtlinie „FHprofUnt“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, FKZ: 13FH151PX8) fand am 07. September 2022 an der Hochschule Anhalt in Bernburg die Fachtagung „Fernerkundung und Drohneneinsatz in Naturschutz und Grünlandmanagement“ statt.

Wir danken den folgenden Partnern und Institutionen für die Unterstützung der Fachtagung:



Professor Hellriegel
Institut e.V.



SACHSEN-ANHALT
Ministerium für
Wissenschaft, Energie,
Klimaschutz und Umwelt



SACHSEN-ANHALT
Landesamt für Umweltschutz



SACHSEN-ANHALT
Landesanstalt für
Landwirtschaft und
Gartenbau

Inhaltsverzeichnis

Sandra Dullau, Daniel Elias, Anita Kirmer und Sabine Tischew

Welchen Beitrag kann die Fernerkundung für die Bewirtschaftung von artenreichem Grünland leisten?.....1

Dae Yong Kim, Lars Huth und Matthias Pietsch

Ableitung naturschutzfachlicher Qualitätsparameter aus UAV-Fernerkundungsdaten in extensiv bewirtschafteten Auengrünländern.....13

Christine Plückers, Stefan Erasmi, Michael Förster, Djamal Guerniche, Matthias Herkt, Dirk Hinterlang, Ann-Kathrin Holtgrave, Birgit Kleinschmit, Christina Koller, Alice Künzel, Kathleen Langner, Marie Lins, Margret Rattay, Anke Schroiff und Gregor Tintrup

Copernicus leuchtet Grün – Integration und Praxistransfer von Copernicus-Aktivitäten für ein umfassendes behördliches Monitoring von Grünland.....27

Maximilian Mitterbacher

Rahmenbedingungen zum Drohneneinsatz im Naturschutz.....37

Steffen Döring

Biomonitoring mit UAV.....49

Tom Wulf und Matthias Pietsch

Wiesenbrüterdetektion und Störungsanalyse beim Einsatz von UAVs.....61

Janina Langner, François Miquel und Annette Fuchs

Drohneneinsatz im Interreg-Projekt CRICETUS – Lösungsansätze zur Identifizierung von Feldhamsterbauen.....73

Übersicht der Autorinnen und Autoren.....83

Welchen Beitrag kann die Fernerkundung für die Bewirtschaftung von artenreichem Grünland leisten?

Sandra Dullau¹, Daniel Elias¹, Anita Kirmer¹ und Sabine Tischew¹

Abstract: In den letzten 70 Jahren wurden in weiten Teilen Deutschlands große Flächenverluste beim Grünland festgestellt. Darüber hinaus mindert der schlechte Erhaltungszustand vieler Grünlandlebensraumtypen dessen vielfältige Ökosystemleistungen. Um eine Wiederherstellung der Arten- und Strukturvielfalt im Grünland zu erreichen, ist die Wiederaufnahme oder Veränderung der Bewirtschaftung notwendig, oder sogar eine aktive Renaturierung umzusetzen. Als Grundlage für die Bewertung der Eignung der aktuellen Bewirtschaftung müssen naturschutzfachliche Parameter wie Pflanzenartenvielfalt, Gräser-Kräuter-Verhältnis, vertikale und horizontale Strukturvielfalt, Offenbodenanteil und die Mächtigkeit der Streuauflage erfasst werden. Da Grünland ein seminatürlicher, nutzungsabhängiger Lebensraum ist, sind zudem landwirtschaftliche Parameter zu betrachten. Dazu zählen die Biomasse, die Futterqualität des Aufwuchses und die Vitalität des Vegetationsbestands. Sind die benannten Parameter in ausreichender Qualität detektierbar, können Methoden der Fernerkundung einen grundlegenden Beitrag für den Erhalt oder die Wiederherstellung von artenreichem Grünland leisten.

Keywords: Monitoring, Renaturierung, FFH-Grünland, Bewertung

1 Entstehung des Grünlands

Bereits in der nacheiszeitlichen Naturlandschaft waren, begünstigt durch abiotische Prozesse (Wildfeuer, Fließgewässerdynamik, Windwurf) und dem Einfluss großer Pflanzenfresser (z.B. Auerochse, Wildpferd, Wisent), mindestens mosaikartig eingestreute Offenlandbiotope mit grünlandähnlichem Charakter vorhanden (Bunzel-Drüke et al. 2008). Mit der Wandlung des Menschen vom Jäger und Sammler zum Ackerbauern und Viehzüchter im Neolithikum entstanden später neue Lebens- und Wirtschaftsformen, welche die Entstehung des Grünlandes wie wir es heute kennen, begünstigten. Wald und Halboffenland wurde damals überwiegend ganzjährig beweidet (Kapfer 2010). Erste vom Menschen genutzte Weidetiere waren Rinder, Schweine, Schafe und Ziegen, wie Ausgrabungen in neolithischen Siedlungen in Mitteldeutschland belegen (Benecke 1994). Erste Hinweise auf eine Wiesennutzung (Mahd mit der Sense) existieren aus der Eisenzeit und insbesondere der römischen Kaiserzeit, wobei die Bedeutung der Wiesennutzung ab dem frühen Mittelalter mit dem zunehmenden Bedarf an Winterfutter stieg (Kapfer 2010). Auf diesen ersten Wiesen fand im Regelfall noch eine Vor- oder Nachbeweidung statt. Eine ausschließliche Wiesennutzung wurde auf einem großen Teil

¹ Hochschule Anhalt, Fachbereich Landwirtschaft, Ökotrophologie und Landschaftsentwicklung, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg, sandra.dullau@hs-anhalt.de

des Grünlandes vermutlich erst ab dem frühen 19. Jahrhundert umgesetzt. Damals existierten vielfältige extensive Weide-/Wiesennutzungssysteme, welche die Entstehung arten- und strukturreicher Grünländer begünstigten. Ab den 1960er Jahren wurden zunehmend Flurneuordnungsmaßnahmen und Nutzungsintensivierungen (insbesondere Düngung, Erhöhung des Viehbesatzes und der Schnittfrequenz) umgesetzt sowie Grünland zu Acker umgebrochen, was mit dem Verlust an Biodiversität auf diesen ehemals sehr artenreichen Flächen einherging (ebd.).

Weide- und Mahdgrünland unterscheiden sich zum Teil erheblich hinsichtlich Vegetationsstruktur und Arteninventar. Extensiv genutzte Weideflächen sind durch den selektiven Fraß, d.h. die selektive Förderung ungerne gefressener Pflanzenarten, den Tritt und durch die Dungabgabe der Weidetiere gekennzeichnet, wodurch in extensiven Weidesystemen im Optimalfall ein räumlich und zeitlich sich veränderndes Mosaik unterschiedlicher Vegetationsstrukturen entstehen kann, da die Weidetiere diese Bereiche unterschiedlich stark frequentieren (Rosenthal et al. 2012). Mahdflächen können ebenfalls sehr artenreich sein, sind aber durch die Förderung schnittverträglicher Wiesenarten gekennzeichnet und durch die maschinelle Bearbeitung weniger strukturreich (ANL 2022).

2 Ökosystemleistungen des Grünlands

Artenreiches Wirtschaftsgrünland ist das Ergebnis einer Jahrtausende währenden Nutzung von Flächen als Wiesen oder Weiden mit geringer Viehbesatzdichte und Schnittfrequenz bei mäßiger Düngung (Tischew & Hölzel 2019). Je nach Standort, Nutzungsweise und -intensität existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Grünlandgesellschaften (z.B. Schubert 2001). Mehr als 1.300 Gefäßpflanzenarten Mitteleuropas weisen eine mehr oder weniger enge Bindung an Grünlandökosysteme auf und fast 30 % dieser Arten kommen ausschließlich im Grünland vor (Bruchmann & Hobohm 2010). Durch ihre Strukturvielfalt und die zeitlich gestaffelten Blühabfolgen können Grünlandökosysteme nicht nur einen hohen ästhetischen Wert haben, sondern bieten auch Lebensräume für viele Tierarten (Dierschke & Briemle 2002). Man kann davon ausgehen, dass von jeder Pflanzenart 10–20 Insektenarten abhängig sind (für Bestäuber s. Blüthgen 2014). Damit stellt extensives Grünland auch die Basis vieler Nahrungsketten dar. Besonders Feuchtgrünland ist von herausragender Bedeutung als Lebensraum für wiesenbrütende Vogelarten, die aktuell in Mitteleuropa rasante Bestandseinbrüche zeigen (Wahl et al. 2015, EBCC 2013, 2016). Darüber hinaus ist extensiv genutztes Grünland aufgrund der Anreicherung organischer Substanz im Boden, im Unterschied zu intensiv genutzten Äckern, eine wesentliche Kohlenstoffsенke (Janssens et al. 2005, Soussana et al. 2007) und trägt damit substanziell zum Klimaschutz bei. Extensiv genutztes, artenreiches Grünland speichert dabei besonders viel Kohlenstoff (Deutsche Agrarforschungsallianz 2015, Yang et al. 2019). In geeigneten Lagen vermindert Grünland durch die starke Durchwurzelung und den dauerhaften Bewuchs zudem Erosionseffekte (Matzdorf et al. 2010).

3 Aktueller Zustand des Grünlands

Der Anteil des Dauergrünlands beträgt je nach Bundesland zwischen 14,8 und 53,5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche und nimmt in Deutschland eine Gesamtfläche von 4.729.700 ha ein (Statistisches Bundesamt 2021a,b). Diese ist seit 2010 nicht mehr rückläufig, liegt aber rund 11 % unter der Flächengröße von 1991 (Umweltbundesamt 2021). Die Flächenverluste artenreichen Grünlands betragen seit 1950 in Nord- und Mitteldeutschland je nach Region 15–85 % (Wesche et al. 2012).

Mit der dritten Veröffentlichung der Roten Liste der Biotoptypen Deutschlands (BfN 2017a) wurde deutlich, dass sich seit 2006 die Situation der meisten der 71 als Wiese, Weide oder Mähweide genutzten Grünlandbiotoptypen deutlich verschlechterte. Die Gefährdungseinschätzung weist für 78 % der eher feuchten und für 85 % der eher trockenen Grünlandbiotope eine Gefährdung aus (BfN 2017b).

Der vierte nationale Bericht gemäß Art. 17 FFH-Richtlinie (BfN 2019) dokumentierte für den überwiegenden Teil der Grünlandlebensraumtypen einen schlechten Erhaltungszustand. Als flächig bedeutender Lebensraumtyp stechen die Mageren Flachland-Mähwiesen besonders negativ heraus (Tab. 1). Das artenreiche Grünland frischer Standorte ist von vollständiger Vernichtung bedroht (Finck et al. 2017).

Tab. 1: Ergebnisse des nationalen FFH-Berichts 2019 (BfN 2019) für den Erhaltungszustand der Grünlandlebensraumtypen des Wirtschaftsgrünlandes, der Borstgras-, Trocken- und Halbtrockenrasen. FV = günstig, U1 = ungünstig-unzureichend, U2 = ungünstig-schlecht.

Lebensraumtyp	Biogeographische Region		
	Atlantisch	Kontinental	Alpin
6210(*) Kalk-(Halb-)Trockenrasen	U2	U2	U1
6230 Artenreiche Borstgrasrasen	U2	U1	U1
6240* Steppenrasen	U1	U2	-
6240 Pfeifengraswiesen	U2	U2	FV
6440 Brenndolden-Auenwiesen	U2	U2	-
6510 Magere Flachland-Mähwiesen	U2	U2	U2
6520 Berg-Mähwiesen	-	U2	U1

4 Renaturierung von artenarmen Grünland

4.1 Grundlagen

Zu den klassischen Methoden der Renaturierung von Grünland zählt neben einer Wiederaufnahme der Nutzung von brachgefallenen Beständen vor allem die Extensivierung der Bewirtschaftung durch Verzicht oder eine Einschränkung der

Düngung sowie eine Reduktion der Schnitthäufigkeit und Viehbesatzdichten (BfN 2014). Während die Wiederaufnahme der Nutzung von Grünlandbrachen, die vorher nicht intensiv genutzt wurden, oft sehr erfolgreich ist, haben Extensivierungsmaßnahmen im Intensivgrünland meist eine nur geringe Wirkung (Baasch et al. 2016). Die Extensivierung der Bewirtschaftung und die Wiederherstellung adäquater Wasserhaushalts- und Nährstoffverhältnisse als alleinige Maßnahmen sind selten erfolgreich (Klimkowska et al. 2007). Auch nach erfolgreicher Reduktion der Aufwuchsmenge auf das Niveau der Zielgesellschaft und einer Anpassung der Schnittfrequenz bzw. Besatzdichte stellen sich die gewünschten Zielgesellschaften nicht oder nur unvollständig ein. In intensiv genutzten und häufig stark gedüngten Agrarlandschaften ist ein Großteil der relevanten Grünlandarten häufig bereits vollständig verschwunden oder nur noch in kleinen Restpopulationen vorhanden, die kaum in der Lage sind, ausreichend Diasporen zur spontanen Wiederbesiedlung geeigneter Flächen bereitzustellen (Wesche et al. 2012). Zudem haben viele Arten des Wirtschaftsgrünlands keine morphologischen Anpassungen für eine Fernausbreitung und bilden nur kurzlebige Diasporenbanken (Dierschke & Briemle 2002). Maßnahmen zur aktiven Wiederansiedlung von Arten haben daher sowohl bei der Neuanlage als auch zur Aufwertung von Grünland in jüngerer Zeit einen besonders hohen Stellenwert erlangt (Kiehl et al. 2010, Kirmer et al. 2012).

4.2 Beurteilung der Standorteigenschaften und Vorbereitung der Renaturierungsfläche

Zu einer fundierten Einschätzung der Renaturierungsfläche sind Kenntnisse bezüglich der bodenkundlichen, geomorphologischen und hydrologischen Eigenschaften des Standorts erforderlich (s. Tischew & Hölzel 2019). Darüber hinaus kommt der Trophie des Standorts eine besondere Bedeutung bei der Beurteilung des Renaturierungspotentials und bei der Auswahl der angestrebten Zielgemeinschaften zu (ebd.). Ein geeignetes Trophieniveau für Gesellschaften des artenreichen Wirtschaftsgrünlands kann in der Regel durch Aushagerungsschnitte und den Verzicht auf weitere Düngung erreicht werden. Die Werte an pflanzenverfügbarem CAL-löslichen Phosphor sollten im Boden kleiner 5 mg P pro 100 g Boden sein, und bei Molinion-Wiesen unter 2 mg P pro 100 g Boden liegen (Rosenthal & Hölzel 2009). Je nach Ausgangslage und Zielzustand ist dabei mit einem Zeithorizont von ca. 5–15 Jahren zu rechnen (ebd.). Für Pfeifengraswiesen hilft bei vorangegangener Aufdüngung in der Regel nur ein Oberbodenabtrag, um zeitnah auf das notwendige Phosphorniveau zu gelangen (Tischew & Hölzel 2019). Mit Nährstoffen stark angereicherte Oberböden können durch Tiefpflügen (60–100 cm) in tiefere Bodenschichten verlagert werden (ebd.).

Bei großflächigen Renaturierungsvorhaben sollten die Zusammensetzung und der Umfang des Bodensamenvorrates analysiert werden, um zu prüfen, ob Zielarten noch im Boden vorhanden sind (Kirmer et al. 2012). Auf allen Standorten sollte vor der Umsetzung von Maßnahmen die Umgebung auf das Vorkommen invasiver Neophyten geprüft werden (Tischew & Hölzel 2019). Diese sollten nach Möglichkeit entfernt oder durch regelmäßige Mahd beziehungsweise Beweidung zumindest am Fruchten gehindert werden (ebd.).

Vor der Aufwertung bestehender artenarmer Wiesen, die bereits eine Aushagerungsphase erfahren haben, müssen konkurrenzarme Etablierungsnischen für die einzubringenden Arten geschaffen werden (Tischew & Hölzel 2019). Nach Schnitt und Abtrag der oberirdischen Biomasse muss die Grasnarbe wirksam geöffnet werden (Schmiede et al. 2012, Baasch et al. 2016). Je stärker die Störung der Grasnarbe im Vorfeld möglich war, umso erfolgreicher ist die Etablierung der Zielarten (Schmiede et al. 2012, Harnisch et al. 2014). Erfolgt die Umsetzung nur streifenweise, wird eine Streifenbreite von mindestens 4–5 m und ein maximaler Abstand von 50 m empfohlen, da eine Einwanderung der Arten in dazwischenliegende ungestörte Grünlandbereiche relativ langsam erfolgt (Bischoff 2002). Um diesen Prozess zu unterstützen, sollte die nachfolgende Bearbeitung orthogonal zu den Streifen erfolgen, da Diasporen von Zielarten im Zuge von Mäh-, Schwad- und Bergearbeiten bevorzugt entlang der Arbeitsrichtung der Maschinen verschleppt werden (Tischew & Hölzel 2019).

4.3 Aktives Einbringen von Zielarten

Praktikable und erfolgreiche Methoden zur aktiven Einbringung von Zielarten sind die Übertragung von samenreichem Mahd- und Druschgut sowie die Ansaat von Wildpflanzensaatgut (Kirmer 2019). Da je nach Pflanzengesellschaft Unterschiede hinsichtlich Blühphänologie und Samenreife bestehen, die bei der Samengewinnung und dem Übertrag von Mähgut zu beachten sind, ist bei der Wahl der Mahd- oder Druschtermine möglichst vorab eine an die lokalen Bedingungen angepasste phänologische Analyse der Spenderbestände notwendig (Tischew & Hölzel 2019). Bei Grünlandgesellschaften, deren Arten gestaffelt über einen längeren Zeitraum fruchten und daher bei der Ernte nicht alle Arten in ausreichendem Maß erfasst werden, oder bei Spenderflächen, in denen einige wichtige Zielarten fehlen, hat sich die Zugabe von regional vermehrten, gebietsheimischen Arten bewährt (Kirmer & Tischew 2014, Baasch et al. 2016). Auch das Vorziehen und Pflanzen konkurrenzschwacher Arten, die sich schlecht über Samen oder mit anderen Arten etablieren lassen, kann den Etablierungserfolg erheblich verbessern (Schneider & Helminger 2019). Ähnlich wie bei Oberbodenabtrag oder dem Versetzen von Soden erhöhen sich dadurch die Kosten der Maßnahme erheblich (Tischew & Hölzel 2019).

4.4 Entwicklungspflege und Folgenutzung

Neben der Anwendung geeigneter Techniken zur Flächenvorbereitung und zur Etablierung von Grünlandarten ist vor allem die Entwicklungspflege und eine kontinuierliche extensive Folgenutzung ausschlaggebend für den Erfolg einer Grünlandrenaturierung (Tischew & Hölzel 2019). Die Entwicklungspflege umfasst die ersten beiden kritischen Jahre nach der Umsetzung und erfolgt durch Mahd, unter bestimmten Voraussetzungen aber auch durch eine angepasste Beweidung (ebd.). Der erste Schnitt sollte bei Einsetzen des Dichtschlusses der Ruderalarten erfolgen (Bosshard

2000). Die Mahdhäufigkeit kann in Abhängigkeit von der Produktivität des Standortes bis auf 2–3 Schnitte erhöht werden, ohne die Grünlandarten in der Entwicklung zu beeinträchtigen (Williams et al. 2007, John et al. 2016). Für die Pflegeschnitte sollten Schnitthöhen von ca. 10–15 cm gewählt und das Mahdgut gleich aufgenommen werden (Tischew & Hölzel 2019).

Auch eine Kombination von Mahd und Nachbeweidung oder Ganzjahresbeweidung kann in der Entwicklungsphase positiv auf die Etablierung und Ausbreitung von Zielarten wirken (Mann & Tischew 2010). Bei zielkonformer Entwicklung kann ab dem zweiten Jahr zu einer standortangepassten, extensiven Folgenutzung übergegangen werden, die sich an der gewünschten Zielvegetation und der Biomasseproduktion des Standortes orientiert (Tischew & Hölzel 2019). Um die Entwicklung der Kräuter nicht zu behindern, sollten moderat versorgte und nährstoffreiche Standorte nicht gedüngt werden (ebd.). Spielt das Erreichen eines minimalen Ertragsniveaus eine entscheidende Rolle, können ausgeprägte Nährstoffungleichgewichte (PK-Mangel) durch Erhaltungsdüngungen (z.B. eine geringe PK-Grunddüngung oder leichte Festmistgabe) kompensiert werden (Briemle 2000). Nach Abschluss der Etablierungsphase der Kräuter darf die Düngung nicht mehr als 60 kg Stickstoff betragen und sollte mit einer Grunddüngung kombiniert werden (Dullau et al. 2021).

5 Parameter für das Grünlandmonitoring und Beitrag der Fernerkundung

Um den naturschutzfachlichen Wert von Grünland als Grundlage für die Bewertung der Eignung der aktuellen Bewirtschaftung einschätzen zu können, spielen nachstehende naturschutzfachliche Parameter eine Rolle.

Naturschutzfachliche Parameter:

- Pflanzenartenvielfalt

Aus der Artenzahl der vorkommenden Pflanzenarten kann unter Berücksichtigung von Bewirtschaftungsart und -zeitpunkt die Vielfalt an Pollen- und Nektarquellen für blütenbesuchende Insekten abgeleitet werden.

- Gräser-Kräuter-Verhältnis

Der Anteil der Kräuter ist ein Parameter für die Bewertung der Vegetationsstruktur und mit zunehmendem Anteil positiv einzuschätzen. Zwingend abzugrenzen sind dabei aber hochwüchsige wiesenuntypische Störzeiger, wie z.B. *Arctium*, *Cirsium* und *Tanacetum*, die eine Ruderalisierung indizieren.

- Vertikale und horizontale Strukturvielfalt

Der Anteil unterschiedlich hoher Pflanzenarten und die Größe sowie die räumliche Verteilung unterschiedlich hoher Vegetationseinheiten geben Auskunft über die Vielfalt des Vegetationsmosaiks und damit die Vielfalt an Nischen für Tierarten.

- Anteil Offenboden

Der Anteil an Offenboden ist ein wichtiger Parameter, um die Regenerationsfähigkeit des Grünlandes, die Habitataignung für bodenbrütende Vogelarten (z.B. Feldlerche) oder erdbewohnende Wildbienen oder Grabwespen abschätzen zu können. Andererseits kann eine Beweidung mit einer zu hohen Besatzstärke zur Zerstörung der Vegetationsdecke führen, was zwar Offenbodenstellen schafft, aber insgesamt zur Beeinträchtigung von artenreichem Grünland führt.

- Dicke der Streuauflage

Die Dicke der Streu ist ein entscheidender Einflussfaktor auf den Keimungserfolg von Grünlandarten und damit ein wichtiger zu erfassender Indikator. Bei Streuauflagen, die durch Mulchen oder Nutzungsaufgabe akkumulieren, gelangt weniger Licht an die Bodenoberfläche, wodurch die Wahrscheinlichkeit der Keimung sinkt. Darüber hinaus gehen nach starker Streuakkumulation lebensraumtypische Arten der Boden- und Unterschicht verloren.

Da Grünland ein seminatürlicher, nutzungsabhängiger Lebensraum ist, sind für die Absicherung des Nutzungsinteresses aber auch landwirtschaftliche Parameter zu betrachten. Dazu zählen die Biomasse, die Futterqualität des Aufwuchses und die Vitalität des Vegetationsbestandes.

Sind die notwendigen Parameter in ausreichender Qualität detektierbar, können Methoden der Fernerkundung einen grundlegenden Beitrag für den Erhalt oder die Wiederherstellung von artenreichem Grünland leisten. Im Ergebnis der Bewertung ist zu entscheiden, ob und welche Maßnahmen notwendig werden, um eine Nutzungsänderung oder sogar eine aktive Renaturierung einzuleiten. Empfehlungen für die naturschutzfachlich ausgerichtete Bewirtschaftung von Grünlandlebensraumtypen der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie bieten z.B. Dullau & Tischew (2019). Den aktuellen Wissenstand zu den Methoden der aktiven Renaturierung von artenreichem Grünland fassen u.a. Kirmer et al. (2012), Harnisch et al. (2014) und Kollmann et al. (2019) umfassend zusammen.

Literaturverzeichnis

- ANL (Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege) (2022): Online-Handbuch "Beweidung im Naturschutz". URL https://www.anl.bayern.de/fachinformationen/beweidung/6_1_3_offenland_maessig_trocken.htm, Abruf am 11.11.2022.
- Baasch, A., Engst, K., Schmiede, R., May, K., Tischew, S. (2016): Enhancing success in grassland restoration by adding regionally propagated target species. *Ecological Engineering* 94: 583 – 591.
- Benecke, N. (1994): *Der Mensch und seine Haustiere: Die Geschichte einer jahrtausendealten Beziehung*. Theiss Verlag. Stuttgart: 470 S.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2014): BfN Grünland-Report: Alles im Grünen Bereich? URL https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-04/PK_Gruenlandpapier_30.06.2014_final_layout_barrierefrei_0.pdf, Abruf am 30.10.2022.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (Hrsg.) (2017a): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. NaBiV Heft 156. 637 S.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2017b): Presseinformationen. Veröffentlichung der Roten Liste gefährdeter Biotoptypen, Mittwoch, 31. Mai 2017, Bundespressekonferenz, Berlin. URL https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/rote_liste_pressehandout_bf.pdf, Abruf am 27.10.2022.
- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2019): FFH-Bericht 2019. URL <https://www.bfn.de/ffh-bericht-2019>, Abruf am 30.10.2022.
- Bischoff, A. (2002): Dispersal and establishment of floodplain grassland species as limiting factors in restoration. *Biological Conservation* 104: 25–33.
- Blüthgen, N. (2014): Auswirkung der Landnutzung auf Bestäubernetzwerke. Soziale Insekten in einer sich wandelnden Welt. *Rundgespräche Forum Ökologie* 43: 99 – 109.
- Bosshard, A. (2000): Blumenreiche Heuwiesen aus Ackerland und Intensiv-Wiesen. Eine Anleitung zur Renaturierung in der landwirtschaftlichen Praxis. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 32: 161 – 171.
- Briemle, G. (2000): Ansprache und Förderung von Extensiv-Grünland. Neue Wege zum Prinzip der Honorierung ökologischer Leistungen der Landwirtschaft in Baden-Württemberg. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 32: 171 – 175.
- Bruchmann, I., Hobohm, C. (2010): Halting the loss of biodiversity: endemic vascular plants in grassland of Europe. *Grassland Science in Europe* 15: 776 – 778.
- Bunzel-Drüke, M., Böhm, C., Finck, P., Kämmer, G., Luick, R., Reisinger, E., Riecken, U., Riedl, J., Scharf, M., Zimball, O. (2008): "Wilde Weiden" - Praxisleitfaden für Ganzjahresbeweidung in Naturschutz und Landschaftsentwicklung. Arbeitsgemeinschaft Biologischer Umweltschutz im Kreis Soest e.V. (ABU). Bad Sassendorf-Lohne: 215 S.
- Deutsche Agrarforschungsallianz (2015): *Fachforum Grünland - Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen*. Thünen-Institut. Braunschweig: 51. S.

- Dierschke, H., Briemle, G. (2002): Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. Ulmer, Stuttgart.
- Dullau, S., Rydgren, K., Kirmer, A., Meyer, M.H., Jäger, U.G., Tischew, S. (2021): The Dessau Grassland Experiment - Impact of Fertilization on Forage Quality and Species Assembly in a Species-Rich Alluvial Meadow. *Agriculture*, 11, 339.
- Dullau, S., Tischew, S. (2019): Grünlandleitfaden. Bewirtschaftungsempfehlungen für die Lebensraumtypen 6520, 6510 und 6440 in Sachsen-Anhalt. 68 S.
- EBCC – European Bird Census Council (2013): Populations trends of common European breeding birds 2013. URL <http://www.ebcc.info/index.php?ID=515>, Zugriff am 30.10.2022.
- EBCC – European Bird Census Council (2016): European wild bird indicators, update 2016 – common bird indicators, Europe, single European species habitat classification. URL <https://www.ebcc.info/index.php?ID=613>, Zugriff am 30.10.2022.
- Finck, P., Heinze, S., Raths, U., Riecken, U., Ssyman, A. (2017): Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 156: 1 – 637.
- Harnisch, M., Otte, A., Schmiede, R., Donath, T.W. (2014): Verwendung von Mahdgut zur Renaturierung von Auengrünland. Verlag Eugen Ulmer: 150 S.
- Janssens, I.A., Freibauer, A., Schlamadinger, B., Ceulemans, R., Ciaia, P., Dolman, A.J., Heimann, M., Nabuurs, G.-J., Smith, P., Valentini, R., Schulze, E.-D. (2005): The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale – a European case study. *Biogeosciences* 2: 15 – 26.
- John, H., Dullau, S., Baasch, A., Tischew, S. (2016): Re-introduction of target species into degraded lowland hay meadows: how to manage the crucial first year? *Ecological Engineering* 86: 223 – 230.
- Kapfer, A. (2010): Beitrag zur Geschichte des Grünlands Mitteleuropas Darstellung im Kontext der landwirtschaftlichen Bodennutzungssysteme im Hinblick auf den Arten- und Biotopschutz. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 42 (5): 133 – 140.
- Kiehl, K., Kirmer, A., Donath, T., Rasran, L., Hölzel, N. (2010): Species introduction in restoration projects - evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwestern Europe. *Basic and Applied Ecology* 11: 285 – 299.
- Kirmer, A. (2019): Vegetationstechnik der Renaturierung im Offenland. In: Kollmann, J., Kirmer, A., Tischew, S., Hölzel, N., Kiehl, K. (Hrsg.): *Renaturierungsökologie*. Springer Verlag. Berlin: 53 – 70.
- Kirmer, A., Krautzer, B., Scotton, M., Tischew, S. (2012): *Praxishandbuch zur Samengewinnung und Renaturierung von artenreichem Grünland*. Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau. Irding: 221 S.
- Kirmer, A., Tischew, S. (2014): Conversion of arable land to lowland hay meadows: what influences restoration success. In: Kiehl, K., Kirmer, A., Shaw, N., Tischew, S. (Hrsg.): *Guidelines for native seed production and grassland restoration*. Cambridge Scholars Publishing, Newcastle upon Tyne: 118 – 140.
- Klimkowska, A., Diggelen, R. van, Bakker, J.P., Grootjans, A.P. (2007): Wet meadow restoration in Western Europe: a quantitative assessment of the effectiveness of several techniques.

- Biological Conservation 140: 318 – 328.
- Kollmann, J., Kirmer, A., Tischew, S., Hölzel, N., Kiehl, K. (2019): Renaturierungsökologie. Springer Verlag. Berlin: 489 S.
- Mann, S., Tischew, S. (2010): Role of megaherbivores in restoration of species-rich grasslands on former arable land in floodplains. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* 10: 7 – 15.
- Matzdorf, B., Reutter, M., Hübner, C. (2010): Gutachten-Vorstudie Bewertung der Ökosystemdienstleistungen von HNV-Grünland (High Nature Value Grassland). Abschlussbericht. Institut für Sozioökonomie Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Münchenberg: 67 S.
- Rosenthal, G., Hölzel, N. (2009): Renaturierung von Feuchtgrünland, Auengrünland und mesophilem Grünland. In: Zerbe, S., Wiegand, G. (Hrsg.) Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg: 283 – 316.
- Rosenthal, G., Schrautzer, J. & Eichberg, C. (2012): Low-intensity grazing with domestic herbivores: A tool for maintaining and restoring plant diversity in temperate Europe. *Tuexenia* 32: 167 – 205.
- Schmiede, R., Otte, A., Donath, T.W. (2012): Enhancing plant biodiversity in species-poor grassland through plant material transfer – the impact of sward disturbance. *Applied Vegetation Science* 15: 290 – 298.
- Schneider, S. & T. Helminger (2019): Reintroduction of endangered grassland species in Luxembourg. *Samara* 34: 4.
- Schubert, R. (2001): Prodomus der Pflanzengesellschaften Sachsen-Anhalts. Mitteilungen zur floristischen Kartierung Sachsen-Anhalt. Halle: 688 S.
- Soussana, J.F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, C., Campbell, C., Ceschia, E., Clifton-Brown, J., Czobel, S., Domingues, R., Flechard, C., Fuhrer, J., Hensen, A., Horvath, L., Jones, M., Kasper, G., Martin, C., Nagy, Z., Neftel, A., Raschi, A., Baronti, S., Rees, R.M., Skiba, U., Stefani, P., Manca, G., Sutton, M., Tuba, Z., Valentini, R. (2007): Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121: 121 – 134.
- Statistisches Bundesamt (2021a): Landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland nach Bundesländern und Hauptnutzungsarten im Jahr 2020, zitiert nach [de.statista.com](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1075977/umfrage/landwirtschaftlich-genutzte-flaeche-in-deutschland-nach-bundeslaendern-und-nutzung/), URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1075977/umfrage/landwirtschaftlich-genutzte-flaeche-in-deutschland-nach-bundeslaendern-und-nutzung/>, Abruf am 27.10.2022.
- Statistisches Bundesamt (2021b): Landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland nach Nutzungsart in den Jahren 2010 und 2021, zitiert nach [de.statista.com](https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183734/umfrage/landwirtschaftliche-nutzflaeche-in-deutschland-2010/), URL <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183734/umfrage/landwirtschaftliche-nutzflaeche-in-deutschland-2010/>, Abruf am 27.10.2022.
- Tischew, S., Hölzel, N. (2019): Wirtschaftsgrünland. In: Kollmann, J., Kirmer, A., Tischew, S., Hölzel, N., Kiehl, K. (Hrsg.): Renaturierungsökologie. Springer Verlag. Berlin: 349 – 368.
- Umweltbundesamt (UBA) 2021: Indikator: Grünland. URL <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umweltindikatoren/indikator-gruenlandflaeche#die-wichtigsten-fakten>, Abruf am 27.10.2022.

- Wahl, J., Dröschmeister, R., Gerlach, B., Grüneberg, C., Langgemach, T., Trautmann, S., Sudfeldt, C. (2015): Vögel in Deutschland – 2014. DDA, BfN, LAG VSW, Münster.
- Wesche, K., Krause, B., Culmsee, H., Leuschner, C. (2012): Fifty years of change in Central European grassland vegetation: large losses in species richness and animal-pollinated plants. *Biological Conservation* 150: 76 – 85.
- Williams, D.W., Laura, L., Jackson, L.L., Smith, D.D. (2007): Effects of frequent mowing on survival and persistence of forbs seeded into a species-poor grassland. *Restoration Ecology* 15: 24 – 33.
- Yang, Y., Tilman, D., Furey, G., Lehman, C. (2019): Soil carbon sequestration accelerated by restoration of grassland biodiversity. *Nature Communications* 10: 718.

Ableitung naturschutzfachlicher Qualitätsparameter aus UAV-Fernerkundungsdaten in extensiv bewirtschafteten Auengrünländern

Dae Yong Kim¹, Lars Huth², Matthias Pietsch³

Abstract: Der naturschutzfachliche Zustand von Extensivgrünland wird auf Grundlage verschiedener Qualitätsparameter meist durch eine Kartierung vom Boden aus evaluiert. In dieser Studie wurde der Einsatz von UAV (Unmanned Aerial Vehicles) zur Detektion von Vegetationsstrukturparametern und des Blütenangebots auf Auengrünland an der Mittleren Elbe in Sachsen-Anhalt erprobt. Das Gräser-Kräuter-Verhältnis, die Offenboden- und Streudeckungen, die Gesamtblütendeckung sowie die Blütendeckung der Indikatorart *Taraxacum officinale* agg. wurden mittels verschiedener Klassifikationsverfahren aus RGB-Orthomosaiken abgeleitet und die Resultate mit Ground-Truth-Daten verglichen. Während die Klassifikation des Blütenangebots sowie der Blütendeckungen von *Taraxacum officinale* agg. hohe Übereinstimmungen mit den Ground-Truth-Daten aufwies, war eine Ableitung der Vegetationsstrukturparameter nur eingeschränkt möglich. Als problematisch für eine erfolgreiche Klassifikation der einzelnen Strukturklassen (Gräser, Kräuter, Offenboden, Streu) erwies sich insbesondere deren kleinflächige Durchmischung in den Grünlandbeständen. Die Ergebnisse zeigen, dass in der Naturschutzpraxis ein Einsatz von UAV zur Detektion von Blüten (z. B. Gesamtblütendeckung, Ziel- und Indikatorarten) vielversprechend ist, während zur Ableitung von Vegetationsstrukturparametern im Grünland weiterer Forschungsbedarf besteht.

Keywords: Vegetationsstruktur, Blütenbedeckung, Artenreichtum, Drohne, UAV, Klassifizierung, Green Leaf Index, Grünlandmanagement

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten stieg das Interesse am Einsatz von UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) für die Fernerkundung im Bereich der Naturschutzforschung stetig an (Lorah et al. 2018). Im Vergleich zu Satelliten sind UAVs in der Lage, Bilder mit einer sehr hohen räumlichen Auflösung zu erfassen (Lu et al. 2018). Ihr Potenzial für verschiedene Einsatzzwecke, bspw. beim Biodiversitätsmonitoring in Agrarlandschaften, kann als hoch angesehen werden (Pietsch et al. 2018). Für einige Lebensräume wurden unter Verwendung unterschiedlicher Sensorik bereits Ansätze zur Ableitung naturschutzfachlicher Qualitätsindikatoren getestet (vgl. Borre et al. 2011). So untersuchten Schmidt et al. (2017) in *Calluna*-Heiden die Erkennung von Schlüsselarten, struktureller Vielfalt und gemeinsam vorkommenden Arten mithilfe von UAV und

¹ Hochschule Anhalt, FB LOEL, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg, daeyong.kim@hs-anhalt.de

² Hochschule Anhalt, FB LOEL, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg, lars.huth@hs-anhalt.de

³ Hochschule Anhalt, FB LOEL, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg, matthias.pietsch@hs-anhalt.de

multispektralen Sensoren. Sie kamen zu dem Schluss, dass in Heiden mittels UAV geeignete Referenzdaten für eine naturschutzfachliche Bewertung erfasst werden können. Bei der Übertragbarkeit solcher Ansätze auf andere Lebensräume besteht dringender Forschungsbedarf (Schmidt et al. 2017). Ziel der hier vorgestellten Studie war es daher, die Einsatzmöglichkeiten von Drohnen bei der Kartierung und Bewertung der Lebensraumqualität von extensiv bewirtschafteten Auengrünländern zu untersuchen.

2 Auswahl naturschutzfachlicher Qualitätsparameter im Grünland

Grünlandlebensräume können durch eine Vielzahl von Vegetations- und Strukturparametern in ihrer Qualität – sowohl im landwirtschaftlichen als auch naturschutzfachlichen Sinne – beurteilt werden. Beispielsweise erfolgt im Rahmen der Lebensraumtypen-Kartierung (LRT-Kartierung) nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) die Bewertung des Erhaltungszustands der Grünland-LRT 6510 (Magerer Flachland-Mähwiesen) und 6440 (Brenndolden-Auenwiesen) anhand von Kriterien wie Kräuteranteil charakteristischer Arten, Verbuschungsgrad oder dem Auftreten von unerwünschten Arten wie Eutrophierungs- und Störzeigern sowie Neophyten. Der Bewertungsprozess ist ebenso wie die Auswahl der herangezogenen Qualitätsparameter klassischerweise auf eine Kartierung und gutachterliche Einschätzung vom Boden aus durch eine kartierende Person ausgelegt. Um Qualitätsbeurteilungen auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten durchführen zu können, sind die vorliegenden Bewertungsmethoden der Felderfassung auf ihre Nutzbarkeit hin zu prüfen und ggf. anzupassen.

Im Rahmen dieser Studie wurden verschiedene Qualitätsparameter ausgewählt, die sowohl im Hinblick auf ihre fachliche Eignung als auch ihre Detektierbarkeit durch Fernerkundungsmethoden als vielversprechend eingestuft wurden:

1. Das **Gräser-Kräuter-Verhältnis** ist ein klassischer Parameter der Vegetationskunde und findet bspw. als Anteil charakteristischer Kräuterarten Eingang in die Bewertung des LRT-Erhaltungszustands Magerer Flachlandmähwiesen (LRT 6510). Ein hoher Gräseranteil ist charakteristisch für aus naturschutzfachlicher Sicht zu intensive oder anderweitig ungünstige Bewirtschaftungsmethoden (z. B. zu späte Erstmahd) und geht in der Regel mit einer Verringerung des Artenreichtums einher (Briemle 2004).
2. Die **Streuschicht- und Offenbodendeckung** sind ebenfalls Bestandteil vieler vegetationskundlicher Erfassungen. Während eine hohe Streudeckung sich durch verschiedene Mechanismen negativ auf den Artenreichtum von Grünland auswirkt (Hassan et al. 2021), sind Offenbodenstellen als Keimstellen für viele Kräuterarten von Bedeutung und können somit einen positiven Effekt für den Artenreichtum besitzen (Bakker & Olf 2003).
3. Das **Blütenangebot** von Grünlandflächen besitzt aufgrund seiner Bedeutung für Bestäuberinsekten eine hohe naturschutzfachliche Relevanz (z. B. Hegland &

Boeke 2006). Indirekt beeinflusst es damit bspw. auch die Nahrungsverfügbarkeit für Vögel, Kleinsäuger und andere Artengruppen. Neben der absoluten Deckung blühender Kräuter erfolgte auch eine Analyse der Diversität unterschiedlicher Blütenfarben als möglichen Indikator für Pflanzenartenreichtum auf den Flächen (vgl. Birkenstein et al. 2013).

4. Zur exemplarischen Erprobung einer **Einzelartendetektion** wurde der gezielte Nachweis von Blüten des Löwenzahns (*Taraxacum officinale* agg.) angestrebt. Als Indikatorart im Grünland (z. B. Oosterveld 1983, Vaida et al. 2021) zeigt sie insbesondere stickstoffreiche Bodenverhältnisse an (N-Zahl nach Ellenberg = 7, d. h. „Stickstoffreichtum zeigend“) und ist mit einer eher intensiven Bewirtschaftung (v. a. durch Düngung) assoziiert. Aufgrund dieser Eigenschaften sollte überprüft werden, ob eine hohe Deckung von *Taraxacum officinale* agg. mit einer geringen Gesamtartenzahl der Grünlandflächen einhergeht und damit eine Prognose über die naturschutzfachliche Wertigkeit einer Fläche zulässt. Wegen des frühen Zeitpunkts der Hauptblüte Ende April (wenige andere gelbblühende Arten vorhanden) sowie der Größe der Blütenköpfe wurde die Detektion mittels Drohnenbefliegung als sehr aussichtsreich eingeschätzt.

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiete und Flächen

Die Untersuchungen fanden 2021 und 2022 im Biosphärenreservat Mittelbe in Sachsen-Anhalt statt. Es wurden geeignete Auengrünlandflächen in zwei räumlich getrennten Teilgebieten ausgewählt: die Steutzer Aue bei Aken und die Aue bei Waldersee östlich von Dessau. Die Grünländer beider Gebiete lassen sich überwiegend den FFH-LRT 6510 (Magere Flachland-Mähwiesen) und 6440 (Brenndolden-Auenwiesen) zuordnen und werden extensiv bewirtschaftet. Die Auswahl der Untersuchungsflächen erfolgte anhand landwirtschaftlicher Nutzungsgrenzen sowie der LRT-Zugehörigkeit, wobei ein möglichst breites Spektrum unterschiedlicher Erhaltungszustände abgedeckt wurde. Auf jeder Fläche wurde ein repräsentativer Ausschnitt von 1 ha Größe (Makroplot) als Untersuchungsrahmen festgelegt, innerhalb dessen die Drohnenbefliegungen und Ground-Truth-Datenerhebungen stattfanden. Insgesamt wurden 17 Makroplots eingerichtet.

3.2 Detektion von Vegetationsstrukturparametern

Zur Untersuchung der Vegetationsstruktur wurden im Mai 2022 auf zwei Makroplots je 60 Strukturaufnahmen von 40 x 40 cm Größe durchgeführt. Diese sollten insbesondere Bodenreferenzdaten für das Gräser-Kräuter-Verhältnis sowie die Streu- und Offenbodendeckung liefern, aber auch sonstige geläufige Vegetationsstrukturparameter abdecken (Gesamtkrautschichtdeckung, Kryptogamendeckung, etc). Pro Makroplot

wurden 15 kräuterreiche (Kräuteranteil > 70 %), 15 gräserreiche (Gräseranteil > 70 %) und 15 Aufnahmen mit Dominanz von Streu und Offenboden erfasst. 15 weitere Aufnahmen besaßen weitgehend ausgeglichene Verhältnisse der genannten Strukturklassen. Diese wurden bei der späteren Klassifikation nicht als Trainingsdaten verwendet, sondern dienten der Überprüfung der Klassifikationsgüte. Die Deckungsschätzung der einzelnen Klassen erfolgte in 5 %-Schritten. Geschätzt wurde aus der Draufsicht, ohne Einbeziehung von Überlappungen der einzelnen Klassen. Daher ergibt die Deckungssumme der Klassen stets 100 %. Das Gräser-Kräuter-Verhältnis bezeichnet den prozentualen Anteil der Gräser bzw. Kräuter an der Gesamtkrautschichtdeckung und ergibt zusammen ebenfalls 100 %. Die Mittelpunkte aller Aufnahmen wurden mittels GPS mit RTK-Korrektur eingemessen. Alle Aufnahmen wurden fotodokumentiert. Die Kartierung erfolgte zeitnah nach der Befliegung der Flächen.



Abb. 1: Beispielbilder von 40 cm x 40 cm großen Bodenrichtwert-Datenproben. Von links: Gras, Kräuter, Offenboden & Streu, und Mischung der vorherigen Strukturen

Die Bildaufnahme zur Vegetationsstrukturanalyse erfolgte mit einer Sony-RGB-Kamera mit einem Sigma 19-mm-Objektiv an einer DJI Matrice 600 pro-Drohne. Die Auflösung des Sensors beträgt 6.000 x 4.000 Pixel. Für die Bedienung der Drohne wurde die App DJI GS Pro verwendet. Agisoft Metashape Professional Version 1.7.6 und ein Computersystem, das mit einem Intel i7-9700k-CPU, 32 GB RAM und Geforce RTX 2060 SUPER ausgestattet war, dienten der Bildausrichtung und Erstellung der Orthomosaik.

Als Grundlage der Strukturanalyse wurden unterschiedliche Vegetationsindizes getestet. Im Ergebnis zeigte sich, dass der Green Leaf Index (GLI) die besten Resultate liefert (Abbildung 2). Dieser wurde nach der folgenden Formel berechnet:

$$GLI = \frac{2 \times \text{Grün} - \text{Rot} - \text{Blau}}{2 \times \text{Rot} + \text{Grün} + \text{Blau}}$$

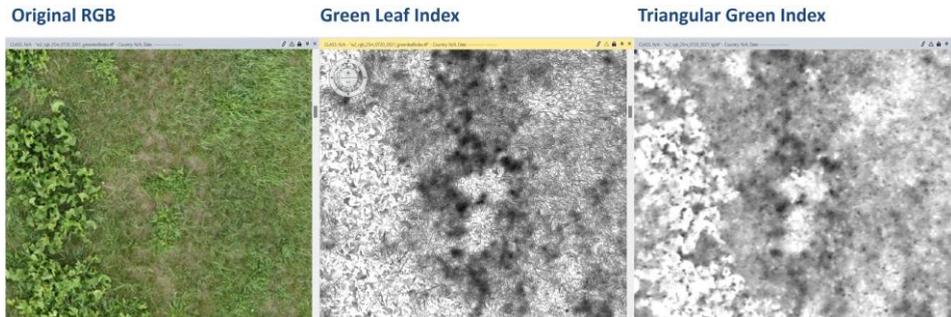


Abb. 2: Vergleich von Original-RGB-Bild, Green-Leaf-Index und Triangular-Green-Index

Unter Verwendung des Spatial Modeler in ERDAS IMAGINE 2022 wurde ein halbautomatischer Arbeitsablauf entwickelt, der eine Kombination des berechneten GLI mit den RGB-Kanälen erzeugt (siehe Abbildung 3) und für die weiteren Auswertungen genutzt werden konnte.

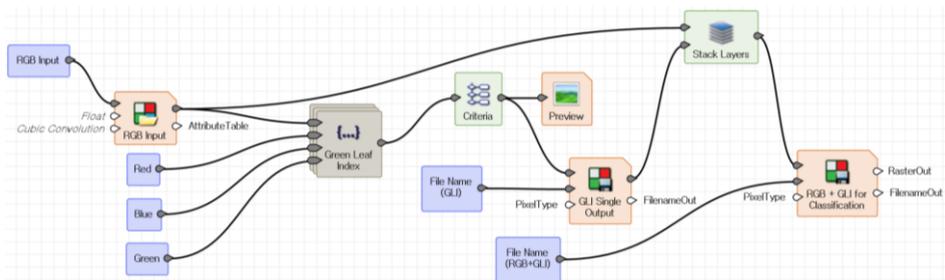


Abb. 3: Automatisierter Prozess zum Erstellen eines GLI und zum Überlagern der GLI-Ebene mit den ursprünglichen RGB-Ebenen

3.3 Detektion des Blütenangebots

Die Datenerhebung für die Analyse der Blütendeckungen wurde kurz vor der Erstmahd zwischen dem 19. und 23. Mai 2022 auf 14 der 17 Makroplots (je 1 ha) durchgeführt, etwa zur Vollblüte der charakteristischen Kräuterarten, wie bspw. Wiesen-Margerite (*Leucanthemum vulgare*), Wiesen-Glockenblume (*Campanula patula*) und Hahnenfuß (*Ranunculus spec.*). Drei Makroplots waren zum Zeitpunkt der Befliegung bereits gemäht und mussten daher von der Untersuchung ausgeschlossen werden. Als Ground-Truth-Daten standen für alle Makroplots aus demselben Erfassungszeitraum Schätzungen zur Gesamtblütendeckung, zum Blütendeckungsanteil der blühdominantesten Kräuterarten sowie die Gesamtartenzahl zur Verfügung.

Für diese Untersuchung wurden eine DJI M200 Drohne und eine DJI Zenmuse X5S 15 mm Kamera (RGB-4/3-Zoll-CMOS-Sensor mit 20 Megapixel Auflösung) verwendet. Die

Flughöhe betrug 50 m. Das Überlappungsverhältnis wurde auf 80 % auf der Vorderseite und 75 % auf der Seite eingestellt. Zur Lageermittlung wurde das integrierte GPS-Gerät der DJI M200 verwendet.

Die Orthomosaike wurden mit Agisoft Metashape Professional erstellt. Die Klassifizierung erfolgte durch ein objektbasiertes Klassifizierungsverfahren unter Verwendung verschiedener Klassifikatoren, z. B. Maximum Likelihood, Support Vector Machine und Random Trees. Der Kappa-Index wurde zur Beurteilung der Klassifikationsgüte verwendet. Die Einordnung erfolgte in:

- ausgezeichnet 0,61–0,80
- fast perfekt 0,81–1,0 (Rwanga et. al 2017).

3.4 Einzelartendetektion von *Taraxacum officinale* agg.

Die Bodenkartierungen erfolgten zeitgleich mit der Befliegung Ende April 2021 auf insgesamt 17 Makroplots von 1 ha Größe. Es erfolgte eine prozentuale Deckungsschätzung des *Taraxacum officinale* agg. innerhalb des Makroplots. Zusätzlich wurden alle sonstigen gelbblühenden Arten geschätzt (bspw. *Ficaria verna*, *Ranunculus auricomus* agg.), um Aussagen über das Vorkommen von Arten treffen zu können, mit denen im Luftbild potenziell eine Verwechslung möglich ist und die daher im Rahmen der Klassifikationen fälschlicherweise als *Taraxacum officinale* agg. identifiziert werden könnten.

Wie bei der Detektion des Blütenangebots wurde auch bei der *Taraxacum*-Erfassung die Matrice M200 Drohne in Kombination mit der DJI Zenmuse X5s Kamera eingesetzt. Die Bildverarbeitung und die Klassifizierungsmethoden waren ebenfalls dieselben wie bei der Detektion des Blütenangebots unter Verwendung objektbasierter Klassifikationsmethoden.

4 Ergebnisse

4.1 Vegetationsstruktur

Abbildung 4 zeigt beispielhaft den Klassifikationsprozess der 40 x 40 cm-Aufnahmen auf dem Makroplot S4. Insbesondere Kräuter mit schmalen Blättern wurden fälschlicherweise als Gras klassifiziert. In der Regel liegt der Gräseranteil daher deutlich über den Werten der Bodenschätzungen. Die korrekte Erkennung von Streu- und Offenboden funktionierte bei größeren zusammenhängenden Bereichen zufriedenstellend, während vor allem sehr kleinflächige Streu- und Offenbodenstellen (< 1 cm²) oft nicht korrekt klassifiziert wurden.

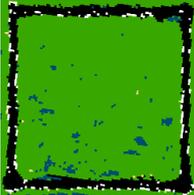
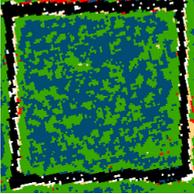
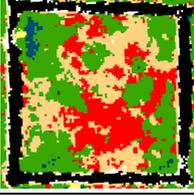
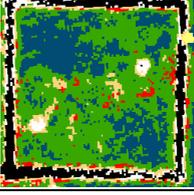
Sample-Klasse und Deckungswerte der Bodenschätzung	Handheld-Foto	Orthomosaik (RGB+GLI)	Klassifiziertes Bild
Bsp. Gräserdominanz KS-Deckung: 85% Gräseranteil 98%, Kräuteranteil 2% in KS			
Bsp. Kräuterdominanz KS-Deckung: 95% Gräseranteil 5%, Kräuteranteil 95% in KS			
Bsp. Offenboden & Streu KS-Deckung: 25% Streu-Deck: 15% Offenb.-Deck: 55% Krypto.-Deck: 5%			
Bsp. Misch-Aufnahme (Gräser + Kräuter) KS-Deckung: 75% Gräseranteil 45%, Kräuteranteil 55% in KS			
			

Abb. 4: Handheld-Foto, Orthomosaik und klassifiziertes Bild mit Maximum Likelihood-Methode auf Makroplot S4, KS = Krautschicht

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Klassifikation der zwei untersuchten Makroplots. Die vegetationsstrukturellen Unterschiede beider Grünlandflächen spiegeln sich auch in den durch die Klassifikation ermittelten Deckungsanteilen der Strukturklassen wider: S4 ist weniger gräserdominiert und besitzt eine lichtere Vegetation, was in einer höheren Streu- und Offenbodendeckung gegenüber W2 resultiert.

Beim Vergleich der Bodenschätzungen und Klassifikationsergebnisse der Gras-Kraut-Mischaufnahmen, welche nicht Teil des Trainingsdatensets waren, zeigte sich, dass es deutliche Abweichungen zwischen den ermittelten Deckungswerten beider Methoden gab. Die Gesamtdeckung der Krautschicht (Gräser und Kräuter) aus der Klassifikation lag im

Mittel 19,39 % (SD = 7,62 %) über den Schätzwerten der Ground-Truth-Daten. Innerhalb der Krautschicht wurde der Anteil der Gräser im Mittel um 22,31 % (SD = 12,04 %) durch die Klassifikation überschätzt.

Tabelle 1: Klassifizierungsergebnisse von S4 und W2

	Klasse	Prozentsatz (%)
S4 (Maximum Likelihood)	Gräserdeckung	65,65
	Kräuterdeckung	19,07
	Streudeckung	11,88
	Offenbodendeckung	2,76
	Gelbe Blüten	0,41
	Weißer Blüten	0,20
	Marker	0,04
	Gesamt	100,00
W2 (Random Trees)	Gräserdeckung	81,26
	Kräuterdeckung	17,13
	Streudeckung	0,65
	Offenbodendeckung	0,90
	Gelbe Blüten	0,01
	Weißer Blüten	0,00
	Marker	0,04
	Gesamt	100,00

4.2 Blütenangebot

Abbildung 5 zeigt beispielhaft die RGB-Originalaufnahme und das Klassifikationsergebnis für den Makroplot S7. Gut zu erkennen sind die lokalen Blühdominanzbestände der Wiesen-Margerite (*Leucanthemum vulgare* agg., im Bild Weiß).

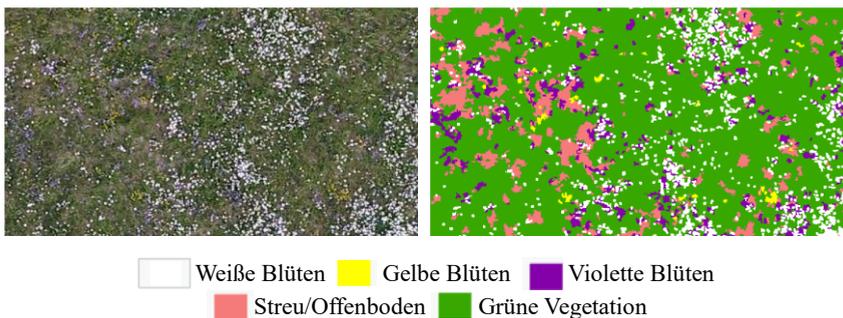


Abb. 5: Ein Beispiel für RGB (links), klassifiziert (rechts) auf S7, Gesamtgenauigkeit 80 % und Kappa-Index 0,64

Die mittlere Gesamtblütendeckung auf Grundlage der Luftbild-Klassifikation für die 1 ha großen Makroplots lag bei 3,36 %, mit Werten zwischen 0,085 und 15,06 %. Die Verteilung auf die drei Blütenfarbenklassen Weiß, Gelb und Violett ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Schätzung der Gesamtblütendeckung durch die Bodenkartierung betrug im Mittel 2,36 %. Die mittlere Abweichung der ermittelten Blütendeckungen durch Klassifikation und Bodenschätzung lag bei 2,03 % ($r_p = 0,70$).

Tab. 2: Deckung der Blütenfarbenklassen und verschiedener Strukturparameter in % auf 14 Makroplots (1 ha)

Klasse	S4	S7	S8	S10	S11	S13	S20
Weißer Blütendeckung	0,18	6,71	1,00	0,09	0,96	0,13	1,37
Gelber Blütendeckung	1,85	0,42	1,41	0,08	0,05	0,05	1,19
Violetter Blütendeckung	13,02	4,04	0,09	1,70	0,69	0,30	2,46
Trockene Vegetation	47,09	19,42	57,72	47,03	24,83	8,26	39,70
Grüne Vegetation	37,85	69,40	39,79	51,11	73,46	91,26	55,27
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100
Accuracy	0,79	0,80	0,83	0,82	0,65	0,68	0,66
Kappa	0,67	0,64	0,69	0,67	0,40	0,29	0,42

Klasse	W2	W11	W13	W14	W16	W17	W18
Weißer Blütendeckung	0	0,07	0,01	0,05	0,05	0,14	0,26
Gelber Blütendeckung	0,08	2,60	0,05	0,04	0,03	0,17	0,02
Violetter Blütendeckung	0	0,37	0,47	0,54	0,40	0,43	3,43
Trockene Vegetation	4,32	54,21	35,15	36,53	60,07	25,82	26,22
Grüne Vegetation	95,60	42,74	64,32	62,84	39,45	73,44	70,06
Insgesamt	100	100	100	100	100	100	100
Accuracy	0,85	0,88	0,78	0,75	0,87	0,64	0,85
Kappa	0,45	0,78	0,54	0,47	0,77	0,37	0,70

Um das Blütenangebot der Fläche mit der Gesamtartenanzahl an Gefäßpflanzen in Beziehung zu setzen, wurde sowohl die Gesamtblütendeckung als auch die Blütenfarbendiversität herangezogen. Letztere wurde durch Berechnung des Shannon-Diversitäts-Index auf Grundlage der Blütenfarbendominanzverhältnisse ermittelt (Tabelle 3). Entgegen den Erwartungen waren die Parameter Gesamtblütendeckung und Artenzahl schwach negativ korreliert ($r_p = -0,46$), während die Blütenfarbendiversität keinen Zusammenhang zur Artenzahl zeigte ($r_p = 0,04$).

Tab. 3: Gegenüberstellung der Gesamtblütendeckung in % aus der Klassifikation, der Blütenfarbendiversität (Shannon-Index) und der Artenzahl der Gefäßpflanzen auf 14 Makroplots (1 ha)

Makroplot	S04	S07	S08	S10	S11	S13	S20
Gesamtblütendeckung % (Luftbild)	15,06	11,18	2,492	1,861	1,706	0,477	5,024
Shannon-Index	0,437	0,798	0,808	0,358	0,79	0,885	1,045
Artenzahl Gefäßpflanzen	50	62	73	65	57	83	56
Makroplot	W02	W11	W13	W14	W16	W17	W18
Gesamtblütendeckung % (Luftbild)	0,085	3,049	0,529	0,632	0,479	0,742	3,714
Shannon-Index	0,101	0,48	0,387	0,512	0,565	0,966	0,291
Artenzahl Gefäßpflanzen	51	58	98	108	65	86	81

4.3 Einzelartendetektion von *Taraxacum officinale* agg.

Eine objektbasierte Klassifikationsmethode mit Support Vector Machine wurde nach der Erstellung der Orthomosaikbilder für die *Taraxacum*-Klassifizierung angepasst. Abbildung 6 zeigt die entsprechenden Arbeitsschritte.

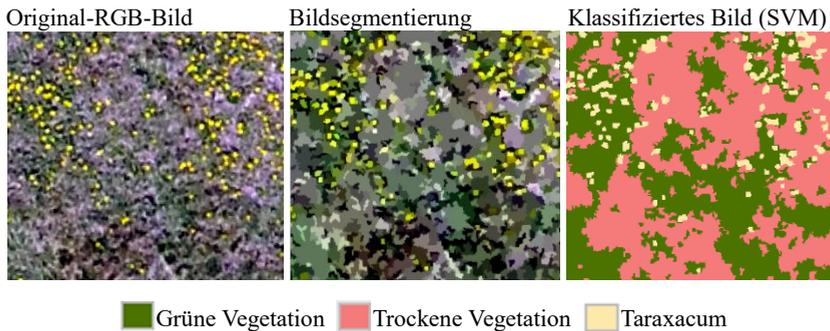


Abb. 6: Bildklassifizierungsprozess für *Taraxacum*-Analyse

Die Makroplots S4 und W6 besitzen mit über 2 % die höchsten *Taraxacum*-Blütendeckungen aller 17 Makroplots. Die Genauigkeitsbewertung zeigt, dass die Klassifizierungsergebnisse für 8 Makroplots mit einem Kappa-Wert von über 0,61 als ausgezeichnet eingestuft werden können. Da diese Methode nur die gelben Blüten erkennen und klassifizieren sollte, ist zu beachten, dass die Gesamtdeckung von *Taraxacum officinale* agg. auf den Makroplots bei Berücksichtigung des gesamten Pflanzenindividuum (wie in der Bodenkartierung) deutlich über den Deckungswerten der Klassifikation liegt. Dennoch sind die ermittelten Blütendeckungswerte gut mit den Schätzwerten der Bodenkartierung korreliert ($r_p = 0,76$).

Tab. 4: Ergebnis der Genauigkeitsbewertung der *Taraxacum*-Klassifikation.

Taraxacum	S4	S7	S8	S10	S11	S13	S20	W2	W4	W5	W6	W11
Größe (m ²)	294,30	13,80	1,39	2,59	0,76	27,24	0,00	5,20	109,86	127,24	260,77	2,90
Prozentsatz / 1Ha	2,94%	0,14%	0,01%	0,03%	0,01%	0,27%	0,00%	0,05%	1,10%	1,27%	2,61%	0,03%
U/P Genauigkeit	0,91	0,81	0,83	0,68	0,79	0,71	0,83	0,88	0,82	0,89	0,73	0,78
Kappa Genauigkeit	0,68	0,51	0,67	0,42	0,61	0,47	0,63	0,70	0,62	0,71	0,50	0,49

Taraxacum	W13	W14	W16	W17	W18
Größe (m ²)	0,28	0,26	1,31	1,84	21,07
Prozentsatz / 1Ha	0,00%	0,00%	0,01%	0,02%	0,21%
U/P Genauigkeit	0,77	0,74	0,86	0,77	0,72
Kappa Genauigkeit	0,50	0,45	0,71	0,55	0,43

Es konnte für die Untersuchungsflächen gezeigt werden, dass eine höhere Deckung von *Taraxacum*-Blüten anhand der Klassifikation der RGB-Luftbilder mit geringeren Gesamtartenzahlen aller Gefäßpflanzen auf dem Makroplot assoziiert ist (s. Abbildung 7). Zwar gibt es einen vergleichsweise hohen Überlappungsbereich, aber insbesondere sehr artenreiche Grünlandflächen mit über 70 Arten ($n = 4$) waren stets durch eher geringe Deckungen von *Taraxacum*-Blüten unter 0,05 % gekennzeichnet.

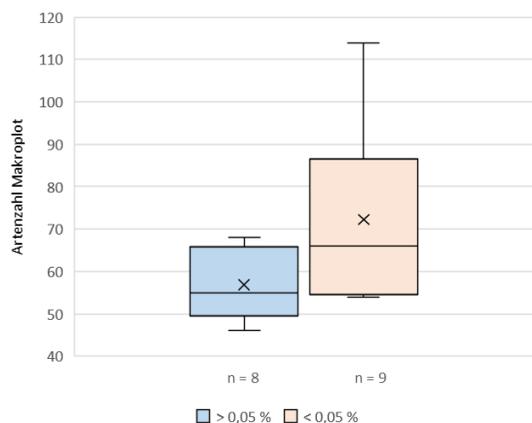


Abb. 7: Gesamtartenzahlen der Gefäßpflanzen auf den 17 Makroplots der *Taraxacum*-Befliegung, gruppiert nach der *Taraxacum*-Blütendeckung aus der Klassifikation: blau >0,05 % ($n = 8$); orange <0,05 % ($n = 9$), Unterschied signifikant (t-test: $p = 0,037$)

5 Diskussion und Fazit

Vegetationsstruktur

Bei der Klassifikation der Vegetationsstruktur zeigte sich eine deutliche Überschätzung der absoluten Krautschichtdeckung gegenüber den Bodenreferenzdaten. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die kleinflächige Durchmischung von Vegetation und Offenboden bzw. Streu zurückzuführen. Auch bei dichter Vegetation waren bei der Bodenkartierung meist kleine vegetationsfreie Bereiche zwischen den Pflanzen zu erkennen, welche bei der Schätzung der Krautschichtdeckung berücksichtigt wurden. Diese Bereiche wurden durch ihre Kleinflächigkeit bei der Klassifikation jedoch oftmals als grüne Vegetation (= Krautschicht) eingestuft.

Eine Trennung von Gräsern und Kräutern war mit der getesteten Methode nicht mit zufriedenstellender Genauigkeit möglich. Auch hier stellte sich die oft sehr kleinflächige Durchmischung der beiden Klassen als problematisch heraus. In künftigen Untersuchungen sollten weitere Ansätze zur Ableitung des Gräser-Kräuter-Verhältnisses aus Fernerkundungsdaten erprobt werden.

Blütenangebot

Die mittlere Abweichung der prozentualen Gesamtblütendeckung von 2,03 % zwischen Klassifikation und Bodenschätzung muss angesichts der eher geringen absoluten Blütendeckungswerte als hoch angesehen werden. Die Ursachen für diese Differenz können beispielsweise in der schweren Schätzbarkeit von Deckungsanteilen auf großen Flächen (vgl. Traxler 1998), in Ungenauigkeiten bei der Klassifikation als auch in tatsächlichen Veränderungen der Blütendeckungen aufgrund der zeitlichen Differenz zwischen Bodenkartierung und Befliegung begründet liegen. Da dennoch eine gute Korrelation der ermittelten Gesamtblütendeckungen aus der Klassifikation und den Bodenschätzungen vorlag, ist die Methode prinzipiell geeignet, um das Blütenangebot unterschiedlicher Flächen miteinander zu vergleichen.

Der fehlende bzw. sogar schwach negative Zusammenhang zwischen dem Pflanzenartenreichtum der Grünlandflächen und den untersuchten Parametern des Blütenangebots kann verschiedene Ursachen haben. Zum einen wurde ausschließlich extensiv bewirtschaftetes, eher artenreiches Grünland mit LRT-Status untersucht, welches im Vergleich zu artenarmen Intensivgrünland deutlich blütenreicher ist (Woodcock et al. 2014). Ein direkter Vergleich von Extensiv- und Intensivgrünland hätte demnach eher eine positive Korrelation von Blüten- und Artenreichtum erwarten lassen. Zum anderen war auf den Untersuchungsflächen für einen hohen Blütenreichtum sowie eine hohe Diversität an Blütenfarben oft schon das Vorhandensein weniger blühdominanter Taxa wie Margeriten, Hahnenfuß, Glockenblumen und Rotklee ausreichend, wenngleich die Gesamtartenzahlen besonders auf strukturell homogenen Flächen dennoch eher gering waren. Dies war insbesondere auf den blütenreichsten Makroplots der Steutzer Aue der Fall (bspw. S04, S07, S20). Durch die insgesamt geringe Stichprobengröße ist der Einfluss

dieser Flächen in den Ergebnissen besonders stark zu erkennen. Wäre für den Klassifizierungsprozess eine größere Anzahl an Blütenfarbenkategorien gewählt worden, wäre die Artenerkennung im Klassifizierungsergebnis sicherlich vielfältiger gewesen.

Taraxacum-Detektion

Diese erste Analyse bestätigt die Eignung des *Taraxacum officinale* agg. als leicht zu detektierenden Indikator für eine eher intensive Flächennutzung und hohe Nährstoffversorgung und eine damit assoziierte geringere Gesamtartenzahl von Gefäßpflanzen auf den Grünlandflächen. Die getestete Methode ist prinzipiell auch zur Detektion anderer Arten geeignet, sofern diese sich in durch ihre Eigenschaften – bspw. auffällige Blüten – deutlich von der umgebenden Vegetation abheben (vgl. Cruzan et al. 2016). Diese und ähnliche Methoden können sowohl die Detektion bzw. das Monitoring unerwünschter Arten (bspw. Weideunkräuter, invasive Neophyten, vgl. z. B. Lam et al. 2020, Wijesingha et al. 2020) als auch von Zielarten des Naturschutzes effektiv unterstützen (vgl. Reckling et al. 2021, Gröschler & Oppelt 2022).

6 Literaturverzeichnis

- Bakker, E. S., Olff, H. (2003): Impact of different-sized herbivores on recruitment opportunities for subordinate herbs in grasslands. *Journal of Vegetation science*, 14(4), 465–474.
- Binkenstein, J., Renoult, J. P., Schaefer, H. M. (2013): Increasing land-use intensity decreases floral colour diversity of plant communities in temperate grasslands. *Oecologia*, 173(2), 461–471.
- Borre, J. V., Paelinckx, D., Múcher, C. A., Kooistra, L., Haest, B., De Blust, G., Schmidt, A. M. (2011): Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward. *Journal for Nature Conservation*, 19(2), 116–125.
- Briemle, G. (2004): Landschaftsökologisch sinnvolle Mindestpflege von artenreichem Grünland und dessen erfolgsorientierte Honorierung. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2004): Grünlandnutzung nicht vor dem 15. Juni, Sinn und Unsinn von behördlich verordneten Fixterminen in der Landwirtschaft. BfN-Skripten 124, Bonn, 33–56.
- Cruzan, M. B., Weinstein, B. G., Grasty, M. R., Kohn, B. F., Hendrickson, E. C., Arredondo, T. M., Thompson, P. G. (2016): Small unmanned aerial vehicles (micro-UAVs, drones) in plant ecology. *Applications in plant sciences*, 4(9), 1600041.
- Gröschler, K. C., Oppelt, N. (2022): Using Drones to Monitor Broad-Leaved Orchids (*Dactylorhiza majalis*) in High-Nature-Value Grassland. *Drones*, 6(7), 174.
- Hassan, N., Sher, K., Rab, A., Abdulah, I., Zeb, U., Naeem, I., Shuaib, M., Khan, H., Khan, W., Khan, A. (2021): Effects and mechanism of plant litter on grassland ecosystem: A review. *Acta Ecologica Sinica*, 41(4), 341–345.
- Hegland, S. J., Boeke, L. (2006): Relationships between the density and diversity of floral resources and flower visitor activity in a temperate grassland community. *Ecological Entomology*, 31(5), 532–538.

- Lam, O. H. Y., Dogotari, M., Prüm, M., Vithlani, H. N., Roers, C., Melville, B., Zimmer, F., Becker, R. (2021): An open source workflow for weed mapping in native grassland using unmanned aerial vehicle: Using *Rumex obtusifolius* as a case study. *European Journal of Remote Sensing*, 54(sup1), 71–88.
- Lorah, P., Ready, A., Rinn, E. (2018): Using drones to generate new data for conservation insights. *International Journal of Geospatial and Environmental Research*, 5(2), 2.
- Lu, B., He, Y., Liu, H. (2018): Mapping vegetation biophysical and biochemical properties using unmanned aerial vehicles-acquired imagery. In *International Journal of Remote Sensing* 39 (15–16), 5265–5287.
- Oosterveld, P. (1983): *Taraxacum* species as environmental indicators for grassland management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 3(3), 381–389.
- Pietsch, M., Henning, M., Mader, D., Westfeld, P., Etterer, F. (2018): Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Monitoring Biodiversity Measures in Periurban and Agrarian Landscapes. In *Journal of Digital Landscape Architecture* (3), 273–282.
- Reckling, W., Mitasova, H., Wegmann, K., Kauffman, G., Reid, R. (2021): Efficient Drone-Based Rare Plant Monitoring Using a Species Distribution Model and AI-Based Object Detection. *Drones*, 5(4), 110.
- Rwanga, S., Ndambuki, J. (2017): Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8, 611–622.
- Schmidt, J., Fassnacht, E., Neff, C., Lausch, A., Kleinschmit, B., Förster, M., Schmidtlein, S. (2017): Adapting a Natura 2000 field guideline for a remote sensing-based assessment of heathland conservation status. In *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 60, 61–71.
- Traxler, A. (1998): *Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings. Methoden, Praxis, Angewandte Projekte. Teil A: Methoden.* – Umweltbundesamt, Wien.
- Vaida, I., Păcurar, F., Rotar, I., Tomoș, L., Stoian, V. (2021): Changes in Diversity Due to Long-Term Management in a High Natural Value Grassland. *Plants*, 10(4), 739.
- Wijesingha, J., Astor, T., Schulze-Brüninghoff, D., Wachendorf, M. (2020): Mapping invasive *Lupinus polyphyllus* Lindl. in semi-natural grasslands using object-based image analysis of UAV-borne images. *PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(5), 391–406.
- Woodcock, B. A., Savage, J., Bullock, J. M., Nowakowski, M., Orr, R., Tallowin, J. R. B., Pywell, R. F. (2014). Enhancing floral resources for pollinators in productive agricultural grasslands. *Biological conservation*, 171, 44–51.

Copernicus leuchtet Grün – Integration und Praxistransfer von Copernicus-Aktivitäten für ein umfassendes behördliches Monitoring von Grünland

Christine Plückers¹, Stefan Erasmi², Michael Förster³, Djamal Guerniche⁴, Matthias Herkt¹, Dirk Hinterlang¹, Ann-Kathrin Holtgrave³, Birgit Kleinschmit³, Christina Koller⁴, Alice Künzel², Kathleen Langner⁵, Marie Lins⁶, Margret Rattay⁵, Anke Schroiff⁶ und Gregor Tintrup⁴

Abstract: Grünland steht aufgrund von steigendem Flächenverbrauch und der Intensivierung der Landwirtschaft unter einem hohen Nutzungsdruck. Zum Erhalt und Schutz von Grünland wurden zahlreiche Maßnahmen auf kommunaler, nationaler und EU-Ebene festgelegt und erfordern ein zeitlich und räumlich hochauflösendes Monitoring. Um die aufwendige behördliche Überwachung von geschütztem und schutzwürdigem Grünland und weiteren Lebensraumtypen des Offenlandes unterstützen und vereinfachen zu können, sollen mit Hilfe von Satellitendaten in dem hier vorgestellten Projekt Copernicus leuchtet Grün (CopGruen) flächendeckende Dienste für das Grünlandmonitoring der Landesumweltämter entwickelt und exemplarisch bereitgestellt werden.

Keywords: Fernerkundung, Naturschutz, Grünlandmonitoring, Copernicus, Landesumweltämter

1 Einleitung

Rund die Hälfte der Fläche Deutschlands wird landwirtschaftlich genutzt. Nach Ackerland ist Dauergrünland dabei die zweithäufigste Nutzungsform. Dauergrünland bietet mehr als die Hälfte aller in Deutschland vorkommenden Tier- und Pflanzenarten einen Lebensraum und stellt somit eine besondere Bedeutung für den Erhalt der Biodiversität dar. Überdies bietet Dauergrünland eine Vielzahl an weiteren Ökosystemdienstleistungen, wie z.B. Wasser- und Kohlenstoffspeicherung, Nähr- und Schadstoffpuffer sowie Schutz vor

¹ Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), FB21, Leibnizstr. 10, 45659 Recklinghausen, christine.plueckers@lanuv.nrw.de, matthias.herkt@lanuv.nrw.de, dirk.hinterlang@lanuv.nrw.de

² Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, stefan.erasmi@thuenen.de, alice.kuenzel@thuenen.de

³ TU Berlin - Fachgebiet Geoinformation in der Umweltplanung, Straße des 17. Juni 145, EB 5, 10623 Berlin, michael.foerster@tu-berlin.de, a.holtgrave@tu-berlin.de, birgit.kleinschmit@tu-berlin.de

⁴ RLP AgroScience GmbH, Breitenweg 71, 67435 Neustadt an der Weinstraße,

djamal.guerniche@agrosience.rlp.de, christina.koller@thuenen.de, gregor.tintrup@agrosience.rlp.de

⁵ Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Hamburger Chaussee 2, 24220 Flintbek, kathleen.langner@llur.landsh.de, margret.rattay@llur.landsh.de

⁶ Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL), Altwahnsdorf 12, 01445 Radebeul, marie.lins@smekul.sachsen.de, anke.schroiff@smekul.sachsen.de

Bodenerosion (Zhao et al. 2020).

Aufgrund von anhaltender Intensivierung der Landwirtschaft, der Umwandlung von Dauergrünland in Ackerflächen sowie des zunehmenden Flächenverbrauchs zugunsten von Siedlung und Verkehr, steigt der Nutzungsdruck auf Grünland und führt zu einem Verlust dieser Lebensräume und den damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen.

Als Antwort auf diese Entwicklungen und zum Schutz und Erhalt von Grünland wurden zahlreiche umwelt- und naturschutz-, sowie agrar- und klimapolitische Maßnahmen auf kommunaler, nationaler und EU-Ebene beschlossen, wie z.B. die Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Berichtspflichten (Monitoring) oder das Erstellen von Maßnahmenkonzepten (Biotopverbundplanung, Abschätzung von Nachbarschaftseffekten, Kompensationsflächenausweisung). Ein wesentlicher Teil der Umsetzung und Dokumentation dieser Maßnahmen liegt dabei in den Händen der Landesumweltämter (LUÄ).

Diese vielfältigen Bedarfe erfordern daher ein detailreiches, zeitlich hochauflösendes Monitoring des gesamten Offenlandes, auch über Schutzgebietsgrenzen hinaus. Um diese steigenden Anforderungen in Zukunft und langfristig bewerkstelligen zu können, ist es zielführend, die herkömmlichen Methoden des terrestrischen Monitorings durch effizienzsteigernde neue Ansätze zu ergänzen.

In den letzten Jahrzehnten hat sich für das großflächige Monitoring von Grünland die Fernerkundung als nützliches Instrument erwiesen (Reinermann et al. 2020, Wang et al. 2022). Bisher existieren jedoch nur Insellösungen, die meist im Rahmen von Fallstudien entwickelt wurden und das Potenzial von Copernicus-basierten Diensten im Natur- und Umweltschutz aufzeigen.

2 Ziel

Die grundsätzliche Zielsetzung des Projektes ist es, das behördliche Monitoring von Offenland mit Hilfe von Copernicus-Daten und -Diensten zu unterstützen und effizienter zu gestalten. Dazu werden maßgeschneiderte Dienste auf Basis von Satellitendaten für die gesamte Grünland-Kulisse entwickelt. Diese Dienste sollen den Landesämtern bundesländerübergreifend, über ein einheitliches, niederschwelliges, nutzungsorientiertes und kostenloses User-Interface zur Verfügung stehen.

Die fachlichen Ziele umfassen die fernerkundliche Identifikation von schutzwürdigen Biotopen und Lebensraumtypen (LRT), das Erkennen relevanter Veränderungen, die Abschätzung des Erhaltungszustandes von Mähwiesen-LRT, die Erfassung der Bewirtschaftungsintensität von Grünland und die Charakterisierung des hydrologischen Zustandes von Moor- und organischen Böden.

Konkret sollen im Rahmen des Projektes folgende Dienste entwickelt werden:

1. Identifikation und Änderungsdetektion in Mooren und Abgrenzung von Objekten als ökologische Kartierungseinheiten (innerhalb der FFH-Gebiete)
2. Identifikation und Änderungsdetektion von Feuchtheiden und Pfeifengrasdominiertem Offenland sowie Nass- und Feuchtgrünland als natur- und umweltschutzrelevantes Grünland (innerhalb und außerhalb von FFH-Gebieten)
3. Identifikation und Änderungsdetektion von trockenen Heiden sowie mosaikartig damit verbundenen LRT oder Biotoptypen (innerhalb und außerhalb von FFH-Gebieten)
4. Identifikation von Dauergrünland (DGL)
5. Ermittlung des wahrscheinlichen Zeitraums der umbruchsfreien Nutzung von DGL
6. Identifikation von Flächen mit ausschließlicher Weidenutzung (Weiden), bzw. ausschließlicher Mahdnutzung (Wiesen) und Mischnutzung (z.B. Mähweiden)
7. Bestimmung der Nutzungsintensität der Wiesen (Mahdereignisse)
8. Identifikation von Flächen mit FFH-LRT 6510/6520 (Magere Flachland-Mähwiesen/Bergmähwiesen)
9. Änderungsdienst für die ermittelte Flächenkulisse mit FFH-LRT 6510/6520
10. Katalog der verschiedenen Erhaltungszustandsbewertung (EZB)-Verfahren für LRT 6510/6520 in Europa und Ableitung der „Merkmale aus dem Interpretation Manual“ in messbare Größen oder Proxies
11. Beschreibung von (kontinuierlichen) Vegetationsmustern und -gradienten als Indikator für den hydrologischen Zustand von Flächen auf organischen Böden (innerhalb und außerhalb von FFH-Gebieten)
12. Erfassung temporaler Muster der Oberbodenfeuchte als Indikator für die Bewertung des hydrologischen Zustands und dessen Dynamik in Mooren und Grünland auf Moor- und organischen Böden (innerhalb und außerhalb von FFH-Gebieten)

Die Ergebnisse der Dienste sollen zu einer verbesserten und vereinfachten Berichterstattung im Bereich des Natur- und Klimaschutzes sowie zu einer ganzheitlichen Flächennutzungsplanung beitragen.

3 Daten und Methoden

3.1 Kulisse

Fachlich ist vorgesehen, die verbreitetsten, im Zusammenhang mit der FFH-Richtlinie stehenden Offenland-Lebensraumtypen, entlang eines Feuchtegradienten, zu bearbeiten (Abb. 1). Für die Entwicklung von Strategien zum Schutz des Klimas und der Biodiversität

sowie einer ganzheitlicheren landschaftsbasierten Flächennutzungsplanung werden auch Offenlandflächen außerhalb geschützter Gebiete in die Kulisse einbezogen.

In Abbildung 1 sind die Lebensraumtypen, für die Dienste entwickelt werden sollen, entlang eines Feuchtegradienten, aufgelistet. Die vierstellige Codierung ergibt sich aus dem Anhang I der FFH-Richtlinie.

2310/4030 Trockene Heiden und 2330 Sandtrockenrasen 5130 Wacholderbestände auf Zwergstrauchheiden
6110 Kalkpionierrasen, 6210 Kalktrockenrasen 5130 mit Wacholderbeständen auf Kalktrockenrasen
6510 magere Flachlandmähwiesen 6520 Bergmähwiesen 6230 Borstgrasrasen, Silikat-Magerrasen
Dauergrünland-Fettweiden (z.B. Bergland, meliorierte Niederungen) Dauergrünland-Fettwiesen (im Ggs. zu Ackergrasflächen)
Dauergrünland-Fett-Feuchtwiesen (z.B. mit <i>Alopecurus pratensis</i>) Dauergrünland-Feuchtwiesen (z.B. in Stromtälern, Niederungen) 6410 Pfeifengraswiesen Feuchtwiesen (<i>Calthion palustris</i>), 6430 Feuchte Hochstaudenfluren
Braunseggensümpfe (<i>Caricetalia fuscae</i>) 7210/7230 kalkreiche Niedermoore 4010 Feuchte Heiden
7110/7120 Hochmoore 7140 Übergangsmoore, 7150 Torfmoorschlenken Flächige Röhrichte

Abb. 1: Offenland-Lebensraumtypen aufgelistet entlang eines Feuchtegradienten (trocken bis feucht)

3.2 Satelliten- und terrestrische Referenzdaten

Als primäre Datenbasis für die Methodenentwicklung der verschiedenen Dienste dienen die räumlich gut und zeitlich hochauflösenden Satellitendaten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus. Verwendet werden die Radardaten des Satellitenpaars Sentinel-1 (S1A und (bis Ende 2021) S1B) und die optischen Daten des Satellitenpaars Sentinel-2 (S2A und S2B), ergänzt um Multispektraldaten des NASA-Satelliten Landsat 8 (L8). Der Bezug dieser Daten erfolgt über die CODE-DE Cloud (<https://code-de.org/de/>). Die benötigten Daten werden im Weiteren über die Prozessierungsumgebung integriert.

Für das Erproben von Methoden und für das Training / Kalibrieren und Validieren der Modelle werden terrestrische Referenzdaten benötigt. Hierbei ist zu gewährleisten, dass die Daten relevante Parameter der Dienste beschreiben können. Zudem sollten sie in ausreichender Menge und guter naturräumlicher Verteilung innerhalb Deutschlands vorliegen. Diese Referenzdaten werden überwiegend von den LUÄ zur Verfügung gestellt. Auch zusätzliche Datenquellen, wie z.B. Pegel­daten, finden Verwendung.

Anhand der Deutschlandkarte in Abbildung 2 ist zu sehen, welche Datenquellen für die Referenzdaten in jedem Bundesland herangezogen werden. Quellen sind hauptsächlich die Datenbestände der Projekt- und Kooperationspartner. In manchen Bundesländern werden aber auch Daten aus externen Quellen bezogen.

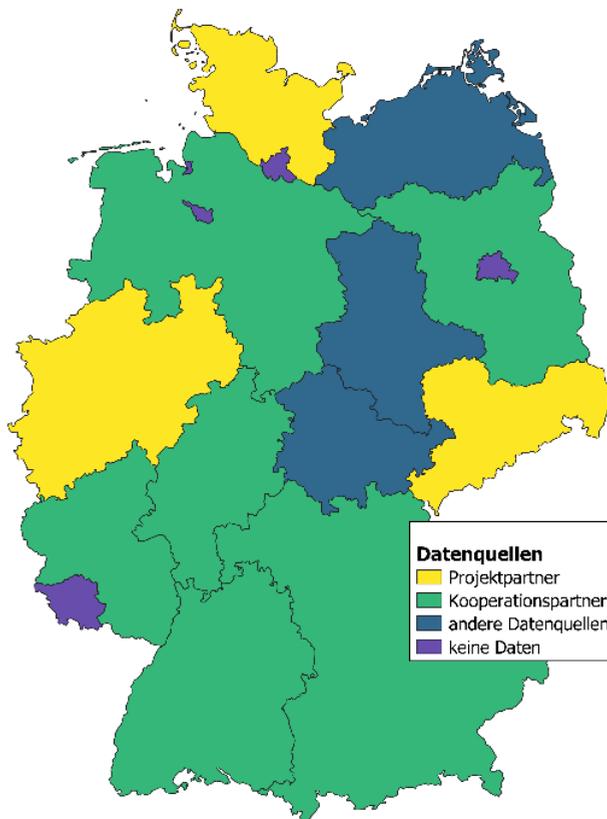


Abb. 2: Deutschlandkarte mit Datenquellen der Referenzdaten

Außerdem werden in Zukunft die terrestrischen Referenzdaten mit den dazugehörigen Satellitendaten zur Ergebnissicherung und leichteren Nachverwertung in Objektdatenbanken gespeichert.

3.3 Technische Infrastruktur und Methodenentwicklung

Die technische Realisierung der Dienste erfolgt auf der CODE-DE Plattform und beinhaltet, dass die in einer Testumgebung erfolgreich validierten Methoden / Algorithmen als operationelle Dienste, in Form orchestrierter Funktionsmodule, in einer cloudbasierten, modular aufgebauten, skalierbaren Prozessierungsumgebung implementiert werden. Die Prozessabläufe der Dienste sind dann über eine Web-Oberfläche angelegt und können verwaltet werden.

Die technische Infrastruktur befindet sich momentan im Aufbau. Dazu gehört die stufenweise Integration der Algorithmen und Services auf der nationalen Plattform CODE-DE und die Beschreibung der Anforderungen an die Prozessierungsumgebung. Diese wird momentan dafür genutzt, Satellitendaten zu prozessieren und erste Methodenansätze und Algorithmen mit den schon zur Verfügung stehenden Referenzdaten zu testen.

Aktuell befindet sich der Dienst 7. Bestimmung der Nutzungsintensität der Wiesen (Mahdereignisse) mit Hilfe von Landsat 8, Sentinel-1 und -2 Daten in der Test- und Entwicklungsphase und wird hier exemplarisch erläutert. Die „Nutzungsintensität“ einer Fläche wird anhand der Anzahl von Mahdereignissen (Schnitte) pro Jahr/Vegetationsperiode gemessen. Dieser Parameter wird auch als Proxy zur naturschutzfachlichen Zustandsbewertung einer Fläche herangezogen, da eine moderate (extensive) Bewirtschaftungsintensität einen tendenziell positiven Einfluss auf die Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten hat.

Die Detektion von Mahdereignissen erfolgt auf Grundlage des in Schwieder et al. (2022) vorgestellten pixel- und regelbasierten Ansatzes mit adaptiven Grenzwerten. Hierbei werden Zeitreihen des Enhanced Vegetation Index (EVI) (Liu & Heide 1995) aus Sentinel-2 und Landsat 8 Daten verwendet. Zur Vorverarbeitung der optischen Daten wird auf den in CODE-DE bereitgestellten FORCE Data Cube zurückgegriffen (Frantz 2019).

Die Validierung vorläufiger Ergebnisse anhand terrestrischer Referenzdaten mit Angaben polygonbezogener Mahdhäufigkeiten sind bisher vielversprechend (vgl. Abb. 3 und 4).

In Abbildung 3 ist die Mahdhäufigkeit anhand von terrestrischen Referenzdaten dargestellt. Abbildung 4 zeigt die abgeleiteten Mahdhäufigkeiten aus den EVI-Zeitreihen-Analysen mit dem Ansatz von Schwieder et al. (2022). Die unterschiedlichen Mahdhäufigkeiten werden durch die verschiedenen Farben kenntlich gemacht. Im Vergleich von Abbildungen 3 und 4 ist zu erkennen, dass die Mahdhäufigkeit auf vielen Flächen richtig erkannt wird. Auf manchen Flächen kommt es allerdings auch zu einer Über- oder Unterschätzung.

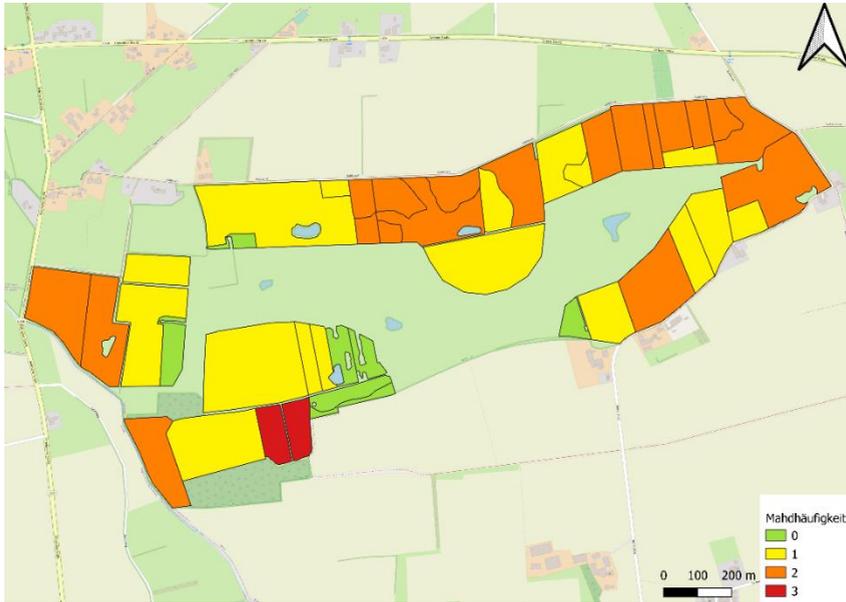


Abb. 3: Vor Ort festgestellte Mahdhäufigkeiten auf Teil-Schlagebene im Naturschutzgebiet Rabbruch in Nordrhein-Westfalen

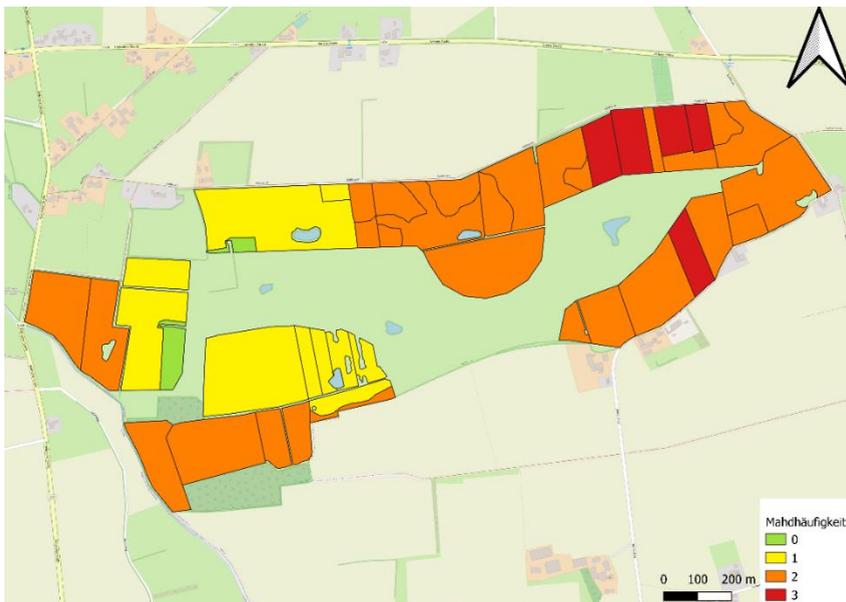


Abb. 4: Fernerkundlich erfasste Mahdhäufigkeit (Ansatz von Schwieder et al. (2022)) auf Teil-Schlagebene im Naturschutzgebiet Rabbruch in Nordrhein-Westfalen

Aufgrund dieser Zwischenergebnisse soll nun getestet werden, ob durch Hinzunahme der Sentinel-1 SAR (Synthetic Aperture Radar)-Daten (Rückstreuung und Kohärenz) die Genauigkeit der Mahderfassung noch weiter verbessert werden kann. Zur Plausibilitätsprüfung der erkannten Mahdtermine sollen zusätzlich Niederschlagsdaten herangezogen werden.

3.4 Anwendungsoberfläche des Web-Portals

Die entwickelten fernerkundungsbasierten Dienste werden den Endnutzenden auf einer grafischen Web-Oberfläche für Analyseaufträge zur Verfügung gestellt. Diese soll bundeslandübergreifend, niedrigschwellig, nutzungsorientiert, kostenlos und einheitlich sein.

Die Anwendungsoberfläche soll nah an den Bedürfnissen der Endnutzenden, also der Sachbearbeitenden der LUÄ ausgerichtet sein. Um dies zu gewährleisten und eine gute operationelle Anwendung zu ermöglichen, wurden die konkreten Bedarfe anhand eines Fragebogens zur Nutzungsoberfläche bei den beteiligten Landesumweltämtern erhoben. Hierbei ging es um Fragen zum generellen Aufbau der Website, zum Aufbau der Dienste, zur Ein- und Ausgabe der Daten und zur Zusammensetzung der einzelnen Buttons und Parameter. Diese Ergebnisse stellen im Weiteren die Grundlage für die Anforderungen an die Entwicklung der Web-Oberfläche dar.

4 Fazit und Ausblick

Das Potenzial von Satellitendaten für ein effektives Grünlandmonitoring ist anhand von vielen forschungsintensiven Einzelstudien für viele Parameter nachgewiesen worden (Reinermann et al. 2020). Die Innovation des Projekts liegt daher nicht in der Entwicklung grundlegend neuer Methoden / Algorithmen, sondern vielmehr in der konsequenten Nutzung von Copernicus Daten für die operationelle Anwendung durch Behörden aus den Bereichen des Natur- und Umweltschutz. Denn es sollen vornehmlich bestehende Ansätze und Methoden integriert und für die Dienste des Projektes weiterentwickelt werden. Generell soll als Ergebnis ein Instrumentenkasten vorliegen, der Endnutzenden ohne fernerkundliche Kenntnisse eine intuitive Nutzung dieser Dienste ermöglicht und hinsichtlich fachlicher Anwendung und Leistungsfähigkeit in Zukunft erweiterbar ist.

5 Danksagung

Das Verbundvorhaben Copernicus leuchtet Grün (CopGruen) wird von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR mit Mitteln des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr gefördert (50EW2102A-F). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren und Autorinnen. Es gehört zum Programm „Umweltmonitoring –

auf dem Weg zu einem Leuchtturmprojekt“. An diesem dreijährigen Projekt, welches 2021 gestartet ist, sind sechs Verbundpartner sowie sechs Kooperationspartner beteiligt. Insgesamt ist es eine Zusammenarbeit von neun Landesumweltbehörden sowie drei Verbundpartnern aus dem Forschungs- und Entwicklungsbereich.

Literaturverzeichnis

- Frantz, D. (2019): FORCE—Landsat+ Sentinel-2 analysis ready data and beyond. *Remote Sensing*, 11(9), 1124.
- Liu, H. Q., Huete, A. (1995): A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 33(2), 457-465.
- Reinermann, S., Asam, S., Kuenzer, C. (2020): Remote sensing of grassland production and management—A review. *Remote Sensing*, 12(12), 1949.
- 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.
- Wang, Z., Ma, Y., Zhang, Y., Shang, J. (2022): Review of Remote Sensing Applications in Grassland Monitoring. *Remote Sensing*, 14(12), 2903.
- Zhao, Y., Liu, Z., Wu, J. (2020): Grassland ecosystem services: a systematic review of research advances and future directions. *Landscape Ecology*, 35(4), 793-814.
- <https://code-de.org/de/> (zuletzt aufgerufen am 15.10.2022).

Rahmenbedingungen zum Drohneneinsatz im Naturschutz

Maximilian Mitterbacher, MSc¹

Abstract: Drohnen können ein nützliches Instrument im Natur- und Artenschutz sein, da ihr Einsatz vielfach genauer, effizienter und störungsärmer als herkömmliche Erfassungsmethoden ist. Insbesondere im Vogelschutz ergeben sich einige Anwendungsmöglichkeiten wie beispielsweise die Suche nach Nestern von Bodenbrütern oder die Zählung größerer, schwer einsehbarer Vogelkolonien. Die Störwirkung einer Drohne auf die untersuchten Arten wird maßgeblich von der Flughöhe und –weise sowie Größe und Form der Drohne bestimmt. Bei Einhaltung gewisser Grundregeln lässt sich die Störwirkung von naturschutzfachlichen Drohnenflügen auf ein Minimum reduzieren und ist somit oft geringer als bei einer herkömmlichen Zählung am Boden. Wir empfehlen die Verwendung möglichst kleiner, leiser Geräte und eine ruhige Flugweise möglichst nicht unter 50 m Höhe. Neben einem sensiblen Umgang in der Natur sind beim Betreiben einer Drohne zudem einige aktuelle rechtliche Vorschriften zu beachten, die seit Jahresbeginn 2021 aufgrund der neuen EU-Verordnungen und der überarbeiteten Luftverkehrs-Ordnung gelten.

Keywords: Drohne, Naturschutz, Recht, Einsatzmöglichkeiten, Störwirkung

1 Einleitung

Drohnen sind unbemannte Luftfahrzeuge (Unmanned Aerial Vehicles, kurz: UAV), bei denen es sich im herkömmlichen Sprachgebrauch meist um kleine bis mittelgroßer Kopter handelt, die mit einer Kamera ausgestattet sind. Ein Großteil dieser ursprünglich aus der Militärtechnik stammenden Geräte wird von Hobbynutzern betrieben und nur ein recht geringer Teil wird auch gewerblich beispielsweise zur Inspektion von Bauwerken eingesetzt. Im Naturschutz stellt die neue Technik bisher noch weitgehend ein Nischenprodukt dar, doch einige Studien konnten bereits zeigen, dass Drohnen bei fachgerechter Anwendung vielfach effizienter und teilweise auch störungsärmer als herkömmliche Erfassungsmethoden sein können. Abhängig von den verwendeten Kamerasensoren ergeben sich zahlreiche Einsatzmöglichkeiten von Drohnen im Natur- und Artenschutz. Die Anwendungsfelder reichen dabei von Landschaftsdokumentation über Vegetationsmonitoring bis hin zur Erfassung von Tieren. Naturschutzfachliche Konflikte gibt es vor allem mit Hobbypiloten, die durch unbedachte und unsensible Flugweise mit ihren Drohnen Störungen in der Natur verursachen können. Die Staatliche Vogelschutzwarte am Bayerischen Landesamt für Umwelt erprobt im Rahmen eines

¹ Bayerisches Landesamt für Umwelt
Referat 55: Arten- und Lebensraumschutz, Staatliche Vogelschutzwarte
Gsteigstraße 43
82467 Garmisch-Partenkirchen
Mail: Maximilian.Mitterbacher@lfu.bayern.de

vierjährigen Forschungsprojekts die Einsatzmöglichkeiten von Drohnen im Naturschutz und untersucht deren störungsökologische Effekte. In diesem Artikel werden (1) die wichtigsten rechtlichen Grundlagen (Stand: Dezember 2022) des Drohnenfliegens beschrieben, (2) Einsatzmöglichkeiten für Artenschutz Zwecke aufgezeigt sowie (3) störungsökologische Empfehlungen gegeben, um einen möglichst sensiblen Betrieb von Drohnen in der Natur sicherzustellen.

2 Gesetzliche Grundlagen

2.1 Rechtsgrundlage und allgemeine Voraussetzungen

Die Rechtslage zu Drohnenflügen in Deutschland hat sich in den letzten Jahren maßgeblich verändert. Seit 2021 gelten für den Einsatz von Drohnen die neuen EU-Vorschriften DVO (EU) 2019/947 und DVO (EU) 2019/945. Ergänzt werden diese durch nationale Regelungen in der Luftverkehrsordnung (LuftVO).

Die neuen EU-Verordnungen sehen für den Einsatz von Drohnen drei Anwendungsszenarien vor, die in Abhängigkeit ihres Risikos in die Betriebskategorien „Open“, „Specific“ und „Certified“ unterteilt werden. Nachfolgend wird nur die Kategorie „Open“ thematisiert, da diese auf die meisten Drohnenutzer zutrifft und Flüge mit geringem Risiko bzw. typische, alltägliche Anwendungen abdeckt. In dieser Kategorie dürfen nur Geräte mit einer maximalen Startmasse (Maximum Take-Off Mass, kurz: MTOM) von unter 25 kg betrieben werden, die maximale Flughöhe liegt bei 120 m über Grund und es darf ausschließlich in Sichtweite (Visual Line Of Sight, kurz: VLOS) geflogen werden.

In Abhängigkeit vom Drohngewicht und zukünftig der CE-Klasse des Fluggeräts erfolgt in weiterer Folge eine Unterteilung in die drei Unterkategorien „A1“, „A2“ und „A3“. Diese definieren einzuhaltende Mindestabstände zu unbeteiligten Personen oder sensibler Infrastruktur (Abb. 1).

Der Drohnenpilot ist verpflichtet, je nach Unterkategorie einen entsprechenden Führerschein abzulegen. Für alle Geräte mit einer Startmasse über 250 g bzw. für sämtliche mit Kameras ausgestatteten Drohnen muss dies zumindest der „kleine Drohnenführerschein“, der sog. EU-Kompetenznachweis, sein. Damit ist in Abhängigkeit des Drohngewichts und zukünftig der CE-Klasse ein Betrieb in den Unterkategorien A1 oder A3 möglich. Möchte der Pilot die hier geltenden Mindestabstände zu unbeteiligten Personen oder bestimmten Infrastrukturen unterschreiten, so ist zudem die Absolvierung des EU-Fernpilotenzeugnisses erforderlich, sodass auch ein Betrieb in der Unterkategorie A2 möglich ist.

Unterkategorie	Klasse	MTOM	Begrenzungen	Qualifikationen
A1	C0 oder privat hergestellt	< 250 g	<ul style="list-style-type: none"> Keine Menschenansammlungen überfliegen Überflug unbeteiligter Personen zulässig 	Keine
	C1	< 900 g	<ul style="list-style-type: none"> Keine Menschenansammlungen überfliegen Keine Unbeteiligten überfliegen 	EU-Kompetenznachweis
A2	C2	< 4 kg	<ul style="list-style-type: none"> Mind. 30 m Abstand zu Unbeteiligten Im Langsamflugmodus mind. 5 m Abstand zu unbeteiligten Personen 	EU-Fernpilotenzeugnis
A3	C3, C4 oder privat hergestellt	< 25 kg	<ul style="list-style-type: none"> Mind. 150 m Abstand zu Wohn-, Gewerbe-, Industrie- oder Erholungsgebieten Gefährdung Unbeteiligter muss ausgeschlossen werden können 	EU-Kompetenznachweis

Abb. 1: Unterkategorien für den Betrieb von Drohnen und damit verbundene Regeln. Quelle: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (*Dipul*)

Hinweis: Ab 2024 werden nur noch CE-klassifizierte Drohnen auf dem Markt zugelassen. Aktuell gelten noch Übergangsbestimmungen zur Nutzung von Bestandsdrohnen. Die DJI Mavic 3-Serie ist gegenwärtig die erste CE-klassifizierte Drohne (Klasse C1).

Bis 31.12.2023 dürfen Bestandsdrohnen unter 500 g Startmasse in der Unterkategorie A1 betrieben werden. Alle Geräte mit mehr als 0,5 kg und weniger als 25 kg Startmasse werden in A3 betrieben. Verfügt der Pilot über den „großen Drohnenführerschein“, das sog. EU-Fernpilotenzeugnis, ist für Bestandsdrohnen mit einer Startmasse von weniger als 2 kg der Betrieb in A2 möglich und somit eine Annäherung an unbeteiligte Personen auf bis zu 30 m.

Betreiber müssen sich für den Betrieb sämtlicher Drohnen mit einer Startmasse über 250 g bzw. aller mit Kameras ausgestatteten Geräte beim Luftfahrtbundesamt registrieren. Im Zuge der Registrierung wird überprüft, ob der Betreiber über eine gültige Haftpflichtversicherung für den Betrieb von Drohnen verfügt. Als Betreiber kann sowohl eine natürliche Person als auch eine juristische Person (z. B. Behörde) registriert werden. Dem Betreiber wird vom Luftfahrtbundesamt eine individuelle Registrierungsnummer (e-ID) zugewiesen, die auf allen Geräten des Betreibers anzubringen ist. Unter dieser Nummer können auch mehrere Drohnen betrieben werden, da die Nummer Betreiber und nicht Geräte spezifisch ist. Bei juristischen Personen (z. B. Behörde) können auch mehrere Piloten unter derselben Betreibernummer aktiv sein.

Zu den allgemeinen Voraussetzungen für den Betrieb einer Drohne zählen somit zusammenfassend die Absolvierung entsprechender Kenntnisnachweise, eine

Registrierung als Betreiber, eine gültige Haftpflichtversicherung des Betreibers, eine Kennzeichnungspflicht aller relevanten Geräte sowie ein grundsätzliches Mindestalter des Piloten von 16 Jahren.

2.2 Geographische UAS-Gebiete

In § 21h LuftVO ist definiert in welchen Gebieten ein Drohnenflug aus Gründen der Sicherheit, des Schutzes der Privatsphäre oder der Umwelt ausgeschlossen ist oder nur unter Einhaltung von Auflagen erfolgen darf. Hierbei handelt es sich um sog. geographische UAS-Gebiete, kurz Geozonen. Dazu zählen unter anderem Flughäfen- und -plätze, Industrie-, Militär- und Bahnanlagen, Krankenhäuser sowie Wohngrundstücke.

Einschlägiges Kartenmaterial und Apps helfen Drohnenpiloten bei der Flugplanung und Identifizierung von geographischen UAS-Gebieten. Hierzu zählen *Dipul*, eine digitale Plattform für unbemannte Luftfahrt, zur Verfügung gestellt vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr, sowie diverse Apps wie *Droniq* oder *Map2Fly*.

Aus naturschutzfachlicher Sicht ist relevant, dass der Betrieb von Drohnen über Naturschutzgebieten, Nationalparks sowie Europäischen Vogelschutzgebieten und FFH-Gebieten weiterhin grundsätzlich nicht erlaubt ist.

Ausnahmen zum Flug in diesen Schutzgebieten sind nach § 21 h LuftVO nur möglich, wenn die zuständige Naturschutzbehörde dem Drohnenbetrieb ausdrücklich zustimmt oder der Betrieb von unbemannten Fluggeräten in diesen Gebieten nach landesrechtlichen Vorschriften abweichend geregelt ist.

Mit Ausnahme von Nationalparks ist zudem ein erlaubnisfreier Drohnenbetrieb in Schutzgebieten unabhängig von den zuvor genannten Regelungen möglich, sofern alle der folgenden vier Anforderungen (a –d) erfüllt werden können:

- a) wenn der Betrieb nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung erfolgt,
- b) wenn der Betrieb in einer Höhe von mehr als 100 Metern stattfindet,
- c) wenn der Pilot den Schutzzweck des betroffenen Schutzgebietes kennt und diesen in angemessener Weise berücksichtigt und
- d) wenn die Luftraumnutzung durch den Überflug über dem betroffenen Schutzgebiet zur Erfüllung des Zwecks für den Betrieb unumgänglich erforderlich ist.

Die Punkte a) - d) betreffen also gewerbliche Drohnenflüge, beispielsweise Flüge zur Inspektion von Trassen oder zur Dokumentation von Baumaßnahmen in Schutzgebieten.

Können a) – d) nicht zusammen erfüllt werden, muss grundsätzlich ein Antrag an die zuständige Naturschutzbehörde gestellt werden. Die Zuständigkeiten können in den verschiedenen Bundesländern differieren und sich auch schutzgebietsabhängig unterscheiden.

Außerdem ist relevant, dass Luftrecht und Naturschutzrecht parallel anwendbar sind, also neben den luftrechtlichen Regelungen auch Naturschutzrecht berücksichtigt werden muss. Dies gilt insbesondere für § 44 Bundesnaturschutzgesetz, demzufolge wildlebende Tiere der streng geschützten Arten und der europäischen Vogelarten v. a. während Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten nicht erheblich gestört werden dürfen.

2.3 Drohnenbetrieb als Behörde

Ursprünglich durften alle Behörden nach § 21k LuftVO ihre Drohnen ohne zusätzliche Genehmigung in geographischen UAS-Gebieten betreiben. Diese Ausnahme ist laut Mitteilung des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr seit Juli 2022 nicht mehr gültig. Mittlerweile können ausschließlich Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) von § 21k LuftVO im engeren Sinne erfasst werden. Zu den BOS zählen beispielsweise Polizei, Feuerwehr und Rettungsdienste. Alle anderen Behörden wie zum Beispiel Naturschutzbehörden oder Wasserwirtschaftsämter müssen ab sofort bei den zuständigen Stellen um Genehmigung ansuchen, um Drohnen in geographischen UAS-Gebieten betreiben zu dürfen. Unter Umständen muss der Betreiber der Drohne eine Risikobewertung (Specific Operations Risk Assessment, kurz: SORA) durchführen, bevor eine Genehmigung erteilt werden kann. Ein Leitfadens zum Ablauf der SORA wird vom Luftfahrtbundesamt zur Verfügung gestellt.

3 Einsatzmöglichkeiten von Drohnen im Naturschutz

3.1 Drohnen im Bodenbrüterschutz

Eine der Hauptgefährdungsursachen für bodenbrütende Vogelarten ist in vielen Gebieten der Brutverlust durch Mahd oder Ernte. Mit Drohnen und daran montierten Wärmebildkameras ist es möglich, landwirtschaftliche Flächen systematisch rasterförmig nach Nestern von Bodenbrütern abzusuchen. Wird ein Gelege gefunden, so kann der Standort durch ein in der Drohne verbautes GPS-Modul verortet und in weiterer Folge kleinräumig durch Markierungen (z. B. Kiebitznester auf Ackerflächen) oder auch großflächiger durch das Stehenlassen von größeren Restflächen (z. B. Wiesenweihenbruten in Getreidefeldern) vor Mahd, Ernte oder anderen Bearbeitungsschritten geschützt werden.

Die Nestersuche mittels Drohne stellt eine effiziente Alternative zur herkömmlichen Suchmethode dar, bei der die Nester meist mittels (Kreuz-)Peilung anhand von Sichtbeobachtungen lokalisiert werden, was in aller Regel sehr zeitaufwändig ist und oft eine zweite Person zum Einweisen erfordert. Vor allem bei einer bevorstehenden Ernte kann mittels Drohne eine Verdachtsfläche innerhalb kurzer Zeit kontrolliert werden und ersetzt so stundenlanges Beobachten. Außerdem werden bei Drohnenkontrollen (bspw.

von Wiesenweihennestern) keine Duftspuren und Pfade in die Fläche gelegt, die Bodenprädatoren ans Nest führen könnten (Israel 2017, Kronberg & Bauer 2017).

Im Projekt des Bayerischen Landesamtes für Umwelt wurde die Methodik erfolgreich bei Großer Brachvogel, Kiebitz, Wiesenweihe und Großtrappe getestet. Der Sucherfolg ist neben einer geeigneten technischen Ausstattung, der Tageszeit (morgens, um Temperaturunterschiede zwischen bebrüteten Eiern/Nestlingen und der Umgebung ausnutzen zu können) und passenden Umweltbedingungen vor allem von der Größe der untersuchten Art und des Neststandortes abhängig. Größere Arten mit nach oben hin offenem Nest lassen sich recht einfach detektieren, wohingegen kleine Arten und solche mit Nestern in dichter, oben geschlossener Vegetation kaum auffindbar sind (z.B. Braunkehlchen).

Bei der Suche nach Bodenbrüternestern kann in der Regel in 50 m Höhe geflogen werden, was einen angemessenen Kompromiss aus Flächenleistung, Detektionserfolg und Störwirkung darstellt. Die Drohnenflüge verlaufen für die untersuchten Arten dabei weitgehend störungsarm und ermöglichen ein rasches sowie effizientes Auffinden der Nester. Große Brachvögel verlassen bei dieser Flughöhe die Nester in aller Regel nicht. Kiebitze können auffliegen, kehren jedoch erfahrungsgemäß innerhalb weniger Minuten nach Ende des Drohnenfluges wieder auf die Gelege zurück (Döring & Mitterbacher 2021, Mitterbacher 2022).



Abb. 2: Junge Wiesenweihen in Getreidefeld. Mittels Drohne erfolgt eine Kontrolle ohne direkt ans Nest zu gehen. Foto: LfU, M. Mitterbacher

3.2 Drohnen zum Monitoring von Vogelkolonien

Drohnen werden bereits seit einiger Zeit zur Zählung größerer Vogelkolonien eingesetzt, allen voran bei Möwen und Seeschwalben. Die Drohne ermöglicht dabei Einblicke in die oftmals schwer einsehbaren und erreichbaren Kolonien, die einem Bodenbeobachter völlig unzugänglich bleiben. Die mittels Drohne erfassten Nestzahlen liegen in aller Regel deutlich höher als bei den klassischen Bodenzählungen. Direkte Begehungen von Kolonien (z.B. bei Möwen- oder Seeschwalben) sind zudem wesentlich störungsintensiver als Drohnenflüge in größerer Höhe. Drohnen stellen somit eine reproduzierbare, kostengünstige und störungsarme Möglichkeit / Alternative zum Monitoring von Vogelkolonien dar (Sardà-Palomera et al. 2012, Mitterbacher 2022)

Das Bayerische Landesamt für Umwelt erprobt die Methodik vor allem an Graureiher-, Kormoran- und Lachmöwenkolonien. Einzelne Versuche fanden auch an Kolonien von Flusseeeschwalben sowie Purpur- und Nachtreihern statt.

Eine Mindestflughöhe von 50 m gewährleistet dabei eine weitgehend störungsfreie Kontrolle der Kolonien. Mit dieser Höhe kann auch zu Nestern auf Bäumen wie denen von Graureihern und Kormoranen noch ein Abstand von 20 bis 30 m eingehalten werden, sodass die Altvögel die Nester nicht verlassen.



Abb. 3: Blick auf eine Kormorankolonie. Aus der Luft werden meist deutlich höhere Nestzahlen ermittelt als bei herkömmlichen Bodenzählungen. Foto: LfU, M. Mitterbacher

3.3 Drohnen zur gezielten Horstkontrolle bei Greifvögeln

Drohnen eignen sich zudem für die gezielte Kontrolle von Greifvogelnestern, beispielsweise um zu überprüfen, ob diese besetzt sind, wie viele Jungvögel sich im Nest befinden oder ob sich im Falle eines Brutverlustes Hinweise zu den möglichen Ursachen finden lassen. Die daraus gewonnenen Informationen sind essentiell für das Monitoring von Populationen. Auch internationale Studien aus Nord- und Südamerika beschreiben Drohnen als flexible, schnelle und kostengünstige Erfassungsmethode. Alternative Kontrollmöglichkeiten wie bemannte Flüge, Bodenbeobachtungen oder mithilfe von Kletterteams sind dagegen vielfach riskanter, aufwendiger und teilweise auch mit höherer Störung verbunden (Junda et al. 2015). Drohnenkontrollen können dabei nahezu dreimal so schnell wie herkömmliche Nestkontrollen mit Kletterern sein und haben zudem keinerlei negativen Einfluss auf den weiteren Verlauf der Bruten (Gallego & Sarasola 2021).

In bayerischen Alpenraum werden schwer einsehbare oder schwer erreichbare Steinadlerhorste in steilen Felswänden inzwischen teilweise mit Drohnen kontrolliert, in anderen Landesteilen kommen die unbemannten Fluggeräte bereits gezielt zur Inspektion von See- und Fischadlerhorsten zum Einsatz.

Angriffe von Greifvögeln auf Drohnen als vermeintliche Eindringling in die Nestnähe kommen in Ausnahmefällen vor. In der Praxis empfiehlt es sich daher, neben dem Piloten, der sich auf das Steuern des Gerätes konzentrieren muss, auch einen Assistenten für die Horstkontrollen mitzunehmen. Dieser behält die Altvögel und die Nestumgebung ständig im Auge, um gegebenenfalls den Piloten bei Attacken rechtzeitig warnen zu können (Junda et al. 2015). Kommen die Greifvögel dem Gerät zu nahe, sollte zügig senkrecht nach oben und hinten geflogen werden, um rasch aus der Reichweite der Greife zu gelangen. Unmittelbar im Anschluss muss die nähere Nestumgebung verlassen und die Drohne gegebenenfalls gelandet werden (Döring & Mitterbacher 2021, Mitterbacher 2022).

4 Störungsökologische Empfehlungen

Bisherige Erfahrungen haben gezeigt, dass Drohnenflüge zu Naturschutzzwecken bei fachgerechter Durchführung für die untersuchten Arten meist störungsfrei oder allenfalls störungsarm verlaufen. Diese Einschätzung basiert überwiegend auf Verhaltensbeobachtungen der Vögel. Physiologischer Stress lässt sich jedoch aufgrund visuell nicht erkennbarer Reaktionen der Tiere nicht immer ausschließen. Aktuelle Studien belegen, dass es vor allem in Abhängigkeit von der Flughöhe und Flugweise zu unterschiedlichen Stressreaktionen kommen kann, die sich nicht immer in Verhaltensänderungen bemerkbar machen (Weimerskirch et al. 2018, Wulf & Pietsch 2021). Je vertikaler und zielorientierter eine Drohne auf Vögel zufliegt, desto größer ist die Störung (Vas et al. 2015). Dies kommt vor allem bei Drohnenflügen im Freizeitbereich vor, wo unachtsame und unwissende Piloten Tiere mit einer unsensiblen Flugweise

aufscheuchen. Ruhige, rasterförmige (systematische) Flüge auf gleichbleibender Höhe sind hingegen am störungsärmsten. Fluggeräte mit Benzinmotor führen durch den höheren Lärmpegel eher zu einer Reaktion als elektrisch betriebene Geräte (Mulero-Pázmány et al. 2017). Zudem ist bei großen Drohnen die Fluchtdistanz höher als bei kleinen Drohnen und rundlich erscheinende Kopter führen zu geringerem Stress als bestimmte Starrflügler-Modelle (v.a. Delta-Flügler, McEvoy et al. 2016). Die Reaktion der Vögel hängt auch von der Individuenzahl und Lebensphase ab, so reagieren große Trupps und Nichtbrüter meist früher und intensiver auf die Fluggeräte als Einzelvögel, kleine Gruppen und Brutvögel auf dem Nest oder in Kolonien.

Bei umsichtiger Flugweise lässt sich die Störwirkung eines Drohnenfluges auf ein Minimum reduzieren. Gemeinsam mit der Hochschule Rottenburg und basierend auf eigenen Erfahrungen und existierenden Empfehlungen wie beispielsweise von der Schweizerischen Vogelwarte Sempach hat das Bayerische Landesamt für Umwelt allgemeine Grundregeln zusammengestellt, die einzuhalten sind, um Drohnenflüge für Naturschutzzwecke möglichst störungsarm durchführen zu können (Döring & Mitterbacher 2021):

- Die Drohnenflüge sind räumlich und zeitlich auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken.
- Es sollten möglichst kleine, leise, elektrisch betriebene Drohnen verwendet werden.
- Start und Landung sollten nur in Bereichen, die bereits regelmäßig von Menschen frequentiert und gestört werden (Straßen, Wege, Parkplätze etc.), erfolgen. Es sollte bei Start und Landung ein möglichst großer Abstand zu Tieren bzw. naturnahen Lebensräumen eingehalten werden. Ein Mindestabstand von 100 m wird dabei empfohlen.
- Die Drohnenflüge sind in der jeweils maximal möglichen Flughöhe durchzuführen, um noch eine sichere und effektive Detektion / Kontrolle erreichen zu können. Eine Flughöhe von mind. 50 m ist in der Regel als unkritisch zu beurteilen. Je besser die Kamera, desto höher kann generell geflogen werden.
- Eine ruhige Flugweise mit Flugbahnen auf möglichst gleichbleibender Höhe sollte angestrebt werden.
- Plötzliche Richtungswechsel und rasante Flugmanöver im Nahbereich von Tieren sind zu unterlassen.
- Ein direktes Anfliegen von Tieren ist zu unterlassen.
- Bei deutlich sichtbaren Reaktionen von Tieren (erkennbare Nervosität, Flucht, Angriff etc.) muss sofort Abstand gesucht werden und der Drohnenflug ist ggf. abbrechen.
- Bei Angriffen von Greifvögeln, sollte zügig senkrecht nach oben und hinten geflogen werden, um rasch aus der Reichweite der Greife zu gelangen.
- Flüge zu Dokumentationszwecken (z. B. Landschaftsaufnahmen, Vegetationsmonitoring) möglichst außerhalb der Brut- und Mauserzeit (Enten/ Gänse) von August bis Januar durchführen.

Hinweis: Detailliertere Ausführungen zu den Themen und Beispielen aus den Kapiteln 3 & 4 finden sich in Döring & Mitterbacher (2021), Mitterbacher (2022) und LAG Vogelschutzwarten (2023).

Literaturverzeichnis

Döring, S., Mitterbacher, M. (2021): Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring: Aktuelle Forschungsergebnisse und Erfahrungswerte zur störungsökologischen Wirkung von Drohnen. Infoblatt Bayerisches Landesamt für Umwelt: 19 S.

Gallego, D., Sarasola, J.H. (2021): Using drones to reduce human disturbance while monitoring breeding status of an endangered raptor. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 7 (3): 550–561.

Israel, M. (2017): UAV-gestützte Detektion von Kiebitznestern in Agrarflächen. 23. Workshop Computerbildanalyse in der Landwirtschaft: 1-8.

Junda, J., Greene, E., Bird, D.M. (2015): Proper flight technique for using a small rotary-winged drone aircraft to safely, quickly, and accurately survey raptor nests. *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 3 (4): 222–236.

Kronberg, J., Bauer, K. (2017): Kopter im Wiesenweihenschutz - neue Perspektiven. Einsatz eines Kopters mit Wärmebild- und GoPro-Kamera zum Schutz der Wiesenweihe *Circus pygargus*. *Vogelwelt* 137: 396- 403.

LAG Vogelschutzwarten (2023): Überarbeitetes Positionspapier zu „Drohnen im Vogelschutz“ – in Arbeit.

McEvoy, J.F., Hall, G.P., McDonald, P.G. (2016): Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: disturbance effects and species recognition. *PeerJ* 4: e1831.

Mitterbacher, M. (2022): Neue Perspektiven aus der Luft: Einsatz von Drohnen im Vogelschutz. *Der Falke* 69 (11): 20-25.

Mulero-Pázmány, M., Jenni-Eiermann, S., Strelbel, N., Sattler, T., Negro, J.J., Tablado, Z. (2017): Un-manned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review. *PLoS ONE* 12 (6): e0178448.

Sardà-Palomera, F., Bota, G., Viñolo, C., Pallares, O., Sazatornil, V., Brotons, L., Gomariz, S., Sardà, F. (2012): Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems. *Ibis* 154: 177-183.

Vas, E., Lescroel, A., Duriez, O., Boguszewski, G., Gremillet, D. (2015): Approaching birds with dro-nes: first experiments and ethical guidelines. *Biology Letters* 11 (2): 20140754.

Weimerskirch, H., Prudor, A., Schull, Q. (2018): Flights of drones over sub-Antarctic seabirds show species- and status-specific behavioural and physiological responses. *Polar Biology* 41 (2): 259–266.

Wulf, T., Pietsch, M. (2021): Störungsanalyse von UAVs bei der Detektion von Nistplätzen des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) – Methode und erste Ergebnisse. AGIT - Journal für Angewandte Geoinformatik (7): 180-189.

Internetadressen:

<https://dipul.de/homepage/de/> (zuletzt aufgerufen am 14.12.2022)

<https://dipul.de/homepage/de/informationen/kategorisierung-des-drohneneinsatzs/offene-kategorie/> (Quelle zu Abb. 1, zuletzt aufgerufen am 14.12.2022)

https://www.gesetze-im-internet.de/luftvo_2015/BJNR189410015.html (zuletzt aufgerufen am 07.12.2022)

<https://www.drohnen.de/20336/drohnen-gesetze-eu/> (zuletzt aufgerufen am 07.12.2022)

https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/doc/stoerungsoekologische_wirkung_drohnen.pdf (zuletzt aufgerufen am 07.12.2022)

<https://www.vogelwarte.ch/de/vogelwarte/news/medienmitteilungen/wie-voegel-auf-drohnen-reagieren> (zuletzt aufgerufen am 07.12.2022)

<https://www.vogelwarte.ch/de/vogelwarte/news/avinews/dezember-2016/voegel-und-drohnen-wie-konflikte-vermieden-werden> (zuletzt aufgerufen am 07.12.2022)

<https://www.vogelwarte.ch/de/voegel/ratgeber/gefahren-fuer-voegel/ruecksicht-beim-fliegen-mit-drohnen> (zuletzt aufgerufen am 07.12.2022)

Biomonitoring mit UAV

Steffen Döring¹

Abstract: Der Naturschutz steht vor immer größeren Herausforderungen bezüglich der steigenden Monitoringaufgaben. Begrenzte Ressourcen und Ausweitung der Aufgaben bedürfen immer effizienterer Methoden, um diese zu bewältigen. Mit dem Forschungsprojekt 'Drohnen im Biomonitoring' wurden die technischen Möglichkeiten, mögliche Einsatzfelder und die Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von Drohnen im Naturschutz untersucht. Motivation für die Konzeption des Projekts war das Bestreben, sowohl Behörden, als auch denen von ihnen beauftragten Unternehmer wie Planungsbüros oder freiberufliche FeldökologInnen, den Einstieg in das Thema Drohnen zu erleichtern und deren Einsatz effektiver zu gestalten. So wurde v.a. auf die Verwendung von handelsüblicher und möglichst kostengünstiger Hard- und Software und einfache Workflows Wert gelegt. Drohnen erwiesen sich für alle Fragestellungen als nützliche Instrumente für Naturschutzaufgaben, wenn sie richtig eingesetzt werden. Um das zu ermöglichen, war die Erstellung eines Handbuchs und einer Schulungsreihe auch das Hauptergebnis dieses Forschungsprojekts.

Keywords: Drohnen, Biomonitoring, Naturschutz, Handbuch

1 Einleitung

Die Weltgemeinschaft hat sich seit der UN-Konferenz von Rio de Janeiro 1992 zum Ziel gesetzt, den Verlust von Biodiversität deutlich zu begrenzen bzw. einzudämmen und das Artensterben zu stoppen. Viele Länder wie die EU-Mitgliedsstaaten und Deutschland mit den Bundesländern entwickeln seitdem Strategien und konkrete Konzepte, um dieses Ziel zu erreichen. Die Verfügbarkeit möglichst aktueller und realer Daten zum Status-Quo von Arten oder Gebieten ist dabei Voraussetzung. Dies wiederum gelingt nur über gründliche Ersterfassungen und anschließendes regelmäßiges Monitoring. Um sicherzustellen, dass die limitierten finanziellen und personellen Ressourcen für das Monitoring effizienter eingesetzt werden, ist es unabdingbar, die Monitoring-Methoden hinsichtlich Kosten und Effizienz zu optimieren und zu standardisieren (Bock et al. 2005). Monitoringdaten sollen außerdem europaweit zur Verfügung stehen, um harmonisiert Indikatoren zum Stand der Biodiversität entwickeln zu können (Schmeller et al. 2009).

Darüber hinaus hat auch der "Bedarf nach verlässlichen Daten", für Verträglichkeitsprüfungen aller Art und für die Monitoringverpflichtungen nach Artikel

¹ DronesForNature (chemals Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg) - dronesfornature@posteo.de

17 der FFH-Richtlinie und Erfüllungs-Kontrollen erheblich zugenommen (Pröbstl-Haider 2013). Dadurch erhöht sich der Handlungsdruck auf die zuständigen Behörden zunehmend, die allerdings kaum mehr in der Lage sind, die komplexen und technologisch anspruchsvollen Erhebungen mit den bestehenden Methoden selbst durchzuführen.

1.1 Status Quo

Regelmäßige und methodische Einsätze von Drohnen z.B. zur Erfassung von Veränderungen oder Habitatstrukturen oder zur Abundanz und Verteilung von Arten sind bislang überwiegend aus dem Ausland bekannt. In Deutschland beschränkt sich der ökologische Einsatz von Drohnen außer zur Dokumentation meist auf wenige und noch eher forschungsbezogene Fragestellungen, wie Struktur- und Veränderungserfassungen, Habitatanalysen, die Erkennung von Borkenkäferbefall oder zum Vogelmonitoring. Bis auf die Wildtierrettung, v.a. die Detektion von Rehkitzen vor der Mahd, befinden sich fast alle Einsatzmethoden noch in der Entwicklungs- oder Testphase für den operativen Einsatz und haben noch selten Einzug in das normale Methodenrepertoire gehalten.

Dieser geringe naturschutzfachliche Gebrauch des 'Fliegenden Fernglases - Drohne' ist zum Teil noch Vorurteilen und Aversionen gegenüber Drohnen geschuldet (Christen et al. 2018), die als lästige "Bedroher der Privatsphäre" oder als "Tierschreckmittel" verschrien sind. Diese Bedenken sind im Hobbyeinsatz von Drohnen auch nicht immer unbegründet. Doch kann der Einsatz von Drohnen fachgerecht durchgeführt sogar eine Minimierung von Störungen bedeuten, da der Mensch bei den etablierten terrestrischen Monitoringmethoden meist eine 100 %-ige Störung darstellt. Potentielle Störungen durch Drohnen können zudem methodisch deutlich minimiert bis eliminiert werden bzw. sind sogar oft mit Blick auf das höhere Monitoring-Ziel vernachlässigbar, wie schon viele Studien belegen (Döring & Mitterbacher 2022).

2 Ziele

Um zu sehen, inwieweit Drohnen Monitoring-Methoden effizienter machen können, wurden in dem Forschungsprojekt 'Drohnen im Biomonitoring' u.a. folgende Ziele verfolgt:

- die Analyse der Möglichkeiten und Vorteile des Einsatzes von Drohnen für Monitoringaufgaben im Naturschutz
- die Evaluation verschiedener Drohnen-Systeme
- die Evaluation der Effektivität von Methoden und Workflows
- die Durchführung von Befliegungen zu Fragestellungen in unterschiedlichen Projektgebieten
- die Darlegung der Grenzen und Restriktionen von Drohneneinsätzen
- die Erforschung von Störungen durch Drohnen.

Das Ergebnis war die Erarbeitung eines Handbuchs mit Empfehlungen und praktischen Anleitungen plus eine Schulungsreihe.

3 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungsmethoden, die im Projekt angewendet wurden, sind in der folgenden Abbildung anschaulich zusammengefasst. Es wird dort auch die Hauptfrage des Projekts gestellt, die am Ende positiv beantwortet werden konnte.



Abb. 1: Untersuchungsmethoden

4 Methodik

In dem Projekt wurde versucht methodisch alle Schritte von der ersten Idee eines Drohneneinsatzes über den Kauf bis hin zur Flugplanung, erfolgreichen Durchführung und Analyse von Flügen für unterschiedliche Fragestellungen abzudecken.

4.1 Vorüberlegungen zum Drohnenkauf

Vor dem Einsatz von Drohnen sollte man sich ein paar Gedanken machen, um z.B. für den jeweiligen Zweck das richtige Drohnenmodell zu beschaffen und um die rechtlichen und methodischen Voraussetzungen erfüllen zu können.

Überlegungen vor dem Kauf

Recherche in Veröffentlichungen und Guides zum Thema

Für welche Fragestellungen soll alles geflogen werden?

Wie groß ist das durchschnittlich zu befliegende Gebiet?

Welche Auflösung müssen die Daten am Ende haben?

Welche Auflösungen der Kamera(s) werden benötigt?

Welche absolute Lagegenauigkeit sollen die Daten haben?

Braucht man regelmäßig verschiedene Sensoren (Payloads) wie RGB, Multispektral und Thermalkameras?

Wie notwendig ist die einfache Transportabiltät?

Abb. 2: Vorüberlegungen innerhalb eines Projektes

Zur Finanzierung sollte man dann noch folgendes bedenken:

- Wieviel möchte/kann man ausgeben? Das bedingt das Modell + das Equipment.
- Welche Software und Hardware zum Fliegen + zur Datenprozessierung soll verwendet werden und wieviel des Budgets ist dafür vorgesehen?
- Sind im Budget genügend Mittel für Ausbildung/Training für Führerschein(e), Softwarebedienung, etc. einkalkuliert?
- Welche anderen Abteilungen oder Ressorts innerhalb von Behörden haben noch Bedarf an Fernerkundungsdaten? Kann man sich Kosten teilen?

4.2 Anleitungen und Empfehlungen

Nach dem Erwerb einer Drohne sind einige generelle Voraussetzungen zu beachten, bevor man fliegen kann. Es müssen z.B. etliche rechtliche Bedingungen erfüllt werden. Diese haben sich mit der neuen LuftVO von 2021 nicht vereinfacht, weshalb man sich dazu ausführlich informieren sollte und genügend Mittel für die 'Grundausbildung', aber auch für regelmäßiges Training und 'Updates' einkalkulieren muss.

Checkliste - Generelle Voraussetzungen	OK
Der A1/A3 Führerschein ist mindestens erforderlich bzw. absolut zu empfehlen - auch für Drohnen unter 250 gr, für die strenggenommen keiner erforderlich wäre. Wer auf Nummer sicher gehen will - zu empfehlen speziell bei professionellem Einsatz von Drohnen - sollte darüber hinaus das EU-Fernpilotenzeugnis A2 absolvieren.	
<ul style="list-style-type: none"> der A1/A3 Drohnen-Führerschein kann als Online-Training mit anschließendem Test und einer Online-Prüfung hier absolviert werden - https://lba-openuav.de/ das EU-Fernpilotenzeugnis A2 kann durch zertifizierte Prüfstellen in Präsenz oder Online absolviert werden - Übersicht z.B. Neuer Drohnenführerschein nach EU -Drohnenverordnung 2021 (drohnen.de, 2022b) 	
Registrierung der Drohne(n) und des Piloten - hier - https://uasregistration.lbaopenuav.de/#/registration/uasOperator	
Eine Haftpflichtversicherung ist gesetzlich <u>für alle Drohnen</u> vorgeschrieben. Eine Drohnenversicherung gibt es bereits ab wenigen Euro pro Jahr - dazu gibt es viele Vergleiche und Angebote im Internet zu finden - z.B. hier Drohnen Versicherung / Haftpflicht im Vergleich drohnen.de oder Drohnenversicherung Drohnen Haftpflicht (Kopterprofi.de)	
Ein eigenes Flugtraining ist zur sicheren Beherrschung der Drohne selbstverständlich immer nötig! Speziell auch für die Durchführung von manuellen und automatisierten Flügen durch Flugplanungsapps muss die Fähigkeit zur manuellen Übernahme der Drohne (z.B. bei einer fast immer möglicher Annäherung eines Hubschraubers und nötiger Einleitung eines schnellen Sinkfluges als Ausweichmanöver) gegeben sein!	
Für das A2-Fernpilotenzeugnis ist aber darüber hinaus ein praktisches Selbst-Training (Kopterprofi, 2021) ist auf offenem Feld durchzuführen und die Durchführung schriftlich zu bestätigen (drohnen.de, 2022c).	
Die Führung eines Flugbuches ist generell anzuraten - zum eigenen Überblick über geflogene Flüge und als Nachweis im Falle eines Falles. Im Rahmen einer Allgemeinverfügung ist z.B. in Thüringen zwingend ein Flugbuch zu führen. physisch z.B. - Flugbuch für Drohnen-Einsätze - Bundesverband Copter Piloten (bvcp.de) https://airdata.com oder als App - z.B. hier Kopter Profi App Drohnen Flugbuch - App Store	

Abb. 3: Checkliste

Natürlich gibt es noch viele weitere Dinge zu beachten und zu planen, bevor man letztendlich die Drohne fliegen lassen kann. Dazu wurden weitere Anleitungen und Empfehlungen sowohl zur Vorbereitung von Missionen am PC, als auch in Apps erstellt und Checklisten für vor, während und nach dem Flug zusammengestellt.

5 Ergebnisse

Im praktischen Teil des Projekts wurden Testflüge in unterschiedlichen Teilprojekten zu verschiedenen Fragestellungen durchgeführt. Zu den einzelnen Themen wurden im Anschluss einfache Workflows und Empfehlungen für erste erfolgreiche Missionen erarbeitet. Diese wurden jeweils mit relevanten Veröffentlichungen ergänzt.

5.1 Landschaftsmonitoring

Das Abbilden von Landschaften anhand von Drohnenbildern ist wohl einer der am weitesten verbreiteten Einsatzbereiche von Drohnen im Biomonitoring. In den unterschiedlichen Teilprojekten wurden unterschiedliche Landschaftstypen wie Agrarlandschaften, halboffenen Weidelandschaften und Offenland, Felswände, Feuchtgebiete und Moore, Gewässer und Wald mit Drohnenaufnahmen hinsichtlich ihres Status Quo, der Strukturveränderungen und anderer Ziele untersucht (s. Abb. 4). Die Einsatzmöglichkeiten und Bedingungen wurden für jedes Gebiet herausgearbeitet. Hier ein Beispiel:

Landschaftsmonitoring			
Ziel	Parameter	Output	Benefits
<ul style="list-style-type: none"> • Zustandserfassung • Strukturerefassung • Change Detection • Vegetationserkennung • Habitatmonitoring • Kontrolle • ... 	<ul style="list-style-type: none"> ○ semiautomat. Flüge über automatisierte Flugplanung ○ so hoch wie möglich, so tief nötig, um das kleinste Untersuchungs-Objekt mit dem eingesetzten Sensor erfassen zu können 	<ul style="list-style-type: none"> • Photos - RGB, Multispektral, Thermal • Laserscans • Orihomosaik • 3D-Modelle 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Orthophotos ○ 3D-Punktwolken ○ Multispektral-Analysen ○ mit Mehrfrequenz-GNSS - genaue Verortung ○ spart Zeit ○ permanente Dokumentation

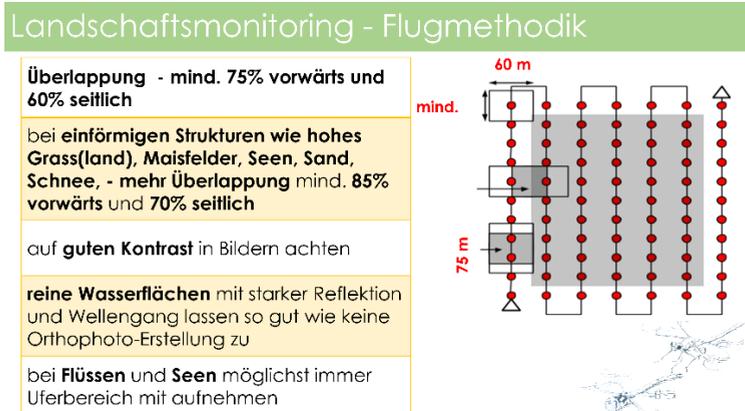


Abb. 4: Drohnen im Landschaftsmonitoring

5.2 Vegetationsmonitoring

Zoomt man in die Landschaften hinein, sind Pflanzen die nächst kleineren Elemente, die mit Drohnen untersucht werden können. Es können viele verschiedene Parameter direkt oder indirekt aufgenommen werden (s. Abb. 5 unten). In der Landwirtschaft werden einige dieser Parameter schon länger erfolgreich mit Drohnen analysiert und zur Verbesserung von Bearbeitungstechniken gezielt eingesetzt. In Deutschland meist noch versuchsweise (Grenzdörffer 2017), in anderen Ländern aber auch schon operational über größere Betriebe hinweg.

Vor allem Pflanzengruppen mit prägnanten Eigenschaften wie z.B. Horstgräser (Hecke et al. 2018) oder großblütige Pflanzen wie Arnika (DBU 2021) oder Herbstzeitlose (Petrich et al. 2020) können auch mit kleineren Drohnen und einfachen Sensoren schon relativ gut

erkannt und flächenmäßig analysiert werden. Für kleinblütige Pflanzen ohne leicht differenzierbare Merkmale hingegen ist klar geworden, dass diese auch mit größeren und hochauflösenden Sensoren an teureren Trägerplattformen nur schwer, wenn überhaupt, und sicher bis auf Artenniveau hinunter erkannt werden können.

Vegetationsmonitoring			
Ziel	Parameter	Output	Benefits
Ableitung von Pflanzenparametern <small>(oft mit Multispektralkameras)</small>	<ul style="list-style-type: none"> o Rasterflüge auf unterschiedlichen Höhen - Vegetations- bis Artenniveau o Flüge mit unterschiedlichen Sensoren o Artenaufnahme als Ground Truthing - (z.B. zur ersten einfachen Überprüfung mit Flora Incognita) - von Fachmann verifizieren lassen! o evtl. leichte Schrägaufnahmen auf 85° für bessere Höhenstabilität im Flachen (Anti-Doming) 	<ul style="list-style-type: none"> • Photos - RGB, Multispektral, Thermal • Orthomosaik • Höhenmodelle 	<ul style="list-style-type: none"> o hochaufgelöste Orthophotos o Multispektral-Analysen o Vegetations-Indices - auch aus RGB-Fotos o Ertrags-Analysen i.V. mit Höhenmodellen o mit Mehrfrequenz-GNSS - genaue Verortung o spart Zeit o permanente Dokumentation
Pflanzenhöhe für Ertragschätzungen			
Pflanzengesundheit			
Pflanzenzählung			
Pflanzenerkennung und			
Einzelpflanzen-Kartierung			
Überblick			

Abb. 5: Drohnen im Vegetationsmonitoring

Einige der Pflanzen-Parameter sind mit Multispektralkameras oder anderen Sensoren besser zu analysieren. Informationen dazu wurden aus den Recherchen und von befreundeten Projekten übernommen und ebenfalls systematisch zusammengefasst.

5.3 Tiermonitoring

Der Schutz oder das Monitoring von unterschiedlichen Tierarten mit Drohnen wird international bereits häufiger operational für die Biodiversitätserhaltung eingesetzt (conservationdrones.org 2020) und es gibt viele Publikationen (Barnas et al. 2020) und Projekte dazu (s. Abb. 6 unten). In Deutschland sind solche Anwendungen momentan hauptsächlich auf die Rehkitzrettung und einzelne Forschungsprojekte (Mitterbacher 2021) oder Naturschutzverbandsaktivitäten (z.B. <https://www.abu-naturschutz.de/projekte/laufende-projekte/drohne>) beschränkt. Die Tabelle zeigt Beispiele für verschiedene Tiergruppen.

Tier-Familien	
Säugetiere	terrestrische & marine
Vögel	Wasservögel, Vogel-Kolonien, Bodenbrüterschutz, Störungsvermeidung, Adlerschutz, ...
Reptilien	Krokodile, Eidechsen & KI
Fische	Lachs, Forelle, Hai, Forschung
Insekten	Schmetterlinge, Monitoring

Abb. 6: Drohnen zur Detektion von Artengruppen

In dem Projekt 'Drohnen im Biomonitoring' selbst wurden Befliegungen zur Zählung potentieller Lachslaichgruben, zur Detektion von Reptilien, von Nestern einer Graureiherkolonie und zum Monitoring von Bibergewässern durchgeführt. Von Beginn an wurde auch eng mit dem Projektbearbeiter eines ähnlichen Projekts der bayerischen Vogelschutzwarte zusammengearbeitet, das v.a. auf das Fauna-Monitoring mit Thermalkameras ausgerichtet ist - speziell auch auf den drohnengestützten Bodenbrüterschutz. Gemeinsam arbeite(te)n wir an effizienten Methoden für Drohneneinsätze im Natur- und Artenschutz, mit großem Augenmerk auf die damit verbundene Störungsökologie. Ein Infopapier dazu erschien 2021 (Döring & Mitterbacher 2022).

Befliegungen zum Schutz oder Monitoring von Tieren können auf zwei grundsätzlich unterschiedlichen Methoden erfolgen - entweder durch geplante Rasterflüge oder durch manuelles Befliegen. Die Vor- und Nachteile dabei sind in den nachfolgenden Abbildungen ersichtlich.

Monitoring - Vögel oder Wildtierrettung

manuelle Flüge zur

- **Horstkontrolle**
- ggf. **Wildtierrettung** mit Einweisung der Helfer durch Hovern (Schweben) auf der Stelle
 - Kurze Vorbereitungs- und Rüstzeit
 - Intuitive Herangehensweise
 - Die Genauigkeit steht und fällt mit dem Steuerer.
 - Die sichere Abdeckung des Suchgebiets ist nur bei idealen Geländeverhältnissen möglich.
 - Das Fehlerpotential ist hoch.

abgeändert nach - https://www.unmanned-technologies.de/wp-content/uploads/2016/09/Kitzrettung-Wildtiersuche_Screen.pdf



Monitoring - Vögel oder Wildtierrettung

Raster-Flüge zum flächigen Abfliegen

- geringe Überlappung möglich, wenn kein Orthophoto erstellt werden soll
- **Nestsuche/-kontrolle**
- **Artensuche/-zählung**
- ggf. **Wildtierrettung** mit Unterbrechung der Flug-Mission und Einweisung der Helfer durch Hovern (Schweben) auf der Stelle
 - geringeres Fehlerpotential, keine Fehlsteuerungen
 - Lückenlose und sichere Abdeckung des Suchgebiets
 - entspanntere Arbeitsweise für den Steuerer
 - Gewisse Vorbereitungszeit
 - Geografisches Vorstellungsvermögen/Kennntnis und Grundwissen nötig

abgeändert nach - https://www.unmanned-technologies.de/wp-content/uploads/2016/09/Kitzrettung-Wildtiersuche_Screen.pdf

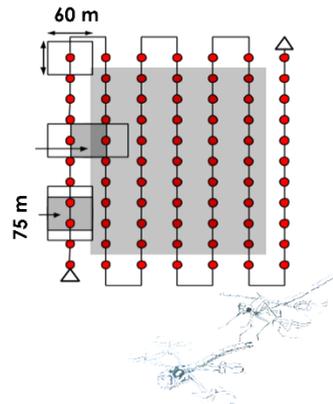


Abb. 7: Drohnen im Vogelmonitoring bzw. der Wildtierrettung (Grafiken abgeändert nach: https://www.unmanned-technologies.de/wp-content/uploads/2016/09/Kitzrettung-Wildtiersuche_Screen.pdf)

Die Rehkitzrettung mit Drohnen ist mittlerweile gut bekannt, der drohnengestützte Bodenbrüterschutz hingegen weniger. Es bestehen jedoch etliche Synergien zwischen den beiden Aktivitäten. Diese wurden herausgearbeitet und Win-Win-Situationen zwischen Naturschutz, Landwirtschaft, Jagd, etc. aufgezeigt.



Abb. 8: Drohneneinsatz bei der Wildtierrettung

6 Handbuch und Schulungen

Die Haupt-Ergebnisse des Projekts sind ein Handbuch und eine Schulungsreihe, die zum Einstieg in die Drohnenutzung für Naturschutzzwecke und generell zur Weiterqualifikation und Sensibilisierung von DrohnenpilotInnen beim Fliegen in der Natur gedacht sind. Es sind darin störungsökologische, rechtliche und praktische Tipps zu finden. Dazu gehören direkt verwendbare Checklisten (s. oben) und direkte Handlungsempfehlungen, die bei der praktischen und rechtlichen Vorbereitung und Durchführung der Flüge helfen sollen.

Die folgende Abbildung zeigt die Inhalte der Schulung, die immer direkt praktisch nachvollziehbare Handlungsempfehlungen und Anweisungen zur Verfügung stellt. Damit soll auch für Anfänger der erfolgreiche Einstieg in die 'Drohnenwelt' möglichst einfach gestaltet werden.



Abb. 9: Schulungsinhalte zum Einsatz von Drohnen im Biomonitoring

Darüber hinaus wurde im Laufe des Forschungsprojekts das Netzwerk 'Drohnen im Biomonitoring' gegründet, das allen Interessierten offensteht und den fachlichen Austausch fördern und erleichtern soll.

Bei Interesse an dem Handbuch, einer Schulung oder zur Aufnahme in das Netzwerk gerne an den Verfasser unter dronesfornature@posteo.de schreiben.

7 Literaturverzeichnis

- Barnas, A. F., Chabot, D., Hodgson, A. J., Johnston, D. W., Bird, D. M., & Ellis-Felege, S. N. (2020). A standardized protocol for reporting methods when using drones for wildlife research. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, S. 1–10.
- Bock, M., Rossner, G., Wissen, M., Remm, K., Langanke, T., Lang, S., Klug, H., Blaschke, T., & Vrščaj, B. (2005). Spatial indicators for nature conservation from European to local scale. *Ecological Indicators*, 5. Jg., Heft 4, S. 322–338.
- Christen, M., Guillaume, M., Jablonowski, M., Lenhart, P. M., & Moll, K. (2018). *Zivile Drohnen - Herausforderungen und Perspektiven*.
- conservationdrones.org. (2020). <https://conservationdrones.org>. URL: <https://conservationdrones.org/>, zuletzt abgerufen am: 13.06.2018
- DBU. (2021). DBU - Schutz des artenreichen Graslands im Apuseni-Gebirge (Rumänien) durch eine nachhaltige Nutzung von *Arnica montana* | Beispielhafte Projekte & Schwerpunkte. URL: https://www.dbu.de/123artikel39118_2430.html, zuletzt abgerufen am: 26.08.2022

- Döring, S., & Mitterbacher, M. (2022). Drohnen und Störwirkung - LfU Bayern. URL: <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>, zuletzt abgerufen am: 27.05.2022
- Grenzdörffer, G. (2017). Automatische Ableitung geometrischer Pflanzenparameter aus UAS-Aufnahmen im Feldversuchswesen am Beispiel von Eisbergsalat. Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 93. Jg., Heft Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), S. 10.
- Hecke, C., Jungmeier, M., Kirchmeir, H., & Köstl, T. (2018). Drohneneinsatz in der Vegetationsökologie: Neue Perspektiven auf Muster und Dynamik – das Beispiel Hörfeld-Moor. Carinthia II, 208./128. Jahrgang. Jg., S. 429–436.
- Mitterbacher, M. (LfU). (2021). Einsatz von Drohnen im Natur- und Artenschutz und bei der Wildtierrettung. S. 20.
- Petrich, L., Lohrmann, G., Neumann, M., Martin, F., Frey, A., Stoll, A., & Schmidt, V. (2020). Detection of *Colchicum autumnale* in drone images, using a machine-learning approach. Precision Agriculture, 21. Jg., Heft 6, S. 1291–1303.
- Pröbstl-Haider, U. (2013). Vom Naturschutz leben können. Naturschutz und Landschaftsplanung, S. 5.
- Schmeller, D., Gruber, B., Bauch, B., & Henle, K. (2009). EuMon – Arten- und Lebensraum-Monitoring in Europa. Naturschutz und Landschaftsplanung. URL: https://www.researchgate.net/publication/228092448_EuMon_-_Arten-_und_Lebensraum-Monitoring_in_Europa, zuletzt abgerufen am: 02.05.2018

Wiesenbrüterdetektion und Störungsanalyse beim Einsatz von UAVs

Tom Wulf¹ und Matthias Pietsch²

Abstract: Durch Unmanned Aerial Vehicles (UAV) aufgenommene Wärmebilder sind eine effektive Methode, um Gelege von Wiesenbrütern zu detektieren. Flüge in 30-40 m Höhe, eine geschlossene Wolkendecke und die frühen Morgenstunden sind optimale Bedingungen für die Befliegung. Die schwierige Detektion von Singvogelnestern und das Risiko, Nester im hohen Gras gegen Ende der Brutzeit zu übersehen, sollten in zukünftigen Untersuchungen berücksichtigt werden. Eine automatisierte Auswertung von Wärmebildern im Grünlandbereich ist schwierig und erfordert eine große Anzahl an Trainingsdaten für eine präzise Klassifizierung durch ein künstliches neuronales Netzwerk (CNN). Langsamere Flüge auf gleichbleibender Höhe verursachen weniger Stress beim brütenden Vogel und könnten für das flächige Befliegen mittels Autopiloten sprechen.

Keywords: Thermalaufnahmen, UAV, Wiesenbrüter, Störungsanalyse

1 Einleitung

Die Bestände von Wiesenvogelarten wie dem Kiebitz (*Vanellus vanellus*) und dem Großen Brachvogel (*Numenius arquata*) haben in den letzten Jahren stark abgenommen (Wahl et al. 2015, Gerlach et al. 2019). Unter anderem führen die Verluste der Gelege durch landwirtschaftliche Nutzung zu einem Rückgang der Bestände. Der Einsatz von Unmanned Aerial Vehicles (UAV) kann dazu beitragen, Gelege effektiver zu finden und zu schützen.

Das Ziel dieses Projekts ist es, die Arbeitsprozesse bei der Detektion von Gelegen gefährdeter Wiesenbrüter mittels UAV und Wärmebildkamera zu untersuchen, um geeignete Flugparameter zu erarbeiten und Ansätze für die automatisierte Auswertung der Wärmebilder zu entwickeln. Dadurch soll das Aussparen der Gelege bei der Bearbeitung des Grünlandes oder der Ackerflächen, durch die Übertragung der Koordinaten der Gelege auf die landwirtschaftliche Maschine, ermöglicht werden.

Aufgrund von Unsicherheiten bezüglich der Störwirkung von UAVs auf brütende Vögel, ist die Untersuchung der Störwirkung ebenfalls Gegenstand dieses Projektes. Dazu wurden am Beispiel des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) und des Kiebitzes (*Vanellus vanellus*) Messungen des Herzschlages vorgenommen (vgl. Wulf & Pietsch 2021).

¹ Hochschule Anhalt, FB LOEL, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg, tom.wulf@hs-anhalt.de

² Hochschule Anhalt, FB LOEL, Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg, matthias.pietsch@hs-anhalt.de

Zur Beantwortung der oben genannten Fragestellungen wurden in den Jahren 2020 bis 2022 in verschiedenen Gebieten in Sachsen-Anhalt und Niedersachsen Untersuchungen durchgeführt.

Die dargestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes „Farming 4.0 im Grünland: Nachhaltige Nutzung und Erhöhung der Biodiversität durch Einsatz von Unmanned Aerial Vehicles (UAV)“ kurz BIOSENS.NATURA2000 erarbeitet. Dieses wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und Forschung an Hochschulen gefördert (Förderkennzeichen: 13FH151PX8). Für die Befliegungen und Untersuchungen am Nest, wurden bei den zuständigen Behörden entsprechende Genehmigungen eingeholt.

2 Nestdetektion und automatisierte Auswertung der Wärmebilder

2.1 Methodik Nestdetektion

Die Untersuchungen und Befliegungen erfolgten in Sachsen-Anhalt im Altmarkkreis Salzwedel in der Secantsgrabenniederung und im Biosphärenreservat Drömling (2020–2022), im Jerichower Land im Fiener Bruch (2022), im Salzlandkreis (2021) und in Niedersachsen im Landkreis Aurich in der Blitzniederung (2022).

Zur Detektion der Nester wurden verschiedene UAV-Modelle verwendet: DJI Matrice 200, DJI Matrice 600 und DJI Mavic 2 Enterprise sowie eine Airborne Robotics XR6. Es kamen folgende Wärmebildkameras zum Einsatz: Zenmuse XT2 (640×512 px), Tetracam Macaw (640×512 px) und FLIR Vue Pro (640×512 px).

Die Befliegungen wurden in verschiedenen Lebensräumen, wie Grünland (Mähwiese und Weide) und Acker (Brache, Schwarzsacker, Maisstoppel, Mais, Wintergetreide, Getreidestoppel) durchgeführt. Nach Möglichkeit wurden brütende Vögel, als auch die Gelege nach dem Auffliegen des brütenden Vogels erfasst sowie Küken bzw. Nestlinge (Zielobjekte).

Zum einen wurden zielgerichtete manuell gesteuerte Flüge bei schon bekannten Gelegen durchgeführt, mit dem Ziel Einzelbilder der Zielobjekte in verschiedenen Flughöhen (5–120 m) aufzunehmen. Ebenso wurden Flüge unterstützend zur Nestersuche am Boden durchgeführt. Zum anderen wurden flächige Befliegungen per Autopilot in Flughöhen von 30 bis 50 m auf Flächen durchgeführt, auf denen Zielobjekte vermutet wurden bzw. schon bekannt waren, mit dem Ziel Bildserien aufzunehmen, welche später automatisiert ausgewertet werden sollten.

Die Befliegungen begannen mit Einsatz der Morgendämmerung, bis eine erhöhte Umgebungstemperatur die Detektion der Zielobjekte verhinderte.

2.2 Methodik automatisierte Auswertung

Zur automatisierten Auswertung der Wärmebilder, wurde ein künstliches neuronales Netzwerk „Convolutional Neural Network“ (CNN) mit den Fotos von schon bekannten Gelegen der Jahre 2020 bis 2021 trainiert.

Dazu wurden die wärmsten Pixel im Bild ermittelt, um welche 60×60 Pixel ausgeschnitten wurden. Diese Ausschnitte wurden als richtig oder falsch markiert, je nachdem, ob sich ein Nest in dem Ausschnitt befand oder nicht (s. Abb. 1).

Das Bildmaterial der flächigen Befliegungen aus dem Jahr 2022 wurde anschließend anhand des trainierten CNNs klassifiziert und die geografischen Koordinaten des Ausschnittes jedes einzelnen Bildes, anhand der Position des UAV während der Aufnahme und der Flugrichtung, berechnet.

Die Verarbeitung des Bildmaterials, das Training des CNN und die Klassifizierung der Ausschnitte erfolgte mittels Python unter Zuhilfenahme des Frameworks Tensorflow und dem Modul Keras.

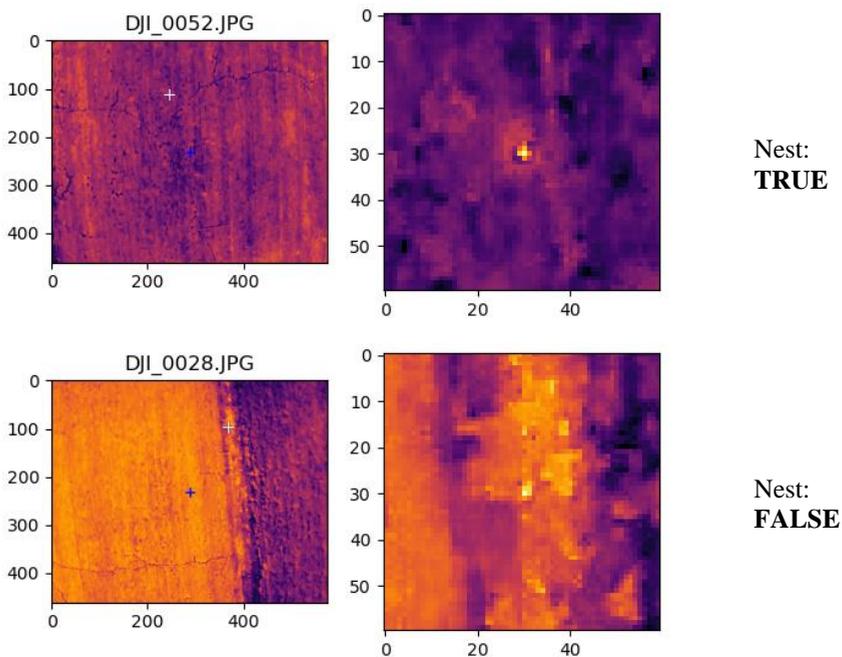


Abb. 1: Das Gelege eines Kiebitzes (oben) als TRUE-Label und ein FALSE-Label (unten) als Beispiele für Trainingsdaten des CNN. Auf der linken Seite das komplette Wärmebild und auf der rechten Seite die ausgeschnittenen 60×60 Pixel um den wärmsten Pixel im Bild (weißes Kreuz im Bild links).

2.3 Ergebnisse

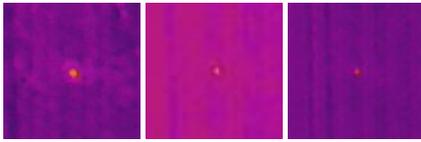
Nestdetektion

Während des Projekts wurden mit verschiedenen Methoden zahlreiche Bruten verschiedener Arten befliegen, wodurch Erkenntnisse zu den Arbeitsprozessen während der Befliegungen gewonnen werden konnten. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die untersuchten Arten und die Anzahl der jeweils durchgeführten Befliegungen sowie eine Schätzung zur Anzahl der befliegenen Zielobjekte.

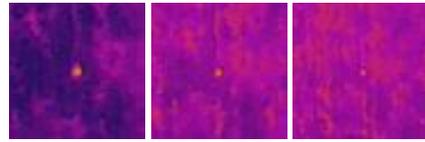
Tab. 1: Übersicht über die untersuchten Arten und den Untersuchungsumfang.

Artname	Anzahl Befliegungen	Versch. Gelege / Bruten / Küken / Nestlinge
Kiebitz (<i>Vanellus vanellus</i>)	13	ca. 55
Großer Brachvogel (<i>Numenius arquata</i>)	24	22
Uferschnepfe (<i>Limosa limosa</i>)	10	10
Austernfischer (<i>Haematopus ostralegus</i>)	2	2
Löffelente (<i>Anas clypeata</i>)	1	1
Feldlerche (<i>Alauda arvensis</i>)	3	1
Großtrappe (<i>Otis tarda</i>)	1	1
Rotschenkel (<i>Tringa totanus</i>)	1	1
Wiesenweihe (<i>Circus pygargus</i>)	2	1

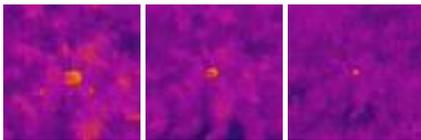
Um einen Eindruck zur Detektion der verschiedenen Arten zu bekommen, wurden in Abb. 2 die Wärmebilder aus repräsentativen Flughöhen beispielhaft dargestellt. Dabei wurden sowohl brütende Vögel, Gelege sowie Küken und Nestlinge dargestellt.



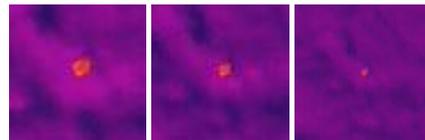
Kiebitz (*Vanellus vanellus*)
Gelege aus 20, 30 und 50 m Höhe, Maisacker
24.05.2022 5:13 DJI M2EA



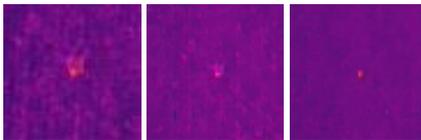
Uferschnepfe (*Limosa limosa*)
Gelege aus 20, 30 und 50 m Höhe, Grünland
02.05.2022 5:57 DJI M2EA



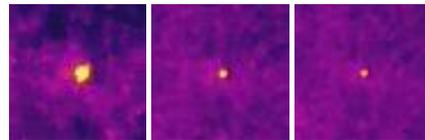
Austernfischer (*Haematopus ostralegus*)
brütend aus 20, 30 und 50 m Höhe, Grünland
02.05.2022 6:52 DJI M2EA



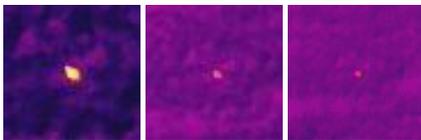
Großer Brachvogel (*Numenius arquata*)
brütend aus 20, 30 und 50 m Höhe, Grünland
10.05.2022 5:34 DJI M2EA



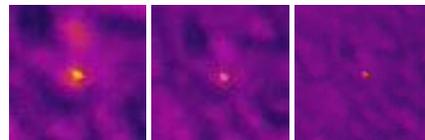
Großtrappe (*Otis tarda*)
brütend aus 30, 50 und 100 m Höhe, Getreide
13.05.2022 5:41 DJI M2EA



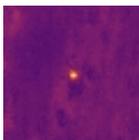
Großer Brachvogel (*Numenius arquata*)
Gelege aus 20, 30 und 50 m Höhe, Grünland
01.05.2022 5:49 DJI M2EA



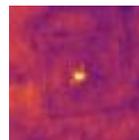
Uferschnepfe (*Limosa limosa*)
Küken aus 10, 20 und 30 m Höhe, Grünland
24.05.2022 6:53 DJI M2EA



Löffelente (*Anas clypeata*)
Gelege aus 20, 30 und 50 m Höhe, Grünland
10.05.2022 5:42 DJI M2EA



Feldlerche
(*Alauda arvensis*)
Gelege aus 20 m Höhe,
Ackerrand
03.06.2021 5:40
Tetracam Macaw



Wiesenweihe
(*Circus pygargus*)
Nestlinge aus 50 m Höhe,
Getreide
15.07.2021 9:00
Tetracam Macaw

Abb. 2: Beispiele verschiedener Zielobjekte bei der Detektion von Wiesenbrütern mittels Wärmebildkamera. 60×60 px Ausschnitte aus dem Wärmebild. DJI M2EA = DJI Mavic 2 Enterprise Advanced.

Die Zielobjekte sind bei den meisten untersuchten Arten gut auf den Wärmebildern als Wärmequelle zu erkennen (s. Abb. 2). Brütende Vögel, die während einer Befliegung das Nest nur selten verlassen, wie z. B. Austernfischer (*Haematopus ostralegus*), Großer Brachvogel (*Numenius arquata*) und Großtrappe (*Otis tarda*), schirmen die Wärme durch das Federkleid etwas ab, sind aber trotzdem noch auf den Bildern erkennbar.

Als häufige Verwechslungsmöglichkeiten wurden bei den Untersuchungen hauptsächlich junge Hasen, Mäuselöcher und frischer Kot festgestellt.

Bezüglich einer Untersuchung von Arbeitsprozessen während einer Befliegung, lassen sich geeignete Flugbedingungen für eine erfolgreiche Detektion ableiten:

Die Flüge sollten möglichst in den frühen Morgenstunden und optimal bei geschlossener Wolkendecke durchgeführt werden. Bei wolkenfreiem Himmel nahm die Erkennbarkeit der Gelege im Wärmebild gegen 7:30 bis 8:00 Uhr (April bis Mai), aufgrund der Erwärmung der Umgebung, merklich ab.

Eine Flughöhe von 30 bis 40 m hat sich grundsätzlich als ausreichend herausgestellt, um die Gelege der meisten Arten im Wärmebild zu erkennen. Bei der Feldlerche (*Alauda arvensis*) war allerdings eine Flughöhe von 20 m nötig. Bei der Großtrappe (*Otis tarda*) war der brütende Vogel auch in 100 m Höhe erkennbar.

Ergebnisse Automatisierte Auswertung

Die Wahrscheinlichkeitswerte der Klassifikationen durch das CNN fielen sehr niedrig aus und eine genaue Detektion der Nester war somit schwierig. Die Berechnung der Koordinaten des Zielobjekts auf den einzelnen Wärmebildern gelang mit einer Genauigkeit von etwa 10 Metern. Mögliche Ursachen werden im folgenden Kapitel diskutiert.

2.4 Diskussion

Nestdetektion

Während die Nester der meisten größeren Wiesenbrüter gut detektiert werden konnten, gestaltete sich die Detektion der Gelege von Singvögeln im Grünland dagegen als schwieriger. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Singvögel unter den Wiesenbrütern ihre Nester gerne an größere Gras-Bülten bauen, welche die Gelege zum Schutz vor Prädatoren nach oben hin abschirmen. Zusätzlich könnte die geringe Größe der Nester eine Detektion bei einer Flughöhe von über 20 m erschweren. Bei unseren Untersuchungen konnten wir allerdings nur ein einziges Gelege einer Feldlerche (*Alauda arvensis*) im Übergang von zwei Ackerschlägen feststellen und befliegen.

Die Gelege von Uferschnepfe (*Limosa limosa*) und Löffelente (*Anas clypeata*) wachsen zum Ende der Brutzeit hin mit Gräsern zu (s. Abb. 3). Die brütenden Vögel verlassen das Gelege zu dieser Zeit selbst bei größeren Störungen kaum. Durch diese doppelte

Abschirmung des Geleges könnten Nester im Wärmebild übersehen werden.



Abb. 3: Ein von Gräsern zugewachsenes Gelege einer Löffelente (*Anas clypeata*).

Die Schwierigkeiten bei der Detektion von Singvogelnestern und das Risiko, Nester gegen Ende der Brutzeit zu übersehen, sollten bei zukünftigen Untersuchungen berücksichtigt werden. So sollten die Termine für die Befliegungen so gewählt werden, dass Nester der problematischen Arten frühzeitig detektiert und lokalisiert werden können. Außerdem sollten die Termine neben den grundsätzlichen Brutzeiten der Arten auch die Zweit- bzw. Ersatzgelege einiger Arten (z. B. dem Kiebitz) berücksichtigen, um einen vollumfassenden Schutz der Gelege zu erwirken.

Für einige Arten konnten nur einzelne Bruten untersucht werden (s. Tab. 1). Daher ist die Aussagekraft der Ergebnisse hinsichtlich dieser Arten beschränkt.

Automatisierte Auswertung

Die automatisierte Auswertung der Wärmebilder erwies sich als schwierig. Andere Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass eine automatisierte Auswertung von Wärmebildern mithilfe von künstlicher Intelligenz im Ackerlandbereich durchaus funktionieren kann (vgl. Santangeli et al. 2020).

Die Detektion im Grünland könnte generell schwieriger als im Ackerland sein, da aufgrund einer höheren Strukturvielfalt (Grasbüten oder Maulwurfshaufen, die von der Sonne als erstes erwärmt werden oder Mäuselöcher) mehr Verwechslungsmöglichkeiten bestehen als im Ackerland.

Für eine präzise Klassifizierung der Wärmebilder durch ein CNN ist zudem eine große Anzahl an Trainingsdaten erforderlich. Diese waren uns im Grünlandbereich jedoch bisher nicht verfügbar, was die Qualität der Ergebnisse beeinträchtigt hat. Mit dem Bildmaterial, welches im Jahr 2022 gesammelt wurde, sollte sich die Genauigkeit der Klassifizierung jedoch verbessern lassen.

Die Berechnung einer geografischen Koordinate im Einzelbild war noch relativ ungenau. Aus diesem Grund empfehlen wir um den ermittelten Koordinatenpunkt herum einen Puffer von mindestens 10 m einzuberechnen, um das Gelege sicher von der Bearbeitung auszusparen. Im Grünlandbereich sollte dies als akzeptabler Bereich gelten, während die Genauigkeit im Ackerbau erhöht werden sollte.

Durch die Bildung eines Mosaiks aus Wärmebildern könnte eine genauere Bestimmung der geografischen Koordinaten der Gelege gelingen. Dieser Prozess ist jedoch rechenaufwändig und in der Praxis (z. B. im Feld unmittelbar nach der Befliegung) schwierig durchzuführen. Die Genauigkeit der Berechnung anhand von Einzelbildern kann jedoch auf ein ausreichendes Niveau erhöht werden.

Ob die Genauigkeit der Klassifizierung ausreichend ist, um alle Wiesenbrütergelege auf einer Fläche zu finden und mögliche Fehlerquellen auszuschließen, muss durch weitere Untersuchungen geklärt werden.

3 Störungsanalyse

3.1 Methodik Störungsanalyse

Bisherige Untersuchungen zur Störwirkung von UAVs auf Vögel beschränkten sich auf Verhaltensänderungen. Die Veränderung der Herzschlagrate eignet sich jedoch besser um Stresszustände beim Vogel aufzuzeigen (Bastian 1984).

Zur Messung des Herzschlages am brütenden Vogel wurde ein Aufnahmegerät am Nest installiert (vgl. Abb. 4). Die detaillierte Beschreibung der eingesetzten Technik ist Wulf & Pietsch (2021) zu entnehmen.



Abb. 4: Das Gelege eines Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) und das Aufnahmegerät zur Messung der Herzschlagfrequenz.

In den Jahren 2020 und 2022 wurden Aufnahmen in der Secantsgrabenniederung am Großen Brachvogel (*Numenius arquata*) durchgeführt. Im Jahr 2022 wurden zusätzlich verschiedene Flugmethoden untersucht: der direkte Anflug in unterschiedlichen Höhen, welcher einem manuell gesteuerten Flug während einer Nestersuche am Boden gleichkommt und die flächige Befliegung, welche bei einem Abfliegen der gesamten Untersuchungsfläche mittels Autopiloten Anwendung findet.

Die manuell gesteuerten zielgerichteten Anflüge erfolgten in Höhen von 20 bis 100 m mit einer variablen Geschwindigkeit (bedingt durch die manuelle Steuerung). Die flächige Befliegung mittels Autopiloten erfolgte in 40 m Höhe mit einer Geschwindigkeit von ca. 2 m/s.

3.2 Ergebnisse

Bei einer zielgerichteten Befliegung im Jahr 2020 konnte eine deutliche Reaktion auf das UAV festgestellt werden, die in etwa der Reaktion auf eine natürlich vorkommende Störung wie z. B. dem Überflug eines Greifvogels über den brütenden Vogel gleicht (s. Wulf & Pietsch 2021). Zudem wurden die Herzschlagfrequenzen stärker je tiefer das UAV flog. Dies konnte bei einer Wiederholung des Versuchs 2022 bestätigt werden

(s. Abb. 5 oben). Der brütende Vogel zeigte bei der flächigen Befliegung mittels Autopiloten im Jahr 2022 dagegen kaum eine erkennbare Herzschlagerhöhung (vgl. Abb. 5 unten). Lediglich gegen Ende des Fluges sind kurze Herzschlagerhöhungen erkennbar.

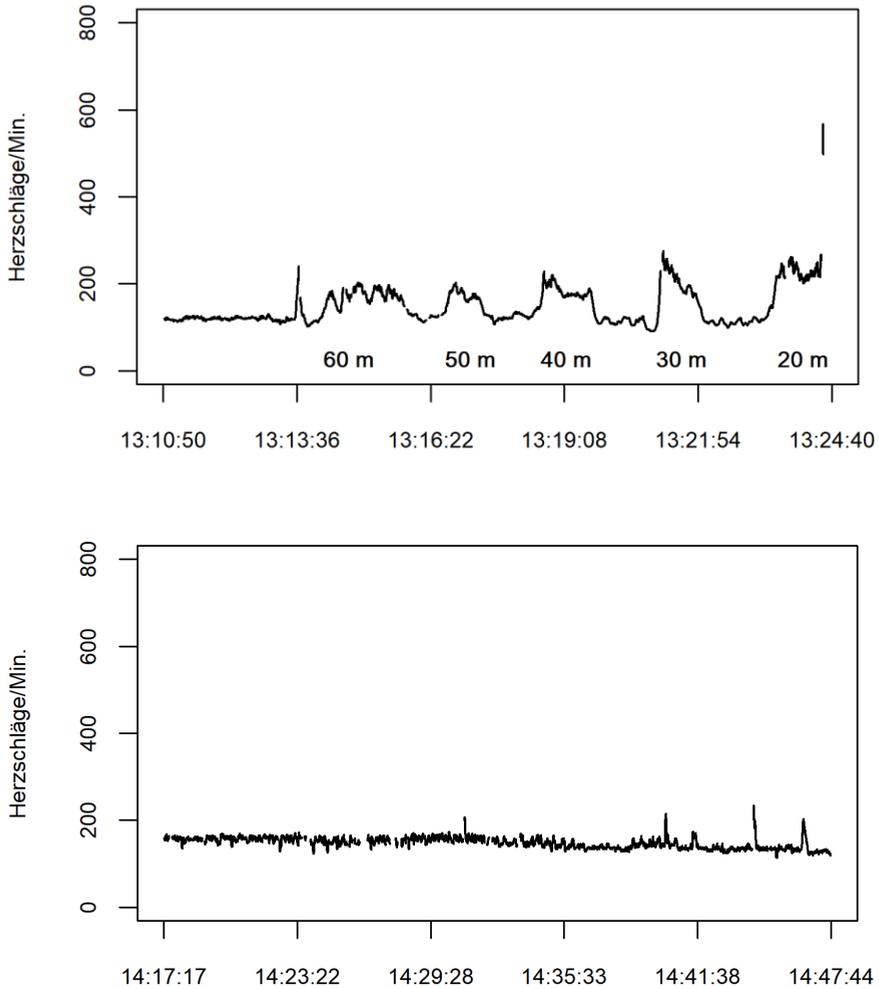


Abb. 5: Oben Verlauf der Herzschlagrate während des zielgerichteten manuell gesteuerten Anflugs bei unterschiedlichen Flughöhen. Unten Verlauf der Herzschlagrate während einer flächigen Befliegung mittels Autopiloten bei einer Flughöhe von 40 m (unterschiedliche Zeitskalierung).

Da Kiebitze (*Vanellus vanellus*) bei der Befliegung mit einem UAV das Nest sofort verlassen, konnten die Aufnahmen nur bis zum Auffliegen des Vogels ausgewertet werden. Sie werden an dieser Stelle nicht weiter behandelt.

3.3 Diskussion

Die Ergebnisse legen nahe, dass langsamere Flüge auf gleichbleibender Höhe eine geringe Stressreaktion beim brütenden Vogel verursachen. Das kann unter anderem an der gleichbleibenden Geschwindigkeit und der gleichbleibenden Flughöhe liegen, die der brütende Vogel vermutlich besser einschätzen bzw. voraussehen kann, als die abrupten und z. T. vertikalen Flüge, welche für den zielgerichteten Flug mit manueller Steuerung des UAV typisch sind.

Um die Befliegung einer Fläche oder eines Geleges so störungsarm wie möglich zu halten, könnte das flächige Befliegen mittels Autopiloten bevorzugt werden. Der Flug könnte ggf. bei der Feststellung einer Wärmequelle unterbrochen werden um diese genauer zu untersuchen und nach der Kontrolle weiter fortgeführt werden.

4 Fazit

Die Untersuchungen zur Nestdetektion von Wiesenbrütern mittels Wärmebildkamera haben gezeigt, dass die meisten Zielobjekte, wie brütende Vögel, Gelege sowie Küken und Nestlinge, gut auf den Wärmebildern zu erkennen sind. Bei den meisten Arten hat sich eine Flughöhe von 30 bis 40 m als ausreichend erwiesen, um die Gelege im Wärmebild zu erkennen. Geeignete Flugbedingungen sind eine geschlossene Wolkendecke und eine Befliegung in den frühen Morgenstunden.

Die automatisierte Auswertung von Wärmebildern im Grünlandbereich ist schwieriger als im Ackerland, da es mehr Verwechslungsmöglichkeiten gibt, und es bedarf einer großen Anzahl an Trainingsdaten für eine präzise Klassifizierung durch ein CNN, die bisher im Grünlandbereich nicht verfügbar waren, aber durch neues Bildmaterial aus 2022 verbessert werden sollen.

Die Störungsanalyse hat gezeigt, dass langsamere Flüge auf gleichbleibender Höhe beim brütenden Vogel weniger Stress verursachen als abrupte und z. T. vertikale Flüge, was für das flächige Befliegen mittels Autopiloten sprechen könnte, mit der Möglichkeit zur Unterbrechung bei der Feststellung einer Wärmequelle zur genaueren Untersuchung.

Literaturverzeichnis

- Bastian, H.-V. (1984): Die Änderung der Herzfrequenz als Maß der Erregung – eine Literaturübersicht. In: Die Vogelwarte 32: S. 226–233.
- Gerlach, B., Dröschmeister, R., Langgemach, T., Borkenhagen, K., Busch, M., Hauswirth, M., Heinicke, T., Kamp, J., Karthäuser, J., König, C., Markones, N., Prior, N., Trautmann, S., Wahl, J., & Sudfeldt, C. (2019): Vögel in Deutschland – Übersichten zur Bestandssituation. Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA).
- Santangeli, A., Chen, Y., Klun, E., Chirumamilla, R., Tiainen, J., Loehr, J. (2020): Integrating drone-borne thermal imaging with artificial intelligence to locate bird nests on agricultural land, In: Scientific Reports 10(1): S. 1–8.
- Wahl, J., Dröschmeister, R., Gerlach, B., Grüneberg, C., Langgemach, T., Trautmann, S., & Sudfeldt, C. (2015): Vögel in Deutschland – 2014. Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA).
- Wulf, T., Pietsch, M. (2021): Störungsanalyse von UAVs bei der Detektion von Nistplätzen des Großen Brachvogels (*Numenius arquata*) – Methode und erste Ergebnisse, In: AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik 7-2021: S. 180–189.

Drohneneinsatz im Interreg-Projekt CRICETUS – Lösungsansätze zur Identifizierung von Feldhamsterbauen

Janina Langner¹, François Miquel² und Annette Fuchs³

Abstract: Im Rahmen eines grenzüberschreitenden Projekts wurden neue Methoden zur Identifizierung von Feldhamsterbauen in der Agrarlandschaft untersucht. Dafür wurde erstmals eine Künstliche Intelligenz entwickelt, die nach einer Lernphase Feldhamsterbaue auf Luftbildern erkannte. Mit einer Gesamtleistung von 82 % lieferte das Modell im ersten Durchlauf bereits vielversprechende Ergebnisse. Im Vergleich zur klassischen Kartierungsmethode mit einer Menschenkette ist der Ansatz zu Beginn kostspielig, kann jedoch bei weiterer Nutzung und Optimierung der KI günstiger erfolgen. Ob der Ansatz eine Ergänzung oder eine Alternative für die Identifizierung von Feldhamsterbauen darstellt, muss in weiteren Versuchen zu anderen Jahreszeiten und Bedingungen untersucht werden.

Keywords: Drohne, Künstliche Intelligenz, Feldhamsterbau, Kartierung.

1 Hintergrund

Als Bewohner von Offenlandschaften war der Feldhamster (*Cricetus cricetus*) früher in großen Teilen Eurasiens weit verbreitet (vgl. Weinhold & Kayser 2006). Durch die veränderte Nutzung seines Lebensraums und die landwirtschaftliche Intensivierung geht die Zahl der Feldhamster seit den 1980er Jahren jedoch dramatisch zurück. Zusätzlich verschwinden durch Siedlungsdruck und Straßenbau geeignete Lebensräume, sodass die verbleibenden Feldhamsterpopulationen voneinander getrennt werden. Heute steht der Feldhamster auf der Roten Liste gefährdeter Arten und ist vom Aussterben bedroht (vgl. Meinig et al. 2014). Europaweit ist er durch die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie geschützt, in Deutschland als streng geschützte Art durch das Bundesnaturschutzgesetz. Trotz vielseitiger Schutzbemühungen verringert sich die Anzahl an Feldhamstern in der Agrarlandschaft allerdings nach wie vor.

Das Interreg-Projekt „CRICETUS – Schutz des Europäischen Hamsters und der Biodiversität in den Agrarlandschaften des Oberrheins“ ist ein aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) kofinanziertes Verbundprojekt. Insgesamt treten zehn Partner:innen aus dem Elsass, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg gemeinsam für den grenzüberschreitenden Feldhamsterschutz ein. Trägerin des zweieinhalbjährigen

¹ Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz, Diether-von-Isenburg-Str. 7, 55116 Mainz,
janina.langner@snu.rlp.de

² Smart Drone Services, 18 rue de l'Argonne, F - 68100 Mulhouse, francois.miquel@smartdroneservices.fr

³ RLP AgroScience GmbH, Breitenweg 71, 67435 Neustadt a. d. Weinstraße,
Annette.Fuchs@agrosience.rlp.de

Projekts (01/2021 bis 06/2023) ist die Europäische Gebietskörperschaft Elsass mit Sitz in Straßburg. Zu den Projektmaßnahmen gehören u. a. die Optimierung von Zucht- und Wiederansiedlungsprotokollen, die Entwicklung eines Habitatmodells potentieller Lebensräume sowie die Erprobung neuer Methoden zur Identifizierung von Feldhamsterbauen.

2 Einleitung

Als Standardmethode zur Feldhamsterbaukartierung wird in der Praxis zumeist auf Weidling & Stubbe (1998) zurückgegriffen. Dabei laufen je nach Einsehbarkeit der untersuchten Ackerfläche mehrere Menschen in einem Abstand von 2-10 m nebeneinander in Reihen ein Areal ab und vermerken die Standorte der gefundenen Feldhamsterbaue. Da zwischen Winter- und Sommerbauen unterschieden werden kann, ist es sinnvoll, die Kartierung zweimal im Jahr durchzuführen (Köhler et al. 2014). Die Frühjahrskartierung gilt als Mindestvariante, da hier die Anzahl der aus dem Winterschlaf erwachten Feldhamster ermittelt werden kann. Da Feldhamster außerhalb der Paarungszeit und Jungtieraufzucht streng solitär leben, entspricht ein Winterbau einem Feldhamster (Köhler et al. 2001). Sommerbaue werden im Frühjahr und Sommer neu angelegt und können nach der Ernte und vor dem Stoppelumbruch gut kartiert werden (Köhler et al. 2001, Weinhold & Kayser 2006). Sie liefern zusätzliche Hinweise zur Populationsentwicklung auf einer Fläche (Köhler et al. 2014).

Je nach Flächengröße, Wetterbedingungen und Anzahl eingesetzter Kartierhelfer:innen kann eine Feldhamsterbaukartierung nach oben beschriebener Methode zeitaufwändig und kostspielig sein. Zudem gibt es in der Praxis Bedenken, dass die Kartierer:innen durch zuvor eingesetzte Pflanzenschutzmittel im Feld gesundheitlichen Risiken ausgesetzt sind (vgl. Kourkgy et al. 2019). In einer Studie testete das *Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage* daher den Einsatz von Drohnen bei der Feldhamsterbausuche im Frühjahr auf die Erfolgsrate und Kosten (ebd.). Da für diese Studie die aus 30 m Höhe aufgenommenen Drohnenbilder am Computerbildschirm manuell auf Feldhamsterbaue von den Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen untersucht wurden, war der Einsatz der Drohne im Vergleich zu den anderen getesteten Kartierungsmethoden am zeitaufwändigsten. Zudem konnten auf diese Weise nur 52 % der insgesamt entdeckten Feldhamsterbaue identifiziert werden.

Im Interreg-Projekt CRICETUS wurde nun erstmals erprobt, zur Identifizierung von Feldhamsterbauen die Auswertung von Drohnenbildern mittels einer künstlichen Intelligenz (KI) durchführen zu lassen. Bei guter Eignung dieser Methodik waren die erwarteten Vorteile gegenüber der Feldhamsterbaukartierung, wie in Weidling & Stubbe (1998) beschrieben, ein reduzierter Zeitaufwand, geringere Kosten sowie die Vermeidung des direkten Betretens von Ackerflächen. Zeit- und Kostenaufwand beider Methoden – Drohneneinsatz und Auswertung mittels KI gegenüber Kartierung mit Menschenkette – wurden verglichen. Die Versuche wurden im Jahr 2021 von dem französischen

Unternehmen *Smart Drone Services* aus Mulhouse (Frankreich) durchgeführt und durch das Dienstleistungsbüro *Cabinet A. Waechter* aus Fulleren (Frankreich) unterstützt. Koordiniert wurde die übergreifende Projektmaßnahme durch die Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz.

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet war eine 96 ha große, landwirtschaftlich genutzte Fläche südlich der elsässischen Gemeinde Griesheim-près-Molsheim (ca. 20 km südwestlich von Straßburg, vgl. Abb. 1). Die Fläche liegt in einem der drei letzten Feldhamster-Vorkommensgebiete Frankreichs. Unter den angebauten Kulturen fanden sich Mais, Wintergetreide, Luzerne und Kartoffel. Teilweise lag noch unbestellter Boden vor. Die betroffenen Landwirte wurden vor dem Versuch über das Vorhaben unterrichtet und um ihr Einverständnis gebeten.

3.2 Datenerhebung

Die Aufnahme der Luftbilder erfolgte mit der Drohne *Phantom 4 Pro* der Marke DJI, ausgestattet mit einer CMOS-Kamera mit 20 MP (Miquel 2021a). Der Kamerasensor nahm die Luftbilder im sichtbaren Spektrum im RGB-Modus auf, was den Vorteil einer sofortigen Diagnose der abgebildeten Elemente bietet.

Das Untersuchungsgebiet wurde an fünf Tagen zwischen dem 3. und 8. Mai 2021 mit der Drohne überflogen. Die Flughöhe betrug 30 m und die Geschwindigkeit lag bei 3 m/s. Die Bodenauflösung betrug 0,82 cm. Die Drohne wurde unter entsprechenden Sicherheitsbestimmungen und nach Einholung einer Fluggenehmigung des nahe gelegenen Flughafens Straßburg-Entzheim im Autopilot-Modus in parallelen Hin- und Rückreihen über die landwirtschaftlichen Flächen geflogen (siehe Abb. 1). Dabei wurden Luftbilder mit einer Überlappung von 70 % in Längs- und Querrichtung aufgenommen.

Im Anschluss an die Befliegung kartierte das *Cabinet A. Waechter*, das auch im Rahmen des Nationalen Aktionsplans zum Schutz des Feldhamsters in Frankreich regelmäßig Erfassungen durchführt, mit einer Gruppe von fünf bis sechs Personen das Untersuchungsgebiet auf Feldhamsterbaue, Baue anderer Arten und lückenhafte Vegetation. Die Kartierung fand vom 12. bis 14. Mai 2021 statt. Das Vorgehen erfolgte wie oben beschrieben nach Weidling & Stubbe (1998). Wurde ein Bau bzw. eine Röhre¹⁸ von einer Person der Gruppe entdeckt, protokollierte der Gruppenleiter die notwendigen Daten (GPS-Koordinaten, Fotonachweis sowie Baucharakteristika). Erst nach der

¹⁸

Mehrere Röhren in einem Abstand unter sechs Metern wurden als einzelner Bau gewertet.

Protokollierung eines Baus setzte die Gruppe gemeinsam die Suche mit einer Geschwindigkeit von etwa 3 km/h fort. Bei dichter Vegetation betrug der Abstand zwischen den einzelnen Personen drei Meter, ansonsten zehn.



Abb. 1: Untersuchungsgebiet und Lage der Bildaufnahmen mit der Drohne (gelbe Punkte);
© Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz (Hintergrundkarte: Google Satellite)

3.3 Datenverarbeitung

In der freien GIS-Software *QGIS* wurden die geolokalisierten Daten der Kartierung sowie die Drohnenbilder übereinandergelegt, um die Lage von Feldhamsterbauen und anderer Baue auf den Bildern verorten zu können (Miquel 2021a). Für jeden gefundenen Bau wurden auch die Überschneidungsbereiche benachbarter Bilder berücksichtigt.

Da die Qualität der Georeferenzierung der Drohnenbilder vom GPS-System der Drohne abhängt, wurde zusätzlich ein Orthomosaik erstellt, um die Genauigkeit zu verbessern. Hierfür wurden mit der Drohne im gesamten Untersuchungsgebiet ergänzend 107 Referenzpunkte (*Ground Control Points*) aufgenommen, um eine möglichst exakte Georeferenzierung zu gewährleisten. Im Orthomosaik werden die Luftbilder so zusammengestellt, dass es ähnlich einer Landkarte einen genauen, georeferenzierten Überblick über ein großes geografisches Gebiet gibt. Es diente im Versuch als Karte zur genauen Lokalisierung der von der KI identifizierten Feldhamsterbaue.

Das Modell der KI wurde mit *Amazon Rekognition Custom Labels* (kurz *Rekognition*) erstellt, einem Bilderkennungsdienst der *Amazon Web Services*. Diese Technologie ist

darauf spezialisiert, Objekte oder Anomalien zu erkennen und anhand der Analyse von Pixeln aus Bildern bestimmte Informationen abzuleiten. Das Anlernen der KI erfolgte in mehreren Schritten. Nach der bereits oben beschriebenen Bearbeitung der Rohluftbilder wurden die Bilder mit Feldhamsterbauen aufgeteilt: 80 % dienten als Trainings- und 20 % als Testdatensatz. Auf allen Bildern wurden im Abgleich mit den GPS-Koordinaten der Kartierung jeweils händisch in *Rekognition* die entsprechenden Stellen als „Feldhamsterbau“ oder „anderer Bau“ etikettiert (Abb. 2). Diese Etikettierung stellte die Grundlage für das Training dar. Nachdem die KI trainiert war, wurde sie mit dem Testdatensatz erprobt, wobei jedes einzelne Testbild überprüft wurde. Als Erfolgskontrolle wurde die Genauigkeit der korrekten Identifizierung von Feldhamsterbauen und anderen Bauen mit *Rekognition* ermittelt.



Abb. 2: Beispielbild aus *Rekognition*, bei dem ein Feldhamsterbau (grüner Kasten) und ein anderer Bau (blauer Kasten) etikettiert wurden. © François Miquel

4 Ergebnisse

Das *Cabinet A. Waechter* protokollierte während der Kartierung insgesamt 1.119 Beobachtungen im Untersuchungsgebiet (vgl. Abb. 3), davon 72 Feldhamsterröhren und 1.047 andere optische Auffälligkeiten, die auf einem Luftbild fälschlicherweise für Feldhamsterbaue gehalten werden könnten (acht Feldhasensassen, 287 Lücken in der Vegetation, 14 aufgekratzte Stellen und 738 Baue von anderen Kleinsäugetern wie Wühl- oder Feldmaus). Feldhamsterröhren, die weniger als sechs Meter voneinander entfernt lagen, wurden als ein einzelner Feldhamsterbau betrachtet (s. o.), so dass insgesamt 63 Feldhamsterbaue identifiziert wurden. Darunter wurden 50 Baue im Wintergetreide, zwei in der Luzerne, neun im Mais, einer in den Kartoffeln und einer auf unbestelltem Boden entdeckt.



Abb. 3: Oben - Feldhamsterbaue (li. Getreide; re. Luzerne); Unten – li. Mauswiesel im Bau; re. anderer Bau (untypisch für Feldhamster). © Cabinet A. Waechter

Insgesamt 9.894 Luftbilder wurden mit der Drohne aufgenommen, um das gesamte Untersuchungsgebiet abzudecken. Durch die Überlappung der Drohnenbilder von 70 % waren im Durchschnitt drei bis neun Bilder aus unterschiedlichen Winkeln pro Feldhamsterröhre vorhanden. Dadurch konnten zunächst rund 300 Bilder mit einer Feldhamsterröhre identifiziert werden (239 für das Training, 60 Bilder zum Testen).

Tab. 1: Testbilanz der KI nach Bau-Typ

	Feldhamsterbaue	Andere Baue
True Positive	39	16
False Positive	15	12
False Negative	2	16
Anzahl gesamt	56	44
Precision ¹⁹	0,722	0,571
Recall ²⁰	0,951	0,500
F1-score²¹	0,821	0,533

¹⁹ Precision = Anteil korrekt identifizierter Baue (True Positive) an allen identifizierten Bauen (True Positive + False Positive)

²⁰ Recall = Anteil korrekt identifizierter Baue (True Positive) an tatsächlich vorhandenen Bauen (True Positive + False Negative)

²¹ F1-score = Gesamtleistung = $(2 * \text{Precision} * \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall})$

Die meisten Feldhamsterbaue (23) wurden im Wintergetreide erkannt, danach auf unbestelltem Boden (14) und nur wenige (2) in der Luzerne (Tab. 2). Auch die fälschlicherweise identifizierten Feldhamsterbaue lagen zum Großteil im Wintergetreide (9), jedoch lagen mit insgesamt vier in der Luzerne doppelt so viele falsch identifizierte Baue wie auf unbestelltem/kahlem Boden. Die zwei übersehenen Baue lagen im Wintergetreide. Die Gesamtperformance (F1-Score) ist mit 93 % beim unbestellten Boden am Größten. Für das Wintergetreide beträgt der F1-Score 81 % und für die Luzerne 50 %.

Tab. 2: Testbilanz der KI nach Kulturtyp (nur Feldhamsterbaue)

	Wintergetreide	Unbestellt/kahl	Luzerne	Insgesamt
True Positive	23	14	2	39
False Positive	9	2	4	15
False Negative	2	0	0	2
Anzahl gesamt	34	16	6	56
Precision	0,719	0,875	0,333	
Recall	0,920	1,000	1,000	
F1-score	0,807	0,933	0,500	

Der Drohnenansatz gekoppelt mit KI war insgesamt mehr als doppelt so teuer wie die Kartierung mit der Menschenkette (Tab. 3). Der größte Posten lag mit 5.300 € bei der Entwicklung der KI, dicht gefolgt von der Datenaufnahme durch die Menschenkette (5.040 €), die mit insgesamt 18 Personentagen am zeitaufwändigsten war. Mit 4.000 € und fünf Personentagen für die Datenaufnahme ist der Drohnenansatz im Vergleich günstiger und schneller, während die Datenverarbeitung wiederum doppelt so lange dauert und teurer ist als beim Ansatz der Menschenkette. Insgesamt benötigte der Drohnenansatz mit KI mehr Zeit bis zum Ergebnis.

Tab. 3: Vergleich Zeitaufwand und Kosten der beiden Methoden

	Menschenkette		Drohne und KI	
	Personentage	Kosten (netto)	Personentage	Kosten (netto)
Absprachen/ Organisation		1.640 €		1.000 €
Datenaufnahme	18	5.040 €	5	4.000 €
Datenverarbeitung	2	520 €	4	2.400 €
Entwicklung der KI	/	/	14	5.300 €
Gesamt	20	7.200 €	23	12.700 €

5 Diskussion

Der hohe zeitliche Aufwand einer manuellen Auswertung von Drohnenbildern zur Identifizierung von Feldhamsterbauen wurde bereits in der Studie von Kourkgy et al.

(2019) diskutiert. Die Autoren und Autorinnen warfen die Frage auf, ob ein automatisiertes Programm eingesetzt werden kann, um die Drohnenbilder zu analysieren. Der im Interreg-Projekt durchgeführte Drohnenversuch gekoppelt an eine Künstliche Intelligenz (KI) hat mit einer Gesamtleistung von 82 % im Identifizieren von Feldhamsterbauen bereits zufriedenstellende Ergebnisse geliefert (Miquel 2021a). Wie zu erwarten, wurden Feldhamsterbaue von der KI besonders gut auf unbestelltem Boden oder in lichter Vegetation wie dem aufwachsenden Wintergetreide identifiziert. Die Untersuchung der Luzerne durch die KI lieferte schlechtere Ergebnisse, was jedoch in erster Linie darauf zurückzuführen ist, dass auch die Menschenkette nur wenige Baue in der Luzerne kartiert hat und somit weniger Bilddaten für die Lern- und Testphase vorhanden waren. Die KI könnte mit weiteren Bilddaten aus der Luzerne verbessert werden. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass eine dichte Vegetation auch für Drohne und KI die Identifizierung von Feldhamsterbauen erschwert. Zur Beurteilung dieser Aussage sollten weitere Versuche auch zu anderen Jahreszeiten durchgeführt werden. Die in dem Versuch entwickelte KI wurde bereits durch Austesten verschiedener Teildatensätze erprobt, bis die Wahl auf das Endmodell gefallen ist. So wurden zum Beispiel die Informationen über fehlerhafte Vegetation oder andere Unregelmäßigkeiten am Boden (wie Hasensassen) nicht in das Modell mit einbezogen, da das Lernen und Testen mit nur zwei Etiketten („Feldhamsterbau“ und „anderer Bau“) die besten Ergebnisse erzielte.

Die Flughöhe der Drohne wurde für den Versuch vor allem aufgrund des Protokolls des nahegelegenen Flughafens bestimmt. Einerseits hätten höhere Flüge mehr Daten für das Orthomosaik geliefert und dadurch zusätzlich die Georeferenzierung verbessert (Miquel 2021a). Andererseits sind Details wie Feldhamsterbaue umso besser identifizierbar, je niedriger die Flughöhe ist. Hier gilt es abzuwägen, wie viel Zeit für ein Untersuchungsgebiet aufgebracht werden kann, denn in geringeren Höhen müsste die Fluggeschwindigkeit reduziert werden, um die Details aufnehmen zu können. Ein Problem stellte die Wetterlage zum Versuchszeitpunkt dar (Miquel 2021b). Es war vorgesehen, dass die Kartierung durch das *Cabinet A Waechter* direkt im Anschluss an die Drohnenbefliegung stattfand, um möglichst gleiche Bedingungen auf dem Feld vorzufinden. Gerade im Frühjahr, wenn die Feldhamster aus dem Winterschlaf erwachen, werden innerhalb von wenigen Tagen neue Ein- und Ausgänge der Feldhamsterbaue gegraben (Weinhold & Kayser 2006). Aufgrund von Gewitter, Regen und Wind konnte die Kartierung im Untersuchungsgebiet erst vier Tage nach der Drohnenbefliegung durchgeführt werden. Es ist möglich, dass die Menschenkette dadurch bereits mehr Feldhamsterbaue erfassen konnte, als von der Drohne aufgenommen wurden. Durch diese Unschärfe könnte die berechnete Gesamtperformance (F1-Score) vielleicht etwas zu niedrig ermittelt worden sein.

Die Kosten sind im vorgestellten Versuch für die Variante mit Luftbildaufnahme und Auswertung durch eine KI um 43 % teurer als der Ansatz der Kartierung durch eine Menschenkette. Da ein erstes Modell für die KI im Projekt bereits entwickelt und erfolgreich getestet wurde, entfällt jedoch für zukünftige Versuche gleicher Art mit der KI-Entwicklung der größte Kostenpunkt (vgl. Tab. 3). Miquel (2021b) gibt für die

Optimierung und Folgearbeiten der KI auf einer Fläche von 100 ha weitere Kosten von 1.200 € an. Unter Berücksichtigung eines neuen Drohnensystems kalkuliert Miquel (2021b) für Absprachen/Organisation 500 €, für die Datenerhebung 1.900 € und für die Datenverarbeitung 1.800 €. Mit insgesamt 5.400 € wäre dieser weiter entwickelte Ansatz günstiger als die Kartierung durch die Menschenkette (vgl. Tab. 3).

6 Ausblick

Als Methode zur Identifizierung von Feldhamsterbauen hat sich der Ansatz der Drohnenbefliegung inklusive Bildauswertung durch eine KI als positiv herausgestellt. Das hier entwickelte KI-Modell kann mit neuen Bilddaten optimiert und zukünftig genutzt werden, da es in einer Cloud der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt wird. Das Ziel weiterer Versuche ist, die KI autonom zu machen und ihr zu ermöglichen, selbstständig Ergebnisse aus neuen Luftbildern verschiedener Gebiete zu verarbeiten und zu analysieren. Miquel (2021a) empfiehlt für solche Folgeversuche ein anderes Drohnensystem mit höherer Auflösung und einer höheren Genauigkeit der Georeferenzierung, um auf die Erfassung von *Ground Control Points* verzichten zu können.

Im Interreg-Projekt CRICETUS ist ergänzend in 2022 ein neuer Ansatz vorgesehen, der ein anderes Drohnensystem und eine weitere Entwicklung einer KI vorsieht. Die Versuche werden derzeit von der Projektbeteiligten RLP AgroScience GmbH durchgeführt, erste Ergebnisse liegen zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht vor. Zum Einsatz kommt die Starrflüglerdrohne *eBee X* der Firma senseFly mit der Multispektralkamera MicaSense RedEdge MX. Dieser Drohnentyp ist für die Dokumentation von großen Flächen konzipiert und kann das Vierfache der Fläche in vergleichbarer Zeit erfassen, was eine deutliche Zeitersparnis im Vergleich zur Kopterdrohne bedeutet. Die Starrflüglerdrohne fliegt mit *Real Time Kinematic* (RTK) so dass die Verwendung von *Ground Control Points* überflüssig und die Verarbeitung der Luftbilder vereinfacht wird. Die verwendete Kamera hat fünf Spektralkanäle (rot, grün, blau, red edge und NIR), die für Vegetationsanalysen im Agrarbereich ausgelegt sind. Mit dieser Drohnen-Kamera-Kombination beträgt die Flughöhe 44 m und die Auflösung der Kamera liegt bei 3 cm/px, was deutlich geringer als bei der zuvor verwendeten Technik ist.

Da der Durchmesser einer Feldhamsterröhre bei adulten Tieren ca. 6-10 cm beträgt (Weinhold & Kayser 2006), könnte die Identifizierung durch eine KI zu schlechteren Ergebnissen führen, als im letztjährigen Versuch. Aus diesem Grund tritt die Erkennung von Bauöffnungen bei diesem Ansatz in den Hintergrund und es sollen die Informationen aus den beiden zusätzlichen Infrarot Kanälen genutzt werden, um charakteristische Merkmale in der Umgebung zu finden. Gerade im Frühjahr entstehen um die Feldhamsterbaue gut erkennbare Fraßkreise (Weinhold & Kayser 2006), die vermutlich auch in den Folgemonaten auf Luftbildern zu sehen sein werden. Von Mai bis September wird deshalb monatlich eine Drohnenbefliegung durchgeführt, um im Anschluss, auch

mithilfe von Kartierungen durch Menschen und Artenspürhunden, Feldhamsterbaue über die Veränderung der Vegetation auf den Bildern zu identifizieren.

Aufgrund der neuen technischen Voraussetzungen und des räumlich-zeitlichen Versuchsansatzes ist die Entwicklung einer weiteren KI notwendig. Das Verfahren für die Aufbereitung der Infrarot Luftbilder ist in der Entwicklungsphase. Da die Etikettierung nicht auf die Bauöffnungen, sondern auf die Umgebung der Baue abzielt, muss auch hier die Prozedur angepasst werden. Für die Entwicklung der neuen KI wird die Expertise der Firma *Smart Drone Services* genutzt. Mit ersten Ergebnissen ist Ende 2022 zu rechnen.

Literaturverzeichnis

- Köhler, U., Geske, C., Mammen, K., Martens, S., Reiners, T. E., Schreiber, R., Weinhold, U. (2014): Maßnahmen zum Schutz des Feldhamsters (*Cricetus cricetus*) in Deutschland. In: *Natur und Landschaft*, 89. Jahrgang, Heft 8: S. 344 – 349.
- Köhler, U., Kayser, A., Weinhold, U. (2001): Methoden zur Kartierung von Feldhamstern (*Cricetus cricetus*) und empfohlener Zeitbedarf. In: *Jb. nass. Ver. Naturkde.* 122. Wiesbaden, S. 215 – 216.
- Kourkgy, C., Tremeaud, J., Souchay, G., Jeß, E., Mussier, F., Eidenschenck, J., Marchandeu, S. (2019): Hamster Population Monitoring: strength, weakness and perspectives towards a new method. Abstract und Vortrag im Rahmen des 26. Treffens der International Hamster Workgroup vom 18. – 20. Oktober in Kerkrade, Niederlande (abrufbar unter: <https://www.zoogdiervereniging.nl/hamster-meeting-2019>, zuletzt aufgerufen am 22.06.2022).
- Meinig, H., Buschmann, A., Reiners, T. E., Neukirchen, M., Balzer, S., Petermann, R. (2014): Der Status des Feldhamsters (*Cricetus cricetus*) in Deutschland. In: *Natur und Landschaft*, 89. Jahrgang, Heft 8: S. 383 – 343.
- Miquel, F. (2021a): Méthode de détection des terriers de Grand Hamster par drone couplé avec une Intelligence Artificielle. Abschlussbericht im Rahmen des Interreg-Projekts CRICETUS, 08.11.2021 (unveröffentlicht): S. 1 – 22.
- Miquel, F. (2021b): Méthode de détection des terriers de Grand Hamster par drone couplé avec une Intelligence Artificielle – Variante imposée n°2: comparaison avec la méthode par comptage humain. Abschlussbericht im Rahmen des Interreg-Projekts CRICETUS, 29.12.2021 (unveröffentlicht): S. 1 – 19.
- Weidling, A., Stubbe, M. (1998): Eine Standardmethode zur Feinkartierung von Feldhamsterbauen. In: Stubbe, M., Stubbe, A. (Hrsg.): *Ökologie und Schutz des Feldhamsters*. – Wiss. Beitr. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg: 259-276.
- Weinhold, U., Kayser, A. (2006): *Der Feldhamster Cricetus cricetus*. Westarp Wissenschaften-Verlagsgesellschaft mbH, Hohenwarsleben.

Übersicht der Autorinnen und Autoren

Döring, Steffen

DronesForNature (ehemals Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg)
E-Mail: dronesfornatu-re@posteo.de

Dullau, Sandra

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotoxikologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg
E-Mail: sandra.dullau@hs-anhalt.de

Elias, Dr. Daniel

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotoxikologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg
E-Mail: daniel.elias@hs-anhalt.de

Erasmi, Dr. Stefan

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
E-Mail: stefan.erasmi@thuenen.de

Förster, Dr. Michael

TU Berlin - Fachgebiet Geoinformation in der Umweltplanung
Straße des 17. Juni 145, EB 5, 10623 Berlin
E-Mail: michael.foerster@tu-berlin.de

Fuchs, Annette

RLP AgroScience GmbH
Breitenweg 71, 67435 Neustadt a. d. Weinstraße
E-Mail: Annette.Fuchs@agrosience.rlp.de

Guerniche, Djamal

RLP AgroScience GmbH
Breitenweg 71, 67435 Neustadt an der Weinstraße
E-Mail: djamal.guerniche@agrosience.rlp.de

Herkt, Matthias

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
(LANUV), FB21
Leibnizstr. 10, 45659 Recklinghausen
E-Mail: matthias.herkt@lanuv.nrw.de

Hinterlang, Dr. Dirk

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
(LANUV), FB21
Leibnizstr. 10, 45659 Recklinghausen
E-Mail: dirk.hinterlang@lanuv.nrw.de

Holtgrave, Ann-Kathrin

TU Berlin - Fachgebiet Geoinformation in der Umweltplanung
Straße des 17. Juni 145, EB 5, 10623 Berlin
E-Mail: a.holtgrave@tu-berlin.de

Huth, Lars

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg
E-Mail: lars.huth@hs-anhalt.de

Kim, Dae Yong

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg
E-Mail: daeyong.kim@hs-anhalt.de

Kirmer, Prof. Dr. Anita

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg
E-Mail: anita.kirmer@hs-anhalt.de

Kleinschmidt, Prof. Dr. Birgit

TU Berlin - Fachgebiet Geoinformation in der Umweltplanung
Straße des 17. Juni 145, EB 5, 10623 Berlin
E-Mail: birgit.kleinschmit@tu-berlin.de

Koller, Christina

RLP AgroScience GmbH
Breitenweg 71, 67435 Neustadt an der Weinstraße,
E-Mail: christina.koller@agrosience.rlp.de

Künzel, Alice

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
E-Mail: alice.kuenzel@thuenen.de

Langner, Janina

Stiftung Natur und Umwelt Rheinland-Pfalz
Diether-von-Isenburg-Str. 7, 55116 Mainz
E-Mail: janina.langner@snu.rlp.de

Langner, Kathleen

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-
Holstein (LLUR)
Hamburger Chaussee 2, 24220 Flintbek
E-Mail: kathleen.langner@llur.landsh.de

Lins, Marie

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL)
Altwahnsdorf 12, 01445 Radebeul
E-Mail: marie.lins@smekul.sachsen.de

Miquel, François

Smart Drone Services
18 rue de l'Argonne, F - 68100 Mulhouse
E-Mail: francois.miquel@smartdroneservices.fr

Mitterbacher, Maximilian

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Referat 55: Arten- und Lebensraumschutz, Staatliche Vogelschutzwarte
Gsteigstraße 43, 82467 Garmisch-Partenkirchen
E-Mail: Maximilian.Mitterbacher@lfu.bayern.de

Pietsch, Prof. Dr. Matthias

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotoxikologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg
E-Mail: matthias.pietsch@hs-anhalt.de

Plückers, Dr. Christine

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
(LANUV), FB21
Leibnizstr. 10, 45659 Recklinghausen
E-Mail: christine.plueckers@lanuv.nrw.de

Rattay, Marget

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-
Holstein (LLUR)
Hamburger Chaussee 2, 24220 Flintbek
E-Mail: margret.rattay@llur.landsh.de

Schroiff, Anke

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL)
Altwahnsdorf 12, 01445 Radebeul
E-Mail: anke.schroiff@smekul.sachsen.de

Tintrup, Gregor

RLP AgroScience GmbH
Breitenweg 71, 67435 Neustadt an der Weinstraße
E-Mail: gregor.tintrup@agrosience.rlp.de

Tischew, Prof. Dr. Sabine

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg
E-Mail: sabine.tischew@hs-anhalt.de

Wulf, Tom

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung
Strenzfelder Allee 28, 06406 Bernburg
E-Mail: tom.wulf@hs-anhalt.de

