



Steffen Döring, Holger Weinacker, Rainer Luick

FORSCHUNGSPROJEKT

DROHNEN IM BIOMONI-
TORING
(DRONES FOR NATURE)

-

ENDBERICHT 2022

Projekt-Nr. SNF-8831.21/54691-2011GL

Projektlaufzeit 2020 - 2022



Impressum

Das [Forschungsprojekts 'Drohnen im Biomonitring'](#) (DRONES FOR NATURE) wurde von 2020 - 2022 an der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, mit dankenswerter Unterstützung der Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg, die das Projekt aus zweckgebundenen Erträgen der Glücksspirale gefördert hat, durchgeführt.



Herausgeber

Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
Schadenweilerhof
72108 Rottenburg a.N.
E-Mail: hfr@hs-rottenburg.de
<https://www.hs-rottenburg.net>

Steffen Döring

E-Mail: dronesfornature@posteo.de
www.drones-for-nature.de

Zitiervorschlag

Döring, S.; Weinacker H.; Luick R. (2023): Forschungsprojekt Drohnen im Biomonitring - Öffentlicher Endbericht. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8081653>

Idee/Layout/Text

© Steffen Döring (Teilbericht *Taubergießen* Döring & Weinacker)



Dieses Handbuch ist lizenziert unter den Bedingungen der Creative Commons Attribution Lizenz CC BY-NC-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de>). Es darf bei ordentlicher Zitierung und bei Weitergabe unter gleichen Bedingungen frei zu nicht kommerziellen Zwecken genutzt werden.

Die rechtlichen Aussagen beruhen auf der Recherche der Autoren. Eine rechtliche Prüfung ist im Rahmen des Projekts nicht erfolgt.

Alle Empfehlungen zur genannten Hard- und Software beruhen auf der Recherche und den Erfahrungen der Autoren.

Die technischen Entwicklungen in Hardware und Software und Änderungen von rechtlichen Rahmenbedingungen, die auch die Verfügbarkeit und Einsatzmöglichkeiten usw. betreffen können, unterliegen teilweise einer hohen Dynamik. Die getroffenen Aussagen können deshalb zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr vollständig zutreffen. Die eigene Prüfung der aktuellen Sachverhalte bleibt aus diesem Grunde unumgänglich.



Danke

Wir möchten allen herzlich danken, die direkt oder indirekt an der Verwirklichung dieses Projekts beteiligt waren -

- den Naturschutzbehörden-VertreterInnen für den Informationsaustausch und die notwendigen Genehmigungen,
- den GebietsbetreuerInnen für die Begleitung und Einführung in die Eigenheiten der Untersuchungsgebiete,
- den VertreterInnen der Naturschutzverbände für ihr Engagement und weitere Forschungsideen,
- allen DrohnenkollegInnen im und außerhalb des Netzwerks *Drohnen im Biomonitoring* für den regen fachlichen und netten Austausch
- und der Stiftung Naturschutzfonds für die Förderung des Projekts aus zweckgebundenen Erträgen der Glücksspirale.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
Glossar und Abkürzungsverzeichnis	8
1 Einleitung	10
2 Monitoring	13
2.1 Notwendigkeit von MONITORING	13
2.1.1 Fernerkundungsbemühungen bisher	13
2.1.2 Fernerkundung im Naturschutz	15
Gesetzliches Monitoring	17
2.1.3 Monitoring-Möglichkeiten mit Drohnen	19
2.1.4 Monitoring-Kalender	19
3 Methodik	20
3.1 Befliegungen	21
3.1.1 Generelle Voraussetzungen	21
Checkliste - Generelle Voraussetzungen	22
3.1.2 Befliegungs-Methodik	24
3.1.3 Flugprojekt-Vorbereitung	32
Checkliste Missionsvorbereitung	32
Flugplanung am PC	34
3.1.4 Checklisten Befliegung	35
Checkliste Flugvorbereitung im Büro/Zuhause	35

Checkliste am Flugort	36
Checkliste während des Fluges	37
Checkliste nach dem Flug.....	37
3.1.5 Hardware	37
Kaufüberlegungen	37
Flug-Systeme	41
Nützliche Zusatz-Hardware	54
3.1.6 Software	55
Apps	55
3.2 Bearbeitung der erfolgten Bilder	58
3.2.1 Bildbearbeitung mit GIMP	58
3.2.2 Video.....	58
3.2.3 Photogrammetrie-Programme.....	59
MapsMadeEasy.....	59
WebODM - Web Open Drone Map.....	60
Agisoft Metashape.....	61
Tabellarische Vergleiche von Photogrammetrie-Software.....	62
Berichterstellung	63
3.3 Analysen der Einzelbilder und Orthofotos	64
3.3.1 Einzelbild/Video-Auswertung	64
3.3.2 GIS-Auswertung	64
Google Earth	64
QGIS	65
3.4 Restriktionen	68
3.4.1 Allgemeine Restriktionen	68
Restriktionen bei Behörden.....	69
3.4.2 Ökonomische Restriktionen	70
3.4.3 Rechtliche Restriktionen.....	72
Generelle rechtliche Restriktionen.....	72
Naturschutzrecht	73
4 Ergebnisse.....	75
4.1 Umfragen.....	75
4.1.1 Umfrage bei Naturschutzbehörden.....	75
Umfrage-Ergebnisse	75
4.1.2 Umfrage bei Drohnen-Kitzrettungsteams	80
Umfrage-Ergebnisse	81
4.2 Störungsökologie.....	83



4.2.1 Eigene Erfahrungen.....	83
4.2.2 Regeln zur Störungsökologie	84
4.3 Wirtschaftlichkeit	87
4.3.1 Zeitvergleich zwischen Boden- und Luftaufnahmen.....	89
4.3.2 Vergleich von Luftaufnahme-Systemen.....	89
4.3.3 Fazit Wirtschaftlichkeit.....	90
4.3.4 BioMonitoring mit Drohnen lohnt sich.....	91
4.4 Generelle Empfehlungen	92
4.4.1 Methodische Empfehlungen.....	92
4.4.2 Rechtliche Bedingungen.....	92
4.4.3 Störungsökologische Grundregeln für die Drohnennutzung	93
4.4.4 Zusammenarbeit	93
4.4.5 Kompetenzzentrum.....	93
Literaturverzeichnis	95
5 Berichte der Teilgebiete	102
5.1 Offenland- und Heide-Monitoring - Hirschacker	
5.2 Offenland- und Waldweide-Monitoring - Taubergießen	
5.3 Moor-Monitoring	
5.4 Steillagen-Monitoring - Biosphärengebiet SSW	
5.5 Wald-Monitoring	
5.6 Fels-Monitoring	
5.7 Gewässer-Monitoring	
5.8 Lachs-/Biber-Monitoring an der Kinzig	
5.9 Fauna-Monitoring	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einschätzung der Akzeptanz und der Verbreitung von Drohnen (CHRISTEN ET AL., 2018).....	11
Abb. 2: Datenerhebungsmethoden im Naturschutz (RENKEL, 2020)	16
Abb. 3: Monitoring-Kalender (Döring, 2022)	19
Abb. 4: Workflow beim Drohnenmonitoring (TMUŠIĆ ET AL., 2020).....	20
Abb. 5: vereinfachter Workflow beim Drohnenmonitoring (Döring, 2021).....	20
Abb. 6: Praktisches Flugtraining (mit Erlaubnis von kopter-profi, 2021).....	23
Abb. 7: Zusammenhang zwischen Flughöhe und Flächenleistung (PIX4D, 2022A).....	26
Abb. 8: Vergleich der Bodenauflösung bei unterschiedlichen Höhen (MUGNAI ET AL., 2022).....	27
Abb. 9: Raster-Flugplanung (abgeändert nach Pix4D, 2022).....	27
Abb. 10: Double-Grid (pix4d, 2022b)	28
Abb. 11: Rasterflugplan - Map Pilot (Map Pilot, 2022)	28
Abb. 12: Korridor-Flugplanung (Map Pilot, 2022).....	29
Abb. 13: Planungs-Methoden in der Phantom 4 RTK App (Döring, 2022)	30
Abb. 14: Doming-Simulation (JAMES & ROBSON, 2014).....	31

Abb. 15: Entscheidungshilfe zur Trägerplattform (Döring, 2022, freie Icons von uxwing)	39
Abb. 16 Projektdrohne (Döring, 2020)	42
Abb. 17: Projektdrohne (Mitterbacher & LfU Bayern, 2021)	42
Abb. 18: Starrflügler (M. Paetzold)	42
Abb. 19: VTOL (Skyscrab, 2020)	43
Abb. 20: Klassifikation von Drohnen gemäß ihrer Charakteristiken und Einsatzmöglichkeiten (JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019)	43
Abb. 21: Beschreibung von Sensoren für den Drohnen-Einsatz (JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019)	44
Abb. 22: Spezifikationen verschiedener Low-Cost Drohnen-Modelle (MUGNAI ET AL., 2022)	46
Abb. 23: Genauigkeitsvergleich verschiedener DJI Drohnen (MUGNAI ET AL., 2022)	47
Abb. 24: Drohnenutzung in Deutschland (VUL, 2021)	51
Abb. 25: Import und Export von Drohnenhardware (VUL, 2021)	51
Abb. 26: Drohnenanwendungen in Deutschland (VUL, 2021)	52
Abb. 27: Drohnen-basierte Methoden je Industriezweig (DRONEII, 2022)	53
Abb. 28: GNSS-System (Döring, 2021)	54
Abb. 29: Output von MapsMadeEasy (Döring, 2022)	59
Abb. 30: WebODM Presets (Döring, 2022)	60
Abb. 31: droneDB- Fotoauswahl (eigener Screenshot)	61
Abb. 32: Import und Bearbeitung von Drohnenendaten in Google Earth (Lutz, 2022)	65
Abb. 33: Nutzung des Import Photos-Tools (Döring, 2022)	66
Abb. 34: Prozessierungs-Workchain für Fernerkundungsdaten des LTZ (Bauer et al., 2022)	70
Abb. 35: Generelle Überlegungen vor einem Drohnenkauf - Grafik aus Schulung (Döring, 2022)	71
Abb. 36: Budget-Überlegungen vor einem Drohnenkauf (Döring, 2022)	71
Abb. 37: Rechtliche Hürden für Drohneneinsätze - Folie aus Schulungsmodul (Döring, 2022)	73
Abb. 38: Folie zum Naturschutzrecht aus dem Schulungsmodul	73
Abb. 39: Umfrage-Deckblatt - Naturschutzverwaltungen (Döring, 2021)	75
Abb. 40: Umfrage-Deckblatt - Rehkitzrettung (Döring, 2022)	80
Abb. 41: Vergleich digitaler Untersuchungsmethoden (JEZIORSKA, 2019)	87

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vergleich verschiedener Datenarten der Fernerkundung für ihre Nutzbarkeit im Vegetationsmonitoring (FÖRSTER ET AL., 2015)	17
Tab. 2: Neue LuftVO - Übersicht (Döring, 2022)	21
Tab. 3: Grundlegende Parameter der Flugplanung (Döring, 2022)	24
Tab. 4: Flughöhe, Auflösung, Flächenleistung und Genauigkeit der DJI Phantom 4 RTK (abgeändert nach Aerotas, 2022a)	26
Tab. 5: Auflösung (GSD) in Abhängigkeit von der Flughöhe für einige DJI-Modelle (Döring, 2022)	26
Tab. 6: Einsatzszenarien Schrägaufnahmen (Döring, 2022)	31
Tab. 7: Geoportale der Länder (eigene Darstellung)	34
Tab. 8: Landesluftfahrtbehörden der Länder (eigene Darstellung)	35
Tab. 9: Überlegungen vor dem Kauf (Döring, 2022)	38
Tab. 10: Einteilung von Unbemannten Fluggeräten - nach (TMUŠIĆ ET AL., 2020)	42
Tab. 11: Sensoren und Einsatzgebiete (Döring, 2022)	45
Tab. 12: Direkter Vergleich von 3 faltbaren Drohnenmodellen (Döring, 2022)	46
Tab. 13: DJI Phantom 4 RTK im Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3E (nach dji, 2022)	48



Tab. 14: DJI Phantom 4 Multispektral - im Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3M (nach dji, 2022)	49
Tab. 15: DJI Mavic 2 Enterprise Advanced - im Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3T (dji, 2022)	50
Tab. 16: DJI - Drohnenmarkt - Schulungsfolie	53
Tab. 17: Auswahl an getesteter Flugsoftware-Apps (Döring, 2021)	57
Tab. 18: Vergleich der verwendeten Photogrammetrie-Software (Döring, 2021)	62
Tab. 19: Vergleich verschiedener Photogrammetrie-Programme	63
Tab. 20: Fragebogen der Umfrage bei Naturschutzbehörden (Döring, 2021)	75
Tab. 21: Fragebogen der Umfrage bei Wildtierrettern (Döring, 2021)	81
Tab. 22: Störungsökologisch Beobachtungen vor Projektbeginn (Döring, 2021)	84
Tab. 23: Störungsökologisch Beobachtungen während des Projekts (Döring, 2021)	84
Tab. 24: Wichtige Regeln für störungsarme Flüge (neu überarbeitet DÖRING, 2023).....	85
Tab. 25: Veröffentlichungen mit Referenzen zur Effizienz von Drohneneinsätzen (Döring, 2022)	88
Tab. 26: Entscheidungshilfe zur Trägerplattform (Döring, 202, freie Icons von uxwing)	89
Tab. 27: Vergleich von Fernerkundungsplattformen - verändert nach (Eltner et al., 2022, S. 87 ff.), (BRONNER, 2020) und (LIU ET AL., 2016).....	90



Glossar und Abkürzungsverzeichnis

ASP = Artenschutzprogramm

BVLOS (Beyond Visual Line of Sight) = außerhalb der Sichtweite

DGM (engl. DTM) = Digitales Geländemodell = bildet die Höhe der Erdoberfläche ohne die sich darauf befindlichen Objekten ab

DHM (engl. DEM) = Digitales Höhenmodell = steht je nach Definition sowohl für DOM, als auch für DGM

DOM (engl. DSM) = Digitales Oberflächenmodell = bildet die Höhe der Erdoberfläche mit allen sich darauf befindlichen Objekten ab

Drohne = Überbegriff über UAV/UAS und Synonym für

RPAS = Remote Piloted Aerial System = ferngesteuertes Unmanned Aerial System

UAV = Unmanned Aerial Vehicle = Unbemanntes Flugobjekt

UAS = Unmanned Aerial System = Unbemanntes Flugobjekt + Sensoren (Kamera etc.)

Double-Grid = eine Flug-Mission, beider der zwei Rasterflüge 90° versetzt zueinander über dem gleichen Gebiet abgeflogen werden

FFH-Gebiet = ein ausgewiesenes Gebiet im Natura 2000-Netz von Schutzgebieten gemäß der Fauna-Flora-Habitat Naturschutz-Richtlinie der Europäischen Union

FFH-Art = eine gemäß der Fauna-Flora-Habitat Naturschutz-Richtlinie der Europäischen Union geschützte Art

FVA = Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg

Grid- oder Raster-Flug = eine Flug-Mission, bei der parallele Fluglinien, die einander in einstellbaren Prozentanteilen überlappen, über einem Gebiet geplant und abgeflogen werden

Ground Truthing = die Verifizierung der in Luftbildern detektierten Objekte durch stichprobenartige Bestimmung/Überprüfung am Boden

GNSS (Global Navigation Satellite System) = generische Bezeichnung für die Gesamtheit der weltweiten Satelliten-Navigationssysteme (amerikanisches GPS, russisches GLONASS, europäisches GALILEO, chinesisches BeiDou, japanisches QZSS, indisches NAVIC)

HFR = Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

HSWT = Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

KI (engl. AI) = Künstliche Intelligenz

Kp-Index = Messung der magnetischen Wirkung solarer Teilchenstrahlung (Energieeintrag aus Sonnenwinden) → kann die Navigation (Kompassbeeinflussung) und Steuerung von Drohnen beeinflussen

LBA = Luftfahrtbundesamt

LfU = Bayerisches Landesamt für Umwelt

LNv = Landesnaturschutzverband

LUBW = Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

NABU = Naturschutzbund



NDVI = normierter differenzierter Vegetationsindex (*Normalized Difference Vegetation Index*)

NOTAM (*Notice to Airmen*) = Meldungen zu Änderungen, z.B. kurzfristige und dringliche Anordnungen, Verfahren und Informationen für die Durchführung eines Fluges an dem jeweiligen Standort. Sie erscheinen unregelmäßig und kurzfristig nach Bedarf und informieren über temporäre Flugbeschränkungsgebiete (KOPTER-PROFI, 2022B)

Orthofoto = ein verzerrungsfreies und maßstabsgetreues Abbild der Erdoberfläche, mit Hilfe photogrammetrischer Verfahren aus mehreren einzelnen Luft- oder Satellitenbildern erstellt

Overlap = Überlappung der aufzunehmenden Fotos in Flugrichtung (*front lap*) und seitwärts (*side lap*) - notwendig zur photogrammetrischen Auswertung

Payload = Zuladung wie z.B. weitere oder austauschbare Sensoren

Photogrammetrie = Messmethoden und Auswerteverfahren, um mit Hilfe von Fotografien (durch Bildmessung) die Lage und Form von Objekten indirekt zu bestimmen und durch Interpretation der Bilder deren Inhalte zu beschreiben

PPK (*Post Processing Kinematic*) = nachträgliche Korrektur des GPS-Signals durch gespeicherte Satellitenpositionsdaten

RGB (Rot Grün Blau) = das 'normale' Farbspektrum herkömmlicher Kameras

RTK (*Real Time Kinematic* = Echtzeitkinematik) = Echtzeitkorrektur des GPS-Signals durch Satellitenpositionsdaten - wie bei amtlichen Vermessungsaufgaben

Spotter = Luftraum- und Drohnenbeobachter zur Unterstützung des Piloten

SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) = Höhenmodell aus Satellitenfernerkundungsdaten mit einer Auflösung von 30 m (von einer Höhenkachel zum nächsten), die in manchen Flugplanungs-Apps direkt für Geländehöhen-angepasstes Fliegen heruntergeladen werden können

VTOL (*Vertical Takeoff and Landing*) = senkrecht startender / landender Starrflügler

1 Einleitung

Die Weltgemeinschaft hat sich seit der UN-Konferenz von Rio de Janeiro 1992 zum Ziel gesetzt, Prozesse, die zum Verlust von Biodiversität führen, deutlich zu begrenzen oder einzudämmen und das Artensterben insgesamt 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 für ein sinnvolles Handeln dabei Voraussetzung. Dies wiederum gelingt nur über eine gründliche Ersterfassung und anschließendes regelmäßiges Monitoring von Zuständen, Populationen und Habitaten. Um sicherzustellen, dass die in aller Regel limitierten finanziellen und personellen Ressourcen für das Monitoring effizient und gezielt, entsprechend der Bedürfnisse und Anforderungen (vielfach auf Grundlage von legalen Verpflichtungen) eingesetzt werden, ist es unabdingbar, die angewandten Methoden zu optimieren und zu standardisieren. Dies auch vor dem Hintergrund, dass Monitoringdaten europaweit zur Verfügung stehen sollen, um damit harmonisiert und auf europäischer Ebene Indikatoren zum Stand der Biodiversität entwickelt werden ([SCHMELLER ET AL., 2009](#)).

Gleichzeitig hat der "Bedarf nach verlässlichen Daten", für Verträglichkeitsprüfungen (spezielle artenschutzrechtliche Prüfung, FFH-Verträglichkeitsprüfung, Landschaftspflegerische Begleitpläne, Strategische Umweltprüfungen (SUP), Umweltverträglichkeitsstudien etc.) und für die Monitoringverpflichtungen nach Artikel 17 der FFH-Richtlinie erheblich zugenommen hat ([PRÖBSTL-HAIDER, 2013](#)).

Im Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland wegen mangelnder Umsetzung der FFH-Richtlinie, speziell den FFH-Mähwiesen, zeigt sich auch die Notwendigkeit valider und objektiver Daten, da dort die mangelnde Quantifizierung und Messbarkeit der FFH-gebiets-spezifischen Erhaltungsziele in Deutschland wiederholt moniert wurden.

- https://ec.europa.eu/germany/news/20200212-habitat-richtlinie_de
- <https://www.lto.de/recht/nachrichten/n/eu-kommission-klage-gegen-deutschland-naturschutzrecht-verstoesse-ffh-vertragsverletzungsverfahren/>

Mit den wachsenden Monitoringaufgaben und dem daraus resultierendem Datenbedarf steigt automatisch auch der Ressourcen-Aufwand (Zeit, Personal und/oder Geldmittel) ständig. Dadurch erhöht sich der Handlungsdruck auf die zuständigen Behörden deutlich, die allerdings oft immer weniger in der Lage sind, die komplexen und technologisch anspruchsvollen Erhebungen selbst durchzuführen. Da die Aufwendungen für Monitoring-Aufgaben steigen, gibt es ein großes Interesse an der Entwicklung von Kosten-effektiven Monitoring-Methoden ([BOCK ET AL., 2005](#)).

Damit sind zwei kardinale Aspekte des durchgeführten Forschungsvorhabens adressiert:

- (1) Die Bereitstellung von Informationen und Entscheidungshilfen für Institutionen, die Monitoringaufgaben zu bewältigen haben oder entsprechende Dienstleistungen vergeben und
- (2) die Darstellung von Marktpotentialen und die Bereitstellung von Know-how für Anbieter von Drohnen-Dienstleistungen.

Gerade für kleinere Planungsbüros und freiberufliche ExpertInnen bietet der Einsatz neuer Technologien zur Vereinfachung arbeitstechnischer Verfahren und zur Ergänzung des Dienstleistungsportfolios gute Möglichkeiten.

Einige Bundesländer nutzen schon Fernerkundung in Form von Satellitendaten oder den amtlichen Luftbildern zur Erkennung von FFH-Lebensraumtypen anhand von Strukturmerkmalen in unübersichtlichen oder unzugänglichen Gebieten oder zur "Change Detection" (Erfassung und Dokumentation von Veränderungen eines Gebietes). Denn "Stärken der Fernerkundung liegen zweifelsohne in der objektiven Abgrenzung von räumlichen Mustern sowie der raschen Erfassung von Veränderungen in großräumigen oder unübersichtlichen Habitattypen wie Wäldern, Röhrichten etc." ([BfN, 2009](#))

Regelmäßige Einsätze von Drohnen zur Erfassung detaillierter Habitatstrukturen und/oder zur Abundanz und Verteilung von Arten (bestimmte Tier- und auch Pflanzenarten) sind jedoch nach bisherigen Recherchen bislang überwiegend aus dem Ausland bekannt. In Deutschland beschränkt sich der ökologische Einsatz von Drohnen meist auf wenige waldbezogene oder wildökologische Fragestellungen, wie die Erkennung von Borkenkäferbefall, Waldstrukturerfassungen, die Detektion von Rehkitzen vor der Mahd oder auf Versuche zur Habitaterkundung und zum Vogelmonitoring. Bis auf die Wildtierrettung befinden sich fast alle Einsatzmethoden noch in der Entwicklungs- oder Testphase für einen operativen Einsatz und sind noch keine Standardverfahren im Methodenrepertoire des Biomonitorings.

Dabei bietet sich die Erhebung hochauflösender Daten mittels Drohnen (UAV / UAS) und den Analysemöglichkeiten - teilweise bis auf Artenniveau - z.B. zur Vegetationsanalyse in Mooren und für das Monitoring von Vegetationsveränderungen hervorragend an. Die Kombination aus Luftbildern und bodenbasierten Kartiermethoden sei am besten geeignet, um die Vegetationsdynamik zu monitorieren. Es erhöhe sich damit nicht nur der datentechnische Zugang, sondern es reduzieren sich auch die Störungen durch den Begang in solch sensiblen Gebieten ([Tiemeyer et al., 2017](#)).

Der geringe Gebrauch des 'Datenbeschaffungsinstrumentes Drohne' ist zum Teil den (noch vorhandenen) Vorurteilen geschuldet ([CHRISTEN ET AL., 2018](#)), die, v.a. im Hobbybereich, nicht immer unbegründet, als lästige "Bedroher der Privatsphäre" oder als "Tierschreckmittel" verschrien sind (Abb. 1).

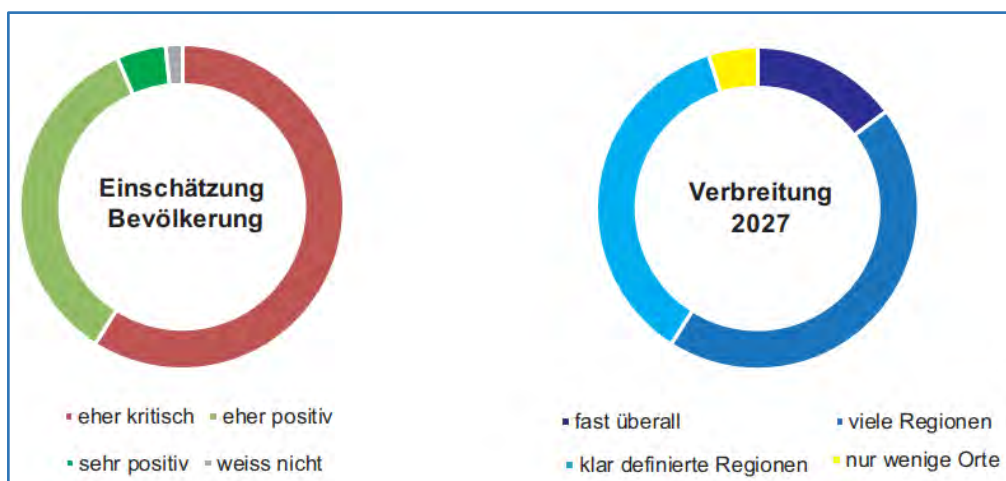


Abb. 1: Einschätzung der Akzeptanz und der Verbreitung von Drohnen ([CHRISTEN ET AL., 2018](#))

In unserem Forschungsprojekt wurde versucht, Vorurteile zu relativieren und den faktischen Sinn herauszustellen. Das Thema Akzeptanz des UAV-Einsatzes spielte eine wichtige Rolle im Forschungsvorhaben.

Befürchtungen seitens der Naturschutzbehörden gegen den naturschutzfachlichen Drohneinsatz in Schutzgebieten gründen sich auch auf der Annahme von 'Mitnahmeeffekten'. Sie befürchten, dass private Drohnenbesitzer dazu verführt würden, auch in diesen Gebieten zu fliegen, obwohl es nach der aktuellen Drohnenverordnung klar verboten ist. Wobei angemerkt sei, dass auch bei terrestrischen Aufnahmen in Schutzgebieten die kartierende Person oft für Passanten sichtbar sein kann. Deren Tätigkeiten sind dann für den Beobachter auch nicht automatisch als 'erlaubt' ersichtlich, was im gleichen Schluss auch zur Nachahmung des Betretens verleiten könnte.

Terrestrische Datenerhebungen mit bisherigen Erhebungsmethoden können aber nicht nur oft ziemlich zeit- und kostenaufwendig sein, sondern sind IMMER eine Störung, durch pure Präsenz, Lärm-, Geruchs- oder Trittbelastung.

Dahingegen kann der Einsatz von Drohnen zwar eine Störung für verschiedene Tierarten bedeuten, muss es aber nicht. Potenzielle Störungen können zudem methodisch deutlich minimiert bis eliminiert werden, wie schon viele verfügbare Studien belegen ([DÖRING & MITTERBACHER, 2022](#)) ODER ([LAG VSW, 2023](#)).

Möglichkeiten zur Ergänzung oder Effektivitätssteigerung herkömmlicher Methoden zur Erhebung von Daten, die dem Naturschutz zugutekommen sind z.B.

- die Zustandskontrolle und / oder Analyse von Veränderungen (Change Detection),
- eine schnellere Kartierung von Lebensräumen bzw. FFH-Lebensraumtypen,
- die langfristige Dokumentation durch die aufgenommenen Bilder und die Messbarkeit von Strukturen oder Elementen in den resultierenden Orthofotos,
- die 3D-Erfassung von Habitaten und Analyse der vorkommenden Strukturen und
- die Zählung und Monitoring von bestimmten Vogel- und Säugetierarten, insbesondere auch von FFH-relevanten Fledermausarten.

Ergänzend wurde der Einsatz verschiedener Sensoren (s. Teilberichte) getestet, um das Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten auszudehnen. Mit Recherchen wurden diese Möglichkeiten in den Teilberichten jeweils untermauert.

2 Monitoring

Nach dem allgemeinen Teil zum Monitoring im Naturschutz generell und darüberhinaus mit Fernerkundungsmethoden, werden im Methodikteil Themen vom Kauf einer Drohne und den dazu nötigen Überlegungen, rechtlichen Belangen, generellen methodischen Fragen bis hin zu Restriktionen abgehandelt.

In den *Berichte der Teilgebiete* werden dann zu den jeweiligen Fragestellungen noch einmal die wichtigsten methodischen Parameter für erfolgreiche Befliegungen als Fazit zusammengefasst.

2.1 Notwendigkeit von MONITORING

Wie in der Einleitung beschrieben, steigt der Bedarf an verlässlichen Daten zum Monitoring und zur Kontrolle der Umsetzung und Zielerreichung von Natur- und Umweltschutzstrategien die von unterschiedlichen Ebenen ausgelöst werden (EU, Bund, Bundesland). Deutschland hat im Vergleich zu anderen EU-Staaten eigentlich eine ordentliche Ausgangsbasis bezüglich der Verfügbarkeit von naturalen Daten, da konkrete Qualitäts- und Handlungsziele festgeschrieben sind. Doch ist die Umsetzung und Kontrolle der Vorschriften und Strategien oft mangelhaft, da die Umweltverwaltungen der Länder trotz steigender und immer schwieriger Aufgaben sowohl personell als auch budgetmäßig meist suboptimal ausgestattet sind und an der Grenze ihrer Belastbarkeit arbeiten. Dadurch können sie oft ihre gesetzlich vorgegebenen Aufgaben nicht mehr voll erfüllen ([BOGUMIL & KNILL, 2006](#)).

So können die definierten Ziele für viele Schutzgebiete oft nicht mehr erreicht werden. Klare Zielsetzungen und Managementpläne, zusammen mit einer adäquaten Finanzierung und v.a. kontinuierlichem Monitoring, müssen für effizientes und wirksame Schutzgebietsmanagement dringend eingeführt werden. Die Qualität des Naturschutz-Managements muss zu vielen Aspekten verbessert werden.

2012 existierte ein bundeseinheitlich abgestimmtes Monitoring nur für die Vogelwelt und weitere Datenerfassungen seitens der Länder wären dringend nötig. Einzelne Lebensraumtypen oder Artengruppen werden in vielen länderspezifischen Programmen lediglich evaluiert. Um möglichst umfassende Aussagen über die biologische Vielfalt treffen zu können, ist es daher wichtig, Synergien zwischen Monitoringprogrammen zu nutzen ([NABU, 2012](#)). Der NABU fordert schon 2012 u.a. die Koordination des Monitorings von Populations- und Kartierungsdaten auf Länderebene, die dauerhafte Finanzierung eines leistungsfähigen Monitorings für besonders aussagekräftige Artengruppen, die Einbeziehung und Standardisierung aller Daten in das Monitoring - auch die, die unter anderem im Rahmen von Planungs- und Genehmigungsverfahren und Umweltverträglichkeitsstudien gewonnen wurden.

2.1.1 Fernerkundungsbemühungen bisher

2009 hat das Bundesamt für Naturschutz und das Institut für Landschaftsökologie (ILÖK) der Universität Münster VertreterInnen der Bundesländer, der zuständigen Behörden und der Forschung im Rahmen eines Workshops für einen Austausch zum Thema "Einsatz von Fernerkundung im Rahmen des FFH-Monitorings in Deutschland" eingeladen. Es sollte informiert werden, inwieweit fernerkundliche Methoden und Daten im FFH-Monitoring oder in anderen Bereichen des Naturschutzes bereits jetzt im Einsatz bzw. in Planung und Entwicklung sind ([BfN, 2009](#)).

Dabei wurde klar, dass trotz vielfältiger Möglichkeiten des Einsatzes von Fernerkundungsmethoden im Naturschutz klare Kommunikationsdefizite zwischen FernerkundlerInnen, die oft nur virtuell über die Arbeit an Bildschirmen usw. mit der Landschaft und den darin enthaltenen Objekten in Berührung kommen, und GeländekartiererInnen, die vegetationskundlich und taxonomisch versiert sind und aus ihrer Erfahrung heraus Objekte in der freien Landschaft identifizieren und bewerten können, bestehen. Beide Gruppen kommunizieren zu wenig miteinander und reden wohl oft auch aufgrund unterschiedlicher 'Fach-Sprachen' und Terminologien oft aneinander vorbei.

Erschwert würde der Austausch außerdem durch Skepsis gegenüber der jeweils anderen Gruppe, da die FernerkundlerInnen für die GeländekartiererInnen eher fachferne Techniker sind, die zudem "unter dem Banner der Modernität und mit Hilfe überzogener Versprechungen mit ihnen um knappe Ressourcen der öffentlichen Haushalte konkurrieren". Hingegen würden die GeländekartiererInnen von den FernerkundlerInnen oft "als anachronistisch, technikskeptisch, ineffektiv und detailverliebt wahrgenommen". Mehrfach wurde festgehalten, dass fernerkundungsgestützte Methoden nur eine Ergänzung der Vor-Ort-Kartierung darstellen und nie ein vollständiger Ersatz sein können. Es gelte aber im gegenseitigen Austausch Synergien herauszuarbeiten, die zu qualitativ höherwertigen Ergebnissen mit möglichst weniger Aufwand führen.

Die Stärken der Fernerkundung liegen v.a. in der objektiven Abgrenzung von räumlichen Mustern und der raschen Detektion von Veränderungen - v.a. in großräumigen, unübersichtlichen und unzugänglichen Gebieten wie z.B. Wäldern oder Feuchtgebieten. Mit Hilfe von Luftbildern z.B. könnten terrestrische Erfassungen zielgerichteter und effektiver vorbereitet und durchgeführt werden. GeländekartiererInnen hätten dadurch mehr Zeit zur Anwendung ihres spezifischen Fachwissens zur Detektion von Veränderungen innerhalb von Arten- und Lebensgemeinschaften, die wiederum durch fernerkundliche Methoden nicht oder nur sehr schwer und ineffektiv erfasst werden können.

Um beide Ansätze zu vereinen, bedarf es der gemeinsamen Entwicklung operabler und praxisnaher Konzepte und Instrumentarien, denn bislang werden bestehende Möglichkeiten nur ansatzweise genutzt. In naher Zukunft könnten jedoch "standardmäßig erhobenen Fernerkundungsdaten vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Rahmen des FFH-Monitorings und anderer naturschutzfachlicher Anwendungen bieten".

Aus Sicht eines fachlich ausreichenden und zugleich kosteneffizienten FFH-Monitorings sind an die Fernerkundung allerdings folgende Anforderungen zu stellen:

- Genauigkeit/Reproduzierbarkeit bei der Ansprache von Merkmalen muss gewährleistet sein bzw. darf nicht kleiner sein als bei terrestrischen Geländebegehungen - das wäre durch das immer notwendige *Ground Truthing* bei Drohneinsätzen zu realisieren
- Aktuelles Bildmaterial sollte vorliegen (nicht älter als 2 Jahre – idealerweise zeitgleich mit den übrigen Geländeerhebung) - das wäre eine Stärke des Drohnenmonitorings, nämlich mögliche Ad-Hoc-Befliegungen zum notwendigen Zeitpunkt
- Vergleichbarkeit des technischen Vorgehens über Ländergrenzen hinweg - Standards für Drohnenbefliegungen könnten relativ einfach eingeführt werden

Außerdem stellt sich aus Naturschutzsicht folgender Standardisierungsbedarf:

- Phänologie/Jahreszeit-Übereinstimmung bei der Bildauswertung - durch Drohnenbefliegungen leicht zu realisieren

- Witterungsübereinstimmung - das schränkt den Zeitraum für alle Befliegungen generell ein, kann aber durch gute Planung einigermaßen in den Griff gebracht werden
- Sind Mischdaten (terrestrisch/FE) vergleichbar? - nur mit *Ground Truthing* möglich

Ferner ist für eine konkrete Einbindung der Fernerkundung in das Monitoring auch die Frage nach der Organisation der Auswertung (dezentral oder zentral?), nach den Kosten für Bildmaterial/Auswertung in Relation zu terrestrischen Kartierungen und nach den Möglichkeiten einer retrospektiven Auswertung (Mehrwert der FE) zu stellen.

In einer vorläufigen Gesamtbewertung scheinen fernerkundliche Verfahren einen guten Beitrag zum bundesweiten FFH-Monitoring leisten zu können, werden aber in so komplex angelegten Fragestellungen wie der Erhaltungszustandsbewertung von Arten und LRT terrestrischen Begehungen nicht vollständig ersetzen können. ([BFN, 2009](#))

2.1.2 Fernerkundung im Naturschutz

Für das Monitoring im Naturschutz werden Daten zur Landbedeckung meist durch Kartierende im Feld erhoben. In manchen Gegenden sind solche Erfassungen jedoch nicht oder nur schwer durchführbar. Informationen von oben, wie sie Fernerkundungsdaten liefern, könnten hier prinzipiell unterstützen - besonders für flächenhafte Informationen. Eine routinemäßige Anwendung findet jedoch bisher noch selten statt. Gründe wie hohe Kosten, räumlich, zeitlich oder inhaltlich stark begrenzte Studien, sowie unzureichende Genauigkeiten der Ergebnisse werden oft dafür angeführt.

Ein intensiver Austausch zwischen den AkteurlInnen aus Naturschutz und Fernerkundung und für beide Seiten verständliche Einblicke in Grundlagen und Geschehnisse der jeweils anderen Fachrichtung könnten zukünftige gemeinsame Entwicklungen, wie die Verwendung von fernerkundlichen Daten im Rahmen eines Biodiversitätsmonitorings positiv beeinflussen.

Im Frühjahr 2019 fand an der Hochschule Anhalt die Fachtagung „Produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen“ statt, während der ([PIETSCH ET AL., 2020](#)) einen Vortrag zu den „Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten im Monitoring und Management von Naturschutzmaßnahmen auf Landwirtschaftsflächen“ hielten. Darin unterstrichen sie die Wichtigkeit

- des Monitorings von Veränderungen innerhalb einer Vegetationsperiode oder über längere Zeiträume hinweg,
- von Durchführungskontrollen von Naturschutzmaßnahmen hinsichtlich Lage und Umfang,
- der Beurteilung von Pflanzenbeständen hinsichtlich Qualität, möglichen Schäden und deren Ursachen, Artenzusammensetzung etc.,
- von Oberflächenmodellen zur Ableitung von Entwicklungsstadien vorhandener Vegetationseinheiten (z.B. Heideflächen, Blühstreifen),
- der Detektion von Wiesenbrütern oder im Wildtiermanagement durch die Temperaturunterschiede zur Vegetation.

Gleichzeitig zeigten sie Möglichkeiten auf, wie durch Fernerkundungsmethoden - u.a. auch Drohnen - die aufgezählten Aufgaben unterstützt werden könnten.

Das FFH-Monitoring-System FELM ([BUCK ET AL., 2018](#)) bewährte sich besonders in Heide- und Moorflächen, aber weniger in Grünland. Es wurden auch viele andere Fernerkundungsmöglichkeiten aufgezeigt und trotzdem konstatiert, dass trotz der Vielzahl an Methoden und

Daten es bisher wenige operationelle Einsätze der Fernerkundung im FFH-Monitoring gebe. Die Gründe hierfür seien vielfältig ([CORBANE ET AL., 2015](#)), ([PETTORELLI ET AL., 2014](#)), ([VANDEN BORRE ET AL., 2011](#)) - z.B.

- die mangelnde Verfügbarkeit von Geländedaten, die sich als Trainings-Referenz für FE-Anwendungen eignen,
- die unterschiedlichen Eingangsdaten, die in ihrer räumlich, spektral und zeitlich verschiedenen Auflösung eine Übertragung der Verfahren über einzelne Studien und Gebiete hinweg erschweren,
- die (Nicht-)Verfügbarkeit von (kostengünstigen bzw. kostenfreien) FE-Daten und Zusatzdaten mit standardisierten Metadaten,
- fehlendes Know-how in den zuständigen Monitoring-Fachbehörden zum Einsatz von Fernerkundung sowie ein mangelndes gegenseitiges Verständnis der Vorgehensweisen zur geländebasierten FFH-LRT-Kartierung und zur Abbildung der Erdoberfläche durch FE,
- unterschiedliche Bewertungskriterien eines LRT aus Sicht eines Ökologen (Vegetationsform und Zustand, Taxonomie) und eines Fernerkundungsexperten (spektrale Indikatoren),
- kaum Möglichkeiten ALLE Fragestellungen der Zustandsbewertung eines FFH-LRT mit FE zu beantworten (z. B. nicht sichtbare Krautschicht in Wäldern),
- die oft nicht ausreichende Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der FE-Verfahren, die notwendig sind zur operativen und verlässlichen Anwendung der Verfahren innerhalb der Naturschutzbehörden.

Von Fernerkundung im engeren Sinne wird dabei meist gesprochen, wenn (halb-)automatisierte Verfahren zur digitalen Bildbearbeitung von Sensoren wie Satelliten, Flugzeugen oder Drohnen verwendet werden ([ZUGHART, 2020](#)).

Fernerkundung kann, soll und wird die etablierten Felderhebungen nicht ersetzen, sie könnte aber wichtige Zusatzinformationen liefern und dort Abhilfe schaffen, wo bisher mit etablierten Verfahren keine Daten erhoben werden können.

Es gibt viele Arten der Fernerkundung, die zum Teil auf unterschiedlichen Maßstabsebenen ansetzen (Abb. 2).

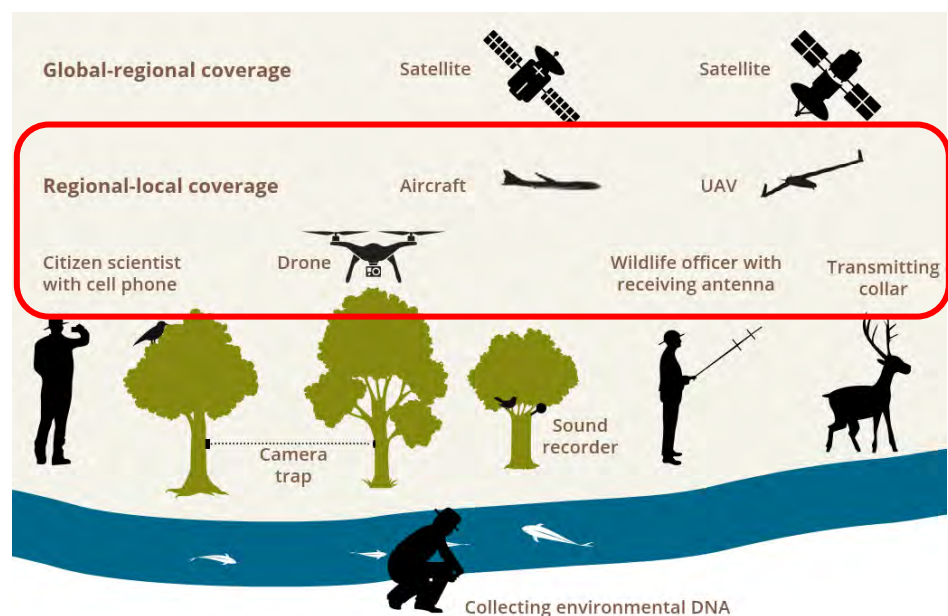


Abb. 2: Datenerhebungsmethoden im Naturschutz ([RENKEL, 2020](#))

Um zu entscheiden, welchen Maßstab und damit welches fernerkundliche Medium man benötigt, und um die Fernerkundungsdaten dann erfolgreich einzusetzen, ist die Abstimmung der ExpertInnen und NutzerInnen nötig ([FÖRSTER ET AL., 2015](#)).

In dem gleichen Artikel werden unterschiedliche Fernerkundungs-Daten zur Verwendung im Vegetationsmonitoring verglichen (Tab. 1).

Tab. 1: Vergleich verschiedener Datenarten der Fernerkundung für ihre Nutzbarkeit im Vegetationsmonitoring ([FÖRSTER ET AL., 2015](#))

	spektral hoch auflösend	räumlich hoch auflösend	zeitlich hoch auflösend
Zielindikator	Artengemeinschaft eines Habitats	Struktur eines Habitats	Funktion eines Habitats
Stärken	Erkennung von Mischungen und Gradienten der Arten	Erkennung der genauen Größe/Abgrenzung	Erkennung von Wuchsprozessen und anthropogenen Einflüssen
Anwendungen	detaillierte Analyse der Zusammensetzung von Artengemeinschaften	operationelles Monitoring	Erkennung von kurzfristigen und langfristigen Trends

Gesetzliches Monitoring

In [§ 6 des Bundesnaturschutzgesetzes](#) ist die Beobachtung von Natur und Landschaft als Aufgabe von Bund und Ländern verankert und soll "der gezielten und fortlaufenden Ermittlung, Beschreibung und Bewertung des Zustands von Natur und Landschaft und ihrer Veränderungen einschließlich der Ursachen und Folgen dieser Veränderungen" (§ 6 Abs. 2 BNatSchG) dienen. Die Beobachtungen sollen zielgerichtete und aktuelle Informationen für den effektiven Schutz von Natur und Landschaft bereitstellen.

Weiter gesetzlichen Verpflichtungen zum Monitoring ergeben sich zudem aus EU-Richtlinien wie der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH-RL) und der Vogelschutz-Richtlinie (SPA-RL) und durch internationale Konventionen wie das Übereinkommen über die Biologische Vielfalt und die Bonner Konvention ([BfN, 2022](#)).

Monitoring soll nach Barbara Jessel, der ehemaligen Präsidentin des BfN, Daten liefern für ([JESSEL, 2010](#)):

- die Darstellungen des Zustands und der Veränderungen von Natur und Landschaft
- die Erfüllung internationaler Berichtspflichten
- die Überprüfung der Wirksamkeit von
 - naturschutzfachlichen Instrumenten
 - der Naturschutzpolitik
- die Bewertung Ökosystemarer Dienstleistungen
- die Überprüfung der Auswirkungen bestimmter Aktivitäten (z. B. Landwirtschaft) auf Natur und Umwelt
- die Grundlage für aggregierte Politik-Indikatoren
- den Beitrag zu Roten Listen

Zusammengefasst soll Monitoring wichtige, aktuelle Datengrundlagen für naturschutzpolitische Entscheidungen liefern.

Europäische Vorgaben und Berichtspflichten

Europaweit sind v.a. die FFH- und die Vogelschutzrichtlinie zu nennen, mit ihren Berichtspflichten im sechsjährigen Turnus.

Aber auch die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) mit ihren Monitoringaufgaben spielt eine wichtige Rolle. Diese können durch Drohnen gut ergänzt und oft effektiver gemacht werden - s. Teilbericht '[Gewässermonitoring](#)'.

Auch der High Nature Value Farmland (HNV)-Indikator und das Level II-Monitoring im Wald können vielfältig durch Drohneneinsätze unterstützt werden - s. [Teilberichte 'Offenlandmonitoring'](#) und '[Waldmonitoring](#)'.

Monitoring auf Bundesebene

Folgende Monitoringprogramme auf Bundesebene könne auch von Methoden zum Monitoring mit Drohnen profitieren:

- Monitoring des HNV-Farmland-Indikators (EU)
Dies ist ein berichtspflichtiger Indikator der EU für den naturschutzfachlichen Wert von Agrarflächen und er wird auf den gleichen ca. 1700 Stichprobenflächen des Vogelmonitorings überprüft. Diese werden dazu alle 4 Jahre untersucht.
Nutzungs- und Biotoptypen der Agrarlandschaft, welche im Rahmen des HNV-Farmland-Monitorings bewertet werden ([BFN & BENZLER, 2022](#)):
 - Flächentypen - Grünland, Obstflächen, Ackerflächen, Rebfläche, Brachflächen, sonstige Lebensräume des Offenlandes (v.a. geschützte Biotope, LRT = Überschneidung mit FFH-Monitoring) - s. [Teilberichte 'Offenlandmonitoring'](#) und '[Taubergießen](#)'
 - Landschaftselemente - s. [Teilberichte 'Südschwarzwald'](#) und '[Gewässermonitoring](#)'
 - Baumreihen, Baumgruppen, Einzelbäume
 - Hecken, Gebüsche, Feldgehölze inkl. Gehölzsäume
 - Komplex-Elemente wie Feldraine und Böschungen mit Gehölzen
 - Naturstein- und andere Trockenmauern sowie Stein- und Felsriegel, Sand-, Lehm- und Lößwände
 - Ruderal- und Staudenfluren sowie Säume, inkl. Hochgrasbestände
 - Feuchtgebietselemente: Seggenriede, Röhrichte und Staudenfluren nasser Standorte
 - Stehende Gewässer bis 1 ha Größe
 - Gräben
 - Bäche und Quellen
 - Unbefestigte Feldwege / Hohlwege
- Bundeswaldinventur - s. [Teilbericht 'Waldmonitoring'](#)

Landesspezifische Strategien, Berichte, Programme, Konzepte, Vorhaben

In einer Umfrage zum 'Einsatz von Drohnen für Naturschutzzwecke' wurden v.a. Einsätze von Drohnen zur Kontrolle der Umsetzung, des Erfolgs und der Dokumentation von

Naturschutzmaßnahmen genannt. Aber auch bei der Erfassung der Entwicklung von Erhaltungszuständen FFH-Lebensraumtypen bzw. [§ 30 BNatSchG](#) Biotypen zur Fortschreibung von Naturschutzprogrammen können Drohnen oft gut eingesetzt werden.

Bei der Fülle an lokalen, regionalen und anderen Monitoringprogrammen kann die Bandbreite nicht erschöpfend abgedeckt werden. Naturschutzfachleute werden beim Lesen dieses Berichts bzw. des [Handbuchs](#) aber bestimmt noch etliche andere Anwendungsmöglichkeiten für das Drohnenmonitoring für sich entdecken können.

2.1.3 Monitoring-Möglichkeiten mit Drohnen

Einen guten Überblick über die vielfältigen Möglichkeiten des Einsatzes von Drohnen zur Durchführung von Monitoringaufgaben geben folgende Veröffentlichungen - ([Eltner et al., 2022](#)), ([DUFFY ET AL., 2020](#)), ([JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019](#)), ([MANFREDA ET AL., 2018](#)), ([WHITEHEAD & HUGENHOLTZ, 2014](#)), ([WHITEHEAD ET AL., 2014](#)).

Diese Zusammenfassungen resultieren aus gezielt dazu durchgeführten Projekten und werden hier nachrichtlich übernommen, da im Rahmen dieses Projektes solch ausführlichen und streng wissenschaftlich systematisch durchgeführten Literaturrecherchen nicht möglich gewesen sind und den gesteckten Rahmen weit gesprengt hätten.

In den einzelnen Beispielen und Ergebnissen werden immer Veröffentlichungen aus ausführlichen Recherchen zum relevanten Kenntnisstand in der Einleitung zitiert.

2.1.4 Monitoring-Kalender

Der folgende selbsterstellte Monitoring-Kalender soll einen kurzen Überblick über einige Monitoringthemen entsprechend der Jahreszeit geben.

Es fallen je nach Jahreszeit und phänologischem Zustand andere Aufgaben an oder es sollen die aktuell herrschenden Bedingungen eingefangen werden.

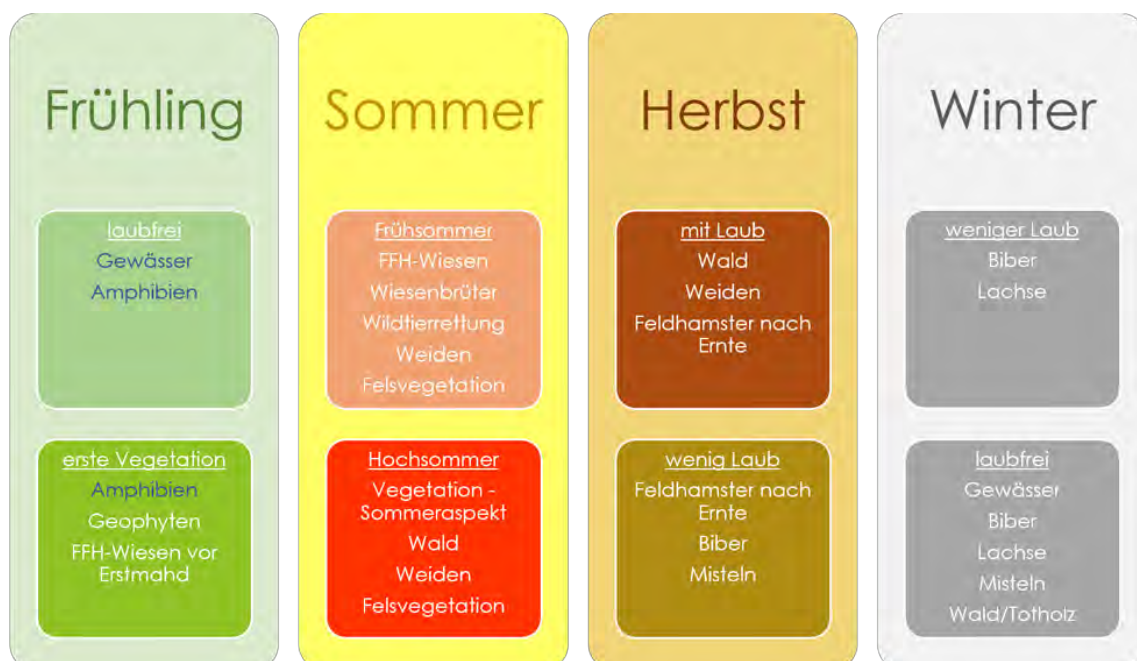


Abb. 3: Monitoring-Kalender (Döring, 2022)

3 Methodik

Die Methodik beim Drohnenmonitoring besteht aus mehreren Schritten.

Bei (TMUŠIĆ ET AL., 2020) in der Abb. 4 wird ein möglicher Workflow ausführlich grafisch dargestellt.



Abb. 4: Workflow beim Drohnenmonitoring (TMUŠIĆ ET AL., 2020)

Doch reicht für unsere Zwecke auch eine einfachere Darstellung der wichtigsten Schritte (Abb. 5). Die einzelnen Schritte werden weiter unten und in den Teilberichten vertieft.

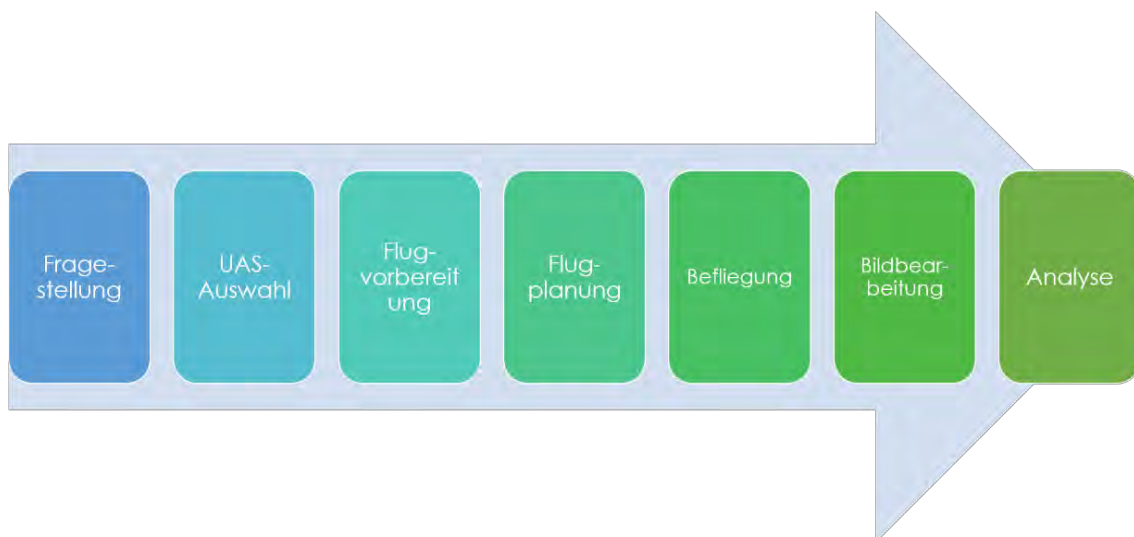


Abb. 5: vereinfachter Workflow beim Drohnenmonitoring (Döring, 2021)

3.1 Befliegungen

Die Befliegungen im Projekt wurden mit einer gemieteten *DJI Mavic 2 Pro*, die faltbar, klein und leicht und mit einer 20-MP-Kamera ausgestattet ist, durchgeführt. Das Handling dieser Drohne ist relativ einfach und ermöglicht ein sehr stabiles und sicheres Fliegen.

Ein Projektziel war nämlich, die vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten von möglichst kleinen und auch für Nicht-Drohnenpezialisten einfach zu handhabenden Drohnen aufzuzeigen und zu standardisieren.

Ferner wurden auch noch einige Befliegungen mit anderen Drohnen und verschiedenen Sensoren (Thermal, Multispektral) durchgeführt. Diese sind allerdings nur von Spezialisten durchzuführen, da es sich um kostspieliges Equipment handelt und deren Handling und die Datenauswertung mehr Kenntnisse erfordern.

3.1.1 Generelle Voraussetzungen

Die Kurzanleitung „Schnell in die Luft“ der brandneuen digitalen Plattform für die unbemannte Luftfahrt (DIPUL) des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) - [Schnell in die Luft | dipul | Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt | dipul](#) (BMDV, 2022) will dem Nutzer einen einfachen Einstieg in die Bedingungen des Drohnefliegens ermöglichen.

Im Juni 2021 wurde die LuftVO europaweit vereinheitlicht und runderneuert. Da sie Teil des für alle Drohnenmodelle, die zum Monitoring geeignet sind, notwendigen Kenntnissnachweises ist, wird sie hier als bekannt vorausgesetzt. Deswegen hier nur ein kurzer Überblick über die wichtigsten Regeln (Tab. 10):

Tab. 2: Neue LuftVO - Übersicht (Döring, 2022)

NEU	Theorieprüfung + Registrierung für Drohnen > 250 Gramm unbedingt erforderlich (seit 07/2022 auch für Behörden)
	Haftpflichtversicherung unbedingt erforderlich
	ununterbrochener Sichtkontakt zur Drohne ohne Hilfsmittel
NEU	Flughöhe bis maximal 120 m über dem Boden
	Kontrollzonen/Geozonen müssen in Apps oder am PC abgeprüft werden und ggf. Genehmigungen beantragt werden (auch Behörden)
NEU	je nach Gewicht - Einsatzkategorien A1-A3 A1: nah an Menschen A2: in sicherer Entfernung zu Menschen A3: weit entfernt von Menschen
NEU	max. Gewicht Drohne = max. 25 kg

Nachfolgend nun ergänzende und aus eigenen Erfahrungen und Recherchen entstandene Hilfestellungen und Empfehlungen zum Einstieg in die rechtlichen Grundvoraussetzungen.

Checkliste - Generelle Voraussetzungen

Folgende Checkliste ist die erste einer Reihe weiterer Checklisten, die allen helfen sollen, sich auf seine Befliegungsaufgaben mit Drohnen vorzubereiten. Sie dürfen mit entsprechender Zitierung direkt weiterverwendet werden.

Checkliste - Generelle Voraussetzungen	OK
<p>Der EU-Kompetenznachweis A1/A3 ist grundsätzlich für Drohnen > 250 gr. erforderlich - aber auch für Drohnen unter 250 gr. zu empfehlen, um sicher in die Materie einzusteigen. Der A1/A3 'Drohnen-Führerschein' kann als Online-Prüfung mit vorherigem Online-Training hier - https://lba-openuav.de - absolviert werden -</p>	
<p>Das EU-Fernpilotenzeugnis A2 kann bei allen zertifizierten Prüfstellen in Präsenz, bei einigen auch Online absolviert werden - siehe z.B. Neuer Drohnenführerschein nach EU-Drohnenverordnung 2021 (DROHNEN.DE, 2022C)</p> <p>Das A2-Fernpilotenzeugnis baut auf dem A1/A3 Schein auf und man kann ihn ambitionierteren und professionellen Piloten nur wärmstens empfehlen, da er in puncto Flugmöglichkeiten einiges erleichtern kann!</p>	
<p>Die Registrierung des Piloten/Betreibers (+ Betreiber-ID auf Drohne) erfolgt hier - https://uas-registration.lba-openuav.de/#/registration/uasOperator</p>	
<p>Für alle zum Monitoring geeigneten Drohnen ist eine Haftpflichtversicherung gesetzlich vorgeschrieben. Eine Drohnenversicherung gibt es bereits ab wenigen Euro pro Jahr. Vergleiche und Angebote sind im Internet zu finden - z.B. hier Drohnen Versicherung / Haftpflicht im Vergleich (DROHNEN.DE, 2022A) oder Drohnenversicherung - Drohnen-Haftpflicht (KOPTER-PROFI.DE).</p> <p>Allerdings kann man für viele Betreiber eine gewerbliche Haftpflichtversicherung für die Drohne empfehlen, da alle Tätigkeiten, die nicht dem reinen Freizeitvergnügen dienen, von den Versicherungen als gewerblich eingestuft werden können - s. (VERSICHERTEDROHNE MAGAZIN, 2022).</p>	
<p>Das eigene Training zur sicheren Beherrschung der Drohne ist selbstverständlich immer nötig! Dazu ist es vorgeschrieben, dass der Pilot sich gut mit dem Handbuch und den Steuer-Befehlen für die Drohne vertraut macht, um im Falle unvorhergesehener Zwischenfälle die Drohne manuell übernehmen und landen zu können.</p> <p>Für das A2-Fernpilotenzeugnis ist aber verpflichtend ein praktisches Selbst-Training (KOPTER-PROFI, 2021) durchzuführen und dies schriftlich zu bestätigen (DROHNEN.DE, 2022D).</p> <p>Die Fähigkeit zur manuellen Übernahme der Drohne muss immer gegeben sein - z.B. bei dem immer möglichen Auftauchen eines Hubschraubers und der nötigen Einleitung eines Ausweichmanövers in Form eines schnellen Sinkfluges!</p>	

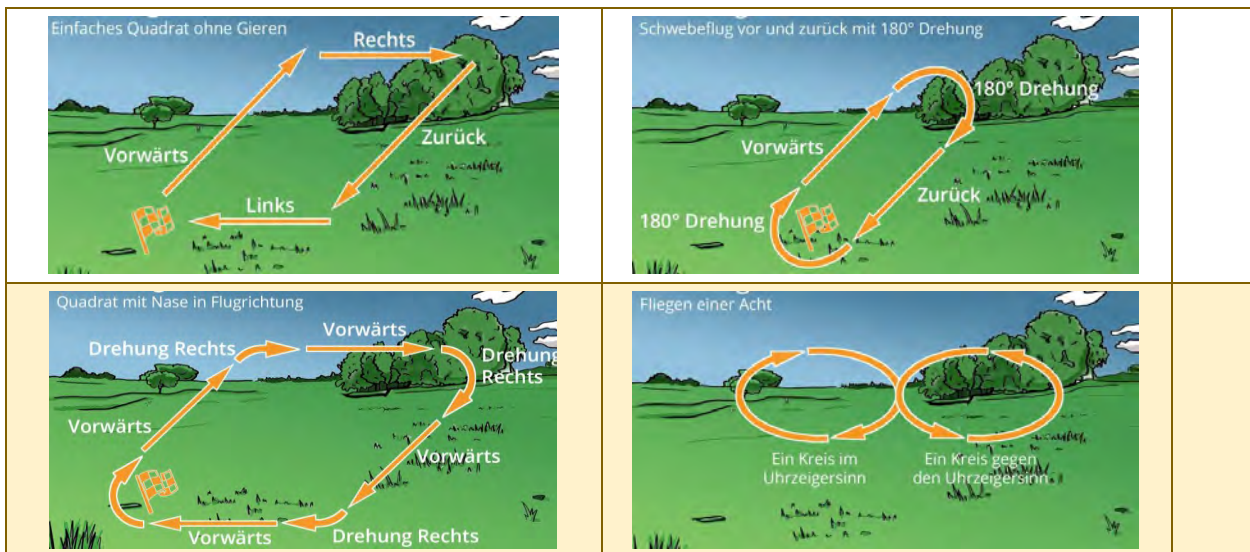


Abb. 6: Praktisches Flugtraining (mit Erlaubnis von [kopter-profi, 2021](#))

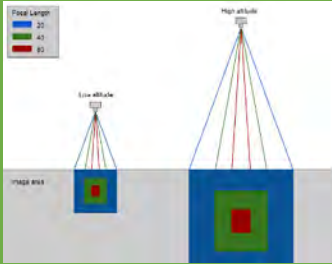
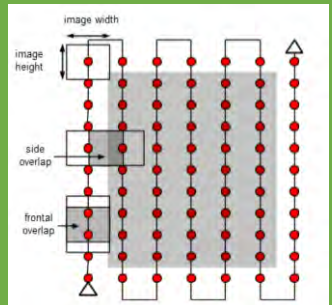

Die Führung eines Flugbuches ist anzuraten - zur Selbstorganisation und als Nachweis über getätigte Flüge, was ggf. für Versicherungsfragen relevant sein kann. Im Rahmen einer Allgemeinverfügung ist z.B. in Thüringen zwingend ein Flugbuch zu führen.


- Als physisches Buch findet man es z.B. hier - [Flugbuch für Drohnen-Einsätze - Bundesverband Copter Piloten \(bvcp.de\)](#) (BVCP, 2022), <https://airdata.com/>,
- als App - z.B. hier [Kopter Profi App](#) (KOPTER-PROFI, 2022A), [Drohnen Flugbuch - App Store](#) (APPLE, 2020).

3.1.2 Befliegungs-Methodik

Je nach Fluggebiet, Fragestellung und Befliegungsobjekten sollte die Flugplanung mit unterschiedlichen Parametern angepasst werden. Erklärungen dazu finden sich in Tab. 3 und auf die jeweiligen Fragestellungen angepasst auch in den [Berichte der Teilgebiete](#).

Tab. 3: Grundlegende Parameter der Flugplanung (Döring, 2022)

Parameter	Empfehlungen
<p>Höhe</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Für höchstmögliche Effizienz, so hoch wie möglich und so niedrig wie nötig fliegen! Über Wald und dichter Vegetation auf jeden Fall so hoch wie möglich fliegen. → Die perspektivische Verzerrung ist dann geringer und Ähnlichkeiten zwischen den überlappenden Fotos werden besser detektiert = bessere photogrammetrische Ergebnisse. Die Flughöhe muss v.a. an das kleinste zu untersuchende Objekt angepasst werden - s. Sensor-Auflösung.
<p>Überlappung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Für Mapping-Missionen immer mind. 75 % vorwärts und 60 % seitliche Überlappung kalkulieren. Über Wald und dichter Vegetation mehr Überlappung (≥ 80 bis 85 %) einstellen, um die komplexen Geometrien der vielen kleinen Strukturen (Äste, Blätter etc.) besser einzufangen = bessere photogrammetrische Ergebnisse. Bei der Befliegung von rel. einförmigen Strukturen wie Gras(land), Maisfelder, Seen, Sand, Schnee > 80 % Überlappung wählen = bessere bzw. überhaupt mögliche photogrammetrische Ergebnisse. Bei Flüssen und Seen möglichst immer Uferbereiche oder andere markante Strukturen mit aufnehmen. → Fotos von reinen Wasserflächen mit starker Reflexion und Wellengang können photogrammetrisch meist nicht zu einem Orthofoto zusammengesetzt werden.
<p>Fluggeschwindigkeit</p>  <p>angegeben meist in m/s (4 × m/s) - 10 % ≈ km/h</p>	<ul style="list-style-type: none"> Die Fluggeschwindigkeit spielt v.a. bei Kameras mit einem elektronischen Verschluss mit zeilen- oder spaltenweiser Belichtung (Rolling-Shutter - wie bei den meisten der hier vorgestellten Drohnen) eine größere Rolle. Durch die Bewegung der Drohne kann es damit zu Verzeichnungen (Dehnungen der Objekte oder Schmiereffekten) in den Bildern kommen. Je schneller die Drohne fliegt und je schlechter die Lichtverhältnisse oder der Wind sind, desto stärker sind die Verzeichnungen. Besonders bei ungünstigen Bedingungen (wenig Licht, Wind etc.) langsamer fliegen! Bei optimalen Bedingungen kann die Geschwindigkeit ggf. wieder heraufgesetzt werden.

<p>Wetter</p> 	<p>Auf guten Kontrast in Bildern achten.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Am besten bei gleichmäßiger Bewölkung fliegen = möglichst gleichmäßige Belichtung • Wolkenlos und Sonne = oft harte Konturen und Schattenwurf + Wind! • Wechselnd bewölkt = am problematischsten - unregelmäßige Belichtung und Wolkenschatten in Bildern! • Am besten bei wenig bis keinem Wind fliegen - speziell, wenn leicht bewegliche Landschaftselemente (Gräser, feine Äste ...) im Fokus der Aufnahmen stehen! • NICHT bei starkem Wind, tiefen Temperaturen, zu hoher Luftfeuchtigkeit bzw. Regen oder starken Sonnenwinden fliegen.
<p>Licht</p> 	<p>Es muss immer genügend Licht vorhanden sein, um gute Bilder zu erzeugen!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zu viel und zu grelles Licht kann eine Überbelichtung der Fotos, viele Reflexionen, aber auch harte Schatten erzeugen, die bei v.a. bei der automatisierten Auswertung von Orthofotos Probleme erzeugen können. → Deswegen sollten die Kamera-Einstellungen für den Weißabgleich (<i>White Balance</i>) immer entsprechend der aktuellen Verhältnisse in den Apps auf bewölkt oder sonnig eingestellt werden. • Bei zu wenig Licht während Flügen in die Dämmerung hinein, werden bei automatischen Einstellungen die <i>ISO-Werte</i> zu weit hinaufgesetzt. Das führt zu Rauschen (= körnige Textur) in den Fotos und kann die Auswertung beeinträchtigen. → Es sollte, wenn möglich, ein möglichst kleiner <i>ISO-Wert</i> um 100 erreicht werden. • Je weniger Licht, desto länger muss die Verschlusszeit sein (DRO-NES MADE EASY, 2021). Das kann aber zu Verzerrungs- und Schmierproblemen durch die Fluggeschwindigkeit führen. • Es sollte mit möglichst kurzer Belichtungszeit und • mit genügend und möglichst gleichmäßigem Licht oder • am besten mit diffusem Licht an gleichmäßig bewölkten Tagen (overcast sky) oder • an sonnigen Tagen - wegen größerer Schatten bei tiefer stehender Sonne (v.a. im Winter) - vorwiegend um die Mittagszeit und ohne Wolken geflogen werden. <p>Alle diese Bedingungen sind aber bei größeren Gebieten und straffen Zeitplänen selten zu erfüllen → Kompromisse!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für weitere Kameraeinstellungen sollte man unbedingt wissen man tut, um auch wirklich bessere Ergebnisse zu erreichen!

Im Folgenden werden diese Parameter genauer spezifiziert.

Flughöhe und GSD = Flächenleistung

Die Flughöhe bestimmt maßgeblich die Flächenleistung und die Auflösung der Bilder (Abb. 7).

Bei gleicher Überlappung kann mit einer Akkuladung auf größerer Höhe ein größeres Gebiet abgeflogen werden.

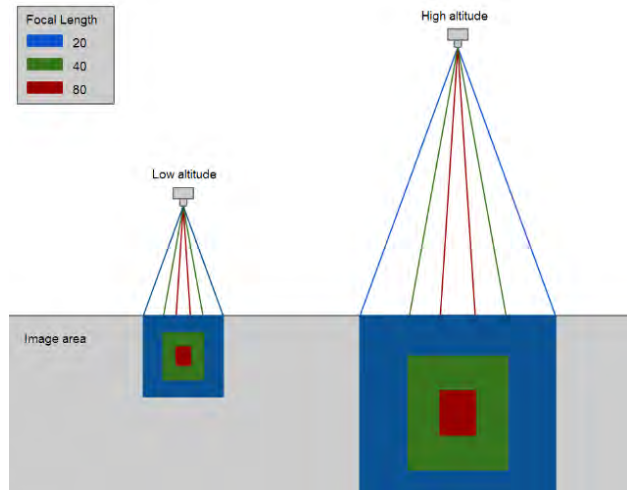


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Flughöhe und Flächenleistung (PIX4D, 2022A)

Die Daten aus nachfolgender Tab. 4 sollen eine Idee geben, wie die Flächenleistung und die Auflösung analog zur Flughöhe zunehmen können. Es fehlt aber in der genutzten Quelle eine Angabe zur Überlappung, die wesentlich zu mehr Flächenleistung (= weniger Überlappung) oder weniger Flächenleistung (= mehr Überlappung) pro Akkuladung beiträgt.

Tab. 4: Flughöhe, Auflösung, Flächenleistung und Genauigkeit der DJI Phantom 4 RTK (abgeändert nach Ae-rotas, 2022a)

Flughöhe [m]	Auflösung (GSD) [cm Pixelgröße]	Flächenleistung / 17 Min. [ha]	horizontale Genauigkeit [cm]	vertikale Genauigkeit [cm]
30	0,85	2,4	< 3	3
60	1,7	8	4	6
90	2,55	10	6,4	9
120	3,4	24	8,5	12

Tab. 5 zeigt eine Zusammenstellung für die Auflösung je Flughöhe für verschiedene Kameras von DJI Drohnen.

Tab. 5: Auflösung (GSD) in Abhängigkeit von der Flughöhe für einige DJI-Modelle (Döring, 2022)

Modell	Sensorgroße	25 m	50 m	75 m	100 m
DJI Zenmuse P1 (M300)	35.9 × 24 mm	0.30 cm (25 × 16 m)	0.60 cm (49 × 33 m)	0.90 cm (74 × 49 m)	1.21 cm (99 × 66 m)
DJI Mavic 2 Pro	13.2 × 8.8 mm	0.56 cm (31 × 21 m)	1.13 cm (62 × 41 m)	1.69 cm (93 × 62 m)	2.26 cm (124 × 82 m)
DJI Air 2 S	13.2 × 8.8 mm	0.72 cm	1.44 cm	2.16 cm	2.88 cm
DJI Mini 3 Pro	9.7 × 7.3 mm	0.89 cm	1.79 cm	2.68 cm	3.57 cm
DJI Mini 2	6.3 × 4.7 mm	0.90 cm	1.80 cm	2.70 cm	3.60 cm

Dunkler abgehoben sind die Werte für die im Projekt verwendete *DJI Mavic 2 Pro*. Dabei sieht man, dass selbst auf über 100 m Flughöhe noch Auflösungen von wenigen Zentimetern erzielt werden können.

Abb. 8 zeigt einen weiteren Vergleich der Auflösung unterschiedlicher Drohnenkameras auf unterschiedlichen Flughöhen. Die Projektdrohne ist rot umrandet hervorgehoben.

	Height above the ground AGL (m)			
	30	45	60	80
GSD (cm)				
Phantom 4 Adv	0.8	1.3	1.8	2.4
Mavic 2 Pro	0.8	1.2	1.6	2.1
Mavic Air 2	0.5	0.8	1.1	1.4
Mavic Mini 2	1	1.6	2.1	2.8

Abb. 8: Vergleich der Bodenauflösung bei unterschiedlichen Höhen (MUGNAI ET AL., 2022)

Überlappung der Flugbahnen

Um die einzelnen Fotos photogrammetrisch zu einem Orthofoto zusammenfügen zu können, müssen sich die Fotos auf den einzelnen Flugbahnen überlappen, um möglichst viele verschiedene Ansichten des gleichen Objekts aus unterschiedlichen Positionen und Winkeln zu bekommen.

Dabei hängt die zu wählende Überlappung von verschiedenen Faktoren wie z.B. der zu befliegenden Landschaft oder der Größe der zu untersuchenden Objekte ab.

Eine ausführliche Zusammenstellung zur Flugplanung findet man z.B. hier (PIX4D, 2022C). Dort werden Empfehlungen für verschiedene Aufnahme-Szenarien gegeben, die auch in anderen Quellen wie (DRONES MADE EASY, 2020) oder (AEROTAS, 2022B) ähnlich oder mit leichten Variationen bestätigt werden.

Eine Faustregel für gute Orthofotos ist die Planung mit mindestens 75 % Vorwärtsüberlappung (*front overlap*) zwischen aufeinanderfolgenden Fotos und mindestens 60 % - besser 75 % und mehr - Seitwärtsüberlappung (*side overlap*) zwischen den angrenzenden Flugbahnen. Diese Überlappungen lassen sich am besten in einem regelmäßigen Raster als Flugplan (Abb. 9) realisieren, was in nahezu jeder Mapping-App möglich ist.

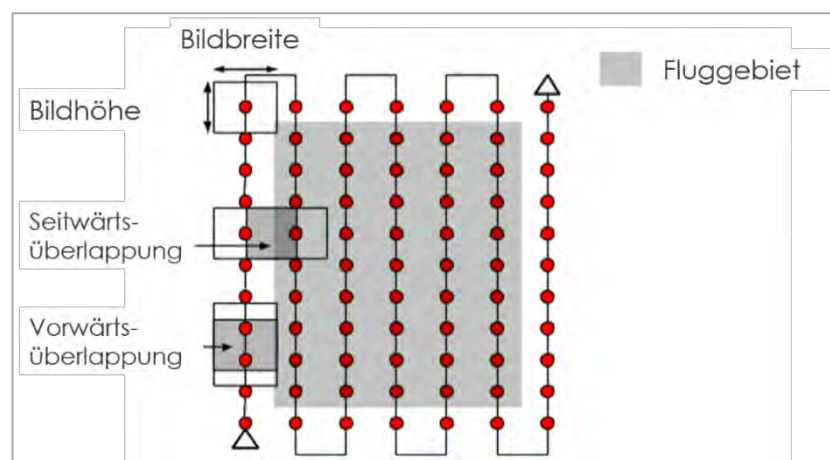


Abb. 9: Raster-Flugplanung (abgeändert nach PIX4D, 2022)

Semi-autonome oder automatische Flüge

Flüge, bei denen die Drohne selbst startet, die Flugmission ausführt und auch wieder alleine landet, werden als semi-autonome Flüge bezeichnet. Semi-autonom, weil der Pilot das Fluggerät normalerweise immer im Blick haben und auch jederzeit eingreifen können muss.

Die verschiedenen Flugmissionen, die nachfolgend erläutert werden, sind in den meisten Apps einfach zu planen und ermöglichen es, mit wenigen Handgriffen ein Gebiet vollständig und in der gewünschten Genauigkeit und Auflösung abzufliegen.

Der ideale Flugplan hängt von der jeweiligen Fragestellung und damit von den zu untersuchenden Objekten, deren Größe, Eigenschaften etc. ab, wie wir im Laufe der nächsten Seiten sehen werden.

Raster-Flüge

Raster-Flüge sind der Standard für Vermessungs- und Landschafts-Aufnahmen. Sie gewähren eine gleichmäßige Abdeckung des Untersuchungsgebietes. Für hochgenaue 3D-Modelle werden evtl. Doppel-Raster/Grids (Abb. 10) geflogen - ggf. mit zusätzlichen Schrägaufnahmen, da ein 3D-Modell oder Orthofoto genauer wird, je öfter der gleiche Punkt aus mehreren Winkeln in verschiedenen Bildern aufgenommen wird.

In der [Map Pilot App](#), die im Projekt überwiegend verwendet wurde, setzt man durch Tippen auf die Hintergrundkarte orange Punkte, die ein Polygon (gelbe Linien) definieren (Abb. 11). Für die 'Norm Mission' (= Standard-Rasterflug) werden über die Einstellung der Parameter *Altitude* (Höhe) und *Overlap* (Überlappung) die Flugbahnen definiert (weiße Linien). Diese können über *Rotation* (Drehung) ggf. noch optimiert werden, indem sie parallel zur längsten Seite des Polygons gedreht werden. So werden weniger Umkehrpunkte benötigt und die Drohne kann energie-sparendere längere Bahnen fliegen.

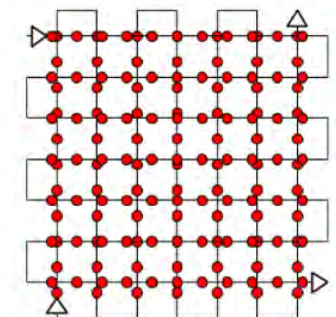


Abb. 10: Double-Grid (pix4d, 2022b)

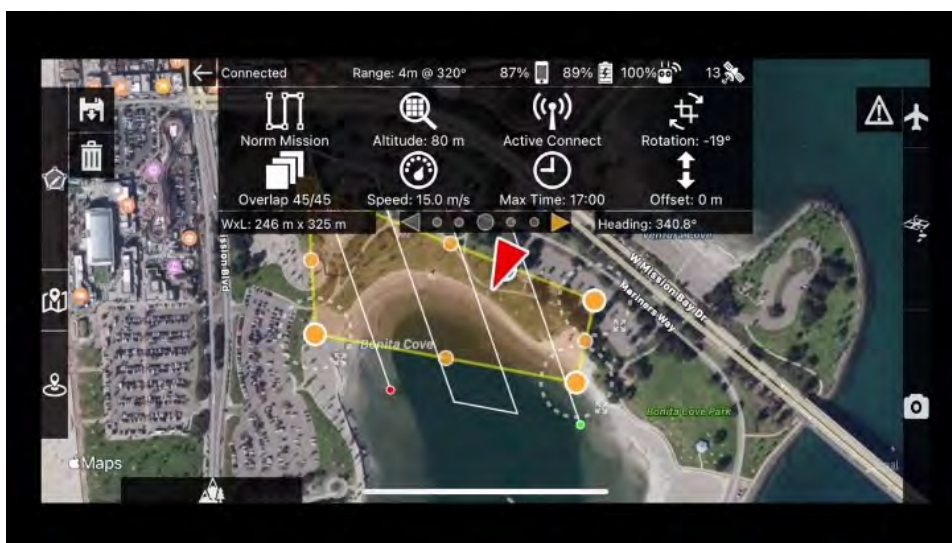


Abb. 11: Rasterflugplan - Map Pilot (Map Pilot, 2022)

Korridor-Befliegungen

Eine Korridor-Flugplanung erlaubt es, Befliegungen von linienartigen Flächen wie Flüssen, Straßen, Freileitungen oder Pipelines einfach und effizient (mit möglichst geringer Flugzeit) zu planen. Es werden nur die wirklich relevanten Flächen (Flussbett, Leitungskorridore etc.) befliegen.

Auch hier werden durch Tippen auf die Hintergrundkarte mindestens drei Punkte in der App gesetzt. Diese sollten in der Mitte der zu befliegenden linearen Struktur liegen und definieren die Mittel-Linie des Flugplans.

Anschließend wird über einen Schieberegler oder + und - die Anzahl der zu fliegenden Bahnen (*Passes*) eingestellt (Abb. 12 rot umrandet).

Es sollten mindestens 3 Flugbahnen sein, um die Hauptaufnahmefläche stabil abzubilden. Um erweitert Randbereiche abzudecken, müssen ggf. mehr Flugbahnen hinzugefügt werden. Die jeweils äußersten Flugbahnen begrenzen nach innen den Bereich des resultierenden Luftbildes, der noch gut und scharf abgebildet wird.

Die in den App-Einstellungen hinzugefügten Flugbahnen werden dann links und rechts parallel zur Mittellinie angelegt. Wie üblich, können anschließend die weiteren Parameter wie Überlappung der Flugbahnen, Höhe etc. eingestellt werden.



Abb. 12: Korridor-Flugplanung (Map Pilot, 2022)

Manuelle Flüge

Manuelle Flüge stellen die größten Anforderungen an den Piloten dar. Er muss dazu das Fluggerät gut beherrschen und sich auch im Gelände gut orientieren und Entfernungen abschätzen können, generell ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen besitzen.

Die Drohne wird ohne eine Flugplanung vom Start bis zur Landung durch den Piloten gesteuert. Glücklicherweise haben alle moderneren Drohnen Stabilisierungseigenschaften, die sowohl die Höhen-, als auch die Seitenlage der Drohne durch Kompass, GPS und Barometer sehr stabil gestalten. Wenn nötig, kann man die Drohne auch einfach einmal in der Luft stehen lassen, um sich neu zu orientieren. Dazu braucht man nur die Steuerknüppel loszulassen und sie bleibt nach dem Abbremsen auf der Stelle in der Luft stehen, sie *hovers*.

Im Projekt wurden Felsen, die Amphibienteiche in Taubergießen, die Kinzig zum Lachsmonitoring und eine Bibergebiet im Moor manuell befliegen. In allen Szenarien waren automatisierte Flüge aufgrund der umgebenden Vegetation und der niedrigen Flughöhe bzw. des geringen Abstands zum Felsen nicht möglich. Die Details dazu werden in den jeweiligen [Berichte der Teilgebiete](#) erklärt.

Manuelle Flüge werden v.a. im Wildtiermonitoring oder der Wildtierrettung durchgeführt

- beim Vegetations- oder Fledermaus-Monitoring an Felswänden
- zur Kontrolle von Greifvogelhorsten in Bäumen oder Felswänden
- bei der Wildtierrettung zum Auffinden der Tiere und zur Einweisung der Helfer durch *Hovern* (Schweben) der Drohne über dem gefundenen Tier

Vorteile

- o kurze Vorbereitungs- und Rüstzeit - keine Flugplanung nötig
- o keine spezielle Software nötig
- o intuitive Herangehensweise

Nachteile

- o Die Genauigkeit steht und fällt mit dem Steuerer.
- o Die Anforderungen an die Konzentration des Piloten sind hoch.
- o Die sichere Abdeckung eines flächigen Suchgebiets ist nur bei idealen Gelände-
verhältnissen und höchster Konzentration des Piloten möglich. Das Fehlerpoten-
tial ist hoch.

abgeändert nach - ([ARBES, 2017](#))

Schrägaufnahmen

Schrägaufnahmen bieten vielfältige Möglichkeiten, um die photogrammetrischen Ergeb-
nisse zu verbessern.

Bei den hochpreisigeren Drohnenmodellen sind Schrägaufnahmen Teil auswählbarer Flug-
missionen - z.B. wie hier die *3D Photogrammetry Mission* in dem Menü zur Auswahl des Missi-
onstyps der *DJI Phantom RTK* (Abb. 13).

Für diese Mission werden über das Ob-
jekt/Fluggebiet je ein Rasterflug mit 90°
nach unten gerichteter Kamera (Nadir)
und vier weitere Flüge mit schrägge-
stellter Kamera (oblique) von der
Drohne automatisch durchgeführt. Dies
gewährleistet eine möglichst vielseitige
Ansicht des gleichen Objekts und damit
dessen möglichst genaue 3D-Rekon-
struktion.

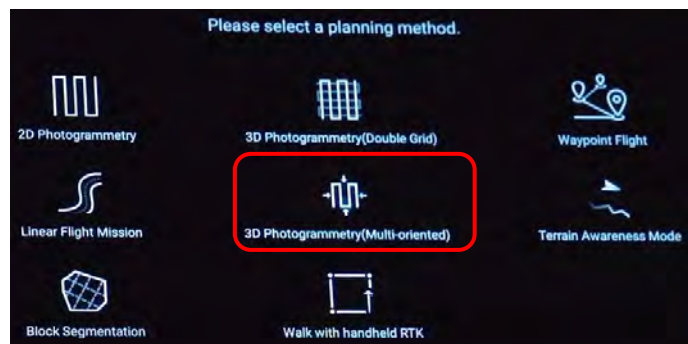


Abb. 13: Planungs-Methoden in der Phantom 4 RTK App
(Döring, 2022)

Schräg- (oder *Oblique*)-Aufnahmen
können genutzt werden, um stärker ge-
neigte Geländeoberflächen, Kronen-
volumina im Wald oder auch vertikale Flächen wie Fassaden von Gebäuden besser zu er-
fassen. Überdies können sie auch zur weiteren Stabilisierung des Bildverbandes ([PRZYBILLA,
2020](#)) und zur Höhengenaugkeit ([DJI & KRULL, 2020](#)) beitragen.

In Tab. 6 sind mögliche Einsatzszenarien mit Schrägaufnahmen zusammengestellt.

Tab. 6: Einsatzszenarien Schrägaufnahmen (Döring, 2022)

Einsatzszenarien Schrägaufnahmen	Vorteile
Waldbefliegungen, hohe Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> • bessere Strukturerkennung, Volumen- und Höhenschätzung durch mehr 'Einsicht' in den Kronenraum (REDER; WABERMANN & MUND, 2019) • Erfassung unterständiger Vegetation (PERROY; SULLIVAN & STEPHENSON, 2017)
Felsbefliegungen	<ul style="list-style-type: none"> • Einsicht in Nischen, Winkel und nach hinten gekippte Absätze (STRUMIA ET AL., 2020)
Flussbefliegungen	<ul style="list-style-type: none"> • bessere Uferansicht unter Vegetation (RUSNÁK ET AL., 2018)
3D-Modelle	<ul style="list-style-type: none"> • mehr Sichtwinkel und v.a. Seiten-Ansichten komplexer Strukturen (Fassaden, Felswände) (NESBIT & HUGENHOLZ, 2019) - z.B. (DRO-NEDEPLOY, 2022)
Befliegungen generell	<ul style="list-style-type: none"> • stabilere/genauere Höhen (DJI & KRULL, 2020) - oft reichen dazu ein paar Schrägaufnahmen. Zum Beispiel nennt sich eine Option bei der DJI Phantom 4 RTK <i>Altitude Optimization</i>, wofür die Drohne vom Endpunkt der Mission in die Mitte des Fluggebiets hineinfliegt und dabei einige Fotos in einem Winkel von 75° aufgenommen werden. Diese reichen, um stabilere und genauere Höhen zu erlangen.

Exkurs Anti-Doming

“Doming” (Aufwölbung) von eigentlich ebenen Flächen kommt ab und an als Deformation bei der Prozessierung von Drohnenbildern vor (Abb. 14). Der Effekt resultiert aus suboptimalen Aufnahmebedingungen oder nicht ganz gelösten Randverzerrungs-Korrekturen der Kameralinse (v.a. bei günstigeren und nicht hochgenau kalibrierten Kameramodellen) während der Bildprozessierung ([EVANS ET AL., 2022](#)).

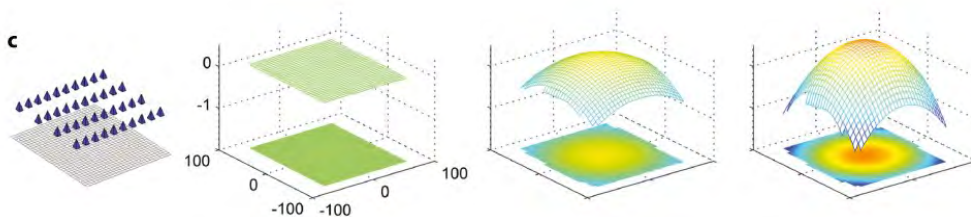


Abb. 14: Doming-Simulation ([JAMES & ROBSON, 2014](#))

Wenn häufiger Doming-Effekte auftreten sollten, können diese oft durch ein paar zusätzlich aufgenommene Schräg- oder Obliqueaufnahmen beseitigt werden ([JAMES & ROBSON, 2014](#)), ([WEBODM, 2020](#)), ([SMATHERMATHER, 2022](#)).

Für die im Projekt genutzte Mavic 2 Pro haben sich ([KALACSKA ET AL., 2020](#)) ausführlich Gedanken zu diesem Thema gemacht und auch Lösungen gefunden.

3.1.3 Flugprojekt-Vorbereitung

In der folgenden Checkliste sind die wichtigsten Punkte und Maßnahmen aufgelistet, die zur Vorbereitung eines professionellen Drohnen-Fluges abgeklärt werden müssen. Die Gebiete wurden im Projekt immer mit den beteiligten Behörden und Gebietsbetreuern abgesprochen. Dementsprechend wurden natürlich auch Genehmigungen abgerufen und vor den Flügen Bescheid gegeben.

Checkliste Missionsvorbereitung

Checkliste - Missionsvorbereitung	OK
<p>Einsatz-Gebiet definieren (lassen) – z.B. als KML-Datei aus Google Earth! Nutzbar</p> <ul style="list-style-type: none"> • zur Beantragung einer Genehmigung. • zur Flugplanung - kann in die meisten Drohnen-Flugcomputer geladen werden. • Für die Wildtierrettung kann das zu mähende Gebiet oft aus dem Landwirtschafts-GIS für den gemeinsamen Antrag (in BW z.B. FIONA) als SHP-Datei exportiert und via UAV-Editor in eine KML-Datei für verschiedene Drohnen umgewandelt werden - s. Kapitel Wildtierrettung. 	
<p>Geo-Zonen überprüfen! am PC</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Geoportale der Länder sind die sicherste Quelle für Informationen zu Schutzgebieten - s. Tabelle Geoportale der Bundesländer . • Die neue Webseite vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) + der Deutschen Flugsicherung (DFS) Dipu! bietet u.a. ein <i>Maptool</i> und ist nach Aussage des BMDV rechtssicher bezüglich der Lage und Anzahl der Geozonen. • FlyNex ist ein explizites Kartentool, das, allerdings ohne Gewähr, die Lage und Anzahl der Geozonen darstellt. Es kann am PC oder auf dem Smartphone als App - Map2Fly - verwendet werden. <p>in Apps auf dem Smartphone</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zwei weitere Apps für das Smartphone sind die Droniq App und die Kopter-Profi App 	
<p>Genehmigungspflichtigen abprüfen!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für BW findet man die nötigen Informationen hier - https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/verkehr/luft/seiten/drohnen. Einige Bundesländer haben die Genehmigungsbefugnis an das Luftfahrtbundesamt (LBA) abgegeben. Welche das sind, kann man in der Tabelle Liste der Landesluftfahrtbehörden der Länder (in weißen Feldern) herauslesen. • Genehmigungen rechtzeitig beantragen! • Folgende Stellen müssen ggf. um Genehmigung ersucht werden (seit 07/2022 auch durch andere Behörden - außer BOS im Einsatzfall): 	

<ul style="list-style-type: none"> • die zuständigen Naturschutzbehörden für Flüge in Schutzgebieten unter 100 m • die Betreiber der Stromnetze nahe Hochspannungsleitungen • die Verwaltung der DB in Nähe des Eisenbahn-Streckennetzes oder • die BAB-Verwaltung nahe Autobahnen und • für andere geschützte Lufträume die jeweils zuständigen Stellen - s. z.B. (drohnen.de, 2021) 	
<p>Kontakt mit Gebietsbetreuern bzw. Naturschutzverbänden vor Ort aufnehmen!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Für Befliegungen in Schutzgebieten sollte man die zuständigen Gebietsbetreuer einbinden, <ul style="list-style-type: none"> ◦ um die Akzeptanz zu fördern und wichtige Informationen zum Gebiet zu erhalten und ◦ um ggf. notwendige Daten zu bekommen und um die gängige Erhebungsmethodik zu erfahren und daran anknüpfen zu können. 	
<p>Methodische Absprachen mit Auftraggebern treffen!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wenn möglich an vorhandene Methodik anknüpfen. • Weitere notwendige Informationen recherchieren. • Das <i>Ground-Truthing</i> (Überprüfung am Boden der in der Luft gesehenen Elemente - wie Pflanzen- und Tierarten oder andere Objekte) vorbereiten. 	
<p>Fragestellungen gut definieren!</p> <ul style="list-style-type: none"> • Größe des kleinsten zu erfassenden Objekts definieren <ul style="list-style-type: none"> → bedingt die nötige Bodenauflösung (GSD) - Pix4Dcalculator (Empfehlung für Flughöhen) → bedingt Abwägung zu Kameraauflösung und Flughöhe • Output definieren <ul style="list-style-type: none"> ◦ nur 2D oder auch ◦ 3D-Objekte - dann ggf. <i>Schräg- oder Obliqueaufnahmen</i> (mit schräg nach vorn gestellter Kamera) einkalkulieren 	
<p>Sensor je nach Fragestellung definieren - RGB, Multispektral, Thermal, Auflösung usw.</p>	
<p>(Baxter & Hamilton, 2018) haben etliche dieser Vorüberlegungen zusammengefasst und auch Wirtschaftlichkeitserwägungen hinzugezogen.</p>	

Flugplanung am PC

Es gibt etliche Möglichkeiten, um Befliegungen schon zu Hause oder im Büro gut vorzubereiten. Auch im Projekt wurde versucht, bereits einen großen Teil der Vorerkundung für anstehende Befliegungen am PC zu erledigen.

Dabei wurden folgende Programme und Webseiten genutzt: [Google Earth](#), [QGIS](#), Geoportal der LUBW - [UDO](#) und das neue Portal des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr - die digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt '[dipul](#)' - <https://dipul.de/homepage/de/> - dieses soll alle relevanten Informationen rund um das Thema Unbemannte Luftfahrt also Drohnen bündeln. Inkludiert ist ein Map Tool also eine Kartenseite, auf der Standorte eingegeben werden können und für diese ziemlich rechtssicher alle relevanten Geozonen nach [§ 21 h der neuen LuftVO](#) angezeigt werden.

Die Geoportale der Bundesländer stellen die rechtssichersten und aktuellsten Informationsquellen für Schutzgebiete, die ja im Biomonitoring besonders relevant sind, dar. Sie werden normalerweise verpflichtend immer auf dem aktuellsten Stand gehalten.

Folgende Liste soll den Zugang zu den Geoportalen erleichtern.

Geoportale der Länder

Tab. 7: Geoportale der Länder (eigene Darstellung)

Baden-Württemberg	https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/
Bayern	https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?lang=de&topic=ba&catalogNodes=11&bgLayer=atkis
Berlin	http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/fis-broker/
Brandenburg	https://geoportal.brandenburg.de/de/cms/portal/start/map/32
Bremen	https://www.gis.umwelt.bremen.de/webappbuilder/apps/15/
Hamburg	https://geoportal-hamburg.de/geo-online/
Hessen	https://www.geoportal.hessen.de/
Mecklenburg-Vorpommern	https://www.geoportal-mv.de/gaia/login.php
Niedersachsen	https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/service/umweltkarten/natur_amp_landschaft/besonders_geschuetzte_teile_von_natur_und_landschaft/naturschutzrechtlich_besonders_geschuetzte_teile_von_natur_und_landschaft-9065.html
Nordrhein-Westfalen	https://www.geoportal.nrw/themenkarten
Rheinland-Pfalz	https://geodaten.naturschutz.rlp.de/kartendienste_naturschutz/
Saarland	https://geoportal.saarland.de/mapbender/frames/index.php?lang=de&gui_id=Geoportal-SL-2020&WMC=2988
Sachsen	https://geoportal.sachsen.de/cps/karte.html?showmap=true&service=https://geodienste.sachsen.de/iwms_gsz_schutzgebiete/guest?
Sachsen-Anhalt	https://lvwa.themenbrowser.de/UMN_LVWA/php/geoclient.php?name=naturschutz
Schleswig-Holstein	https://danord.gdi-sh.de/viewer/resources/apps/Anonym/index.html?lang=de#/
Thüringen	Karte: Karte Schutzgebiete - Kartendienst des TLUBN (thueringen.de)

Landesluftfahrtbehörden der Länder

Tab. 8: Landesluftfahrtbehörden der Länder (eigene Darstellung)

grafische Übersicht mit Anträgen: Einflug in geografische Gebiete dipul	
Baden-Württemberg	Landesluftfahrtbehörde Baden-Württemberg
Bayern	Landesluftfahrtbehörde Bayern
Berlin	Landesluftfahrtbehörde Berlin
Brandenburg	Landesluftfahrtbehörde Brandenburg
Bremen	Landesluftfahrtbehörde Bremen
Hamburg	Landesluftfahrtbehörde Hamburg
Hessen	Landesluftfahrtbehörde Hessen
Mecklenburg-Vorpommern	Landesluftfahrtbehörde Mecklenburg-Vorpommern
Niedersachsen	Landesluftfahrtbehörde Niedersachsen
Nordrhein-Westfalen	Landesluftfahrtbehörde Nordrhein-Westfalen
Rheinland-Pfalz	Landesluftfahrtbehörde Rheinland-Pfalz
Saarland	Landesluftfahrtbehörde Saarland
Sachsen	Landesluftfahrtbehörde Sachsen
Sachsen-Anhalt	Landesluftfahrtbehörde Sachsen-Anhalt
Schleswig-Holstein	Landesluftfahrtbehörde Schleswig-Holstein
Thüringen	Landesluftfahrtbehörde Thüringen

3.1.4 Checklisten Befliegung

Im Anschluss sind Checklisten zur direkten Durchführung einer Befliegung aufgeführt.

Checkliste Flugvorbereitung im Büro/Zuhause

Checkliste - Flugvorbereitung im Büro/Zuhause	OK
Kopter checken. <ul style="list-style-type: none"> • Software und Firmware sind aktuell und übereinstimmend? Technisch ok? • Nach Updates Grund-Einstellungen in Fernsteuerung kontrollieren - max. Flughöhe, 'Heimflug-Höhe' (RTH - zum sicheren Rückflug nach Beendigung des Fluges oder bei Drücken des RTH-Knopfes), Sensoren etc. 	
Batterien laden und einpacken	
KML des Fluggebiets vorbereiten und ggf. auf SD-Karte übertragen	
Hintergrundkarte der FlugApp - bei bestehender Internet-Verbindung im Büro kann man die Karte durch Hinein- und Herauszoomen (damit alle notwendigen Kacheln in verschiedenen Zoomstufen in den temporären Speicher geladen werden) zwischenspeichern.	

SD-Karte(n) einlegen und Ersatz mitnehmen - SD-Karte in Drohne und ggf. in Fernsteuerung (z.B. <i>Smart Controller</i>) einlegen.	
Flugtagebuch einstecken/vorbereiten - physisch auf Papier oder über Apps (Kopter-Profi , DroneLogbook , AirData ...)	
Führerschein, Versicherungskarte und Genehmigungen einstecken	
Wetter abrufen - am PC oder über Apps <ul style="list-style-type: none"> • UAV Forecast - Winddaten, Sonnenwinde (KP-Index) - PC/App • kachelmannwetter.com - u.a. Winddaten - PC • wetteronline.de - 'einfache' Winddaten - PC • Kopter Profi App - u.a. Geozonen, Sonnenwinde (KP-Index) - App 	
NOTAMs (aktuelle Meldungen über eventuelle Lauftraum-Aktivitäten) für das Fluggebiet prüfen - z.B. www.dfs-ais.de oder in Droniq-App	
Zubehör einpacken (Landepads, Absperrband o. Ä.)	
Ground-Truthing-Zubehör und ggf. Vermessungsequipment einpacken	
Ggf. bei der Naturschutzbehörde, die eine Genehmigung erteilt hat, den Flug am Tag vorher per E-Mail anmelden - v.a. zur möglichen Beruhigung besorgter Bürger, die nachfragen, warum jemand in einem Schutzgebiet Drohne fliegt.	

Checkliste am Flugort

Checkliste - Flugvorbereitung vor Ort	OK
Geo-Zonen vor Ort nochmals über Apps: z.B. Map2Fly , Kopter Profi App , Droniq App überprüfen.	
Überblick über Gelände verschaffen - über Freileitungen, Hindernisse (z.B. Bäume, Gebäude) etc. - alles, was aus Karten und (Online-)Daten nicht herauslesbar ist - und einprägen. Geländeverlauf (Hügel etc.) in Höheneinstellungen einkalkulieren.	
Startplatz auswählen und sichern. <ul style="list-style-type: none"> • Möglichst vom höchsten Punkt aus starten, so dass die eingestellte Flughöhe immer ausreichend ist! • Bei Bedarf selbst absichern oder notwendige Sperrungen veranlassen! 	
Helfer einweisen und beiwohnende Personen zu Beteiligten erklären!	
Wenn ein Flugplatz in der Nähe ist telefonisch Kontakt aufnehmen und, wenn gefordert, bei jedem Flug an- und abmelden.	
Drohne startklar machen. Einstellungen nochmals checken - bes. nach Updates: max. Flughöhe, 'Heimflug-Höhe' (<i>RTH</i> - zum sicheren Rückflug nach Beendigung des Fluges oder bei Drücken des <i>RTH</i> -Knopfes), Sensoren etc.	

Checkliste während des Fluges

Checkliste - während des Fluges	OK
Behalte die Hände IMMER am Kontrollgerät (Fernsteuerung, Tablet, Smartphone)!	
Behalte die Drohne und den umgebenden Luftraum IMMER im Auge!	
Ständige Kontrolle der Flugparameter auf Bildschirm (Batterie, Höhe etc.)!	
Bei Gefahr sofort manuelle Kontrolle übernehmen und die Drohne runter (z.B. auf Baumwipfelhöhe bei nahendem Heli) oder ggf. auch zurückbringen!	
Bei attackierendem Greifvogel die Drohne nach oben und vom Vogel weg steuern und entfernen, ggf. landen!	
Die manuelle Kontrolle kann bei DJI durch Abort, das kurze Hin- und Herbewegen des Flugmodus-Hebels (an der Seite) der Fernsteuerung wiedererlangt werden. Dadurch wird die Mission unterbrochen.	

Checkliste nach dem Flug

Checkliste - nach dem Flug	OK
Gelände freigeben	
Ggf. bei Flugplatz wieder abmelden.	
Flugtagebuch ausfüllen und v.a. besondere Vorkommnisse notieren	
Wenn möglich, Flugplan abspeichern und synchronisieren.	
Ggf. bei Naturschutzbehörde wieder abmelden.	

3.1.5 Hardware

Kaufüberlegungen

Am Beginn der Überlegungen zum Kauf einer Drohne, ist es ratsam, zuerst eine gründliche Bedarfsanalyse durchzuführen. Dabei sollten alle interessierten Kollegen (eventuell auch aus anderen Abteilungen) einbezogen werden, um sicherzustellen, dass die bestmögliche Ausrüstung für eine breite Palette von Einsatzszenarien erworben werden kann

Es kann hier keine komplette Übersicht über den Drohnenmarkt geben, sondern es soll eine Einführung in die wichtigsten Kriterien gegeben, die es ermöglichen eine Drohne zu kaufen, die möglichst alle Anforderungen, die gestellt werden, erfüllen kann. Ergänzend werden noch einige Modelle mit Bezug zum Projekt kurz vorgestellt.

Folgende Fragen (Tab. 9) sollen dabei helfen und weitgehendst beantwortet werden können, bevor man sich schließlich für den Kauf und Einsatz einer Drohne bzw. eines bestimmten Modells entscheidet - s. auch Kapitel [4.5 Wirtschaftlichkeit](#) und ([Duffy et al., 2020, S. 24 ff.](#)):

Tab. 9: Überlegungen vor dem Kauf (Döring, 2022)

Wie groß ist das durchschnittlich zu untersuchende/befliegende Gebiet?	
<p>Sind die durchschnittlichen Untersuchungsgebiete groß, muss man sich zuerst einmal grundsätzlich zwischen Multikoptern mit begrenzter Flugzeit und mehr Batterien, oder Starrflüglern mit Senkrechtstart und -lande-Funktion (VTOL = <i>Vertical Take-Off and Landing</i>) und hoher Flächenleistung durch lange Flugzeiten entscheiden.</p>	
<p>Multikopter</p>	 <p style="text-align: center;">eingesetzte Drohne</p>  <p style="text-align: center;">(Döring, 2021)</p>  <p style="text-align: right; font-size: small;">Max. Mittelbacher, UJ Biberach (Maximilian Mittelbacher, 2021)</p>
<p>Starrflügler/VTOL</p>	 <p style="text-align: center;">Fixed Wing - VTOL (Skyscrab, 2023)</p>  <p style="text-align: center;">Tailsitter - VTOL (Dempewolf, 2023)</p>
Wie groß sind normalerweise die kleinsten zu untersuchenden Objekte? Welche Auflösungen der Kamera(s) werden dazu benötigt und auf welcher Höhe kann geflogen werden?	
<p>Für das Monitoring von sehr großen Gebieten empfiehlt sich die Kombination von Drohnen- und anderen Fernerkundungsdaten wie Satellitenszenen oder Orthofotos aus bemannten Befliegungen - z.B. der Landesvermessungen. Letztere haben aber auf jeden Fall eine geringere zeitliche Auflösung - sie werden meist nur alle 2 - 3 Jahre erneuert. Die hochauflösenden Drohnen- und anderen Fernerkundungsdaten können z.B. zur Validierung der niedriger aufgelösten Satellitenaufnahmen genutzt werden (HORN, 2021), (FASSNACHT ET AL., 2021), (KIT, 2020).</p>	
<p>Will oder muss man in möglichst großer Höhe fliegen, um möglichst viel Flächenleistung zu bekommen, braucht man für die gleiche Boden-Auflösung eine höher auflösende Kamera an einer teureren Trägerplattform.</p>	
<p>Kann man auch niedriger fliegen, um die Auflösung zu verbessern, reicht oft eine kleine Drohne 'von der Stange'.</p>	
<p>Drohne/Multikopter oder Drohne/Starrflügler bzw. bemannte Befliegung?</p>	








Skalierung/Größe	das kleinste zu untersuchenden Objekt bedingt die Auflösung (Fläche/Pixel) und damit mögliche Flughöhe und Flächenleistung	
Flächengröße	je größer →	
Auflösung	je höher →	
Flächen-Geometrie	je verzwickter - z.B. enge Täler →	
	lange Strecken (z.B. Flüsse) & gleichförmig über große Flächen → oft günstiger (10 bis 12 €/km ² bei 22.000 km ² Auftragsvolumen)	
Zeithorizont	je schneller →	
Flug-Bedingungen	je gleichförmigere Bedingungen nötig sind (Zeit, Belichtung, Wasserstand, andere zeitkritische Faktoren) →	
Ausschreibung oder eigene Befliegung	→ das ist hier die Frage!	

Abb. 15: Entscheidungshilfe zur Trägerplattform (Döring, 2022, freie Icons von [uxwing](#))

Welche absolute Lagegenauigkeit müssen die Daten haben?
Reicht das GNSS-Positionssystem der ‚normalen‘ Drohnen mit 2 - 4 m Lagegenauigkeit aus, oder benötigt man Vermessungs-Genauigkeiten im Zentimeter-Bereich? Dann benötigt man dafür ein RTK/PPK-GNSS-System an der Drohne.
Alternativ kann man terrestrisch hochgenaue Bodenkontrollpunkte aufnehmen, die dann zur Georeferenzierung der Fotos dienen (PIX4D, 2022B).
Für gute Höhengenaugigkeiten kommt man um ein RTK/PPK-GNSS-System mit direkter oder nachgeschalteter Korrekturmöglichkeit und einem genauen Geoidmodell für die Photogrammetrie-Software (in Deutschland das GCG2016 des BKG) nicht herum.
Braucht man regelmäßig verschiedene Sensoren (Payload) wie RGB, Multispektral- und Thermalkameras?
Möchte man verschiedene Sensoren im Wechsel oder sogar zwei unterschiedliche Sensoren gleichzeitig an derselben Drohne fliegen, braucht man eine teurere Trägerplattform - z.B. die DJI M300 (DJI, 2022A) als eine rel. günstigste Multisensor-Drohne.
Vielleicht nimmt man aber lieber mehrere Drohnenmodelle mit jeweils nur einem festverbauten Sensorsystem, die günstiger, kleiner, leichter, einfacher zu handeln und besser zu transportieren sind.

Welche Sensoren benötigt man (wirklich), gerade am Anfang?

Oft wird das Potenzial von 'normalen' RGB-Bildern (Rot-Grün-Blau-Farbspektrum herkömmlicher Kameras) gar nicht wirklich ausgeschöpft ([LARRINAGA & BROTONS, 2019](#)). Mit RGB-Bildern können nämlich bereits etliche aussagekräftige Indices erstellt werden (s. [Vegetationsmonitoring](#)), die schon für viele Fragestellungen ausreichen ([AGAPIOU, 2020](#)).

In diesen beiden Veröffentlichungen, ([L3HARRIS, 2022](#)) und ([SKYGLYPH, 2022](#)), findet man anschauliche Zusammenstellungen verschiedener Indices.

Wie notwendig ist die einfache Transportabilität des Equipments?

Wird die Drohne für Kartierarbeiten oft zu Fuß in unwegsames Gelände mitgenommen, dann sollte sie möglichst klein und leicht sein.

Trägersysteme mit vielfältigeren Sensormöglichkeiten sind meist nur mit dem Auto gut transportierbar, da sie an sich schon sehr groß sind und oft noch sperriges Zubehör benötigen.

Wie viel möchte/kann man ausgeben?

Für Behörden oder Naturschutzverbände ist die Anschaffung einer eigenen Drohne dann zu empfehlen, wenn kein oder nur wenig Budget für externe Befliegungs-Dienstleistungen vorhanden ist und außerdem die Fachkompetenz der eigenen Mitarbeiter erweitert werden kann/soll.

Am wirtschaftlichsten ist die Nutzung der Drohnen durch die FeldökologInnen/KartiererInnen selbst, da sie neben den Befliegungen direkt auch das nötige Ground-Truthing (= Verifizierung der aus der Luft aufgenommenen Objekte am Boden) durchführen können.

Ist das Budget groß genug für

- Drohne + Equipment (v.a. genügend Akkus + feuerfeste Box, ggf. Rucksack, Tablet oder Smartphone etc.)
- und v.a. auch Kosten + Arbeitszeit für Ausbildung/Training und Wartung/Management - Führerschein(e), Flugtraining, Softwarebedienung, Akkupflege, Service, Weiterbildung ...?

Diese Posten sollten nicht unterschätzt werden. Je nach Aufgabenstellung und Situation sind die rechtlichen Implikationen erheblich und die Verwendung von Drohnen muss intensiv mit den Verantwortlichen (Chefs, Rechtsabteilung etc.) abgesprochen werden (seit 07/2022 auch bei [Behörden](#)), damit ggf. nicht die Piloten + Team alleine haftbar sind. Dazu bedarf es aber eines 'Drohnenbeauftragten', der gut ausgebildet ist (rechtlich und technisch), sich auf dem Laufenden und das Equipment gut in Schuss hält - alles natürlich in seiner Arbeitszeit als Teil seiner festen Aufgaben. Er kümmert sich auch um die Ausbildung und regelmäßiges Training der Kollegen/Piloten - ebenfalls als Arbeitszeit einkalkuliert.

- Außerdem für Software (zur Datenprozessierung + ggf. zur Flugplanung),
- Hardware (PC, Workstation o. Ä.) zur Datenprozessierung (je mehr Leistung, desto besser - [Photogrammetrie-Programme](#)) und
- Speicherplatz?

Lassen sich die Investitionskosten ggf. durch die besseren Outputs rechtfertigen oder durch weitere Aufträge amortisieren?

Gibt es in dem angestrebten Betätigungsfeld (Naturschutz/anderes Biomonitoring, Vermessung, Bau) eine potenzielle Klientel mit den nötigen Aufträgen?

Verdienstmöglichkeiten, Amortisierungspotenzial (durch Weitergabe der Kosten an die Kunden) und expandierende Märkte für Drohnenleistungsleister gibt es momentan v.a. im Bauwesen, in der Vermessungsbranche, in der Landwirtschaft und langsam steigend im forstlichen Umfeld.

Eine Nachfrage für Drohnen-Dienstleistungen im Biomonitoring, das überwiegend staatliche und Naturschutz-Aufgaben umfasst, gibt es momentan eher selten. Da Naturschutz keine Gewinne abwirft, stehen überwiegend nur (sehr) begrenzte Budgets zur Verfügung.

Welche anderen Abteilungen oder Ressorts innerhalb von Behörden oder Organisationen haben vielleicht noch Bedarf an Fernerkundungsdaten? Kann man die Anschaffung und Nutzung auf mehrere Schultern verteilen?

Gut wäre zuerst die Erstellung einer ressortübergreifenden Bedarfsanalyse für Fernerkundungsdaten, um ggf. gemeinsam das entsprechend nötige Equipment zu beschaffen oder Befliegungen in Auftrag zu geben.

Durch Zusammenarbeit ist das Equipment meist besser ausgelastet, wodurch die Chancen auf Genehmigung der Anschaffung steigen könnten.

Flug-Systeme

Hat man sich letztendlich zum Kauf und Einsatz einer Drohne entschlossen, muss man sich klar werden, welche Art von Flugsystem (= Drohne bzw. fliegende Trägerplattform und den zur Datenaufnahme nötigen Sensoren) aus technischer Sicht für die angedachten Zwecke am sinnvollsten wäre. Mehr Erklärungen dazu findet man bei ([Eltner et al., 2022, S. 37 ff.](#)).

Fluggeräte

Unbemannte Fluggeräte (Drohnen, UAV, UAS) können in verschiedene Kategorien eingeteilt werden, nämlich

- in Drehflügler (Multikopter, Rotary Wing), die mind. 3 bis max. 8 oder 12 Rotoren zum Aufwärtstrieb haben und wie ein Helikopter agieren können.
- in Starrflügler (Fixed Wing), die wie kleine Flugzeuge einen oder mehrere Propeller als Vorwärtsantrieb besitzen und gewisse Gleiteigenschaften haben.
- in eine Mischung aus beidem nämlich senkrechtstartende Starrflügler (VTOL = Vertical Take-Off and Landing). Diese vereinen starre Tragflächen mit fixen und/oder klappbaren Rotoren für den Vorwärts- und Senkrechtflug und können damit auf begrenzten Flächen (Waldwege-Kreuzungen o.ä.) starten und landen.

Ausgeklammert werden hier die hauptsächlich militärisch genutzten Starrflügler-Drohnen mit extremen Reichweiten und nicht-elektrischem Antrieb. Tab. 10 zeigt die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale und Eigenschaften.

Tab. 10: Einteilung von Unbemannten Fluggeräten - nach (TMUŠIĆ ET AL., 2020)




Plattform	Vor- und Nachteile	Flugzeit/Flächenleistung
Multikopter (elektrisch) - klassische Drohne mit 3 bis 12 Rotoren (s. oben)		
einfach zu handeln, von der Stange	hohe Flexibilität, schnell einsetzbar	Flugzeit zw. 20 bis 40 Minuten Flächenleistung mehrere Hektar - abhängig v.a. von der Flughöhe 
	Stabilität	
	leichte Handhabung	
	gute Transportabilität (Rucksack)	
	Höhe und Fluggeschwindigkeit sehr variabel	
	Hover-Fähigkeit	
	geringere Flächenleistung	
	evtl. höhere Windempfindlichkeit	
Kosten: ca. 500 - 6.000 €		
mehrere Sensoren möglich, bis 25 kg	Zuladung bis 10 kg	Flugzeit abhängig u.a. von der Zuladung 10 bis 60 Minuten Flächenleistung mehrere Hektar - abhängig v.a. von der Flughöhe 
	vielseitig durch wechselbare Sensoren	
	schwerer und sperriger - Auto zum Transport nötig	
	Genehmigungen aufwendig	
	gute Planung nötig	
Kosten: ca. 10.000 - 40.000 €		
Starrflügler (elektrisch)		
je nach Modell auch mehrere Sensoren parallel möglich	in Anlehnung an Modellflugzeuge mit mind. 1 Propeller zum Vorwärtstrieb	Flugzeiten > 1 bis mehrere Stunden Flächenleistung einige km ² - abhängig v.a. von Flughöhe 
	gute Flächenleistung	
	Handstart möglich	
	+ - höhere Fluggeschwindigkeit	
	genügend Landeplatz nötig	
	Planung aufwendiger	
	erfahrener Pilot nötig	
Kosten: ca. 10.000 - 30.000 €		
Hybrid VTOL (Vertical Take-Off and Landing)	3 bis zu 5 Rotoren zum vertikalen + 1 bis 3 Propeller zum horizontalen Flug	Flugzeiten > 1 bis mehrere Stunden, aber weniger als reine Starrflügler (höheres Gewicht, höherer Luftwiderstand) Flächenleistung mehrere km ² - abhängig v.a. von Flughöhe
	Senkrechtstart und -landung	
	hohe Flächenleistung	
	Planung aufwendiger	
erfahrener Pilot nötig		

Abb. 16 Projektdrohne (Döring, 2020)

Abb. 17: Projektdrohne (Mitterbacher & LfU Bayern, 2021)

Abb. 18: Starrflügler (M. Paetzold)


	mechanisch komplexe Systeme	
	Kosten: ca. 20.000 - 50.000 €	

Abb. 19: VTOL ([Skyscrab](#), 2020)

Die Fluggeräte oder Trägerplattformen sind der eine Teil, die Sensoren zur Datenaufnahme sind der andere Teil der Flugsysteme.

In einer Metauntersuchung von ([JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019](#)) findet man beispielhafte Veröffentlichungen für viele Anwendungsfelder (in Abb. 20 rot umrandet) der Drohnenmodelle. In den [Teilberichten zu den Untersuchungsgebieten](#) werden ebenfalls jeweils relevante Veröffentlichungen zitiert.

SIZE									
Nano <30 mm	Micro 30–100 mm	Mini 100–300 mm	Small 300–500 mm	Medium 500 mm–2 m	Large >2 m				
Maximum Take-Off Weight (MTOW)									
<0.5 Kg	0.5–5 Kg		5–25 Kg		>25 Kg				
RANGE (Distance/Type of Operation)									
Close-range <0.5 miles		Mid-range 0.5–5 miles			Long-range 5 > miles				
Visual Line Of Sight (VLOS)		Extended Visual Line Of Sight (EVLOS)			Beyond Visual Line Of Sight (BVLOS)				
WING									
Rotary wing				Fixed wing					
Single Dual rotors	Multi-Rotor				Low Wing	Mid Wing	High Wing	Delta Wing	Hybrid (VTOL)
	Tricopter	Quadcopter	Hexacopter	Octocopter					
POWER									
Electric		Gas		Nitro		Solar			
ASSEMBLING									
Ready-To-Fly (RTF)			Bind-N-Fly (BNF)			Almost-Ready-to-Fly (ARF)			
APPLICATIONS									
Logistics	Civil Engineering	Disaster Relief	Heritage	Search and Rescue	Precision Agriculture	Natural Resources	Law Enforcement		
Wildlife Management	Weather Forecasting	Industrial Inspection	Leisure	Military	Disaster Relief	Aerial Photography and Film	Archeology		

Abb. 20: Klassifikation von Drohnen gemäß ihrer Charakteristiken und Einsatzmöglichkeiten ([JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019](#))

Sensoren

Die meisten Sensoren sind passive Kameras mit unterschiedlichen spektralen Erfassungsbereichen. In der gerade erwähnten Metaanalyse haben ([JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PAZMÁNY, 2019](#)) auch sehr ausführlich die gebräuchlichsten Sensoren mit ihren spezifischen Eigenschaften für den Einsatz auf Drohnen zusammengestellt (Abb. 21).

Instrument.		Type of Sensor	Spatial Resolution	Spectral Resolution	Weight	Costs
Imaging sensors	Visible RGB	Passive	Very high 1–5 cm/pixel	Low (3 bands)	Low <0.5 kg	Low \$100–1000
	Near Infrared (NIR)	Passive	Very high 1–5 cm/pixel	Low (3 bands)	Low <0.5 kg	Low \$100–1000
	Multispectral	Passive	High 5–10 cm/pixel	Medium (5–12 bands)	Medium 0.5–1 kg	Medium \$1000–10,000
	Hyperspectral	Passive	High 5–10 cm	High (> 50–100 bands)	Medium 0.5–1 kg	High \$10,000–50,000
	Thermal	Passive	Medium 10–50 cm/pixel	Low 1 band	Medium 0.5–1 kg	Medium \$1000–10,000
Ranging sensors	Laser scanners (LiDAR)	Active	Very high 1–5 cm/pixel	Low 1–2 bands	High 0.5–5 kg	High \$10,000–50,000
	Synthetic Aperture Radars (SAR)	Active	Medium 10–50 cm/pixel	Low 1 band	High >5 kg	Very high >\$50,000
Other sensors and devices						
Atmospheric sensors		Temperature, Pressure, Wind, Humidity				
Chemical Sensors		Gas, Geochemical				
Position systems		Ultrasound, Infrared, Radio Frequency, GPS				
Other devices		Recorder device/microphones				
Sampling Devices		Water, Aerobiological, Microbiological Sampling				
Other devices		Cargo, Spraying, Seed spreader				

Abb. 21: Beschreibung von Sensoren für den Drohnen-Einsatz ([JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PAZMÁNY, 2019](#))

Die beiden vorab genannten Tabellen wurden zusammengefasst, übersetzt und in Teilen ergänzt (Tab. 11).

Tab. 11: Sensoren und Einsatzgebiete (Döring, 2022)

Spektrum	Typ	Kosten	mögliche Verwendung
RGB (Kamera) sichtbares Spektrum, 3 spektrale Bänder (Rot, Grün, Blau)	passiv	50 - 50.000 € (z.B. Phase 1, 100 MP)	Luftbilder, (Habitat-)Kartierung, Orthofotos, 3D-Modellierung, Inspektion, Wildbeobachtung (Identifikation), Erdrutschkartierung, Einzelbaum, Videos ...
Thermal (Kamera) Mittel- bis Langwelliges Thermisches Infrarot (MWIR, LWIR)	passiv	3.000 - 6.000 €	Tiermonitoring/-suche, Nestsuche, Waldbrand-detektion, Inspektion, Bodentemperatur, Vulkanologie, Überwachung/Schutz von Objekten oder Gebieten
Multispektral (Kamera) nahes Infrarot (NIR) 3 - 12 Bänder	passiv	3.000 - 6.000 €	Pflanzenvitalität, Vegetations-Indizes, Wasserqualität, geologische Untersuchungen
Hyperspektral (Kamera) viele Spektren - bis 100 Bänder	passiv	mehrere 10.000 €	Vegetationsmonitoring, biophysikalische Untersuchungen, ökologische Prozesse, Waldgesundheit, Chlorophyll-Gehalt, Insekten-Befall
Laserscanning (LiDAR-Scanner) 1 - 2 Spektren	aktiv	12.000 - 250.000 €	3D-Modelle, topografische Höhenmodelle, Waldinventur (Struktur, Biomasse, Baumvolumen, Kronenhöhe ...)
s. auch - Drone technologies for conservation - (Duffy et al., 2020, S. 24 ff.)			

Projektdrohne

Die Auswahl der *DJI Mavic 2 Pro* Drohne für das Forschungsprojekt erfolgte aufgrund der Erfahrungen des Projektkoordinators mit seiner eigenen *Mavic*. Sie bietet eine gute Kamera, ist rel. kostengünstig, klein und faltbar. Letzteres war eines der Hauptkriterien, da die Projektdrohne von FeldökologInnen gut ins Gelände mitgenommen werden können soll. Die *Mavic 2 Pro* kann inkl. dreier Akkus in einem Umhängetäschchen mitgeführt werden, das etwa die Dimension eines mittelgroßen Fernglases hat.

Die Drohne wurde gemietet, da kein neues Gerät angeschafft werden sollte und zusätzlich eine Garantie und Versicherung im Mietpreis enthalten waren. Da es nur wenige Anbieter mit längerfristigen und günstigen Mietangeboten gibt, soll hier die Firma [Grover](#), bei der die Projektdrohne gemietet wurde, beispielhaft genannt werden.

In Abb. 22 sind die Spezifikationen der Projektdrohne und einiger weiterer Drohnenmodelle aufgelistet, die all gut transportabel und einfach zu bedienen sind.

Alle Modelle können einfach in einem mehr oder weniger großen Rucksack (s. [Zusatz-Hardware](#)) samt benötigtem Zubehör auch ins Gelände mitgenommen werden.

Bis auf die *Phantom 4* sind alle Modelle faltbar und so noch einfacher in einer kleineren Tasche mitzunehmen.

UAS model	Phantom 4	Mavic 2 Pro	Mavic Air 2	Mavic Mini 2
Image Sensor Type	1" CMOS	1" CMOS	$\frac{1}{2}$ " CMOS	$\frac{1}{2.3}$ " CMOS
Pixel size	3,1 μm	2.4 μm	0.8 μm	1.5 μm
FOV	84°	77°	84°	83°
Focal Length	24 mm	28 mm	24 mm	24 mm
Optical Aperture	f/2.8–f/11	f/2.8–f/11	f/2.8	f/2.8
Shooting Distance	1 m to ∞	1 m to ∞	1 m to ∞	1 m to ∞
ISO range	100–12,800	100–12,800	100–3600	100–12,800
Satellite Systems	GPS + GLONASS	GPS + GLONASS	GPS + GLONASS	GPS/GLO- NASS/ GALILEO

Abb. 22: Spezifikationen verschiedener Low-Cost Drohnen-Modelle ([MUGNAI ET AL., 2022](#))

Vorteile von faltbaren Modellen

klein + einfach transportierbar (klappbar, passen in kleine Tragetasche wie ein Fernglas)
einfaches Handling
Sensoren - sind für die meisten hier angedachten Zwecke ausreichend (die Sensorgröße und damit das jeweilige Modell muss gemäß der Anwendung gewählt werden)
rechtliche Vorteile durch geringes Gewicht und Größe (nähere Informationen mussten beim A1/A3 Führerschein gelernt werden und werden hier nicht extra behandelt - s. hier). Mittlerweile empfehlen sich die Modelle bis 250 gr., da sie in die niedrigste Gefährdungsstufe der neuen LuftVO fallen und damit rechtlich am wenigsten kompliziert einzusetzen sind. Die Kameras dieser Minidrohnen reichen für viele Aufgaben weitaus aus - es müssen ggf. nur die Flugparameter (v.a. die Flughöhe) angepasst werden.

Direkter Vergleich von 3 faltbaren Drohnenmodellen

Alle diese Modelle wären für verschiedene Anwendungen im Naturschutz geeignet. Die gesamten Spezifikationen sind auch in den Modell-Namen verlinkt.

Tab. 12: Direkter Vergleich von 3 faltbaren Drohnenmodellen (Döring, 2022)

	DJI Mavic 2 Pro	DJI Air 2S	DJI Mini 3 Pro
Gewicht	907 gr.	595 gr.	249 gr.
Größe (LxBxH)	<ul style="list-style-type: none"> Gefaltet: 214×91×84 mm Entfaltet: 322×242×84 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Gefaltet: 180×97×77 mm Entfaltet: 183×253×77 mm 	<ul style="list-style-type: none"> gefaltet: 145×90×62 mm Entfaltet: 171×245×62 mm
Kamera	<ul style="list-style-type: none"> 1" CMOS Auflösung: 20 MP 	<ul style="list-style-type: none"> 1" CMOS Auflösung: 20 MP 	<ul style="list-style-type: none"> 1/1,3" CMOS Effektive Pixel: 48 MP
Fotoformate	<ul style="list-style-type: none"> JPEG DNG (RAW) 	<ul style="list-style-type: none"> JPEG DNG (RAW) 	<ul style="list-style-type: none"> JPEG DNG (RAW)

Sichtsenso- ren	<ul style="list-style-type: none"> • seitlich, vorn, hinten, (unten - nur zur Lan- dung) 	<ul style="list-style-type: none"> • vorn, hinten, unten 	<ul style="list-style-type: none"> • vorn, hinten, unten
Recht	<p>EU Drohnenverordnung für DJI Mavic 2 PRO / Zoom - https://www.drohnen.de/33527/dji-mavic-2-eu-gesetz/</p>		<p>unter 250 gr → rechtlich am 'unkompliziertesten' zu fliegen (drohnen.de, 2022b) - für Gebietskontrollen und Besucherlenkung</p>
Besonderheiten	<ul style="list-style-type: none"> • nicht mehr im Handel erhältlich • das Nachfolgemodell Mavic 3 ist auf dem Markt und wurde als erstes Drohnenmodell überhaupt LuftVO-konform zertifiziert.. 	<ul style="list-style-type: none"> • evtl. als Ersatz der Mavic 2 Pro • Hinderniserkennung in vier Richtungen zur Verfügung – nach oben, nach unten, nach vorn und nach hinten → evtl. besser geeignet für Felsbefliegungen 	<ul style="list-style-type: none"> • gute, aber kleinere Kamera • mehr Abstandssensoren etc. (drohnen.de, 2022d) • evtl. Nachfolger für Mavic 2 Pro, aber geringere Auflösung • wurde von (DANNEN-BAUER, 2022) getestet und aufgrund ihrer guten Performance für Vermessungs- und damit auch Monitoringaufgaben als gut nutzbar eingestuft
Alternativen anderer Marken	<p>Zur Ausgewogenheit sollen hier noch ein paar andere Marken genannt werden, die durchaus Alternativen zu den hier genannten DJI-Modellen sein können: Autel (EVO Modelle), Parrot (Anafi) oder hier https://drohnen-lexikon.de/marken/dji-alternative/</p>		

Genauigkeitsvergleich

In einem ausführlichen Vergleich beschreiben ([MUGNAI ET AL., 2022](https://www.mugnai.com)) die Genauigkeiten bezüglich verschiedener Parameter von vier DJI Low-Cost-Modelle - *DJI Phantom 4 Advanced*, *Mavic Air 2*, *Mavic Mini 2* und die in diesem Projekt verwendeten *DJI Mavic 2 Pro* (Abb. 23). Dabei vergleichen sie u.a. die Lage- und Höhenfehler der Drohnen mit Messungen von Bodenkontrollpunkten (*Ground Control Points* oder *GCPs*) und *Checkpoints* als Referenz.

Scala	Graphic error	Phantom 4 Adv	Mavic 2 Pro	Mavic Air 2	Mavic Mini 2
1:100	2 cm	30, 45 m	-	-	-
1:200	4 cm	30, 45, 60, 80 m	-	-	60 m
1:500	10 cm	30, 45, 60, 80 m	30, 45, 60, 80 m	30 m	30, 60 m
1:1000	20 cm	30, 45, 60, 80 m	30, 45, 60, 80 m	30, 60 m	30, 60 m

Abb. 23: Genauigkeitsvergleich verschiedener DJI Drohnen ([MUGNAI ET AL., 2022](https://www.mugnai.com))

Dabei zeigte sich, dass alle vier Drohnen gute absolute Daten ('wahre' Lage im Raum) bis mindestens im Maßstab 1:500, also im Dezimeterbereich, liefern können und in Verbindung



mit Vermessungstechniken auch bis in den Zentimeterbereich genau sind. Diese Lagegenauigkeit ist bereits für die meisten Monitoring-Anwendungen mehr als ausreichend.

Die relativen Werte der Daten, also die Genauigkeit zueinander, bewegen sich aber alle mindestens im niedrigen Zentimeterbereich und ermöglichen so z.B. sehr feine Höhenmodelle.

Modelle mit anderen Sensoren

Unter den vielen verfügbaren Modellen sollen hier ein paar vorgestellt werden, die für das Monitoring im Naturschutz ebenfalls zu empfehlen sind, da sie einfach zu handhaben und relativ leicht und transportabel sind.

Außerdem sind es Modelle mit unterschiedlichen nützlichen Sensoren, die immer noch erschwinglich sein dürften (< 10.000 €).

DJI Phantom 4 RTK

Die *DJI Phantom 4 RTK* ist als Vermessungsdrohne anzusehen und ermöglicht es, mit Vermessungsgenauigkeit verortete Fotos aufzunehmen. Dabei werden die Koordinaten im RTK-Modus (*Real Time Kinematic*) schon während des Fluges in Echtzeit korrigiert oder können im Nachgang im sogenannten *Post-Processing* (*PPK* = Post Processing Kinematic) korrigiert werden. Über diese Sonderthemen soll hier aber nicht näher eingegangen werden, da dieser Bericht mit seinen Empfehlungen v.a. für Anfänger gedacht ist. Wer mehr dazu wissen möchte, kann sich bei ([ELTNER ET AL., 2022, S. 87 FF.](#)) sehr ausführlich darüber informieren.

Bei einem Preis von ca. 6.000 € ohne Zubehör ist sie als Vermessungssystem ([PRZYBILLA & BAUMKER, 2020](#)) durchaus preisgünstig. Besonders, da theoretisch keine Passpunkte benötigt werden und somit viel Zeit zum Einmessen gespart werden kann.

Ein paar geodätisch eingemessene Bodenkontrollpunkte werden aber bei Projekten mit hohen geforderten Genauigkeitsanforderungen als *Checkpoints* für die Qualitätskontrolle immer empfohlen bzw. sogar oft verlangt. Die *Phantom RTK* wurde vom Projektkoordinator in einem vorangegangenen Projekt intensiv im Wald genutzt und hat ihre Verlässlichkeit bestätigt. In Tab. 13 wird die *P4 RTK* im Vergleich mit ihrer Nachfolgerin *DJI Mavic 3E* betrachtet.

Tab. 13: *DJI Phantom 4 RTK* im Vergleich mit Nachfolgerin *Mavic 3E* (nach [dji, 2022](#))

Parameter	Phantom RTK	Mavic 3E
Kartiergenauigkeit**	erfüllt den ASPRS Genauigkeitsstandards Klasse III für digitale Orthofotos ** Die tatsächliche Genauigkeit hängt von den Lichtbedingungen und Mustern, der Höhe der Drohne, der eingesetzten Kartierungssoftware und weiteren Faktoren während der Aufnahme ab.	1 cm + 1 ppm (horizontal), 1,5 cm + 1 ppm (vertikal) Erste Erfahrungsberichte werden im Laufe des Jahres im Internet zu finden sein.
Bodenauflösung (GSD)	Flughöhe 100 m - GSD = 2.3 cm	Flughöhe 100 m - GSD = 2.7 cm
Sensor	1" CMOS; 20 MP Pixelgröße - 2.4 µm	4/3" CMOS; 20 MP Pixelgröße - 3,3 µm Tele: 1/2" CMOS, 12 MP

Hochpräzisions RTK GNSS	Genutzte Frequenzen GPS: L1/L2; GLONASS: L1/L2; BeiDou: B1/B2; Galileo*: E1/E5a	GPS + Galileo + GLONASS + BeiDou Dualband L1 + L2
alle Spezifikationen	https://www.dji.com/de/phantom-4-rtk?site=brandsite&from=nav	DJI Mavic 3 Enterprise Serie - Technische Daten - DJI
Alternative	Yuneec: H520 RTK	

DJI Phantom Multispectral RTK

Diese Drohne stellt, wie die vorherige *Phantom RTK*, ebenfalls eine kostengünstige Alternative für wesentlich teurere Trägersysteme dar, bei denen der Multispektralsensor oder andere Sensoren gesondert dazu gekauft werden müssen (s. Kapitel [Sensoren](#)).

Sie ist durch ihre einfachen Voreinstellungen auch für unerfahrene Nutzer relativ einfach zu verwenden und liefert durch das integrierte RTK-System auch hochgenau verortete Bilder mit sechs Einzelsensoren mit jeweils unterschiedlichem Lichtspektrum ([DI GENNARO ET AL., 2022](#)). Mit diesen sechs Einzelsensoren (Rot, Grün, Blau, Red Edge, Nahes Infrarot (NIR), Normalbild) erweiterten Frequenz-Spektrum (*Multispektral*) ermöglicht sie die Bearbeitung weiterführender Fragestellungen v.a. für Vegetationsuntersuchungen (Chlorophyll-Gehalt, Gesundheit etc.), wie in den Teilberichten immer wieder beschrieben wird.

In Tab. 14 wird die *P4 Multispectral* ebenfalls im Vergleich mit ihrer Nachfolgerin der *DJI Mavic 3M* betrachtet.

Tab. 14: DJI Phantom 4 Multispektral - im Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3M (nach [dji, 2022](#))

Parameter	Phantom Multispectral	Mavic 3M
Sensoren	Sensoren: 6 × 1/2,9-Zoll-CMOS Pro Sensor: 2.08 MP (2.12 MP gesamt)	RGB: 4/3 CMOS, 20 MP Multispektral: 1/2,8" CMOS, 5 MP
Filter	Blau (B): 450 nm ± 16 nm grün (G): 560 nm ± 16 nm rot (R): 650 nm ± 16 nm Red Edge (RE): 730 nm ± 16 nm NIR: 840 nm ± 26 nm	Grün (G): 560 ± 16 nm; Rot (R): 650 ± 16 nm; Red Edge (RE): 730 ± 16 nm; NIR: 860 ± 26 nm;
Hochpräzisions RTK-GNSS	GPS: L1/L2; GLONASS: L1/L2; BeiDou: B1/B2; Galileo [2]: E1/E5	GPS + Galileo + GLONASS + BeiDou alle Dualband L1 + L2
Bodenauflösung (GSD)	(H/18,9) cm/Pixel, H steht für die Flughöhe in Bezug auf den kartierten Bereich (Einheit: m)	
alle Spezifikationen	https://www.dji.com/de/p4-multispectral/specs	https://ag.dji.com/de/mavic-3m/specs
Alternativen	andere Lösungen bestehen aus einem Trägermodell und einer austauschbaren bzw. zusätzlichen Multispektralkamera.	

DJI Mavic 2 Enterprise Advanced - Thermaldrohne

Die DJI Mavic 2 Enterprise Advanced (M2EA) ist momentan die State-of-the-Art Drohne für Wildtierbefliegungen und Thermalinspektionen. Sie hat erst unlängst die Lücke zwischen den doch auch recht kostenintensiven Systemen mit geringer Auflösung der Thermalkamera (2.500 bis 5.000 €) und den High-End-Systemen, die doch das Doppelte und Dreifache gekostet haben (10.000 bis 15.000 und mehr €), geschlossen.

Dazwischen gab es noch Anbaulösungen, die aber schon ähnliche Kosten hatten, wie das nun recht ausgereifte und einfach zu bedienende System der M2EA. Mit ca. 6.000 € ohne Zubehör hat sie sich als DIE Drohne für die Wildtierrettung etabliert und ist auch nicht viel schwerer zu bedienen wie die hier verwendete DJI Mavic 2 Pro. Sie hat in etwa die gleichen Ausmaße, ist auch klappbar und genauso leicht zu transportieren.

In Tab. 15 wird die M2EA ihrer Nachfolgerin der DJI Mavic 3T gegenübergestellt.

Tab. 15: DJI Mavic 2 Enterprise Advanced - im Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3T (dji, 2022)

Parameter	Mavic 2 EA	Mavic 3T
Maße (L × B × H)	gefaltet: 214 × 91 × 84 mm entfaltet: 322 × 242 × 84 mm evtl. mehr Höhe durch andere Aufbauten) - auch in unwegsamem Gelände einfach einsetzbar	gefaltet: 221 × 96,3 × 90,3 mm entfaltet: 347,5 × 283 × 107,7 mm evtl. mehr Höhe durch andere Aufbauten) - auch in unwegsamem Gelände einfach einsetzbar
Thermal-Sensor	Ungekühltes VOx Mikrobolometer	Ungekühltes VOx Mikrobolometer
Brennweite	ca. 9 mm - entspricht im 35 mm Format: ca. 38 mm	im 35 mm äquivalentem Format: 40 mm
Sensorauflösung	640 × 512 mit 30Hz	640 × 512 mit 30Hz
RGB-Kamera	1/2"-CMOS Sensor mit 48 MP Zoom: 32-fach	Tele: 1/2" CMOS, 12 MP Zoom: 8 x (56 x Hybridzoom) Weitwinkel, Tele- und Thermalkamera bessere Zoom-Leistung - digital und thermal
Vorteile <u>Vergleich</u>	Akkus aller Mavic 2 Modelle kompatibel	längere Flugzeit mehr Sicherheit: Flugobjekt-Vermeidungssystem + Abstandssensoren in alle Richtungen Kompatibel mit dem FlightHub 2 - Echtzeit-Online-Übertragung der Daten (z.B. auf Smartphone der Helfer bei der Wildtierrettung) - schnelles Eingreifen möglich
alle Spezifikationen	https://www.dji.com/de/mavic-2-enterprise-advanced/specs	https://www.dji.com/de/mavic-3-enterprise/specs
Alternativen	DJI: Matrice 30 , Autel: EVO II Dual 640T , EVO Max 4T	

Märkte

Die Marktentwicklung für Drohnen ist in Deutschland im Wandel begriffen (Abb. 24). Zwar hat sich laut der "Analyse des deutschen Drohnenmarktes" auf Basis einer Marktstudie von *Drone Industry Insights* (droneii) und auf Initiative des Verbands der unbemannten Luftfahrt (VUL) die Zahl der kommerziell betriebenen Drohnen seit 2019 mehr als verdoppelt (+138 % - von 19.000 auf 45.200), jedoch ist die Zahl der privat genutzten Drohnen rückläufig (-14,5 % - 455.000 zurück auf 385.500). "Der Markt für private Drohnen scheint gesättigt zu sein; gleichzeitig erfährt die kommerzielle Nutzung von Drohnen immer stärkeren Zuspruch." (VUL, 2021)



Abb. 24: Drohnnutzung in Deutschland (VUL, 2021)

Thomas Heuzeroth von der Welt erklärt sich das in einem Kommentar zu dieser Marktanalyse so, dass Nachrichten über das Fliegen in Verbotszonen und eine zunehmende Regulierung die Nachfrage von Hobbypiloten an den immer ausgefeilteren Fluggeräten dämpfen (HEUZEROTH, 2021). Das ist nicht weiter verwunderlich, denn wenn potenzielle Käufer von guten Fachverkäufern oder durch eigene Recherchen im Internet erfahren, was sie alles müß(t)en (Führerschein machen, Drohne registrieren, alle Gesetze einhalten) oder nicht (mehr) dürfen, vergeht wohl manch einem der Spaß.

Zur kommerziellen Nutzung werden überwiegend sogenannte Prosumer-Drohnen bis 10.000 € eingesetzt. So gut wie alle Prosumer-Drohnen (professionell einsetzbare Drohnen mit Kameras und/oder anderen Sensoren) für die kommerzielle und private Nutzung werden importiert. Auch hier wie auf anderen Märkten dominieren nur wenige (meist chinesische) Hersteller den Markt (VUL, 2021).

Lediglich unter 5 % des Marktes machen größere Profidrohnen über 10.000 € aus. Letztere kommen oft sogar aus Deutschland und sind im Ausland sehr gefragt. Mit 80 % haben sie den größten Anteil an deutschen Drohnenexporten. Im Gegenzug wurden aber rund 60 % der Profidrohnen, die in Deutschland kommerziell eingesetzt werden, aus dem Ausland importiert (Abb. 25).

Die industrielle Nutzung von Drohnen lässt sich in relativ wenige Sparten aufteilen (Abb. 26). Dabei spielt die Vermessung die größte Rolle, da laut VUL der Markt für Vermessungen von extrem niedrigen

Import- und Exportquoten Deutschlands

Wie viele Drohnen werden im- und exportiert? (in Prozent)

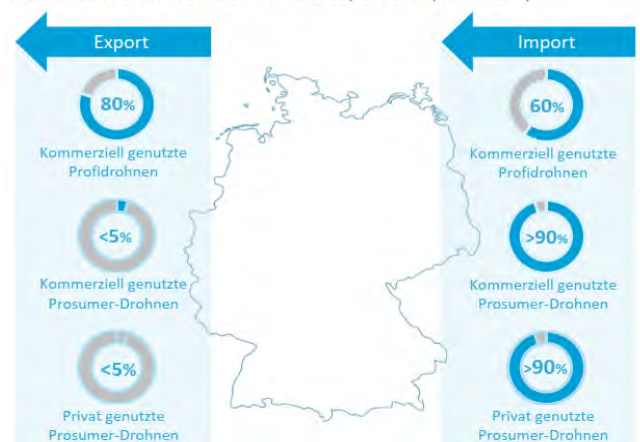


Abb. 25: Import und Export von Drohnenhardware (VUL, 2021)

Umfrage zur industriellen Nutzung von Drohnen

Wofür nutzen Anwender Drohnen? (Mehrfachnennung möglich)

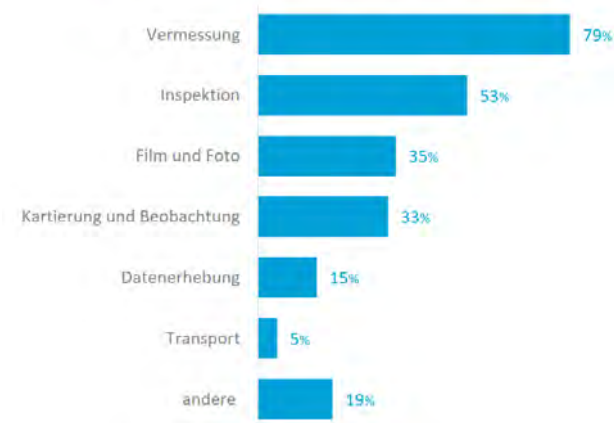


Abb. 26: Drohnenanwendungen in Deutschland ([VUL, 2021](#))

Margen geprägt sei und Drohnen hier helfen, Zeit zu sparen und die Produktivität und Qualität zu steigern ([VUL, 2021](#)).

Personalintensive und zum Teil auch gefährliche Inspektions- und Kartieraufgaben von Gebäuden und Infrastrukturen, wie Windkraftanlagen und Hochspannungsleitungen, sind durch den Einsatz von Drohnen einfacher und effektiver geworden, weswegen sie sich auf Platz 2 der etablierten Anwendungen finden lassen.

Auf Platz 3 befinden sich Einsätze für Foto- und Filmaufnahmen, wofür viele Drohnen auch ursprünglich konzipiert worden sind und schon lange Anwendung finden. Sie sind fast aus keiner Fernsehdokumentation

oder Filmaufnahme mehr wegzudenken, da deren Einsatz viel einfacher, spontaner und in niedrigerer Höhe möglich ist. Vor allem gestaltet sich der Drohneneinsatz dabei viel günstiger als der von Hubschraubern, die früher für viele Luftaufnahmen herangezogen wurden. "Der Einsatz von Drohnen bildet das Bindeglied zwischen einem Kran und Hubschrauber und zeichnet sich durch seine Flexibilität und Vielseitigkeit aus." ([LUFTPROFILE, 2022](#))

Erst auf Platz 4 kommt die Nutzung von Drohnen für Kartierung und Beobachtung jedoch über alle Industriezweige hinweg. Besonders im Baugewerbe, der Landwirtschaft, beim Rohstoffabbau und der Forschung arbeitet man mit Kartierflügen zur Orthofotoerstellung oder mit Beobachtungsflügen zur Bauüberwachung oder Inspektion (s. Abb. 27).

Nach bisherigen eigenen Erfahrungen aus unserem deutschlandweiten Netzwerk hat die Drohnennutzung aber z.B. noch kaum Einzug in die täglichen Monitoringaufgaben der Naturschutzbehörden, -planungsbüros oder dem -ehrenamt gehalten. Selten gibt es, wie beim Land Salzburg, einen professionellen Drohnenpiloten, der für die verschiedenen Abteilungen der Behörden (auch für den Naturschutz) tätig und dabei gut ausgebucht ist (mündliche Mitteilung bei ANL-Tagung).

Es gibt natürlich auch Überschneidungen durch Mehrfachnutzung, bei der Drohnen Dienstleister ihre Drohnen für verschiedene Aufgaben oder Nutzungen einsetzen.

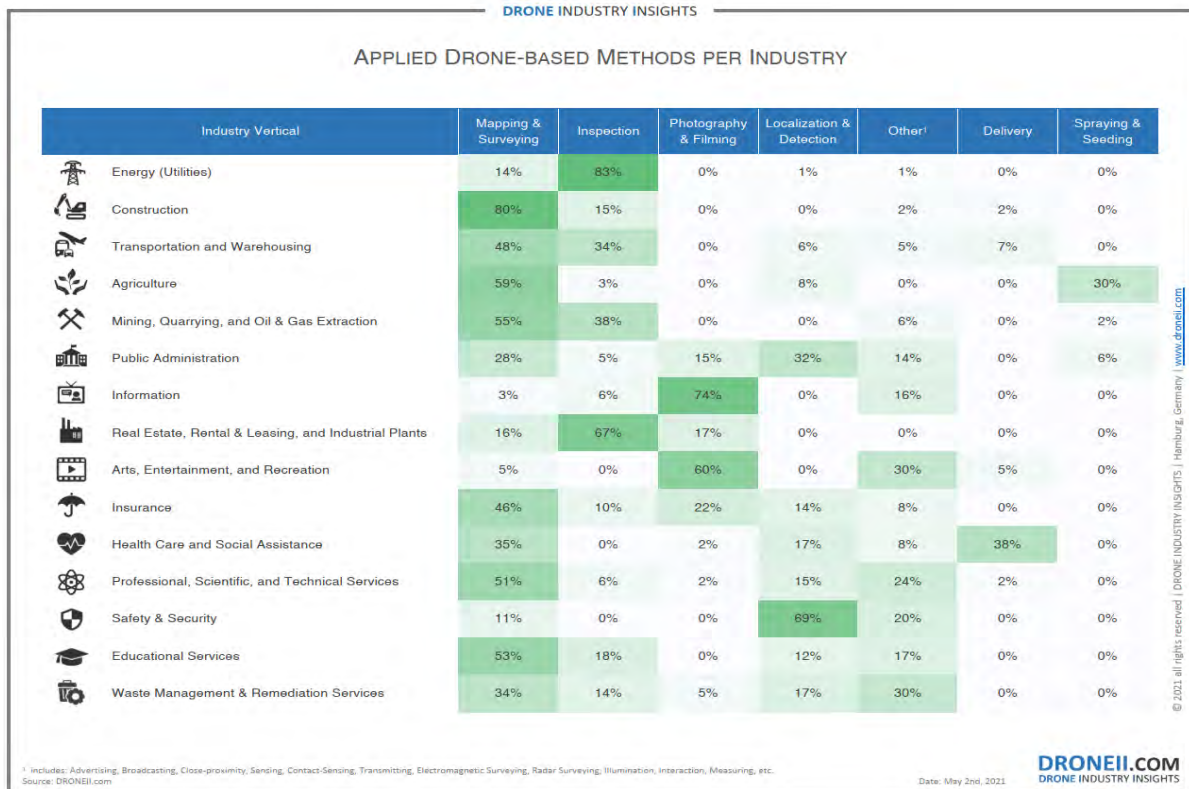


Abb. 27: Drohnen-basierte Methoden je Industriezweig (DRONEII, 2022)

Warum so viel DJI-Modelle?

Wenn hier die Informationen zu Modellen der Firma DJI (Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd.) überwiegen, ist das nicht als Werbung gedacht, doch kommt man um diese Firma nicht herum.

Im Laufe der letzten Jahre hat sich der Markt von Anbietern für semi-professionelle Drohnen (Prosumer-Drohnen) mit brauchbaren Kameras auf den chinesischen Hersteller DJI hin zugepunkt, der ein reichhaltiges Angebot an verschiedenen Modellen bereithält (KOPTER-PROFI, 2022B) und im Preis-Leistungs-Verhältnis weitestgehend unschlagbar ist (BENOWITZ, 2021).

Leider beinhaltet dies auch eine relativ einseitige Import-Abhängigkeit. Mit 76 % Marktanteilen an den kommerziellen Drohnenverkäufen und einem Anteil am Privatkunden-Sektor von 94 % (SIMMIE, 2021) ist DJI Weltmarktführer, gefolgt von Intel auf Platz 2 mit 4.1 % (STATISTA, 2022) und drei anderen mit deutlich unter 4 %. Viele weitere kleinere Anbieter halten zusammen die restlichen 11.2 % (Tab. 16).

Tab. 16: DJI - Drohnenmarkt - Schulungsfolie (Döring, 2022)

Hersteller	Marktanteil 2021
DJI	76 %
Intel	4.1 %
Yuneec	3.6 %
3D Robotics	2.6 %
Parrot	2.5 %
viele kleinere Anbieter weltweit	11.2 %

Bei vielen Modellen aus ihrer Produktpalette hat DJI überhaupt keine Mitbewerber - v.a. da DJI selbst viele der Modelle auf dem Drohnenmarkt überhaupt erst entwickelt hat ([BENOWITZ, 2021](#)).

- <https://www.kopter-profi.de/ratgeber/beliebte-drohnen-modelle/621-vergleich-von-dji-drohnen>
- [10 Best Mapping Drones In 2022: Most Affordable | Best Camera \(propelrc.com\)](#)

Diese Marktdominanz eines Herstellers beinhaltet auch eine große Abhängigkeit - mit allen möglichen Implikationen wie Embargos o.ä. und der Datensicherheit ([GOLEM, 2023](#)).

Nützliche Zusatz-Hardware

Das Fluggerät mit seinem unmittelbaren Zubehör alleine reicht meist nicht aus, um effektiv und bequem fliegen gehen zu können.

Folgende Ausrüstungsgegenstände hatte der Projektkoordinator im Laufe der letzten Jahre privat und in zwei Projekten in Gebrauch und kann sie weiterempfehlen:

- Transporttasche oder Fly More-Kits - das im Projekt verwendete [Mavic 2 Fly More-Kit](#) (DJI, 2022b) für die *DJI Mavic 2 Pro* leistete gut Dienste.
- Die Täschchen bzw. Kits gibt es für fast alle DJI Consumer Drohnen. Sie sind nicht viel größer als die Drohnen selbst und erlauben es, die Drohnen zusammen mit 2 weiteren Akkus und der Fernsteuerung einfach um die Schulter zu hängen.

Rucksack - die meisten vorgestellten Prosumer-Drohnen können zusammen mit dem nötigen Equipment in einem Rucksack gut auch in unwegsames Gelände mitgenommen werden. Die beiden hier vorgestellten Modelle haben sich im Dauergebrauch bewährt.

- [Aviator Drohnen Rucksack D1](#) (MANFROTTO, 2022) und der [DroneGuard Pro 450](#) (LOWEPRO, 2022)

- Bodenplatten - zur oben kurz beschriebenen Einmessung von Bodenkontrollpunkten. Aus dieser Auswahl - [Bodenplatten für Vermessung](#) - ist das Modell *RSL512* zu empfehlen, da sie beidseitig bedruckt sind und je nach Untergrund oder Lichtverhältnissen die hellere oder dunklere Seite verwendet werden kann. Sie passen gerade noch in die Rucksäcke und können ggf. auch zum Starten und Landen auf unebenen Oberflächen verwendet werden.

- Ein hochgenaues Mehrfrequenz GNSS-Gerät ist zum Einmessen der Bodenplatten nötig, damit diese für die Georeferenzierung der Fotos bei Verwendung 'normaler' Drohnen ohne RTK/PPK-System herangezogen werden können.
- Eines der günstigsten und selbst gut getesteten GNSS-Systeme auf dem Markt ist das [RTK Handheld Surveyor Kit](#) oder [RTK Calibrated Surveyor Kit](#) von (ARDUSIMPLE, 2022).
- In Abb. 10 sieht man die eigene 'Bastelversion' des ursprünglichen Grundsystems - 'angeklettet' an ein Smartphone.



Abb. 28: GNSS-System (Döring, 2021)

Zur Aufnahme mit RTK-Anbindung empfehlen sich z.B. das kostenfreie SW Maps oder andere hier - <https://www.ardusimple.com/compatible-software> - empfohlene Apps.

- Natürlich sollten auch an ausreichend Batterien/Akkus + Autoladegerät + sichere Transporttasche(n) +
 - eine oder mehrere Powerbanks zum Laden/Betreiben der Fernsteuerung an einem langen Flugtag +
 - evtl. eine Sonnenblende für das mit der 'normalen' Fernsteuerung verwendete Smartphone oder Tablet) gedacht werden.
- DJI-Fernsteuerungen mit eigenem Display sind normalerweise hell genug, um auch bei hellem Sonnenlicht gut ablesbar zu sein.

3.1.6 Software

Apps

Bereits vorher und auch während des DroBio-Projekts wurden unterschiedliche Apps zur Flugplanung und für Wetterberichte genutzt und auf verschiedene Attribute bezüglich ihrer Eignung für ein möglichst breites und nicht unbedingt fachspezifisches Anwenderpublikum hin getestet. Dabei wurden v.a. die Eigenschaften Kosten, Einfachheit der Nutzung und Brauchbarkeit untersucht und entsprechende Empfehlungen zusammengestellt.

Apps zur Flugplanung

Im Anschluss wird eine kurze Übersicht über (semi-)professionell anwendbare Apps zur Flugplanung gegeben, die alle mit der im Projekt verwendeten Mavic 2 Pro und etlichen anderen DJI-Koptern kompatibel sind. Bezüglich der Kompatibilität muss immer in den Spezifikationen der jeweiligen App nach den unterstützten Drohnen-Modellen geschaut werden.

Viele der Apps wurden selbst getestet, wobei letztendlich überwiegend [Map Pilot](#) oder [Pix4Dcapture](#) verwendet wurden. Sie stellen unter den getesteten Apps die günstigsten und am besten geeigneten dar und werden vom DroBio-Projekt Koordinator auch weiterhin privat genutzt. Wegen der damals ausschließlichen Verfügbarkeit von *Map Pilot* für iOS und der ebenfalls besseren Funktionalität der *Pix4Dcapture* App in dem Apple-Betriebssystem, wurde im Projekt ein iPhone ebenfalls gemietet. Beide genannten Apps werden im Folgenden etwas näher beschrieben.

Die anderen aufgelisteten Apps (Tab. 14) sind mehrheitlich relativ teuer oder hatten nicht alle erwünschten Eigenschaften. Sie wurden daher nicht weiter in Erwägungen gezogen..

Pix4Dcapture

Die wichtigsten Eigenschaften von [Pix4Dcapture](#) (PIX4D, 2022) sind

- NUR in iOS sind alle wichtigen Parameter einzeln einzustellen - wie beide *Overlaps*, Höhe, *Gimbal*-Winkel für Schrägaufnahmen, Kamera-Einstellungen, Geschwindigkeit etc.
- in Android einfach zu bedienen
- es ist kostenlos

Map Pilot

Die wichtigsten Eigenschaften von [Map Pilot](#) für professionelles Mapping sind

- die Fähigkeit geländeangepasst fliegen zu können, was vom Hersteller [Terrain Awareness](#) genannt wird. Das ermöglicht direkt bei der Flugplanung Höhendaten der [Nasa](#) von der *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* in einer Auflösung von etwa 30 m (1arc-second) herunterzuladen. Diese ist für höhenangepasste Flüge für Monitoring-Zwecke durchaus ausreichend. (s. Näheres im *Teilbericht 'Steillagenmonitoring Südschwarzwald'*).
- Option für Korridorbefliegungen, mit der linienhafte Objekte effizienter befliegen werden können (s. Näheres im *Teilbericht 'Fließgewässer-Monitoring'*).
- die Hintergrundkarte kann im Büro bzw. an Orten mit einer Internetverbindung zwischengespeichert werden, um dann ggf. auch an Orten ohne aktive Internetverbindung die Flugplanung visuell durchführen zu können.
- Flugpläne können abgespeichert und synchronisiert werden.

UAV Editor

Besonders für Drohnenpiloten in der Wildtierrettung ist die PC-App <https://www.uaveditor.com/de/der-uav-editor> zu empfehlen, die es sowohl erlaubt,

- Fluggebiete zu importieren und daraus eine höhenangepasste Flugplanung zu erstellen,
- als auch den Export der fertigen Flugplanung für verschiedene Zwecke und in verschiedenen Formaten.
- Vor allem der Export eines fertigen KMLs zur direkten Verwendung mit DJI-Drohnen ist ein großer Vorteil.
- Die einfachste Variante für die Übertragung der KML-Datei auf den DJI Smart Controller funktioniert über den Browser und da den geöffneten *UAV Editor*. Von dort kann die KML-Datei direkt und ohne Umwege auf den Smart Controller geladen werden.

DJI selbst bietet nur für die teureren Enterprise-Modelle Rasterflug-Funktionen in ihren eigenen Apps an. Ansonsten sind in den meisten DJI-eigenen Apps nur Foto- und Videoflüge über einzelne Wegpunkte planbar.

Glücklicherweise sind aber die meisten DJI-Modelle über ein von DJI veröffentlichtes *Software-Development-Kit (SDK)* von externen App-Anbietern ansteuerbar, so dass diese in ihren Apps weitreichendere Funktionen anbieten können.

Vergleich einiger Apps zur Flugplanung

Tab. 17: Auswahl an getesteter Flugsoftware-Apps (Döring, 2021)

Name	Preis	Handling	Website
Map Pilot Pro	ca. 140 €/Jahr für Business-Version	<ul style="list-style-type: none"> • iOS & jetzt auch für Android • vielseitig + professionell • <i>Terrain Awareness</i> (höhenangepasstes Fliegen) • Korridor-Flugplanung • Desktop Portal mit Gebiets und Flugverwaltung • Online-Synchronisation der Flüge 	https://www.maps-madeeasy.com/map_pilot/ https://apps.apple.com/us/app/map-pilot-for-dji-business/id1191854828
Pix4Dcapture	kostenfrei	<ul style="list-style-type: none"> • iOS - Version mit mehr Settings = professionell einsetzbar • Android - zu wenig Optionen • Missionsverwaltung mit KML Export und Import 	PIX4Dcapture: Kostenlose App zur Drohnenflugplanung für optimales 3D-Mapping und 3D-Modellieren Pix4D
dronelink	ca. 230 € / Jahr Business Starter	<ul style="list-style-type: none"> • Android & iOS • professionell verwendbar • Desktop Planung • Online-Sync • <i>Terrain Following</i> 	https://dronelink.com/
Drone Harmony	ab 33 \$ / Monat Starter Version	<ul style="list-style-type: none"> • Android • Korridor-Flugplanung • etwas gewöhnungsbedürftig - dennoch relativ einfach 	https://droneharmony.com/pricing/ Test: https://www.remotevision.ch/der-grosse-drohnen-flug-planungs-app-vergleichstest/
Drone Deploy	ab \$ 99/ Monat Lite Version	<ul style="list-style-type: none"> • Android & iOS • Korridor-Flugplanung • rel. einfach • Desktop-Planung • Online-Processing der Bilder 	https://www.dronedeploy.com/pricing.html

Wetter-Apps

Zwei nützliche Wetter-Apps sind z.B.

- [UAV Forecast](#) - Winddaten, Sonnenwinde (KP-Index) - PC/App
- kachelmannwetter.com - u.a. Winddaten - PC
- wetteronline.de - 'einfache' Winddaten - PC
- [Kopter Profi App](#) - u.a. Geozonen, Sonnenwinde (KP-Index) - App
- s. auch [Checkliste Flugvorbereitung im Büro/Zuhause](#)

Flora-App für Ground Truthing

Für in Pflanzenbestimmung nicht so bewanderte Personen kann man die [Flora Incognita](#) (MÄDER ET AL., 2021) App wärmstens empfehlen. Diese ermöglicht ein schnelles Bestimmen der gewünschten Pflanze über ein Foto, das online und mit Hilfe einer KI analysiert wird.

Die [App](#) ist hervorragend für ein erstes Erkennen von Pflanzen auf der Fläche geeignet, braucht aber eine Internetverbindung zur sofortigen Erkennung. Man kann aber auch ein Foto aufnehmen und dieses bei erneut bestehender Internet-Verbindung nachträglich bestimmen lassen.

Allerdings sollte bei ähnlichen Arten, die ggf. als Alternativen angegeben werden, oder bei Unsicherheiten und v.a. zur wissenschaftlichen Überprüfung, eine Bestätigung von Spezialist:innen eingeholt werden. Am besten fliegen diese jedoch selbst, um die Effizienz und Effektivität erheblich zu steigern.

3.2 Bearbeitung der erfolgten Bilder

Die Weiterverarbeitung der erfolgten Bilder zu Orthofotos erfolgt mittels photogrammetrischer Software. Die in dem hier beschriebenen Projekt verwendeten und unserer Meinung nach empfehlenswerten Programme werden im Folgenden kurz mit ihren wichtigsten Eigenschaften beschrieben.

Vorab aber noch zwei Empfehlungen für die Bearbeitung von Einzelfotos oder Videos, was für bestimmte Zwecke ebenfalls sinnvoll sein kann.

3.2.1 Bildbearbeitung mit GIMP

Das Open Source-Programm [GIMP](#) (GIMP, 2022) ist [portable](#) und kann einfach in einen Ordner oder auf einen USB-Stick installiert werden. Es ist ein sehr mächtiges Bildbearbeitungsprogramm, das den ziemlich teuren Konkurrenten meist in nichts nachsteht. Das bedeutet aber leider auch einen gewissen Zeitaufwand zur Einarbeitung.

Mit ihm wurden z.B. die Mistel-Fotos (s. Teilbericht '[Hirschacker](#)') unterschiedlich eingefärbt, um die einzelnen Misteln hervorzuheben. Falschfarben-Fotos ([Fehlfarben-Kompositen](#)) sind in der Fernerkundung schon lange gebräuchlich, um Merkmale von Objekten in der Landschaft (v.a. von Vegetation), die z.B. mit speziellen Sensoren in einem nicht sichtbaren Spektrum des elektromagnetischen Felds aufgenommen wurden, darzustellen. Doch sie eignen sich ebenso zur differenzierten Darstellung bestimmter Merkmale oder Vegetationseinheiten.

3.2.2 Video

Die Videos im Projekt wurden, wenn nötig, mit dem recht einfach zu bedienendem Programm [Avidemux](#) ([AVIDEMUX, 2022](#)) bearbeitet.

[Avidemux](#) ist ein einfaches Video-Editier-Programm, das auch als *Portable Version* ohne Installation in das Betriebssystem des PC betrieben werden kann.

- Das Schneiden eines Videos erfolgt durch Setzen eines Anfangs- und Endpunktes (auf Keyframes) zum Definieren eines Abschnitts → durch Drücken von ENTF kann man dann diesen ausgewählten Bereich herauslöschen. So können aufgenommene

Videos gleich beim ersten Ansehen relativ schnell auf die für die Auswertung interessanten Sequenzen gekürzt werden.

- Als Ausgabeformat sollte *MP4-Muxer* eingestellt werden, um dann auch ein MP4 zu erhalten, das von den meisten Video-Betrachtern gelesen werden kann.
- Durch Tippen auf Speichern und Angabe eines Speicherortes wird die Prozessierung (Schneiden und Codierung) des Videos angestoßen, was eine Weile dauern kann.

3.2.3 Photogrammetrie-Programme

Zum Zusammensetzen der Einzelfotos zu einem einzigen gesamten Luftbild (*Orthofoto*) oder Höhenmodell, welche weitere Analysen wie Messungen und Digitalisierung von Objekten und Strukturen erlauben, wurden unterschiedliche Programme verwendet, die hier mit ihren Vor- und Nachteilen kurz dargestellt werden.

MapsMadeEasy

Das Online-Programm [MapsMadeEasy](#) (MME) ist wohl die einfachste Lösung, um aus den erflungenen Einzelbildern (*JPGs*) ein zusammengesetztes Gesamtbild - das Orthofoto - zu erstellen. Es kann v.a. für kleinere Büros oder FreiberuflerInnen, die keine eigene Software beschaffen oder sich mit Photogrammetrie nicht weiter auseinandersetzen wollen, durchaus empfohlen werden.

Zu Benutzung von *MME* sind keine besonderen Kenntnisse notwendig, da die Bilder nur hochgeladen werden müssen. Man muss anschließend nur einen Namen für die neue Karte vergeben, ein paar Einverständnis-Klicks tätigen und kann sich dann anderen Dingen widmen. Allerdings gibt es keine Möglichkeit zur Einflussnahme auf den Bearbeitungsprozess mittels Einstellungen von verschiedenen Parametern.

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass kein teurer eigener leistungsstarker PC angeschafft werden muss, der sonst zur Nutzung eines eigenen Photogrammetrie-Programms notwendig ist. Diese Programme sind in der Regel ziemlich Ressourcen-hungrig und bedürfen einiger Power, um in vernünftiger Zeit die Bilder prozessieren zu können.

Als Ergebnis stehen bei *MME* verschiedene Datenformate zur Verfügung, die direkt heruntergeladen werden können (Abb. 29).

Die wichtigsten Daten zur Weiterverarbeitung sind georeferenzierte *GeoTiffs*, die mit ihrer korrekten geografischen Lage direkt in einem GIS analysiert werden können.

KMZ ist eine gezippte Datei, die direkt in das bekannte Online-GIS '[Google Earth](#)' hineingezogen werden kann, um sie dort zu betrachten und bereits auf einfache Art zu analysieren. Auch zur Versendung ist dieses Format gut geeignet, da es wesentlich kleiner ist, als ein *GeoTiff*.

Mit der Subskriptions-Version von *Map Pilot Pro* können 200 Fotos mit je 20 MP KOSTENFREI prozessiert werden. Erst bei größeren Gebieten mit > 200 Fotos fallen entsprechend [Gebühren](#) an, die aber auch in

Advanced Output	Download by June 28, 2022, 1:10 p.m. Why?
GeoTIFF (TIF)	Download (397.1 MB)
Full Resolution Image (JPG)	Download (35.3 MB)
DEM GeoTiff (TIF)	Download (22.9 MB)
Colorized DEM GeoTIFF (TIF)	Download (16.8 MB)
Colorized DEM (JPG)	Download (1.6 MB)
3D Google Earth (KMZ)	Download (10.7 MB)

Abb. 29: Output von *MapsMadeEasy* (Döring, 2022)

einem bezahlbaren Rahmen liegen und ggf. direkt an Kunden weitergegeben werden können. Es existiert auch ein Prepaid-Modell, bei dem ohne *Map Pilot* Abo Punkte für die Prozessierung gekauft werden können. Alle Preismodelle können hier - <https://www.mapsmadeeasy.com/pricing> - eingesehen werden.

Bevor die Fotos für ein großes Gebiet hochgeladen werden, für das dann Gebühren anfallen, kann man also erst einmal ein Teilgebiet kostenlos prozessieren lassen, um zu sehen, ob die Qualität des Orthofotos ausreichend ist.

Die Auswahl der Fotos für kleinere Teilflächen kann recht einfach mit dem weiter unten beschriebenen Programm [droneDB](#) erfolgen.

Der Betreiber der Seite [DronesMadeEasy](#) ist auch der Anbieter der hier empfohlenen und überwiegend verwendeten Flugplanungs-App '[Map Pilot](#)'. Diese dient der professionellen Steuerung von DJI-Drohnen auf iOS-Geräten (s. Kapitel '[Apps](#)').

WebODM - Web Open Drone Map

Für Personen, die gerne Einfluss auf die Bearbeitung der Fotos haben und ggf. auch Parameter verändern wollen, kann man das Open Source Desktop-Programm [WebODM](#) = WEB Open Drone Map (WEBODM, 2022) empfehlen.

Es bietet ein Angebot an Einstellungen für Standardszenarien wie Feld, Gebäude, Wald etc. (*Presets*) an, die ausgewählt werden können und schon brauchbare Ergebnisse liefern (Abb. 30). Nach Auswahl der Bilder und Vergabe eines Namens für das Projekt muss auch hier im Prinzip nur noch auf Start geklickt werden.

Für das ebenfalls mögliche Feintuning der einzelnen Parameter bedarf es dann, wie bei jedem anderen Programm, einer tieferen Einarbeitung.

Mit Hilfe des Handbuches (<https://odmbook.com>) oder einem Tutorial wie z.B. [Processing drone images with WebODM](#) (GISOPENCOURSEWARE.ORG, 2022) bekommt man einen guten Einblick in die Handhabung von *WebODM*.

Die Investition von 50 € bzw. 140 € in den Installer ist anzuraten, da die völlig kostenlose Version zwar als *GitHub*-Programm vorliegt, das aber von Grund auf selbst installiert werden muss. Dies ist für 'Normalsterbliche' absolut nicht zu empfehlen!

Mittlerweile steht die Software als natives Windowsprogramm zur Verfügung und wird von einer aktiven Community ständig weiterentwickelt.

Für dieses und andere Photogrammetrie-Programme braucht man allerdings noch einen PC, der (viel) mehr Leistung als ein üblicher Office-PC haben muss. Die dafür nötigen mehreren Tausend Euros (**beginnend bei etwa 3.000 €** - Tendenz aufwärts) müssen natürlich auch in die Kalkulation einbezogen werden.

WebODM wird zunehmend in der Forschung und Praxis eingesetzt, da es eine mit teuren Programmen durchaus vergleichbare Qualität der Ergebnisse liefert.

droneDB - Fotoauswahl

Vom gleichen Hersteller wie *WebODM* ist auch das Programm [droneDB](#) (DRONEDB, 2022), eine Datenbank, die die Verwaltung und Visualisierung von Drohnepotos und eine Erstellung von *Subsets* (Untermengen) sehr einfach macht. Dies kann dann sehr nützlich sein,

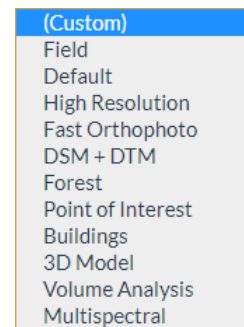


Abb. 30: *WebODM* Presets (Döring, 2022)

wenn man an sich ein großes Gebiet prozessieren muss, aber die optimalen Parametereinstellungen für ein gutes Ergebnis erst noch herausfinden muss. Dazu empfiehlt sich das Testen an nur einem kleinen Gebietsausschnitt, um die Prozessierungszeiten mit jeweils geänderten Parametern gering zu halten.

Im unteren Teil der Anwendung kann man über den Viereck-Button (in Abb. 31 rot umrandet) und das Aufziehen eines Rechtecks die gewünschten Bilder auswählen, die dann im oberen Fenster grau hinterlegt werden. Mit Rechtsklick kann man sie dann in einen eigenen Ordner kopieren, um sie z.B. in *MME* kostenlos prozessieren zu lassen oder als *Subset* in *WebODM* selbst zu testen.

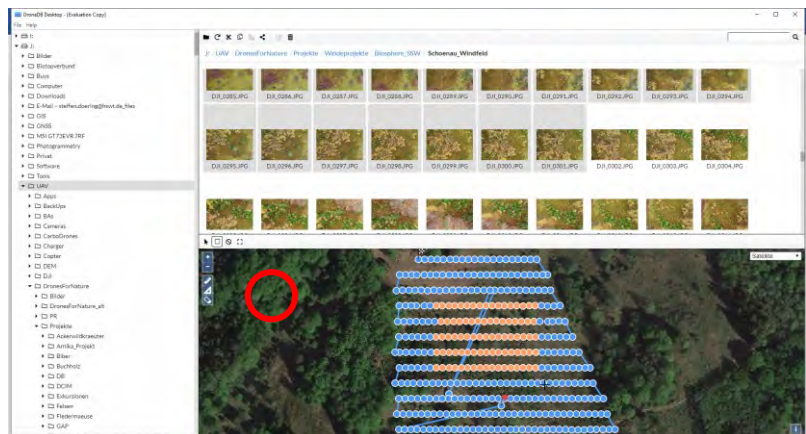


Abb. 31: droneDB- Fotoauswahl (eigener Screenshot)

Zuvor wurde zur Auswahl der Fotos für ein Teilgebiet die *QGIS*-Erweiterung *Import Photos* verwendet, mit der ein Punkt-Layer der erfolgten Fotos in *QGIS* erstellt werden kann. Durch das Anzeigenlassen der Bildnamen in diesem Layer können die Fotos eines Gebietsausschnitts zum Prozessieren ausgewählt werden. Dieser Prozess ist aber relativ umständliche und zeitaufwändig, da die Bilder immer händisch im entsprechenden Ordner markiert und in einen neuen Unterordner kopiert werden müssen.

Agisoft Metashape

Für die Bearbeitung der Felsbilder wurde die *Educational Version* von Agisoft Metashape verwendet, da die beiden anderen Programme noch keine Erstellung von Orthoansichten vertikaler Strukturen anbieten.

Diese Version kostet 588 € und kann nur für Forschung und Lehre verwendet werden. Die auf Dauer notwendige Vollversion hingegen kostet ca. 3.500 € und bewegt sich damit im Rahmen anderer kommerzieller Mitbewerber. Allerdings erwirbt man einmalig eine Lizenz inklusive lebenslanger Updates und kein teures jährliches Abonnement.

Die Entwicklung der Software ist sehr dynamisch und der Support bei Anfragen schnell und zuvorkommend.

Leider muss momentan mitbedacht werden, dass es eine russische Software ist, die evtl. von Embargos o.ä. betroffen werden könnte.

Tabellarische Vergleiche von Photogrammetrie-Software

Zuerst die im Projekt verwendeten Programme zur besseren Übersicht tabellarisch verglichen (Abb. 18):

Tab. 18: Vergleich der verwendeten Photogrammetrie-Software (Döring, 2021)

Programm	Eigenschaften
 <p>MapsMadeEasy (Online - amerikanischer Server)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • komplett Online • bis 200 Fotos (mit je 20 MP) kostenfreie Prozessierung für Abonnenten von Map Pilot Pro • bei größeren Gebieten kann das Untersuchungsgebiet in kleinere Teilgebiete mit je 200 Fotos aufgeteilt und entsprechend prozessiert werden • Bilder hochladen - Ergebnisse herunterladen - fertig • Black Box ohne Einflussmöglichkeit
 <p>WebODM</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Open Source - Installation komplett kostenfrei möglich • Windows-Installer empfohlen - kostet max. 140 € einmalig und erspart Ungeübten viel Zeit • einfache Handhabung → Presets für verschiedene Zwecke → einfach 'Durchklickbar' • Default-Settings liefern bereits meist gute Ergebnisse • ähnliche 'Tuning-Möglichkeiten' wie kommerzielle Programme → tiefere Einarbeitung oder Schulung nötig • DTM-DSM-Preset guter Kompromiss zwischen Rechenzeit und Qualität • rege Community • Handbuch verfügbar - ca. 30 € • mit Ground Control Points nutzbar
 <p>Agisoft Metashape</p>	<ul style="list-style-type: none"> • wurde speziell für vertikale Orthofotos der Felsen herangezogen, die mit WebODM und MME noch nicht möglich waren • eines der weitverbreitetsten Programme • gute Performance • Default-Settings liefern meist bereits gute Ergebnisse • Feintuning der vielen möglichen Parameter → tiefere Einarbeitung oder Schulung nötig • mit Ground Control Points nutzbar

Für einen Vergleich vier unterschiedlicher Photogrammetrie-Programme (WebODM, Agisoft Metashape, Pix4D, Correlator3D) wurden fünf Datasets unterschiedlicher Drohnenbefliegungen (Weinberg, Riff, Küstenstreifen/Strand und Stadt) von einer Online-Plattform für Drohnen- und Daten ([GeoNadir](#)) heruntergeladen und prozessiert ([PELL; LI & JOYCE, 2022](#)). Im Anschluss wurden die Ergebnisse miteinander verglichen. Es gab keinen eindeutigen Gewinner und alle Programme leisteten mit den Standard-Einstellungen ähnlich gute Dienste (auch das Open Source Programm WebODM!).

Merkliche Unterschiede zwischen den Programmen gab es allerdings in der Prozessierungszeit und bei den Outputs. Deswegen wird angeraten, für das Monitoring von Veränderungen



und multi-temporalen Zeitreihen immer die gleiche Software mit möglichst den gleichen Einstellungen zu verwenden.

In Tab. 19 werden die im Projekt genutzten plus einiger weiterer Photogrammetrie-Programme hinsichtlich ihres Preises und ihrer Prozessierungsmöglichkeiten verglichen.

Tab. 19: Vergleich verschiedener Photogrammetrie-Programme

Programm	Version	Kosten	Prozessierung	
			Online	Offline
MapsMadeEasy	Online	<ul style="list-style-type: none"> • Punkte pro Gigapixel • Prozessierung bis Gigapixel etwa 200 Fotos frei für <i>Map Pilot Pro</i> Nutzer 	gegen Gebühr	ja
WebODM	Open Source - Installer	<ul style="list-style-type: none"> • Desktop-Bearbeitung komplett frei • 57 oder 147 \$ einmalig für Installer (empfohlen) 	gegen Gebühr	ja
Agisoft Metashape	einmalig	<ul style="list-style-type: none"> • 570 € Forschung & Lehre, • sonst ca. 3.500 € 	ja	ja
Pix4D	Abonnements	<ul style="list-style-type: none"> • ganz unterschiedliche Abo-Modelle 		ja
3Dsurvey	Abonnements	<ul style="list-style-type: none"> • 3.000 € einmalig + 540 €/Jahr • 167 €/Monat/Jahr • 200 \$/ monatliche Nutzung 		ja
dronedeploy	Abonnements	<ul style="list-style-type: none"> • 99 - 299 \$/Monat/Jahr • 149 - 449 \$/monatliche Nutzung 	X direkt aus App	x

Berichterstellung

Mit den meisten Photogrammetrie-Programmen können am Ende Qualitätsberichte erstellt werden, die die Qualität/Güte der Orthofotoerstellung dokumentieren und die von Auftraggebern eingefordert werden könnten/sollten.

3.3 Analysen der Einzelbilder und Orthofotos

Nach der photogrammetrische Prozessierung kann man nun zusätzlich zu den Einzelbildern auch die resultierenden Orthofotos, Höhenmodelle und Punktwolken für verschiedenste Monitoring-Analysen heranziehen.

zuerst aber zwei Empfehlungen für die Bearbeitung von Einzelfotos und Videos

3.3.1 Einzelbild/Video-Auswertung

Zur Analyse von Einzelbildern oder Videos können diese z.B. in einer entsprechenden Software einfach durchgeschaut und relevante Objekte oder Strukturen gezählt werden. Das ist die rudimentärste Art von Analyse und wird eigentlich dem Potenzial von Drohnen-Daten nicht gerecht. Denn mit diesen eröffnen sich Möglichkeiten auch ausgefeilte Analysen durchzuführen.

Mittlerweile gibt es auch eine steigende Anzahl an KI-basierten Lösungen, die eine automatische Erkennung von Tieren oder Objekten in Fotos oder Videos erlaubt. Doch sind diese Lösungen meist nicht trivial - weder hinsichtlich ihrer Anwendung, noch der benötigten Hard- und Software.

3.3.2 GIS-Auswertung

Die Auswertung von Einzelbildern oder Orthofotos kann aber auch in unterschiedlichen Software-Applikationen und in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden erfolgen.

Im Folgenden werden einige möglichst kostengünstige(freie) Möglichkeiten für die Bild-Auswertung beschrieben.

Eine Variante der Auswertung ist die in einem GIS, bei dem die Orthofotos geladen und darauf die zu untersuchenden Flächen oder Objekte digitalisiert werden. Diese bekommen dadurch messbare Eigenschaften - es können Flächen- oder Streckenanteile gemessen oder schlicht die Anzahl erfasst werden.

Das erlaubt über die Zeit Veränderungen zu dokumentieren und zu analysieren und somit objektiv quantifizierbare Ergebnisse aus dem Monitoring zu erlangen.

Die Daten können außerdem als Tabellen o.ä. exportiert und zur statistischen Weiterverarbeitung in spezifischen Programmen genutzt werden.

Google Earth

[Google Earth \(GE\)](#) ist ein einfaches Online-GIS-System, das wohl vielen bekannt sein dürfte. In *GE* ist es möglich georeferenzierte Orthofotos zu importieren bzw. einfach aus dem entsprechenden Ordner hineinzuziehen.

So können

- aktuelle Orthofotos der Drohne mit *GE*-Bildern verschiedener Jahre verglichen werden. Dazu muss man in der oberen Werkzeugleiste auf die Schaltfläche '*Historische Bilder anzeigen*' (Symbol ist ähnlich einer Uhr) tippen, dann können mit dem eingeblendeten Schieberegler die verfügbaren historischen Ansichten durchgeschaut und mit dem aktuellen Bild verglichen werden.

- Flächen bzw. zu untersuchende Elemente können auf dem Hintergrund der Google-Karten oder eigenen Orthofotos digitalisiert werden. Dazu ist die Schaltfläche 'Polygon hinzufügen' anzutippen, woraufhin eine Art Fadenkreuz und ein Pop-up-Fenster erscheinen (Abb. 32).

Mit dem Fadenkreuz können nun sehr genau die Eckpunkte für das Polygon gesetzt werden. Ist der letzte Eckpunkt hinzugefügt, gibt man der Fläche in dem Pop-up-Fenster einen Namen, stellt ggf. noch die Farbe etc. ein. Beim Schließen erhält man dann das fertige Polygon.

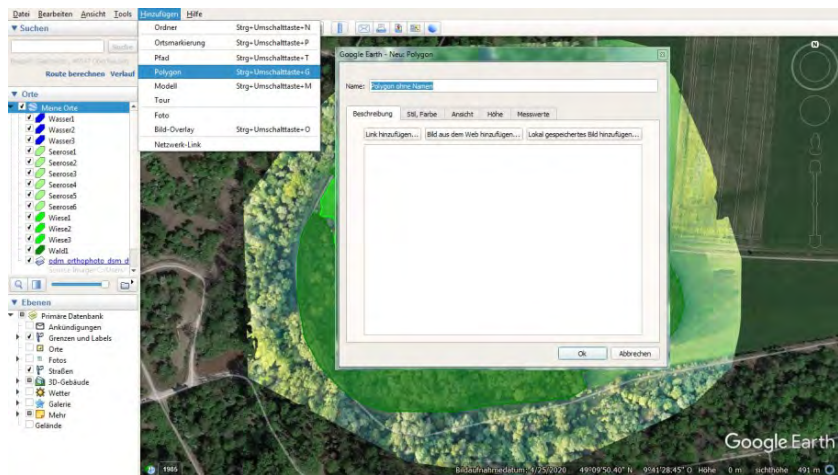


Abb. 32: Import und Bearbeitung von Drohnendaten in Google Earth (Lutz, 2022)

Unter dem Reiter 'Messwerte' können dann sowohl die Fläche, als auch der Umfang des Polygons abgelesen werden - s. auch Teilbericht 'Moormonitoring'.

- Die digitalisierten Layer werden in der linken Datenleiste gespeichert und können jederzeit verändert werden. Die Daten können auch in Projekt-Ordern organisiert werden, was eine systematische Datenhaltung ermöglicht.
- Ein solcher Ordner oder einzelne Objekte können auch mit 'Ort speichern unter ...' komplett als KMZ oder KML exportiert und z.B. in QGIS für weitere Analysen weiterverwendet werden.
 - Zur Weiterbearbeitung und Veränderung der exportierten Daten als eigene Geometrien müssen diese aber in QGIS noch mittels 'Export' und 'Speichern als' in andere Datenformate umgewandelt werden.

QGIS

[QGIS](#) ist eine kostenlose Open Source Desktop GIS-Software ([Download QGIS](#)) und mittlerweile auch in Behörden immer mehr verbreitet.

Es ist v.a. für seine Fähigkeit bekannt, mit den vielfältigsten Datenformaten problemlos umgehen zu können. Daten können in QGIS meist einfach hineingezogen werden und werden direkt lagerichtig angezeigt - natürlich nur, wenn die Daten Koordinaten besitzen und das entsprechende Koordinatensystem eingestellt ist.

Die Lage der Daten kann mit verschiedenen Hintergrundkarten - von *Google Earth* über *OpenStreetMap* bis hin zur Einbindung von offiziellen Karten der Landesvermessungen (z.B. [Maps4BW](#)) - überprüft werden.

QGIS verfügt von sich aus über vielfältige Grundfunktionalitäten, kann aber auch noch mit Erweiterungen (*Plugins*) zweckmäßig ergänzt werden.

Hier ein paar *Plugins*, die für die Analyse der Drohnendaten verwendet/getestet wurden

- Das Tool Einzelfoto-Import (*Import Photos*) ist gut für die visuelle Auswertung von Einzelfotos in ihrer richtigen Lage geeignet.
 - Mit dieser Erweiterung können die Bildmittelpunkte von *Geo-Tagged* Fotos (Fotos mit Geo-Koordinaten in ihren Meta- oder Exifdaten) als Punkt-Layer in QGIS importiert werden. Dazu wird der gewünschte Ordner mit den entsprechenden Bildern ausgewählt und die Ausführung gestartet.
 - Der *Punkt-Layer* enthält als Parameter den Bildnamen, den Speicherort, Datum & Zeit der Aufnahme, die Höhe, die geografische Länge & Breite, den Azimut, Nord, Kamerahersteller und -modell, den Titel, ein Kommentarfeld und den relativen Pfad.



- Mit der Kamera links können die Bilddaten importiert und mit den Pfeilen rechts upgedatet werden.
- Mit der Bild-Schaltfläche in der Mitte wird beim Klicken auf einen der Punkte das dazugehörige Foto, mit seinen Informationen zu Datum & Zeit und der Höhe, in einem eigenen Pop-up-Fenster angezeigt (Abb. 33).
- Dieses Fenster kann größer gezogen oder *Side-by-Side* angezeigt (Abb. 33) werden und erlaubt eine genaue Inspektion des schärferen Einzel-Bildes und damit eine einfachere Digitalisierung der Objekte in dem Orthofoto.

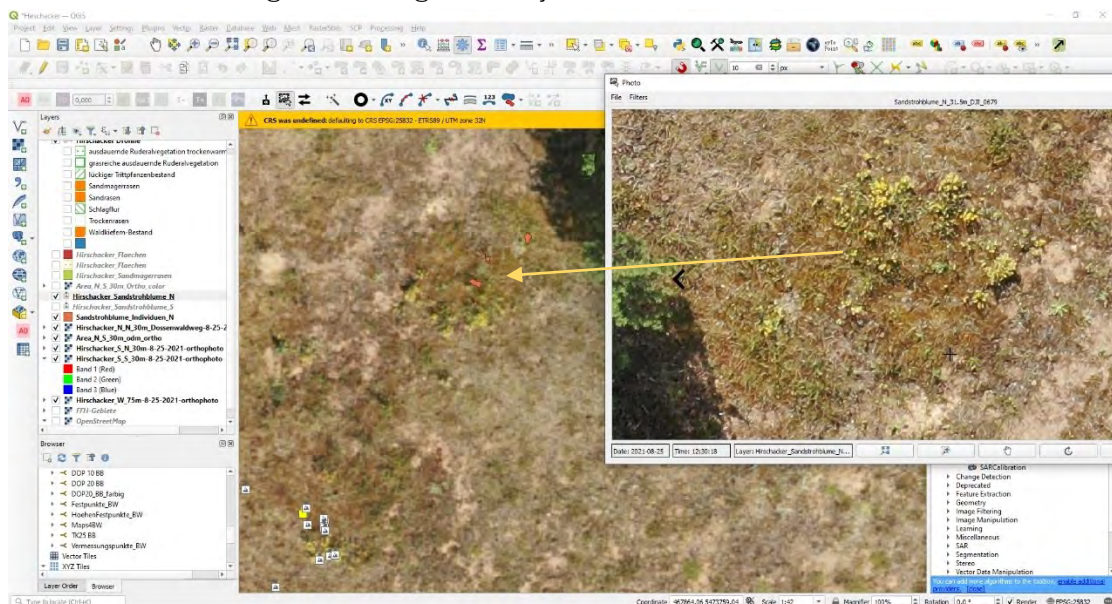


Abb. 33: Nutzung des *Import Photos-Tools* (Döring, 2022)

- Somit können in den entsprechenden Abschnitten des Untersuchungsgebietes die aktuellen Daten/Fotos mit der Hintergrundkarte, den eigenen Orthofotos oder anderen Layern abgeglichen werden. Das ist besonders für Fotos aus manuellen Befliegungen, die keine Orthofotos benötigen, sinnvoll (s. auch Teilberichte *'Heide-/Offenlandmonitoring'* oder *'Steillagen-Monitoring'*).
- Das Tool eignet sich v.a. für die visuelle und händische Auswertung von manuell erfolgten Einzelfotos (z.B. für Biber-, Lachs oder Vogelmonitoring) und

stellt oft die schnellere Lösung dar - v.a. angesichts der zeitaufwendigen Ein-
arbeitung in und Anwendung von automatisierten Auswertungsmethoden.

Automatisierte Auswertungswerkzeuge

- Das Klassifikationstool "dzetsaka" zur (semi-)automatischen Bildklassifizierung eignet sich für versierte Benutzer zur automatisierten Bildauswertung.
 - Homepage und Anleitung - <https://github.com/lennepkade/dzetsaka>
 - Mit ihm können über einfach zu erstellende Trainings-Flächen verschiedene Klassifikations-Algorithmen Rasterdaten/Bilder klassifiziert werden.
- Die *Orfeo Tool Box (OTB)* mit einer fast unüberschaubaren Vielzahl an Algorithmen, Tools etc. bietet viele Möglichkeiten Rasterdaten (Bilder) zu bearbeiten.
 - Das OTB-Tool *ImageClassifier* wird ähnlich wie das *dzetsaka*-Tool über Trainings-Flächen gesteuert und ist demnach auch nur so gut wie diese angelegten Flächen es erlauben.
- Das *Semi-Automatic Classification Tool (SCP)* kommt ebenfalls mit einer Vielzahl an Algorithmen, Tools etc. und ist speziell für den Download und die Verwendung von Satellitendaten konzipiert. - <https://fromgistors.blogspot.com/p/semi-automatic-classification-plugin.html?spref=sacp>

Anmerkung:

Jede überwachte (*supervised*) Klassifizierung setzt eine Kenntnis der zu untersuchenden und zu klassifizierenden Objekte voraus, da die Trainingsdaten sauber und genau angelegt und für veränderte Bedingungen jeweils neu angepasst werden müssen - s. *FELIS*-Auswertung im Teilbericht '*Steillagen-Monitoring*' und Auswertungen im '*Moormonitoring*'.

Beim dem hier behandelten 'einfachen' Biomonitoring mit Drohnen stehen meist nur RGB-Daten (= 'normale' Farbdaten) zur Verfügung, in denen jeder Pixel mit einem Farbcode belegt und ausgewertet wird. Entsprechend werden ähnliche Farben selbst von unterschiedlichen Objekten gleich und damit ggf. falsch klassifiziert. Schatten von Bäumen können so wie ähnlich farbcodierte dunkle Steine oder Bodenflächen interpretiert werden.

Aus diesen und einigen weiteren Gründen sind die (semi-)automatischen Bildklassifizierungswerkzeuge nicht trivial zu handhaben und bedürfen einiger Erfahrung und immer guter Trainingsdaten. Diese müssen größtenteils für jeden Flug mit seinen neuen Aufnahme-Bedingungen (Licht etc.) erneut erstellt werden.

Deswegen kann für Nicht-Spezialisten diese Art der automatisierten Auswertung (noch) nicht zur effizienteren Daten-Bearbeitung weiterempfohlen werden.

Im Projekt wurden sie aus diesem Grund auch nur exemplarisch getestet und werden in den Teilberichten '*Steillagen-Monitoring*' und '*Moormonitoring*' etwas ausführlicher erklärt.

3.4 Restriktionen

Die Restriktionen von Drohneneinsätzen sind u.a. vom Anwender und den jeweiligen Einsatzgebieten und Erwartungen abhängig.

Grob gesagt gibt es drei Anwendergruppen: den Privatsektor (Privatanwender, Vereine, etc.), Unternehmen und Behörden.

Im Privatsektor (Unternehmen und Privatpersonen) können und sollen normalerweise alle zur Verfügung stehenden Mittel (Personal, Geräte und Software unter Berücksichtigung von entsprechenden Erlaubnissen und Genehmigungen) genutzt werden, um möglichst effektiv und produktiv zu arbeiten. Eine Kosten-Nutzen-Betrachtung hilft dabei, zu sehen, ob sich der entsprechende Aufwand lohnt und ggf. nötige Investitionen getätigt werden können.

Behörden hingegen kalkulieren einen Drohneneinsatz meist nicht auf Basis einer Vollkostenrechnung, was teilweise zu unterschätzten Personalkosten führt. Im Gegenzug haben Behörden aber oft mit strengen Vergabeauflagen und unflexiblen, praxisfremden Bestimmungen zu kämpfen, die bspw. nur sehr begrenzte Auswahlmöglichkeiten an Hard- und Software zulassen. Diese repräsentieren aber oft nicht den *State-of-the-Art* und lassen in Folge nur weniger effektive oder veraltete *Workflows* zu. Das wiederum kann dann bei Entscheidungsträgern in den Verwaltungen dazu führen, dass die vorgestellte Technik und deren Anwendungen an sich grundsätzlich in Frage gestellt oder abgelehnt werden.

Die (Drohnen-)Technik entwickelt sich in allen Aspekten (Hard- und Software) ständig und schnell weiter und damit auch die Möglichkeiten für immer effektivere Aufnahme- und Auswerteprozesse.

Die meisten technischen Prozesse werden aber durch den Einsatz veralteter und inadäquater Hard- und Software schnell unwirtschaftlich (z.B. zu lange Prozessierungszeiten durch zu schwache PCs, Nicht-Erreichen der gewünschten Ergebnisse durch Mangel an adäquaten Programmen, etc.). Manchmal reicht für eine Optimierung schon ein Update der Hard- und Software aus, aber auch dies setzt meist Entscheidungen und Investitionen voraus.

Im Folgenden werden Restriktionen benannt und kommentiert, die während des Projektes durch Recherchen und in Gesprächen identifiziert wurden.

3.4.1 Allgemeine Restriktionen

Eine der meist angeführten technischen Einschränkungen für den Einsatz von Multikoptern ist die begrenzte Akkulaufzeit. Diese kann aber leicht durch den Kauf von genügend Akkus und eine geschickte Flugplanung kompensiert werden.

Für wirklich große Flächen sollten aber Starrflügler-Drohnen in Erwägung gezogen werden, die je nach Modell > 1 Stunde und mehr in der Luft bleiben und viel Fläche abdecken können.

Das Wetter wie Wind, Regen, Sonne/Wolken etc. spielt für den technischen Betrieb von Drohnen und gute Datenaufnahmen, wie [oben](#) beschrieben, ebenfalls eine große Rolle. Dies schränkt die reinen optimalen Flugzeiten oft gehörig ein und lässt wenig Spielraum, kann aber durch geschickte Planung und höhere Flexibilität häufig kompensiert werden.

Steile Lernkurven können oft vom Einsatz bestimmter Systeme abschrecken. Doch kann, wie in diesem Projekt gezeigt, auch mit kleinen und einfachen Systemen schon viel erreicht werden. Eine Einarbeitung in die Materie und genügend Training ist jedoch immer nötig.



Viele der technischen Fragezeichen können oft auch schon durch das Lesen des Betriebs- handbuchs (laut LuftVO ein MUSS) und Recherchen in einschlägigen Foren oder dem Inter- net behoben werden. Das [Handbuch](#) dieses Projekts soll ebenso dabei helfen.

Restriktionen bei Behörden

Speicherplatz

Die im Kontext des Projektes einbezogenen Behörden in Baden-Württemberg und in Bayern müssen beispielsweise ihre IT-Dienstleistungen für Hard- und Software bei den jeweiligen IT- Landesbetrieben (z.B. BITBW in Baden-Württemberg und das IT-Dienstleistungszentrum ITDLZ in Bayern) käuflich beziehen, zu Konditionen, die oft teurer als marktüblich sind. Vermutlich sind es Beschaffungsrichtlinien aber auch Sicherheitsbedenken, die die Präferenz für den Service von eigenen Landesbetriebe bedingen.

Es gibt jedoch auch private Anbieter, die in anderen (Bundes-)Ländern ebenfalls staatliche Kunden betreuen (z.B. [luckycloud, 2022](#)) und u.a. Datenspeichervolumen deutlich günstiger anbieten, als das bei der behördeninternen Verrechnung möglich ist.

Privatwirtschaftliche Unternehmen hingegen, die hart kalkulieren müssen, sparen beispie- lweise beim Speicherplatz durch Auswahl des Anbieters auf dem freien Markt und handeln möglichst günstige Verträge für die Hardwarebeschaffung aus. Außerdem rekrutieren sie gut bezahltes IT-Personal oder kontraktieren erfahrene Dienstleister, um dennoch ihre digi- tale Infrastruktur möglichst gut abzusichern.

Hard- und Software

Auch die Hardware muss oft bei den eigenen Landesbetrieben bestellt werden, die aber in der Regel hauptsächlich Standardsysteme für Office-Anwendungen umfasst. Daraus resul- tiert, dass viele Fachbehörden mit den eingesetzten Büro-PCs schon beim Betrachten von relativ kleinen Drohnen-Orthofotos an ihre Grenzen stoßen.

Einfache Drohnen-Befliegungen generieren bereits Orthofotos im mehrfachen MB-Bereich und bei der Befliegung größerer Flächen entstehen nicht selten Orthofotos im verlustloseren TIFF-Format mit > 1 GB Volumen.

Potentere und teurere PC-Systeme, die v.a. für die photogrammetrische Prozessierung der Drohnenbilder nötig sind, sind meist nicht im Standard-Angebot enthalten und müssen an- derweitig beschafft werden. Das führt jedoch im Gegenzug wieder zu Schwierigkeiten bei der Einbindung in die bestehenden Landes-IT-Netze.

So haben einige Behörden bereits damit begonnen, eine sekundäre IT-Infrastruktur aus ei- genem Budget aufzubauen, inklusiver eigener Hard- und Software, um übertragene und erwartete Aufgaben (z.B. Forschung im digitalen Umfeld) überhaupt effektiv und effizient bearbeiten zu können.

Empfehlung: Nach vielen Gesprächen und Überlegungen erscheint es sinnvoll, in den Bun- desländern landesweit zuständige digitale Fernerkundungs-Kompetenzzentren aufzubauen, die mit einer ausreichenden Infrastruktur (inklusive Hard- und Software und geeigneten Spe- zialisten) ausgestattet sind und die notwendigen digitalen Dienstleistungen für die Fachbe- hörden (Forst, Naturschutz, Gewässerverwaltung, Landwirtschaft) zentral durchführen kön- nen. Das ist vermutlich günstiger, als alle untergeordnete Fachbehörden individuell digital

aufzurüsten und mit Spezialisten auszustatten, um die immer größer werdenden digitalen Anforderungen erfüllen zu können.

Als Ergebnisse bekommen die Anwender in den Fachbehörden dann z.B. *PDFs* mit den professionellen Analyse-Ergebnissen von den Fernerkundungs-Kompetenzzentren zur Verfügung gestellt. Diese *PDFs* können auch mit den üblichen Büro-PCs gelesen werden.

In der Landwirtschaft soll beispielsweise ab 2023 europaweit ein neues *INVEKOS*-Flächenmonitoring auf Basis von Satellitendaten ([European Court of Auditors, 2020](#)) als Ersatz der Vor-Ort-Kontrollen eingeführt werden - s. Teilbericht '[Steillagen-Monitoring](#)'. In Sachsen-Anhalt und Thüringen ist dies schon geschehen ([TBV Erfurt, 2022](#)), in weiteren Bundesländern wurden zentrale Kompetenzzentren zur Planung des Vorgehens und zur anschließenden Bearbeitung eingerichtet. Diese könnten erweitert und durch Fachleute der anderen Flächenressorts ergänzt werden.

Satellitendaten bestehen aus Kacheln, die immer große Flächen abdecken, was sie für alle Ressorts gleichermaßen nutzbar macht. Alleine die Algorithmen zur Auswertung müssten durch die jeweiligen Fachleute an die Ressort-eigenen Fragestellungen angepasst werden. Das Landwirtschaftliche Technologie Zentrum (*LTZ*) Augustenberg (BW) hat z.B. für Analysen auch mit höher auflösenden Daten eine *Workchain* erarbeitet, bei der die 'rohen' Daten (= Drohnen-Fotos, Luftbilder oder Satellitenkacheln) eingespeist werden. Mit Hilfe verschiedener Programme (bevorzugt Open Source) können diese anschließend vollautomatisiert analysiert und am Ende in Karten visualisiert werden.

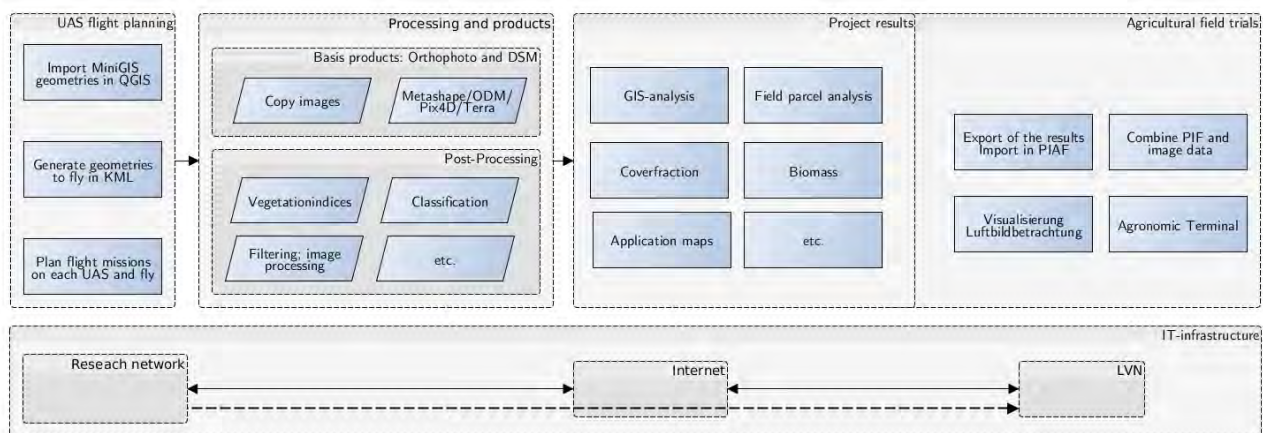


Abb. 34: Prozessierungs-Workchain für Fernerkundungsdaten des LTZ (Bauer et al., 2022)

Solche Möglichkeiten sollten unbedingt weiter ausgebaut und für immer mehr Anwender und Anwendungen unkompliziert nutzbar gemacht werden.

3.4.2 Ökonomische Restriktionen

Die oft begrenzten Budgets für Monitoring lassen nicht viel Spielraum zu, weswegen Anschaffungen und Einsätze bzw. Vertragsvergaben gut geplant werden müssen.

Zu den Kaufüberlegungen (s. [Flug-Systeme](#)) - hier noch einmal in zwei Folien aus dem Schulungsmodul (Abb. 35 + 36) kurz zusammengefasst - kommt ein weiterer nicht zu unterschätzender Punkt, die Genehmigungen.

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, Multi-spektral- und Thermalkameras?

Wie notwendig ist die einfache Transportabilität?

→ Ist eine Drohne das richtige Tool?
Wenn ja →

Abb. 35: Generelle Überlegungen vor einem Drohnenkauf - Grafik aus Schulung (Döring, 2022)

Überlegungen vor dem Kauf

1. Budget - Wieviel möchte/kann man ausgeben?

- **Drohne** + Equipment
- **Software** zum Fliegen + zur Datenprozessierung
- **Hardware** zur Datenprozessierung (je mehr Power, desto besser)
- **Speicherplatz**
- **Ausbildung/Training** - Führerschein(e), Softwarebedienung, ...

2. Welche anderen Abteilungen oder Ressorts innerhalb von Behörden haben noch Bedarf an Fernerkundungsdaten?

Abb. 36: Budget-Überlegungen vor einem Drohnenkauf (Döring, 2022)

Außer den in den Folien angesprochenen Kosten können nämlich noch zusätzliche und manchmal nicht unerhebliche Gebühren für Genehmigungen oder Befreiungen anfallen. Behörden sind allerdings davon oft weniger betroffen.

- Genehmigungspraxis + -preise (ARBES, 2022)
 - Die Kosten für Betriebserlaubnisse sind ja nach Bundesland unterschiedlich.
 - Der Kostenrahmen reicht von 50 € bis 3500 € je nach Gebührenordnung.

- Betriebserlaubnisse werden entweder nur für einen kurzen Zeitraum für ein geografisches Gebiet ausgestellt (Einzelerlaubnis) oder als Allgemeinerlaubnis (deren Kosten und Anforderungen meist höher sind).

Letztendlich sollte von Behörden, kleineren DienstleisterInnen oder Selbstständigen immer gut überlegt werden, ob sich eigenes Equipment + Ausbildung und/oder Mannschaft lohnt, oder eine Beauftragung von spezialisierten Drohnen-Dienstleistern günstiger ist.

Auf jeden Fall ist gute Planung und Recherche nötig, um die Ausgaben zu begrenzen und das zur Verfügung stehende Budget möglichst effektiv zu nutzen.

3.4.3 Rechtliche Restriktionen

Im Kapitel 'Methodik' wurden unter *Generelle Voraussetzungen* ja schon verschiedene rechtliche Voraussetzungen angesprochen, dennoch hier ein paar weitere Anmerkungen.

Generelle rechtliche Restriktionen

Die neue LuftVO ([DROHNEN.DE, 2022D](#)) brachte einige Neuerungen mit sich, die aber lange noch nicht ohne Probleme und viele Fragen umgesetzt werden können.

- So basiert die neue LuftVO auf dem Einsatz klassifizierter Drohnen, von denen es aber bis jetzt nur eine einzige gibt - und das auch erst seit Kurzem ([DROHNEN.DE, 2022A](#)).
- Die unklassifizierten Bestandsdrohnen haben eine Übergangsfrist bis Anfang 2024, in der sie noch zu geltenden Bedingung genutzt werden dürfen ([DROHNEN.DE, 2022D](#)). Danach dürfen sie nur noch in der OPEN-Kategorie - mit 150 m Abstand zu bebautem Gebiet und einem Sicherheitsabstand von mind. 30 m (auf 30 m Höhe, bei 50 m Flughöhe müssen es 50 m Abstand sein) - zu unbeteiligten Personen eingesetzt werden.
- Etliche weitere neue Regelungen - wie die meisten Standardszenarien - werden voraussichtlich erst im Laufe des Jahres 2023 oder noch später zum Einsatz kommen können. Dies verhindert für bestimmte Szenarien bis auf weiteres die einfache und effektive Anwendung beim Drohneneinsatz.
- Im Juli 2022 wurde der Behördenparagraf § 21 k der LuftVO widerrufen - <https://di-pul.de/homepage/de/aktuelle-meldungen/information-zur-anwendung-und-auslegung-des-behoerdenbegriffs/>, wodurch nun Behörden keinerlei Privilegien mehr geltend machen können - außer BOS-Kräfte im Einsatzfall. Nach Auskunft der Landesluftfahrtbehörde werden Genehmigungs-Anfragen von Behörden aber meist schneller bearbeitet.
- Eine andere Hürde für den umfassenden Einsatz von Drohnen seitens kleinerer Unternehmen, Behörden und Forschungsinstitutionen ist das eigentlich schon länger geforderte Drohnen-Management innerhalb der Institution oder des Unternehmens. Dazu muss für bestimmte Szenarien und Drohnen ein rechtskonformes Handbuch für die eingesetzten Drohnen und die gesamte Vorgehensweise bei den Drohneneinsätzen verfasst werden ([LBA, 2021](#)). Die rechtlichen Unterlagen dazu kommen von der EASA und sind im Original auf Englisch. Das stellt eine zusätzliche Herausforderung dar, da es Rechtstexte sind, die bes. für Laien selbst auf Deutsch nicht selbsterklärend und ebenso wenig leicht zu interpretieren sind.
 - Es gibt mittlerweile einige Firmen, die Hilfe zur Erstellung so eines Handbuchs anbieten, was aber mit einigen weiteren tausend Euro zu Buche schlägt.

- Oft gibt es - zumindest bei Naturschutzbehörden - keine standardisierten Formulare für Genehmigungen, weswegen sich die Antragstellung oft lange hinzieht, bis alle Unterlagen oder Angaben eingereicht wurden. Es wurde im *DroBio*-Projekt ein Standard-Formular mit allen nötigen Angaben erstellt, das im Genehmigungs-Workshop von den Teilnehmern begrüßt wurde.
- In folgender Folie (Abb. 37) sind die wichtigsten rechtlichen Hürden bei Drohneneinsätzen im Gegensatz zu etablierten Befliegungen zusammengefasst.

Effektivität & Wirtschaftlichkeit - Rechtliches

Drohnenbefliegung	Flugzeugbefliegung
momentan schwierige Rechtslage	klare Rechtslage
Einhaltung aller rechtlichen Vorgaben schwierig - noch keine Standards	seit langem klare Standards
Vorgaben für Unternehmen hoch	
Minderungsmaßnahmen - noch keine Standards	
Kosten für Genehmigungen	
noch keine klassifizierten Drohnen	

Abb. 37: Rechtliche Hürden für Drohneneinsätze - Folie aus Schulungsmodul (Döring, 2022)

Naturschutzrecht

<p>Generell ist laut § 21h (3) der neuen LuftVO der Betrieb von unbemannten Fluggeräten</p> <p>6. über Naturschutzgebieten (§ 23 Absatz 1 BNatschG), über Nationalparks (§ 24 BNatschG) und über Natura 2000-Gebieten (§ 7 Absatz 1 Nummer 6 und 7 BNatschG), ... zulässig, wenn die zuständige Naturschutzbehörde dem Betrieb ausdrücklich zugestimmt hat, der Betrieb von unbemannten Fluggeräten in diesen Gebieten nach landesrechtlichen Vorschriften abweichend geregelt ist, oder (Ausnahme von Nationalparks)</p> <p>a) nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung</p> <p>und b) in einer Höhe von mehr als 100 Metern</p> <p>und c) der Fernpilot den Schutzzweck des betroffenen Schutzgebietes kennt und angemessen berücksichtigt und</p> <p>und d) die Luftraumnutzung über dem Schutzgebiet zur Erfüllung des Zwecks unumgänglich ist</p>
--

Abb. 38: Folie zum Naturschutzrecht aus dem Schulungsmodul (Döring, 2021)

Befliegungen für den Naturschutz finden zwar meist in der rel. unproblematischen *OPEN*-Kategorie statt, aber zu Infrastruktur wie Hochspannungsleitungen, BAB-Trassen, Bahnlinien oder Bundeswasserstraßen müssen ohne den 'großen A2-Führerschein' mindestens 100 m eingehalten werden ([DROHNEN.DE, 2021](http://DROHNEN.DE)), was zu methodischen Problemen mit den angestrebten Datenaufnahmen führen kann.

- Der [§ 21 h](#) der geltenden LuftVO zu Geo-Zonen regelt Fragen zu Drohnenflügen in Schutzgebieten.

- Die Genehmigungen zu Flügen in Schutzgebieten, z.B. für die Wildtierrettung, bei denen tiefer als 100 m geflogen werden muss, bedürfen noch einiger Verbesserungen, um reibungslos zu funktionieren. Es gibt aber schon Schritte in diese Richtung.
 - In *Umfragen* wurden Aspekte des Naturschutzrechts im Kontext der Befragungen beleuchtet und im Teilbericht '*Faunamonitoring*' die Bemühungen zur Klärung einiger Themen aus dem *DroBio*-Projekt heraus beschrieben.
 - In Bayern wurde im November ein Umschreiben des Umweltministeriums an alle Naturschutzbehörden verschickt, in dem, mit wärmsten Empfehlungen zur Förderung der Wildtierrettung, rechtlich durchdekliniert wurde, welche Möglichkeiten für Genehmigungen zur Wildtierrettung bestehen.
 - In dem neuen Positionspapier der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten ([LAG VSW, 2023](#)) ist zu lesen
 - "Drohnen werden in Deutschland bereits erfolgreich für verschiedene Vogelschutzaufgaben eingesetzt. Dazu zählen u. a. die Suche nach Bodenbrüternestern, die Erfassung von Vogelkolonien sowie die direkte Horstkontrolle bei Greifvögeln und anderen Großvögeln. Drohnen sind dabei vielfach effizienter und bei sensibler Flugweise zudem störungsärmer als herkömmliche Erfassungsmethoden.
 - Bei Einhaltung bestimmter Verhaltensregeln (s. oben) kann die Störwirkung von naturschutzrelevanten Drohnenflügen auf ein Minimum reduziert werden.
 - Positive Aspekte der Drohrentechnik sollten vom Naturschutz unter Einhaltung naturschutzrechtlicher Regelungen aktiv genutzt bzw. befürwortet werden.
 - Bei der Genehmigung von Drohnenflügen in Schutzgebieten sollte strikt zwischen fachgerecht durchgeführten, naturschutzrelevanten Einsätzen und gewerblichen sowie Freizeitflügen unterschieden werden: Notwendige naturschutzrelevante Drohnenflüge in Schutzgebieten können unter Einhaltung gewisser Verhaltensregeln (s. oben) genehmigt werden."

4 Ergebnisse

4.1 Umfragen

Während des Projekts wurden zwei Umfragen durchgeführt, zum einen, um den Wissensstand und das Verwaltungsprozedere für Anträge zu Drohnenflügen bei den Naturschutzbehörden abzufragen und zum anderen, um die Genehmigungspraxis für die Wildtierrettung auszuloten.

4.1.1 Umfrage bei Naturschutzbehörden

Die erste Umfrage über das Online-Tool [SoSci-Survey](#) richtete sich an Naturschutzbehörden, um den Stand der Information, die Befürchtungen und Erwartungen zu Drohneneinsätzen im Naturschutz abzufragen (Abb. 39).

Der Link dazu wurde innerhalb einer 'Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen' ([Döring & Mitterbacher, 2022](#)) platziert, welche 2021 an die meisten deutschsprachigen Naturschutzverwaltungen via E-Mail versendet wurde.

Die Umfrage blieb etliche Monate Online, brachte aber leider dennoch nur 96 Rückmeldungen ein.



Abb. 39: Umfrage-Deckblatt - Naturschutzverwaltungen (Döring, 2021)

Umfrage-Ergebnisse

In Tab. 20 werden die Ergebnisse der Umfrage bei den Naturschutzbehörden dargestellt und die Fragen und Antworten mit einem qualitativen Kommentar (in Gelb) versehen.

Tab. 20: Fragebogen der Umfrage bei Naturschutzbehörden (Döring, 2021)

Frage		Ja	Nein
"Ich habe schon eine klare Vorstellung zum Thema 'Drohneneinsatz im Naturschutz'."		45	31
Frage	Antwortmöglichkeiten	ausgefüllt	
"Haben Sie bereits eigene Erfahrungen mit Drohnen im Rahmen der	<ul style="list-style-type: none"> nicht ausgefüllt Genehmigungen Luftaufnahmen 	57	9
		4	

Durchführung ihrer Aufgaben sammeln können?" "Wenn ja, welche?" (freie Nennungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Vogelschutz • Monitoring/Kontrolle/Dokumentation • Artenschutz • Kitzrettung 	<p>3</p> <p>17</p> <p>3</p> <p>3</p>
"Kennen Sie persönlich schon Kollegen aus dem Natur- oder Umweltschutz die Drohnen zur Unterstützung ihrer Aufgaben einsetzen?" "Wenn ja, welche?" (freie Nennungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Genehmigungen • Luftaufnahmen • Vogelschutz • Monitoring/Kontrolle/Dokumentation • Artenschutz • Kitzrettung • Forschung 	<p>0</p> <p>1</p> <p>5</p> <p>15</p> <p>4</p> <p>1</p> <p>2</p>
Monitoring/Kontrolle/Dokumentation sind die meistgenannten Felder für den Drohneneinsatz, sowohl aus eigenen Erfahrungen heraus, als auch durch die Erfahrungen von Kollegen. Das deckt sich auch mit eigenen Erfahrungen aus vielen Gesprächen heraus.		
"Für welchen der folgenden Bereiche werden Drohnen ihrer Kenntnis nach im Natur- und Umweltschutz hauptsächlich eingesetzt?"	<ul style="list-style-type: none"> • Flora • Fauna • Landschaft • Umweltkontrolle 	<p>26</p> <p>38</p> <p>49</p> <p>35</p>
Erstaunlicherweise scheinen bei den Teilnehmern mehr Personen Drohnen zum Tier-Monitoring/-Schutz einzusetzen, als für Umweltkontrollen oder erst recht für das Vegetations-Monitoring. Das Landschaftsmonitoring führt die Einsatzliste an, da dazu die oben genannten Punkte Monitoring/Kontrolle/Dokumentation meist mit der Drohne am einfachsten zu realisieren sind.		
"In welchen Fachbereichen halten Sie Drohneneinsätze für besonders geeignet?"	<ul style="list-style-type: none"> • Forstwirtschaft • Naturschutz • Umweltschutz • Landwirtschaft • Gewässer 	<p>37</p> <p>35</p> <p>30</p> <p>25</p> <p>22</p>
Hier fällt auf, dass Drohnen v.a. für die Forstwirtschaft und schon an zweiter Stelle für den Naturschutz als geeignete Werkzeuge angesehen werden. Der Umweltschutz fällt unter die Kategorie 'Kontrolle', weswegen der dritte Platz nicht verwundert. Die beiden Bereiche, in denen Drohnen schon länger und manchmal schon regelmäßig eingesetzt werden, sind zuletzt genannt worden. Dies ist wahrscheinlich als mangelnde Kenntnis dieser Bereiche seitens der Naturschutzfachleute zu deuten.		
"Welche Monitoring-Aufgaben fallen im Rahmen Ihrer Tätigkeit an?"	<ul style="list-style-type: none"> • Luftbildauswertungs, Kartierung • Vogelschutz • Monitoring/Kontrolle/Dokumentation • Artenschutz • Forschung 	<p>6</p> <p>12</p> <p>71</p> <p>16</p> <p>3</p>
Monitoring/Kontrolle/Dokumentation scheinen zu den Hauptaufgaben des amtlichen Naturschutzes zu gehören, gefolgt von Arten- und Vogelschutz. Fernerkundungsaufgaben wie Luftbildauswertung oder Kartierungen machen dagegen nur einen Bruchteil aus, was sich mit der Aussage aus der Einleitung deckt, dass Fernerkundung oft noch gar nicht und erst recht nicht flächendeckend im Naturschutz angekommen ist (BfN, 2009).		
"Bei welcher der vorher benannten Monitoring-Aufgaben können Sie sich eine Unterstützung durch Drohneneinsätze vorstellen?" (freie Nennung)	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring/Dokumentation • Kontrollen/Überwachung • Artenschutz • Vermessung 	<p>32</p> <p>16</p> <p>16</p> <p>2</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • keine • alle vorher genannten 	<p>2</p> <p>1</p>
<p>Da Monitoring/Kontrolle/Dokumentation zu den Hauptaufgaben der Naturschutzbehörden zählen, sind dies natürlich auch die Aufgaben, bei denen eine Drohnenunterstützung am ehesten ange-dacht wird.</p>		
<p>"Wie könnten Sie sich vorstellen, Droh-nendaten zur Unterstützung Ihrer Aufga-ben einzusetzen?"</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bildaufnahmen zur Dokumentation • Bildaufnahmen zur visuellen Analyse • Orthofotos als Kartenhintergrund • Orthofotos zur Auswertung in GIS • Videos zur visuellen Durchsicht • Video- oder Foto-Aufnahmen + KI 	<p>42</p> <p>41</p> <p>12</p> <p>23</p> <p>20</p> <p>12</p>
<p>"Fällt Ihnen eine weitere Methodik ein, die Sie beim Einsatz einer Drohne zur Unterstützung bei Ihren Aufgaben ein-setzen wollten?"</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmebildaufnahmen • Georeferenzierung von Flächen • LIDAR • Fehlfarbenbilder + IR-Kanal 	
<p>Die beiden Punkte über Drohrendaten reflektieren auch die Eindrücke, die in diesem Projekt bei vielen Gesprächen entstanden - nämlich, dass Drohnen im Wesentlichen zum Erzeugen von Einzel-fotos oder Videos zur Dokumentation und zum bloßen 'Anschauen' oder visuellen Bewerten heran-gezogen werden. Die Daten/Fotos werden laut Umfrage weniger zur Erzeugung von Orthofotos und im Anschluss für eine intensivere digitale Auswertung in einem GIS verwendet. Das wohl oft aufgrund mangelnder Möglichkeiten (Hard- und Software), um die Fotos prozessieren zu können.</p>		
<p>"Welche Vorteile sehen Sie beim Einsatz von Drohnen für Naturschutzaufga-ben?"</p>	<ul style="list-style-type: none"> • schnellere Aufgabenbewältigung • effektivere Aufgabenbewältigung • bessere Flächenabdeckung • objektiver/messbarer • weniger invasiv • Mehrwert an Daten • zusätzliche/alternative Perspektiven 	<p>27</p> <p>28</p> <p>32</p> <p>16</p> <p>27</p> <p>18</p> <p>29</p>
<p>"Sehen Sie darüber hinaus noch andere Vorteile beim Einsatz von Drohnen für Naturschutzaufgaben?"</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Veranschaulichungen in wissenschaftli-chen Publikationen • Erreichbarkeit von Flächen, die sonst nicht zu erreichen sind • Dokumentationen bei Renaturierungen • Komplexere topografische Zusammen-hänge erfassen • geringe Störung bei angepasster Flug-höhe und ausgewählten Flugzeiten • Öffentlichkeitsarbeit 	
<p>Etwa ein Drittel der Befragten sehen schon das Potenzial im Einsatz von Drohnen zur schnelleren und effektiveren Aufgabenbewältigung - v.a. mit höherer Flächenabdeckung und neuen 'Aufblicken' auf die Landschaft. Genauso viele halten Drohnen dabei auch für das weniger invasive oder stö-rende Werkzeug.</p> <p>Auch andere Vorteile, wie die Erreichbarkeit von ansonsten unzugänglichen Gebieten oder für die Erfassung komplexer topografischer Zusammenhänge, wurden frei genannt, allerdings nur von Ein-zelpersonen, die wahrscheinlich schon etwas mehr Erfahrung besitzen.</p>		

<p>"Welche hauptsächlichen Schwierigkeiten sehen Sie beim Einsatz von Drohnen für Naturschutzaufgaben?"</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mitnahmeeffekt für Nachahmer • Störung der Wildtiere • Lärm • Kosten • technische Anforderungen 	<p>33 29 12 19 21</p>
<p>"Welche anderen Schwierigkeiten sehen Sie beim Einsatz von Drohnen für Naturschutzaufgaben?"</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gefährdung/Bedrohung durch "Drohnenhasser" (mehrfach persönlich erlebt) • Vorbildcharakter, wenn Drohnen für behördlichem Auftrag eingesetzt werden, aber gleichzeitig umfangreiche Verbote für die Bevölkerung bestehen • Es ist schwierig nachzuvollziehen, welche technischen Alternativen bestehen ohne tiefer in die Thematik einzusteigen. • Die Bedienung ist keineswegs intuitiv und daher kaum kurzfristig verfügbar für Sonderaufgaben. • Die Fähigkeit zum Bedienen einer Drohne wird von vielen noch als zu schwer eingestuft. Vor allem in den höheren Positionen weigert man sich die Vorteile und Nutzen einer Drohne anzuerkennen. • Umgehen mit Drohnen, Anwendung der Drohne und v. a. Nachbereitung der Daten am PC erfordern Zeit und v. a. Personal. Beides steht kaum zur Verfügung, sodass man in der Naturschutzbehörde eigentlich auf externe Zuarbeit bezüglich der Drohnen-Daten angewiesen ist. • Hängenbleiben der Drohne im Baum • ungeschultes Personal • Konflikte mit Artenschutz und Schutzgebietsverordnungen • Beschaffung und Handhabung von Hard- und Software, Entwicklung technischer Vertrautheit/Routine, Zeitressourcen • rechtliche Regelungen • Ergebnisse/Effektivität sehr stark vom Erfahrungsschatz des Bearbeiters abhängig. Evtl. technisches Spezialwissen und viel Erfahrung nötig, um Aufgaben überhaupt per Drohne erledigen zu können. • nicht Einhaltung von wichtigen / zu beachtenden Faktoren beim Flug um Störungen so gering wie möglich zu halten • mangelnde Akzeptanz bei Bürgern/ Naturschützern 	

Von etwa einem Drittel der Befragten werden Mitnahmeeffekte für Nachahmer und die Störung der Wildtiere als Hauptschwierigkeiten für eine Einsatz von Drohnen im Naturschutz gesehen. Beide Punkte können leicht minimiert werden - etwa durch gute Aufklärung oder Schilder, die

Drohnenflüge in Schutzgebieten als verboten ausweisen oder die Schulung von Drohnenpiloten zur Sensibilisierung für Naturschutzbelange. Solch eine Schulung wurde im DroBio-Projekt erarbeitet und bereits ein paar Mal in Form von Webinaren seitens des DroBio-Projektkoordinators durchgeführt.

Das Betreten von Schutzzonen durch kann auch Nachahmer animieren bzw. hier wird davon ausgegangen, dass das Betretungsverbot bekannt ist - das gleich gilt aber für den Drohnenflug, der in diesen Gebieten auch verboten ist (s. [Einleitung](#)).

Terrestrisches Monitoring oder Boden-Kontrollen von Schutzgebieten stellen meist eine 100 %-ige Störung dar, die jedoch standardmäßig für den höheren Zweck in Kauf genommen wird.

Lärm spielt nach unserer Kenntnis so gut wie keine Rolle bei etwaige Störeffekten - v.a. da in den meisten Gebieten ohnehin schon genügend anthropogener Hintergrundlärm vorhanden ist, vor dem die kleinen Drohnen auf 40 bis 50 m Höhe kaum mehr zu hören sind. Es gibt viele Wildtiere in den Vegetationsgürteln entlang von Autobahnen mit hohem Lärmpegel, was diese aber nicht stört - v.a. da sie dort nicht bejagt werden können.

Kosten (Personal, Anschaffung, etc.) und technische Hürden beschäftigen etwa 20 % der Befragten, was sich auch in den freien Nennungen widerspiegelt. Beides sind Punkte, die bei überlegter Abwägung auch rel. einfach aus dem Weg geräumt werden können, wenn die Vorteile gesehen werden.

Die frei genannten Punkte 'Recht' und 'Akzeptanz' werden mit der Zeit wohl immer einfacher zu lösen sein, je mehr sich die Technik etabliert - wie meist bei neuen Technologien.

"Überwiegen Ihrer Meinung nach bei fachgerechter professioneller Anwendung die Vorteile oder die Nachteile beim Einsatz von Drohnen im Naturschutz? "	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, die Vorteile überwiegen. • Nein, die Nachteile überwiegen. • 50/50 • Dazu habe ich keine Meinung. 	<p>35</p> <p>2</p> <p>10</p> <p>1</p>
Über ein Drittel der Befragten sind aber schlussendlich der Meinung, dass die Vorteil überwiegen und nur ein gutes Prozent glaubt, dass die Nachteile mehr Gewicht haben.		
"Haben Sie öfter mit Genehmigungsanfragen für Drohnenflüge in Schutzgebieten zu tun?"	<ul style="list-style-type: none"> • Ja • Nein 	<p>15</p> <p>12</p>
"An wen wenden sich die Antragsteller direkt für Anträge auf Befliegungsgenehmigungen?"	<ul style="list-style-type: none"> • Naturschutzreferat höhere/obere Behörde (HNB) • Naturschutzreferat - untere Naturschutzbehörde (UNB) • Rechtsreferat der HNB • Rechtsreferat - UNB • beide Referate der HNB • beide Referate - UNB 	<p>6</p> <p>14</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>5</p> <p>5</p>
"Durch wen werden die Befliegungsanfragen bearbeitet?"	<ul style="list-style-type: none"> • durch das Naturschutzreferat • durch das Naturschutzreferat + das Rechtsreferat • vorwiegend durch das Rechtsreferat 	<p>12</p> <p>10</p> <p>0</p>
"Sind in Ihrer Behörde die Zuständigkeiten und Ansprechpartner für Drohnenflug-Genehmigungen klar definiert und für den Antragsteller ersichtlich?"	<ul style="list-style-type: none"> • Ja • Nein • noch nicht • in Planung • nicht beantwortet 	<p>8</p> <p>9</p> <p>6</p> <p>2</p> <p>73</p>

Durch die unterschiedliche Struktur der Naturschutzbehörden in den einzelnen Bundesländern sind die Aussagen vorsichtig zu interpretieren, da es generell noch kein einheitliches Prozedere gibt. Doch

scheint es mittlerweile in Bayern und BaWü vereinbart, dass hauptsächlich die UNBn bezüglich der Erstellung von Genehmigungen adressiert werden und diese dann entweder durch das Naturschutzreferat alleine oder in Verbindung mit dem Rechtsreferat (ggf. gar nicht getrennt) erteilt werden. Bei Naturschutzgebieten muss, zumindest in Bayern und BaWü, allerdings im Hintergrund die höhere Naturschutzbehörde mitbeteiligt werden, da diese dort traditionell die Hoheit über die NSGe hat.

Gleich oft, stehen die direkten Ansprechpartner aber noch nicht fest und es muss erst noch eine Festlegung getroffen werden. Allerdings haben die allermeisten TeilnehmerInnen die Frage nicht beantwortet, was eher den Schluss nahelegt, dass das Thema Genehmigungen von Drohnenflügen für sie noch keine große Rolle spielt und bis jetzt keine Routineaufgabe ist.

"Wie lange dauert in der Regel die Bearbeitung einer Anfrage/Genehmigung/Befreiung?"	• 2 - 3 Tage	5
	• 1 Woche	4
	• 2 Wochen	6
	• 3 Wochen	3
	• länger	4
	• nicht beantwortet	76

Erfreulicherweise liegen die Bearbeitungszeiten von Genehmigungen meist bei < 3 Wochen, was durch genügend Vorlauf und flexible Genehmigungen noch weiter effektiviert werden kann.

4.1.2 Umfrage bei Drohnen-Kitzrettungsteams

Im Zuge der Bearbeitung des Themas 'Genehmigungslage bei Drohnenflügen' wurde speziell zur Rehkitzrettung vor der Mahd, in Vorbereitung des zugehörigen Workshops, eine weitere Umfrage an Drohnen-Kitzrettungsteams aus ganz Deutschland geschickt (Abb. 40).

Dazu wurden die Kontakte zu drei bundesweiten Kitzrettungsorganisationen ([Kitzrettung-Hilfe](#), [BVCP](#), [Rettungsnetzwerk.eu](#)) und dem Landesjagdverband (LJV) Baden-Württemberg (alle im Netzwerk 'Drohnen im Biomonitoring') genutzt und eine weitere [SoSciSurvey](#)-Online-Umfrage zur Genehmigungssituation für Rehkitzrettungsflüge durchgeführt.

Leider kamen auch hier nur relativ wenige Antworten (42) zurück, was unterschiedliche Rückschlüsse zulässt:

- entweder wissen viele noch recht wenig über die (neue) Rechtslage Bescheid oder
- wissen darüber hinaus nicht an wen sie sich wenden müssen oder
- viele kümmert die Rechtslage weniger, als ihr Engagement für das Leben der Wildtiere - oder
- viele Kitzretter hatten keine Lust zu antworten oder ...?



Abb. 40: Umfrage-Deckblatt -Rehkitzrettung (Döring, 2022)

Umfrage-Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden wieder in einer Tabelle (Tab. 21) zusammengefasst und mit einem qualitativen Kommentar (in Gelb) versehen.

Tab. 21: Fragebogen der Umfrage bei Wildtierrettern (Döring, 2021)

Frage	Antwortmöglichkeiten	ausgefüllt
"Welche Behörde ist bei Ihnen für Genehmigungen von Flügen in Schutzgebieten (v.a. Naturschutzgebiete, FFH- und Vogelschutzgebiete) zuständig?"	<ul style="list-style-type: none"> • Untere Naturschutzbehörde? • Höhere Naturschutzbehörde? • Landesluftfahrtbehörde? 	19 5 6
<p>Fast die Hälfte der Antwortenden musste sich für die Genehmigungen zur Befliegung von Schutzgebieten an die zuständigen UNBn wenden. HNBn und Landesluftfahrtbehörden sind aber ebenfalls in einigen Bundesländern zuständig.</p>		
"Musste für die Genehmigung eine Gebühr gezahlt werden?"	<ul style="list-style-type: none"> • Nein • > 20 € • > 50 € • > 100 € • mehr 	16 1 3 3 2
<p>Erfreulicherweise wurde von der Mehrheit der Antwortenden - 38 % - keine Gebühr verlangt, was für eine so aufopferungsvolle ehrenamtliche Tätigkeit eigentlich auch selbstverständlich sein sollte. In den vergangenen Jahren machte sich fast ausschließlich der ehrenamtliche Tierschutz, eigene Kitzrettungsvereine und die Jägerschaft für die Rettung der Rehkitze und anderer Wildtiere vor der Mahd stark.</p> <p>Dass von einigen Ehrenamtlichen sogar (erhebliche) Gebühren verlangt wurden, ist überhaupt nicht nachvollziehbar, da laut Gebühren-Gesetz - in BW z.B. § 11 (LANDESRECHT BW, 2005) - die Gebühren für solche Zwecke aus Gründen der Billigkeit oder aus öffentlichen Interesse mit gutem Willen leicht und legal ausgesetzt werden können.</p> <p>Zudem tragen die Rehkitzretter ALLE anderen Ausgaben meist selbst und werden oft von den Landwirten in keinsten Weise für ihre Mühe entschädigt - nicht einmal für die Fahrtkosten. Doch liegt die eigentliche Verantwortung bei den Landwirten, die im Kontext der 'guten landwirtschaftlichen Praxis' in Verbindung mit dem Tierschutzgesetz eigentlich zum Absuchen der Wiesen vor der Mahd verpflichtet sind.</p>		
"Gabe es ein Formular zur Antragstellung mit Angabe aller benötigten Informationen?"	<ul style="list-style-type: none"> • Ja • Nein 	8 17
"Welche Angaben wurden mit oder ohne Formular abgefragt?"	<ul style="list-style-type: none"> • Gebietsgrenzen? • Flugzeitpunkt? • Angaben zur Betriebskategorie • Drohnenführerschein vorhanden? • Angaben zu PilotInnen • Versicherungsnachweis • Drohnenmodell • Betreiber-ID • Besondere Kenntnisse? • andere 	15 12 8 15 13 13 11 7 8 2

Andere Angaben (freie Nennungen)	<ul style="list-style-type: none"> • Erfahrung mit der geschützten Tierart, Flugdauer, Flughöhe • Flurstücke • Anzahl gefundener Kitz • Flugdatum • Name des Naturschutz-/Vogelschutzgebiets 	
<p>In 17 Antworten zeigte sich, dass kein spezifisches Formular zur Antragstellung vorhanden war. Bei acht Personen wurde ein Formular verwendet.</p> <p>Die meisten abgefragten Daten beinhalteten die wichtigsten relevanten Punkte (vgl. das vom Projektkoordinator zusammengestellte Genehmigungs-Formular, das nach Übereinstimmung von RPF, RPK, UNB TÜ und LJV im 'Genehmigungs-Workshop' als nützliches Dokument angesehen wurde).</p>		
"Wie lange hat der Genehmigungsvorgang gedauert?"	<ul style="list-style-type: none"> • wenige Tage • > 1 Woche • > 2 Wochen • > 3 Wochen • länger 	<p>5 2 6 3 3</p>
"Handelte es sich bei der erteilten Ausnahmegenehmigung um eine Einzelfluggenehmigung oder um eine Genehmigung für einen längeren Zeitraum? Wenn ja, wie lange?"	<ul style="list-style-type: none"> • < 1 Monat • während Setzzeit • < 6 Monate • < 1 Jahr • > 1 Jahr 	<p>4 4 6 5</p>
"Wurde Ihre Befliegung genehmigt?"	<ul style="list-style-type: none"> • Ja • Nein 	<p>16 4</p>
"Wenn nein, wurde diese Entscheidung begründet?"	<ul style="list-style-type: none"> • Bedenken, dass die Drohne Bodenbrüter stören könnten • Muss geprüft werden. • Der Vogelschutz ging in vielen Bereich vor. 	
"Wie könnten aus Ihrer Sicht das Genehmigungsverfahren effektiver gestaltet werden?"	<ul style="list-style-type: none"> • gratis wäre klasse ... • Kitzrettung ist Ehrenamt, daher Gebührenfreiheit! • Pauschale Genehmigung in der Setzzeit für angemeldete Teams. • Für Kitzrettung eine generelle Ausnahmegenehmigung. • Formulare anbieten, Zuständigkeiten transparenter machen. • Einfache Antragsformulare, welche durch Standardszenarien automatisch genehmigt werden, um unverzüglich Flüge zu beginnen • Online Formular • Fliegen für den Tierschutz (Kitzrettung) als Genehmigungspflicht! 	
<p>Wenn die Vorlaufzeit bekannt ist, spielt die Dauer der Genehmigungsbearbeitung eigentlich keine Rolle. In dem bereits genannten Workshop kam man überein, dass es für alle machbar wäre, jeweils Anfang des Jahres (oder Ende des Vorjahres) ein ausgefülltes Genehmigungs-Formular an die UNBn einzureichen. Diese haben dann genügend Zeit, um in Abstimmung mit den HNBN die</p>		

Befreiungen/Genehmigungen vor der Kitzrettungssaison (etwa Mai bis Juli) abzuarbeiten. Wenn diese den Wildtierrettern dann im April vorliegen, reicht das für die neue Kitzrettungssaison gut aus. Die Länge des Genehmigungszeitraums ist ziemlich gleichmäßig auf alle abgefragten Zeiträume verteilt. Doch sollten die Genehmigungen möglichst langfristig gewährt werden, um für alle Beteiligten den Aufwand so gering wie möglich zu halten - das wird in einem Umschreiben zur 'Wildtierrettung mit Drohnen' vom bayerischen UM an seine nachgeordneten Behörden auch so empfohlen. Der Kollege Mitterbacher von der bayerischen Vogelschutzwarte hat mit dem DroBio-Projekt-kordinator das UM diesbezüglich beraten - basierend auf der gemeinsam herausgegeben Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen ([DÖRING & MITTERBACHER, 2022](#)).

Die Einhaltung des 'schonenden Drohnefliegens' in den jeweiligen Schutzgebieten - beschränkt auf notwendige Einsätze bei 'Gefahr in Verzug' vor der Mahd - soll dabei über Schulungen gewährleistet werden - s. oben. Der Projektkoordinator hat dazu eine Schulung konzipiert und bereits drei davon in Form von Webinaren abgehalten. Die Teilnahme wurde den zuhörenden Wildtierrettern bescheinigt, was die Akzeptanz bei den Behörden erhöhen helfen soll. Ein neues darauf aufbauendes Projekt zur Einführung eines standardisierten und zertifizierten Sachkundenachweises ist bei der Wildforschungsstelle des LAZBW auf dem Weg.

4.2 Störungsökologie

Hauptoutput zur Störungsökologie ist die vom Projektkoordinator konzipierte und unter Mitwirkung des bayerischen Kollegen verfasste Handreichung zur Störungsökologie von Drohnenflügen - 'Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring' ([Döring & Mitterbacher, 2022](#)). Sie wurde Mitte 2021 verfasst und anschließend vom Landesamt für Umwelt (LfU) und dem Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) geprüft, bevor sie dann Ende 2021 zur allgemeinen Veröffentlichung freigegeben werden konnte. Die Handreichung wurde beim LfU Bayern veröffentlicht, damit der Kollege offiziell beteiligt werden konnte.

Sie wurde zuerst über das LfU Bayern an alle deutschen Vogelschutzwarten verteilt, da Bayern zu dieser Zeit in der Länderarbeitsgemeinschaft (LAG) der Vogelschutzwarten den Vorsitz führte. Das neu erschienene Positionspapier der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten basiert auf dieser Veröffentlichung ([LAG VSW, 2023](#)).

Parallel wurde sie durch den DroBio-Projektkoordinator an die meisten deutschen Landesnaturschutzämter, HNBn und UNBn verteilt. Seit Anfang 2022 kann sie auf dieser Seite - <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm> - heruntergeladen werden.

Ansonsten hält der Projektkoordinator bereits seit einiger Zeit ehrenamtlich Webinare zum Thema 'Drohnen im Naturschutz' ab, die zur Sensibilisierung der Piloten für Naturschutzbelange und Störungspotentiale beitragen sollen. Diese Webinare konnten als Grundlagen für die Schulungsunterlagen in das Forschungsprojekt übernommen werden.

4.2.1 Eigene Erfahrungen

Während der etlichen hundert Flüge seitens des DroBio-Projektkoordinators in den beiden von ihm bearbeiteten Projekten konnten keine erheblichen Störungen oder irgendwelche negativen Interaktionen mit Tieren (Attacken o.ä.) während der Flüge festgestellt werden. Das deckt sich auch mit den Berichten anderer Forschungen wie bei Lyons et al., die in annähernd 100 Flugstunden nur eine Attacke vermeldeten und ansonsten keine wirkliche Gefahr von Drohnenflügen für brütende Vögel konstatieren ([LYONS ET AL., 2018](#)). Auch in einer

Veröffentlichung des WWF ([DUFFY ET AL., 2020](#)) konnte in hunderten von Flügen nur ein gelegentliches Interesse von Raubvögeln an der Drohne festgestellt werden. Sie erlebten aber nie einen direkten Angriff auf eine ihrer Drohnen - weder bei ihren Multikoptern noch bei ihren Starrflüglern.

Hier ein paar Notizen von unterschiedlichen Drohnenflügen aus der Zeit vor dem DroBio-Projektbeginn (Tab. 22)

Tab. 22: Störungsökologisch Beobachtungen vor Projektbeginn (Döring, 2021)

Tierart	Ort	Minimale Flughöhe	Reaktion
Wasserbüffel	Sumpfsuhle auf Weide	3 m	max. neugieriges Aufschauen
Schafherde	abgesteckter Nachtpferch auf Wiese	30 m	ab 30 m Zusammendrängen und Ausweichen in entgegengesetzte Ecke

und während des Projekts (Tab. 20).

Tab. 23: Störungsökologisch Beobachtungen während des Projekts (Döring, 2021)

Tierart	Ort	Minimale Flughöhe	Reaktion
Schafe	im Weinberg	Rebhöhe	keine Reaktionen
Graureiher	bei Flussbefliegungen	unterschiedlich	rel. hohe Fluchtdistanz
Rinder	Pfrunger Ried	unterschiedlich	unterschiedlich - von Ignoranz der wilderen Herde bis Ausweichen auf 30 m der zahmeren Herde

Weitere Erfahrungen und Veröffentlichungen sind in der oben erwähnten Handreichung zur Störungsökologie zusammengestellt

4.2.2 Regeln zur Störungsökologie

In der bisher recherchierten Literatur wird die Störwirkung von Drohneneinsätzen bei professionellem und verantwortungsvollem Einsatz meist als gering und gegenüber terrestrischen Erhebungen oft sogar als weniger invasiv eingeschätzt - s. ([DÖRING & MITTERBACHER, 2022](#)) und ([LAG VSW, 2023](#)). Der Teilbericht '*Faunamonitoring*' beschäftigt sich ebenfalls mit diesem Thema.

Es konnte bisher noch keine einzige Untersuchung gefunden werden, die irgendwelche nachhaltigen und Art-bedrohlichen Störungen durch Drohneneinsätze belegen würden.

Aus ([Döring & Mitterbacher, 2022](#)) sind leicht abgewandelt die in folgender Tabelle (Tab. 24) zusammengestellten Regeln für möglichst störungsarme Flüge (v.a. in Schutzgebieten).

Tab. 24: Wichtige Regeln für störungsarme Flüge (neu überarbeitet DÖRING, 2023)

<p>Brut- und v.a. Mauserzeiten beachten!</p>
<p>Die Drohne wird in Schutzgebieten ausschließlich zum Zweck des naturschutzfachlichen Monitorings oder der Rettung von Rehkitzten, Niederwild und Bodenbrütern eingesetzt. Nester von Bodenbrütern NICHT berühren, sondern nur durch Ausstecken mit Signalstangen markieren!</p>
<p>Drohnenflüge sind in Schutzgebieten und zur Artendetektion räumlich und zeitlich auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken.</p> <ul style="list-style-type: none"> → Möglichst die zu befliegenden Flächen durch Abfrage nach Artenvorkommen oder Sichtungen bei Jägern oder anderen kundigen Personen eingrenzen. Das dient der Vermeidung unnötiger Flüge und reduziert möglichen Frust durch fehlende Detektionserfolge. → Die Drohne wird möglichst nur auf den zu überprüfenden Flächen eingesetzt. → Bereiche, die zur Aufzuchtzeit ohnehin vom Mähen o. Ä. ausgenommen sind, wie Wiesen im Vertragsnaturschutz-Programm VNP (mit Maßnahmen wie spätere Mahd usw.) oder Streuwiesen, sollen nicht unnötig befliegen werden.
<p>Es sollen möglichst kleine, leise und nur elektrisch betriebene Drohnen verwendet werden.</p>
<p>Eine ruhige Flugweise mit Flugbahnen auf möglichst gleichbleibender Höhe ist am wenigsten störend. → Dazu empfehlen sich vorprogrammierte Rasterflüge.</p>
<p>Plötzliche Richtungswechsel und rasante Flugmanöver im Nahbereich von Tieren sind zu vermeiden. → Ein direktes Anfliegen von Tieren ist unbedingt zu unterlassen!</p>
<p>Die Drohnenflüge sollten in der jeweils maximal möglichen Flughöhe durchgeführt werden, in der noch sicher und effektiv die Zielarten detektiert werden können.</p> <ul style="list-style-type: none"> → Aus störungsökologischer und technischer Sicht sind bisher ≥ 40 m Flughöhe zu empfehlen. → Muss aus methodischen Gründen (z.B. Detektion von Pflanzen auf Artenniveau) wesentlich tiefer geflogen werden, sollten diese Flüge <u>möglichst</u> nicht in kritischen Zeiten wie Mauser- oder Brutzeiten stattfinden und/oder gut mit den Gebietsbetreuern abgesprochen werden.
<p>Bei sichtbaren Reaktionen von Tieren (Nervosität, Flucht, Angriff etc.) muss sofort Abstand gesucht und der Drohnenflug ggf. abgebrochen werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> → Bei Angriffen (z.B. durch Greifvögel) wird die Drohne zügig nach oben und weg vom Vogel gesteuert und der Rückzug angetreten; in diesem Fall wird der Drohnenflug in diesem Gebiet ggf. abgebrochen.

→ Greifvögel jagen oft im Sturzflug, sind also sehr schnell) nach unten, können aber nach oben nicht schnell folgen.

Start und Landung der Drohne sollen möglichst nur in Bereichen erfolgen, die bereits regelmäßig von Menschen frequentiert werden (Straßen, Wege, Parkplätze etc.).

Es wird, wenn möglich, ein großer Abstand zu Tieren bzw. naturnahen Lebensräumen eingehalten.

→ Bei der Wildtierrettung vor der Mahd erübrigt sich dies natürlich, da kurze Zeit später eine wesentlich größere und v.a. letale Störung durch die Mahd erfolgt.

→ Flüge zum Artenschutz und Naturschutzmonitoring sind natürlich ebenfalls davon ausgenommen.

Flüge zum Landschaftsmonitoring o. Ä., die auch werktags getätigt werden können, sollen in Gebieten mit hoher Besucherfrequenz möglichst nicht an Wochenenden, Feiertagen oder in der Ferienzeit durchgeführt werden, um das Risiko der unerlaubten Nachahmung zu reduzieren.

→ Zur Wildtierrettung ist aber nur der Mähzeitpunkt entscheidend - wenn dieser wetterbedingt auf ein Wochenende fällt, muss natürlich auch dann geflogen werden.

Interessierte Passanten sollen aktiv über den besonderen Sinn und Zweck des Drohnenfluges zur Wildtierrettung oder -Monitoring informiert und darauf hingewiesen werden, dass Drohnenflüge in Schutzgebieten zu Freizeit Zwecken absolut verboten sind bzw. zu anderen Zwecken unbedingt einer Genehmigung bedürfen.

Eine Zusammenarbeit des Naturschutzes mit Wildtierrettern, die Drohnen einsetzen, ist wärmstens zu empfehlen.

4.3 Wirtschaftlichkeit

Das Aufzeigen der Kosten- und Zeiteffizienz von Drohneneinsätzen gegenüber den bisherigen Methoden ist schwierig, da die zusätzlichen Vorteile und langfristigen Kosten schwer mit den traditionellen Zeit- und Materialaufwendungen verglichen werden können.

Man kann nach (JEZIORSKA, 2019) zwar recht einfach die Herstellungskosten hochauflösender Orthofotos/Luftbilder von Drohnen berechnen und mit denen anderer Trägersystem, wie den Luftbildern bemannter amtlicher Vermessungsbefliegungen oder Satellitenbildern, vergleichen. Doch muss man dabei ebenfalls die wesentlich niedrigere Auflösung der Nicht-Drohnenbilder in die Waagschale werfen, was dann wiederum keinen 1:1-Vergleich zulässt.

In Abb. 41 sieht man den Vergleich von Jeziorska von unterschiedlichen Erfassungsmethoden und -systemen hinsichtlich ihrer Kosten, Schnelligkeit, Flächenabdeckung, räumlichen Auflösung und ihrer Genauigkeit (JEZIORSKA, 2019).

Drohnen haben nach Jeziorsaka generell etliche Vorteile für das Monitoring, die sich nicht einfach mit den herkömmlichen Methoden vergleichen lassen. Neue Einblicke in Ökosysteme von oben, die Spontaneität des Einsatzes für immer wiederkehrende Erfassungen und die Möglichkeit des Einsatzes von unterschiedlichen Sensoren, die mehr Optionen und Spektren zur Untersuchung unterschiedlicher Fragestellungen bieten, sind die meist genannten. In ihrer Arbeit hebt sie besonders die niedrigen Investitionskosten, die niedrigen Mobilisierungskosten und den niedrigeren Zeitaufwand für die Datenaufnahme mit Drohnen hervor (Abb. 41 rot umrandet) (Jeziorska, 2019).

In vielen Veröffentlichungen werden die Vorteile von Drohneneinsätzen zu unterschiedlichen Fragestellungen hinsichtlich ihrer rel. niedrigen Kosten, der benötigten Zeit im Vergleich zu anderen Methoden und ihrer insgesamt hohen Effizienz beschrieben.

Im Projekt *DroBio* wurde dazu eine einfache Metaresearch durchgeführt, wozu der Projektkoordinator seine umfangreiche 'Drohnen-Bibliothek' im Hinblick auf Kosten und Ökonomie von Drohneneinsätzen durchsucht hat (Tab. 25).

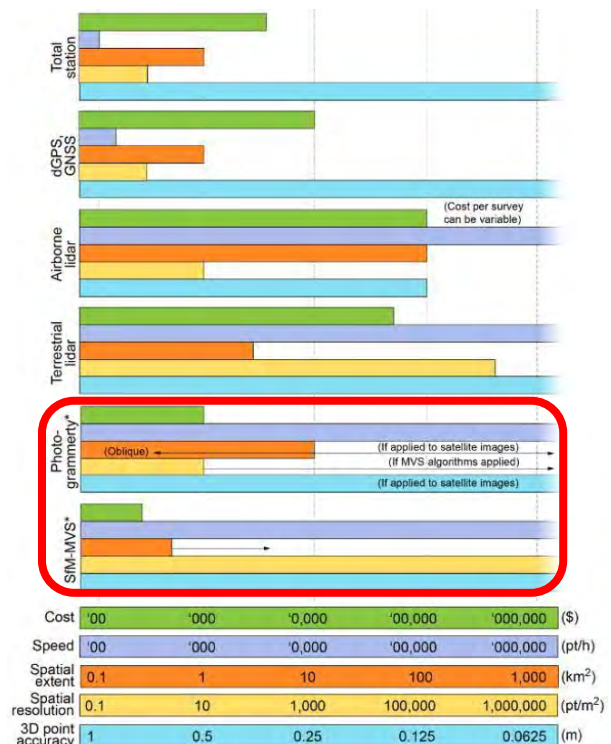


Abb. 41: Vergleich digitaler Untersuchungsmethoden (JEZIORSKA, 2019)

Tab. 25: Veröffentlichungen mit Referenzen zur Effizienz von Drohneneinsätzen (Döring, 2022)

Quelle	Vorteil
Cost-effective accurate estimates of adult chum salmon, <i>Oncorhynchus keta</i> , abundance in a Japanese river using a radio-controlled helicopter (KUDO ET AL., 2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Befliegung mit einem RC-Heli günstiger
Using drones to reduce human disturbance while monitoring breeding status of an endangered raptor (GALLEGO & SARASOLA, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Dauermonitoring einer Brutkolonie effektiver • Zeitsparender gegenüber herkömmlicher Bekletterung der Horstbäume • weniger störend
UAV-based Tree Height Estimation in Dense Tropical Rainforest Areas in Ecuador and Brazil (REDER ET AL., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchungen günstig
Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2 (WHITEHEAD ET AL., 2014)	<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstig • flexibel • hochauflösende Daten
Acquisition of Forest Attributes for Decision Support at the Forest Enterprise Level Using Remote-Sensing Techniques (SUROVY & KUŽELKA, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstig • flexibel • hochauflösende Daten
Multi-Temporal Vineyard Monitoring through UAV-Based RGB Imagery (PADUA ET AL., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • effektiv • potentiell operational
Water Hyacinth (<i>Eichhornia crassipes</i>) Detection Using Coarse and High Resolution Multispectral Data (PADUA ET AL., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • effektiv
Evaluation of UAV imagery for mapping <i>Silybum marianum</i> weed patches (TAMOURIDOU ET AL., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstig für frequente Datenaufnahmen
Comparison of Manual Mapping and Automated Object-Based Image Analysis of Non-Submerged Aquatic Vegetation from Very-High-Resolution UAS Images (HUSSON ET AL., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • flächeneffektiv
Measurement of Within-Season Tree Height Growth in a Mixed Forest Stand Using UAV Imagery (DEMPEWOLF ET AL., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • ökonomisch für frequente Datenaufnahmen • nützlich
Drone-Monitoring: Improving the Detectability of Threatened Marine Megafauna (BARRETO ET AL., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • zeitsparend • ressourcensparend • anpassungsfähig an Methodik
Development perspectives for the application of autonomous, unmanned aerial systems (UASs) in wildlife conservation (FUST & LOOS, 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • kosteneffektiv • hochauflösend • laufende Kosten niedrig gegenüber bemannter Luftfahrt
Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests (GETZIN ET AL., 2014)	<ul style="list-style-type: none"> • niedrige Befliegungskosten
UAV-derived habitat predictors contribute strongly to understanding avian species-habitat ... (FRITZ ET AL., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • qualitativ hochwertige Habitataufnahmen • effizient • ökonomisch

Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: an effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species ([WEISSENSTEINER ET AL., 2015](#))

- enorm zeitsparend
- störungsärmer

Die Liste könnte noch lange weitergeführt werden.

4.3.1 Zeitvergleich zwischen Boden- und Luftaufnahmen







Schnell wurde auch während des Projekts klar, dass ein direkter Zeitvergleich terrestrischer Erfassungen mit denen aus der Luft nicht möglich ist, da


- terrestrisch erhobene Parameter meist aus der Luft nicht 1:1 gleich zu erheben sind - z.B. auf Artenniveau (s. Teilbericht '*Hirschacker*' - da haben zwei Personen an 1 Tag eine komplette Arterfassung gemacht, was mit Drohnen so gar nicht möglich ist.
- mit Drohnen dafür aber ganz neue und ergänzende Daten erhoben werden können, die wiederum terrestrisch so nicht zu erfassen sind.
- eine objektive und messbare Erfassung von Strukturen aus der Luft schnell und einfach durchzuführen ist, was terrestrisch meist nur sehr aufwändig oder gar nicht erfolgen kann.
- Vollaufnahmen am Boden aufwändig sind und oft gar nicht erst vollzogen werden, aber aus der Luft größere Gebiete schnell und einfach abgeflogen werden können. Wenn im Zuge der Befliegung aus einer Hand auch noch direkt das nötige [Ground Truthing](#) durchgeführt werden kann, steigert das die Effizienz noch einmal gehörig.

4.3.2 Vergleich von Luftaufnahme-Systemen

Die Wirtschaftlichkeit zwischen Drohnenaufnahmen und bemannten Befliegungen wurde ausführlich mit einem Fachmann der LGL BW diskutiert und wird hier tabellarisch verglichen (Tab. 26). ✈ symbolisiert dabei entweder ein bemanntes Flugzeug oder eine Starrflügler-Drohne.

Tab. 26: Entscheidungshilfe zur Trägerplattform (Döring, 202, freie Icons von [uxwing](#))

Skalierung/Größe	das kleinste zu untersuchenden Objekt bedingt die Auflösung (Fläche/Pixel) und damit mögliche Flughöhe und Flächenleistung	
Flächengröße	je größer →	
Auflösung	je höher →	
Flächen-Geometrie	je verzwickter - z.B. enge Täler →	
	lange Strecken (z.B. Flüsse) & gleichförmig über große Flächen → oft günstiger (10 bis 12 €/km ² bei 22.000 km ² Auftragsvolumen)	
Zeithorizont	je schneller →	

Flug-Bedingungen	je gleichförmigere Bedingungen nötig sind (Zeit, Belichtung, Wasserstand, andere zeitkritische Faktoren) →	
Ausschreibung oder eigene Befliegung	→ das ist hier die Frage!	

4.3.3 Fazit Wirtschaftlichkeit

- ▶ Drohnen können für viele Einsatzbereiche ein effektives, kostengünstiges, nützliches und effizientes Werkzeug sein, das relativ leicht eingesetzt werden kann.
- ▶ Gerade für Behörden, Gebietsbetreuer, Naturschutzvereine oder Planungsbüros können Drohnen eine Bereicherung sein, ihr Portfolio erweitern, die Effizienz von Aufnahmen steigern und dadurch insgesamt mehr Monitoring ermöglichen - gerade, wenn die Befliegungen von den zuständigen Fachleuten selbst durchgeführt werden.
- ▶ Reine Drohnen-Services mit Schwerpunkt Biomonitoring sind aber momentan (noch) nicht als Geschäftsidee zu empfehlen, da der Markt erst noch zu entwickeln ist und viele mögliche Auftraggeber das Potenzial von Drohneneinsätzen noch nicht wirklich sehen können.
- ▶ Die rechtlichen Bedingungen sind für Neueinsteiger und kleine Firmen oft beschwerlich und schrecken viele ab. Das wird sich aber in den nächsten Jahren ändern, wenn sich alles besser eingespielt hat. Dann werden die Bedingungen klarer/einfacher und die meisten Hürden überwindbar sein.
- ▶ Zur Einordnung der unterschiedlichen Drohnensysteme bezüglich der Wirtschaftlichkeit ihres Einsatzes soll Tab. 27 beitragen.

Tab. 27: Vergleich von Fernerkundungsplattformen - verändert nach [\(Eltner et al., 2022, S. 87 ff.\)](#), [\(BRONNER, 2020\)](#) und [\(LIU ET AL., 2016\)](#)

	Kopter/Starrflügler	Flugzeug	Satelliten high/low
Auflösung	+++ Subzentimeter	++ Zentimeter	Dezimeter /Meter
Manövrierbarkeit	+++	++	keine Relevanz
Flugzeit	+/(+)	++	+++
Kosten	++	++	++/+++
Wetterabhängigkeit	+	++	+++
Wolkenabdeckung	+++	++	+
Reichweite	+ / ++	++	+++
Flächenleistung/Tag	ca. 300 ha/3.000 ha	ca. 30.000 ha	10.000 km ² /20 % der Erdoberfläche
Zuladung	+ / +	++	keine Relevanz
Recht/Genehmigungen	+	++	keine Relevanz

Sicherheitsanforderungen	+ noch nicht etabliert	++ lang etabliert	keine Relevanz
Unterhaltungskosten	+	++	+++
Wiederholrate	nach Bedarf	nach Bedarf	1/5 Tage

4.3.4 BioMonitoring mit Drohnen lohnt sich

BioMonitoring mit Drohnen lohnt sich v.a. dann, wenn

- es günstiger ist als andere Methoden (Satelliten, Flugzeugbefliegungen), was der Fall ist, wenn
 - hochauflösende und/oder aktuelle Daten benötigt werden.
 - ständig wiederkehrende Befliegungen überschaubarer Flächen durchgeführt werden sollen - je nach Fluggerät (Multikopter oder Starrflügler/VTOL).
 - mit unterschiedlichen Flugparametern geflogen werden muss (*Nadir*- und *Schrägaufnahmen*, unterschiedliche Höhen).
 - mit unterschiedlichen Sensoren geflogen werden soll.
 - ein flexibler und spontaner Einsatz nötig ist.
- es weniger störend ist als terrestrische Aufnahmen. Das ist oft der Fall (LAG VSW, 2023).
- es gegenüber den terrestrischen Erfassungen einen Mehrwert an Daten bringt.
- Draufsichten auf Ökosysteme neue Analysen, Bewertungen und eine bessere Dokumentation zulassen.
- dadurch generell mehr Monitoring möglich wird.

4.4 Generelle Empfehlungen

Für die meisten Befliegungen gelten im Grunde folgende Empfehlungen - s. auch die Checklisten in [3.1.4 Checklisten Befliegung](#) und die spezifischen Empfehlungen in den [Teilberichten](#):

4.4.1 Methodische Empfehlungen

- Mit so wenig Wind wie möglich fliegen - besonders bei der Aufnahme von leicht beweglichen Objekten (Gras, dünne Äste ...).
- Nicht bei Niederschlag - auch kein Nebel oder Dunst - fliegen. Es sei denn man hat eine wetterfeste Drohne und muss unbedingt Inspektionen durchführen.
- Möglichst bei gleichmäßigem Licht fliegen - am besten bei gleichmäßiger Bewölkung (overcast) oder bei Sonne - möglichst ohne Wolken und Wind, der bei sonnigem Wetter häufig herrscht.
- Es sollte immer in größtmöglicher Höhe geflogen werden. Zum einen, um die effektivste Flächenleistung zu erreichen und um Ressourcen zu sparen, zum anderen um mögliche Störungen zu minimieren. Aber natürlich immer so, dass die gewünschten Objekte mit genügend hoher Auflösung detektiert werden können.
- Die Befliegungen sollten gut geplant werden, um Zeit zu sparen, in dem alle relevante Daten in möglichst kurzer Zeit aufgenommen werden können.
- Die Fluggebiete sollten zuerst schon einmal am PC hinreichend überprüft werden - hinsichtlich Genehmigungen, örtliche Bedingungen ...
- Die Befliegungsflächen sollten, wenn möglich, in *Google Earth* oder einem GIS vorbereitet und als *KML* in die Flug-App importiert werden.
- Es sollte möglichst die für die jeweilige Fragestellung effektivste Flugplanung gewählt werden (Rasterflüge, Korridorflüge, manuell oder evtl. mit Schrägaufnahmen etc.) - s. Empfehlungen in den Teilberichten und weiter unten.
- Die Befliegungen sind am effektivsten und effizientesten, wenn sie durch die GebietsbetreuerInnen oder die entsprechenden Fachleute selbst durchgeführt werden. Dann kann nämlich das notwendige *Ground Truthing* schon direkt im Zuge der Befliegung fachlich korrekt realisiert werden.

4.4.2 Rechtliche Bedingungen

- Die Drohne darf normalerweise nur in Sichtweite geflogen werden. Es sei denn man hat eine Ausnahmegenehmigung des Luftfahrtbundesamtes, die jedoch mit recht vielen Auflagen und Kosten verbunden ist.
- Die Geo-Zonen des [§ 21 h](#) der neuen LuftVO müssen beachtet und ggf. Ausnahmegenehmigungen bei den zuständigen Behörden oder Stellen beantragt werden - https://www.lba.de/DE/Drohnen/Drohnen_node.html.
- Genehmigungen müssen rechtzeitig beantragt werden und sollten möglichst einen Zeitraum statt einzelne tageweise Flugtermine enthalten, damit man flexibel auf das Wetter reagieren kann.
- Die benötigten und gewährten Genehmigungen müssen mitgeführt werden.

- Der Kenntnisnachweis oder Fernpilotenschein (Führerschein) muss mitgeführt werden.
- Der Versicherungsnachweis muss mitgeführt werden.
- Drohne und Pilot müssen beim Luftfahrtbundesamt registriert sein.

Es empfiehlt sich auch die Portale für die unbemannte Luftfahrt des www.dipul.de des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) und des Luftfahrtbundesamtes (LBA) https://www.lba.de/DE/Drohnen/Drohnen_node.html und z.B. www.drohnen.de anzuschauen. Auf diesen Seiten findet man ausführlichst die rechtlichen Bedingungen für das Drohnefliegen beschrieben.

4.4.3 Störungsökologische Grundregeln für die Drohnenutzung

Die [störungsökologischen Regeln](#) oben sollten grundsätzlich IMMER befolgt werden.

Außerdem sollten auch immer die Gebietsbetreuer kontaktiert und einbezogen werden.

4.4.4 Zusammenarbeit

Um die Beschaffung und Nutzung von Drohnen in Behörden oder Firmen effektiv zu gestalten, sollten abteilungsübergreifende Drohnen-Projektteams gegründet werden. Diese sollten dann gründliche Bedarfsanalysen durchführen, um das effektivste und für die meisten Bedürfnisse passendste Equipment zu beschaffen.

Nach der Beschaffung sollte/muss ein Managementkonzept für die Verwaltung der Drohnen, ihrer Einsätze und der Ausbildung dazu eingeführt werden. Ein solches Drohnenmanagement ist seit Juli 2022 besonders nötig geworden, da jeglicher Sonderstatus für Behörden des [§ 21 k](#) in der neuen Drohnenverordnung (LuftVO) durch das BMDV gestrichen wurde ([DIPUL, 2022](#)) - außer für BOS im konkreten Einsatzfall.

4.4.5 Kompetenzzentrum

In vielen Gesprächen mit Fernerkundungs-Fachleuten aus ganz Deutschland kristallisierte sich heraus, dass es sehr zweckdienlich wäre, je Bundesland ein Fernerkundungs-Kompetenzzentrum einzurichten, das mit Fachleuten aus allen Flächen-Ressorts (Naturschutz, Forst, Landwirtschaft, Gewässer) und mit adäquater Hardware und Software + genügend Speicherplatz ausgestattet ist. Die Fachleute könnten so untereinander Synergien freisetzen und ihre Aufgaben effektiver und schneller bewältigen. Die Fernerkundungs-Daten sind für alle Ressorts ähnlich oder sogar die gleichen, weswegen oft nur leicht abgeänderte Algorithmen für deren Analysen angewendet werden müssten. Ein solches Kompetenzzentrum könnte dann als Dienstleister für alle Behörden fungieren, die dann nicht alle eigens digital stark aufgerüstet und Spezialisten-Stellen schaffen müssten - s. [Restriktionen bei Behörden](#).

Wie im [Teilbericht 'Steillagenmonitoring'](#) als Exkurs beschrieben, soll 2023 durch die Zahlstellen der Landwirtschaftsverwaltungen bundesweit ein landwirtschaftliches Flächenmonitoring mit Hilfe von Satellitendaten (Sentinel), über die gesamte Vegetationsperiode hinweg, eingeführt werden, um die teuren Vor-Ort-Kontrollen von Flächen zu ersetzen ([EUROPEAN COURT OF AUDITORS, 2020](#)). Dazu sind gerade in einigen Bundesländern Arbeitsgruppen tätig, um die Umsetzung vorzubereiten und zu gewährleisten. Dies könnte als Anlass dazu genutzt werden, um, wie oben angedeutet, ein erweitertes ressortübergreifendes Zentrum einzurichten, um die Datenauswertungen auch auf die anderen Flächenressorts mit Monitoringbedarf auszuweiten. Später könnten dann zusätzliche Fernerkundungsdaten, wie die von Drohnen, für



weitere Analysen genutzt werden. Drohnen-Befliegungen könnten wie z.B. in Dänemark ([European Court of Auditors, 2020, S. 39](#)) dazu genutzt werden, um v.a. schwer zugängliche Gebiete bei Bedarf zu kontrollieren. Die dänischen Zahlstellen reduzieren damit den Zeitaufwand für die Kontrollen, aber auch das Gesundheits- und Sicherheitsrisiko für ihre Kontrolleure.

Literaturverzeichnis

- AEROTAS (2022a): "Choosing Flight Altitude | Drone Data Processing". Aerotas: Drone Data Processing for Surveyors. <https://www.aerotas.com/choosing-flight-altitude> (10.8.2022)
- AEROTAS (2022b): "Overlap & Flight Pattern | Drone Data Processing". Aerotas: Drone Data Processing for Surveyors. <https://www.aerotas.com/overlap-flight-pattern> (6.7.2022)
- AGAPIOU, A. (2020): "Vegetation Extraction Using Visible-Bands From Openly Licensed Unmanned Aerial Vehicle Imagery". In: Drones 4(27), S. 15. <https://doi.org/doi:10.3390/drones4020027>
- APPLE (2020): "Drohnen Flugbuch". App Store. <https://apps.apple.com/us/app/drohnen-flugbuch/id1402534397> (7.7.2022)
- ARBES, S. (2017): "Wildtiersuche mit Drohnen". <https://doi.org/10.5281/zenodo.8064695> (21.5.2020)
- ARBES, S. (2022): "Biomonitoring und Rehkitzrettung - Luftrechtlicher Stand in der Praxis 2022". Online.
- ARDUSIMPLE (2022): "SHOP". ArduSimple. <https://www.ardusimple.com/store/> (8.7.2022)
- AVIDEMUX (2022): "Avidemux - Downloads". <http://fixounet.free.fr/avidemux/download.html>
- BARNAS, A. F. ET AL. (2020): "A Standardized Protocol for Reporting Methods When Using Drones for Wildlife Research". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems S. 1–10. <https://doi.org/10.1139/juvs-2019-0011>
- BARRETO, J. ET AL. (2021): "Drone-Monitoring: Improving the Detectability of Threatened Marine Megafauna". In: Drones 5(1), S. 14. <https://doi.org/10.3390/drones5010014>
- BENOWITZ, D. (2021): "Why the Industry Still Relies on DJI". Drone Analyst. <https://droneanalyst.com/2021/04/19/why-the-industry-still-relies-on-dji/> (11.10.2022)
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2009): "Einsatz von Fernerkundung im Rahmen des FFH-Monitorings in Deutschland". Workshop. Bonn. <https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript249.pdf>
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2022): "Monitoring für Naturschutz | BFN". <https://www.bfn.de/monitoring-fuer-naturschutz> (30.6.2022)
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2022): "Monitoring von Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert | BFN". <https://www.bfn.de/monitoring-von-landwirtschaftsflaechen-mit-hohem-naturwert> (30.6.2022)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR (BMDV) (2022): "Schnell in die Luft | dipul | Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt". dipul. <https://dipul.de/homepage/de/informationen/allgemeines/schnell-sicher-in-die-luft/> (7.7.2022)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR (BMDV) (2022): "maptool - dipul". <https://maptool-dpul-prod.dfs.de/> (13.2.2022)
- BOCK, M. ET AL. (2005): "Spatial Indicators for Nature Conservation from European to Local Scale". In: Ecological Indicators 5(4), S. 322–338. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.018>
- BOGUMIL, J.; KNILL, C. (2006): "Umweltverwaltungen unter Reformdruck: Herausforderungen, Strategien, Perspektiven". Sondergutachten - Kurzfassung. https://www.umweltrat.de/Shared-Docs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2004_2008/2007_SG_Umweltverwaltungen_unter_Reformdruck_KF.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- BRONNER, G. (2020): "Drohnenflug im und über dem Wald - BF AT". <https://www.zukunftsraum-land.at/veranstaltungen/9627>
- BUCK, O. ET AL. (2018): "Der Einsatz von Fernerkundung im FFH-Monitoring am Beispiel der Anwendung FELM". In: Natur und Landschaft 93(5), S. 215–223. <https://doi.org/10.17433/5.2018.50153577.215-223>



- BUNDESVERBAND COPTER PILOTEN (BVCP) (2022): "BVCP-Flugbuch nach EU-Regeln – Copter-Einsätze!". BVCP. <https://bvcp.de/flugbuch/> (7.7.2022)
- CHRISTEN, M. ET AL. (2018): "Zivile Drohnen - Herausforderungen und Perspektiven". <http://vdf.ch/zivile-drohnen-herausforderungen-und-perspektiven-e-book.html>
- CONSERVATIONDRONES.ORG (2020): "Conservationdrones.Org". <https://conservationdrones.org/>
- CORBANE, C. ET AL. (2015): "Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status – New opportunities and challenges". In: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 37, S. 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.11.005>
- DANNENBAUER, A. (2022): "Die neue Minidrohone DJI Mini 3 Pro - auch für die Vermessungsaufgaben geeignet?". CADdy Geomatics GmbH. <https://www.caddy-geomatics.de/neue-minidrohone-dji-mini-3-auch-fuer-die-vermessungsaufgaben-geeignet/> (19.8.2022)
- DEMPEWOLF, J. ET AL. (2017): "Measurement of Within-Season Tree Height Growth in a Mixed Forest Stand Using UAV Imagery". In: Forests 8(7), S. 231. <https://doi.org/10.3390/f8070231>
- DI GENNARO, S. F. ET AL. (2022): "Spectral Comparison of UAV-Based Hyper and Multispectral Cameras for Precision Viticulture". In: Remote Sensing 14(3), S. 449. <https://doi.org/10.3390/rs14030449>
- DIPUL (2022): "Information zur Anwendung und Auslegung des Behördenbegriffs". dipul. <https://dipul.de/homepage/de/aktuelle-meldungen/information-zur-anwendung-und-auslegung-des-behoerdenbegriffs/> (26.7.2022)
- DJI (2022a): "DJI Mavic 3T Worry-Free Basic Combo - DJI Store". <https://store.dji.com/de/product/dji-mavic-3e-and-dji-care-enterprise-basic?vid=120171&from=store-nav> (25.10.2022)
- DJI (2022b): "Matrice 300 RTK – Das Arbeitspferd". DJI. <https://www.dji.com/de/matrice-300>
- DJI (2022c): "Mavic 2 Fly More Zubehörpaket - DJI Mobile Online Store (Deutschland)". <https://m.dji.com/de/product/mavic-2-fly-more-kit> (8.7.2022)
- DJI; KRULL, M. (2020): "Genauigkeitsuntersuchung der DJI Phantom 4 RTK und der D-RTK 2 Mobile Station an Prüffeldern - Krull - Vermessung3D". <https://enterprise-insights.dji.com/en/-accuracy-evaluation-of-the-phantom-4-rtk-webinar> (13.9.2022)
- DÖRING, S.; MITTERBACHER, M. (2022): "Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>
- DROHNEN.DE (2021): "Neue deutsche Drohnenverordnung ab Juli 2021 [LuftVO §21h]". <https://www.drohnen.de/37170/luftverkehrsordnung-2021/> (7.7.2021)
- DROHNEN.DE (2022a): "DJI Mavic 3 - erste Drohne mit Drohnenklasse C1". <https://www.drohnen.de/41995/dji-mavic-3-erste-drohne-mit-drohnenklasse-c1/> (12.9.2022)
- DROHNEN.DE (2022b): "Drohnen Versicherung / Haftpflicht im Vergleich". <https://www.drohnen.de/vergleich-quadrocopter-und-multicopter-versicherungen/> (16.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022c): "EU-Drohnenverordnung für DJI MINI 2 [Drohnen-Gesetz]". <https://www.drohnen.de/33331/dji-mini-2-eu-gesetz/> (13.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022d): "Neue EU-Drohnenverordnung 2021 / 2022 [Drohnen-Gesetz]". <https://www.drohnen.de/20336/drohnen-gesetze-eu/> (7.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022e): "Neuer Drohnenführerschein nach EU-Drohnenverordnung 2021". <https://www.drohnen.de/33450/eu-drohnenfuhrerschein/> (16.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022f): "Praktisches Selbststudium & Eigenerklärung für EU Fernpilotenzeugnis". <https://www.drohnen.de/34453/praktisches-selbststudium/> (16.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022g): "Vergleich: DJI Mini 3 Pro vs. DJI Mini 2". <https://www.drohnen.de/40368/vergleich-dji-mini-2-vs-dji-mini-3-pro/> (13.7.2022)
- DRONEDB (2022): "Desktop | DroneDB". <https://docs.dronedb.app/docs/desktop> (23.7.2022)



- DRONEDEPLOY (2022): "3D Models". <https://help.dronedeploy.com/hc/en-us/articles/1500004964162-3D-Models> (2.7.2022)
- DRONEII (2022): "Drone Application Report 2022 - Sample". <https://droneii.com/wp-content/uploads/2022/04/drone-application-report-2022-sample.pdf>
- SIMMIE, S. (2021): "DroneAnalyst Produces Its First-Ever Hardware Sector Report". DroneDJ. <https://dronedj.com/2021/04/29/droneanalyst-produces-its-first-ever-hardware-sector-report/>
- DRONES MADE EASY (2020): "Maps Made Easy - Data Collection". https://www.maps-madeeasy.com/data_collection (10.7.2020)
- DRONES MADE EASY (2021): "Exposure Mode and Exposure Time". Drones Made Easy. <https://support.dronesmadeeasy.com/hc/en-us/articles/207392056-Exposure-Mode-and-Exposure-Time>
- DRONIQ (2022): "Droniq App". Droniq GmbH. <https://droniq.de/pages/droniq-app> (7.7.2022)
- DUFFY, J. P. ET AL. (2020): "Drone Technologies for Conservation". In: WWF Conservation Technology Series 1(5). https://space-science.wwf.de/drones/WWF_CT_Drones_2020_web.pdf
- ELTNER, ANETTE ET AL. (HRG.) (2022): "UAVs for the Environmental Sciences: Methods and Applications". Darmstadt: wbg Academic. https://www.researchgate.net/publication/359619321_UAVs_for_the_Environmental_Sciences
- EUROPEAN COURT OF AUDITORS (2020): "Nutzung neuer Bildgebungstechnologien zur Überwachung der Gemeinsamen Agrarpolitik". Publications Office. Europäischer Rechnungshof. <https://data.europa.eu/doi/10.2865/617102> (9.6.2022)
- FASSNACHT, F. E. ET AL. (2021): "Explaining Sentinel 2-Based DNBR and RdNBR Variability with Reference Data from the Bird's Eye (UAS) Perspective". In: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 95. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102262>
- FLYNEX (2022): "FlyNex". <https://app.flynex.io/a/map/fn> (7.7.2022)
- FÖRSTER, M. ET AL. (2015): "Fernerkundung als Hilfe im Naturschutz - Aktuelle Sensoren und Methoden angewandt auf Großschutzgebiete in Brandenburg [Remote Sensing for Nature Conservation - Recent Sensors and Methods Applied to Conservation Sites in the Federal State of Brandenburg, Germany]". In: Forum der Geoökologie 26, S. 22–25. https://www.researchgate.net/publication/277497535_Fernerkundung_als_Hilfe_im_Naturschutz_-_Aktuelle_Sensoren_und_Methoden_angewandt_auf_Grossschutzgebiete_in_Brandenburg_Remote_Sensing_for_Nature_Conservation_-_Recent_Sensors_and_Methods_Applied_to_C
- FRITZ, A. ET AL. (2018): "UAV-Derived Habitat Predictors Contribute Strongly to Understanding Avian Species-Habitat Relationships on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau". In: Remote Sensing in Ecology and Conservation 4(1), S. 53–65. <https://doi.org/10.1002/rse2.73>
- FUST, P.; LOOS, J. (2020): "Development Perspectives for the Application of Autonomous UASs in Wildlife Conservation". In: Biological Conservation 241. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108380>
- GALLEGO, D.; SARASOLA, J. H. (2021): "Using Drones to Reduce Human Disturbance While Monitoring Breeding Status of an Endangered Raptor". In: Remote Sensing in Ecology and Conservation 7(3), S. 550–561. <https://doi.org/10.1002/rse2.206>
- GETZIN, S. ET AL. (2014): "Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests". In: Remote Sensing 6 (8). <https://doi.org/10.3390/rs6086988>
- GIMP (2022): "GIMP". <https://www.gimp.org/> (19.8.2022)
- GISOPENCOURSEWARE.ORG (2022): "Tutorial: WebODM: Introduction". <https://courses.gisopencourseware.org/mod/book/view.php?id=500> (17.2.2023)
- GOLEM (2023): "Sicherheitslücke: DJI-Drohnen verraten Standort des Piloten - Golem.de". <https://www.golem.de/news/sicherheitsluecke-dji-drohnen-verraten-standort-des-piloten-2303-172365.html> (26.6.2023)
- GREENGRASS (2021): "GreenGrass - Landschaft". <https://www.greengrass-project.de/landschaft/>



- HERKOMMER, M.; QUANTUM SYSTEMS (2018): "Drohneinsatz in der Forstwirtschaft – eine kritische Analyse - Quantum Systems". <https://image-factory.media.messe-muenchen.de/asset/415354/Freitag-Martin-Herkommer.pdf>
- HESE, S. ET AL. (2019): "UAV Based Multi Seasonal Deciduous Tree Species Analysis In The Hainich National Park Using Multi Temporal And Point Cloud Curvature Features". In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W13, S. 363–370. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-363-2019>
- HEUZEROTH, T. (2021): "Drohnenmarkt-Analyse: Deutsche verlieren den Spaß an Drohnen". In: DIE WELT (Ausgabe vom März 2021). <https://www.welt.de/wirtschaft/article227758587/Drohnenmarkt-Analyse-Deutsche-verlieren-den-Spass-an-Drohnen.html> (29.6.2022)
- HUSSON, E. ET AL. (2016): "Comparison of Manual Mapping and Automated Object-Based Image Analysis of Non-Submerged Aquatic Vegetation from Very-High-Resolution UAS Images". In: Remote Sensing 8(9), S. 724. <https://doi.org/10.3390/rs8090724>
- JESSEL, D. B. (2010): "Naturschutzfachliches Monitoring in Deutschland – eine Übersicht". <https://www.umweltbeobachtung.eu/conference/presentation/C10-Jessel.pdf>
- JEZIORSKA, J. (2019): "UAS for Wetland Mapping and Hydrological Modeling". In: Remote Sensing 11(17). <https://doi.org/10.3390/rs11171997>
- JIMÉNEZ LÓPEZ, J.; MULERO-PÁZMÁNY, M. (2019): "Drones for Conservation in Protected Areas: Present and Future". In: Drones Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 3(1), S. 10. <https://doi.org/10.3390/drones3010010>
- KACHELMANNWETTER (2022): "Kachelmannwetter". <https://kachelmannwetter.com/de/wetter/>
- KATTENBORN, T. (2020): "KIT - IFGG - Forschung - Vegetation - UAVforSAT - Operationalisierung von Vegetationskartierungen durch Referenzdatenerhebung per UAV und cloudbasierte Analyse von Erdbeobachtungsdaten". https://www.ifgg.kit.edu/projekte_1726.php (23.7.2022)
- KOPTER-PROFI (2021): "Praktisches Flugtraining für Drohnen". <https://www.kopter-profi.de/media/praktisches-flugtraining-drohnen.pdf>
- KOPTER-PROFI (2022a): "Kopter Profi App - DIE Drohnen-App für alle Fernpiloten". Kopter-Profi.de: Drohnenführerschein, Drohnenversicherung, App. <https://www.kopter-profi.de/kopter-app> (7.7.2022)
- KOPTER-PROFI (2022b): "Vergleich von DJI Drohnen". <https://www.kopter-profi.de/ratgeber/beliebte-drohnen-modelle/621-vergleich-von-dji-drohnen> (31.1.2022)
- KUDO, H. ET AL. (2012): "Cost-Effective Accurate Estimates of Adult Chum Salmon, *Oncorhynchus keta*, Abundance in a Japanese River Using a Radio-Controlled Helicopter". In: Fisheries Research 119–120, S. 94–98. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.12.010>
- L3HARRIS (2022): "Broadband Greenness". <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/Broadband-Greenness.html#Visible> (9.7.2022)
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN (LAG VSW) (2023): POSITION DER LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN ZU DROHNEN UND VOGELSCHUTZ. POSITIONSPAPIER. [HTTP://WWW.VOGELSCHUTZ-WARTEN.DE/DOWNLOADS/2023LAGAVSW23-1_DROHNEN.PDF](http://www.vogelschutz-warten.de/downloads/2023LAGAVSW23-1_DROHNEN.PDF) (10.06.2023)
- LANDESRECHT BW (2005): "Landesgebührengesetz (LGebG) vom 14. Dezember 2004 | gültig ab: 02.01.2005". <https://www.landesrecht-bw.de/jportal/portal/t/bnd/page/bsbawue-prod.psml?doc.hl=1&doc.id=jlr-GebGBW2004rahmen&documentnumber=1&numberofresults=33&doctyp=Norm&showdoccase=1&doc.part=X¶mfromHL=true#focuspoint> (3.5.2022)
- LARRINAGA, A.; BROTONS, L. (2019): "Greenness Indices from a Low-Cost UAV Imagery as Tools for Monitoring Post-Fire Forest Recovery". In: Drones 3(1), S. 6. <https://doi.org/10.3390/drones3010006>
- LBA (2021): "Antrag für speziell Kategorie - Vortrag Luftfahrt Bundesamt". https://www.lba.de/DE/Drohnen/Betriebsgenehmigungen_LUC/Betriebsgenehmigungen_LUC_node.html (4.11.2021)

- LIU, Z. ET AL. (2016): "Unmanned Surface Vehicles: An Overview of Developments and Challenges". In: Annual Reviews in Control 41, S. 71–93. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>
- LOWEPRO (2022): "DroneGuard Pro 450 Rucksack für DJI Phantom Drohne". <https://www.lo-wepro.com/de-de/droneguard-pro-450-lp37135-pww/> (8.7.2022)
- LUFTPROFILE (2022): "Luftprofile GmbH: Luftaufnahmen mit Drohnen für Filmprojekte". <https://luftprofile.de/luftaufnahmen/videos/> (29.6.2022)
- LYONS, M. ET AL. (2018): "Bird Interactions with Drones, from Individuals to Large Colonies". In: Australian Field Ornithology 35, S. 51–56. <https://doi.org/10.20938/af035051056>
- MÄDER, P. ET AL. (2021): "The Flora Incognita App – Interactive Plant Species Identification". In: Methods in Ecology and Evolution S. 2041–210X.13611. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13611>
- MANFREDI, S. ET AL. (2018): "On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring". In: Remote Sensing Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 10(4). <https://doi.org/10.3390/rs10040641>
- MANFROTTO (2022): "Aviator Drohnen Rucksack D1 für DJI Phantom mit Regenschutz". <https://www.manfrotto.com/de-de/aviator-drohnen-rucksack-d1-fur-dji-phantom-mit-regenschutz-mb-bp-d1/> (8.7.2022)
- MITTERBACHER, M. (LFU) (2020): "Einsatz von Drohnen im Natur- und Artenschutz und bei der Wildtierrettung". https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/doc/rundbrief_2020.pdf
- MUGNAI, F. ET AL. (2022): "Performing Low-Altitude Photogrammetric Surveys, a Comparative Analysis of User-Grade Unmanned Aircraft Systems". In: Applied Geomatics 14(S1), S. 211–223. <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00421-7>
- NABU (2012): "NABU-Aktionsplan für die biologische Vielfalt in Deutschland - Masterplan 2020". <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/biodiv/masterplan-2020.pdf>
- NESBIT, P. R.; HUGENHOLTZ, C. H. (2019): "Enhancing UAV-SfM 3D Model Accuracy in High-Relief Landscapes by Incorporating Oblique Images". In: Remote Sensing Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 11(3), S. 239. <https://doi.org/10.3390/rs11030239>
- PÁDUA, L. ET AL. (2022): "Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) Detection Using Coarse and High Resolution Multispectral Data". In: Drones Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 6(2), S. 47. <https://doi.org/10.3390/drones6020047>
- PÁDUA, L. ET AL. (2018): "Multi-Temporal Vineyard Monitoring through UAV-Based RGB Imagery". In: Remote Sensing 10(12), S. 1907. <https://doi.org/10.3390/rs10121907>
- PELL, T. ET AL. (2022): "Demystifying the Differences between Structure-from-Motion Software Packages for Pre-Processing Drone Data". In: Drones 6(1), S. 24. <https://doi.org/10.3390/drones6010024>
- PERROY, R. L. ET AL. (2017): "Assessing the Impacts of Canopy Openness and Flight Parameters on Detecting a Sub-Canopy Tropical Invasive Plant Using a Small Unmanned Aerial System". In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 125, S. 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.018>
- PETTORELLI, N. ET AL. (2014): "Satellite Remote Sensing, Biodiversity Research and Conservation of the Future". In: Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 369 (1643). <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>
- PIETSCH, M. ET AL. (2020): "Produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen - Berichte aus der Landschafts- und Umweltplanung". <https://www.shaker.de/de/content/catalogue/index.asp?lang=de&ID=8&ISBN=978-3-8440-7122-1&search=yes>
- PIX4D (2019): "Was bedeutet Genauigkeit bei Luftbildvermessungen?". <https://www.pix4d.com/de/blog/genauigkeit-luftbildvermessungen> (16.10.2020)
- PIX4D (2022a): "How to Select Camera Focal Length and Flight Altitude Considering the Desired Ground Sampling Distance and Terrain to Map?". Support. <https://support.pix4d.com/hc/en->

[us/articles/202558849-How-to-select-Camera-Focal-Length-and-Flight-Altitude-considering-the-desired-Ground-Sampling-Distance-and-Terrain-to-map-](https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558849-How-to-select-Camera-Focal-Length-and-Flight-Altitude-considering-the-desired-Ground-Sampling-Distance-and-Terrain-to-map-) (6.10.2022)

- PIX4D (2022b): "Pix4D - Image Acquisition - Computing the Flight Height for a given GSD". Support. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557469-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-b-Computing-the-Flight-Height-for-a-given-GSD> (6.7.2022)
- PIX4D (2022c): "Pix4D - Image Acquisition - Plan Type". Support. <http://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-a-Selecting-the-Image-Acquisition-Plan-Type> (12.6.2022)
- PIX4D (2022): "PIX4Dcapture: Kostenlose App zur Drohnenflugplanung für optimales 3D-Mapping und 3D-Modellieren". <https://www.pix4d.com/de/produkt/pix4dcapture> (21.10.2022)
- PIX4D (2022d): "Step 1. Before Starting a Project > 4. Getting GCPs on the Field or through Other Sources (Optional but Recommended)". Support. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557489-Step-1-Before-Starting-a-Project-4-Getting-GCPs-on-the-field-or-through-other-sources-optional-but-recommended-> (16.10.2022)
- PRZYBILLA, H.-J. (2020): "UAV-Befliegung - Alles klar? Über den Einfluss der Aufnahmekonfiguration - UAV 2020 – The Sky is the Limit?". In: DVW-SCHRIFTENREIHE 97. https://geodae-sie.info/sites/default/files/privat/DVW_97_2020_UAV_2020_FINAL_200214.pdf
- PRZYBILLA, H.-J.; BÄUMKER, M. (2020): "Untersuchungen zur Qualität des Realtime Kinematic GNSS Systems der DJI Phantom 4 RTK". Präsentiert auf: 40. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Bd. 29. Stuttgart. https://www.researchgate.net/profile/Heinz_Juergen_Przybilla/publication/339781487_Untersuchungen_zur_Qualitat_des_Realtime_Kinematic_GNSS_Systems_der_DJI_Phantom_4_RTK
- REDER, S. ET AL. (2019): "UAV-Based Tree Height Estimation in Dense Tropical Rainforest Areas in Ecuador and Brazil". *GI_Forum*, Bd. 2. S. 47–59. https://doi.org/10.1553/giscience2019_02_s47
- RENKEL, J. (2020): "FERNERKUNDUNG - DEFINITION, GRUNDLAGEN UND ANWENDUNGEN IM NATURSCHUTZ". WWF. <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Innovation/Fernerkundung-Definition-Grundlagen-und-Anwendungen-im-Naturschutz.pdf>
- RUSNÁK, M. ET AL. (2018): "Template for High-Resolution River Landscape Mapping Using UAV Technology". In: *Measurement* 115, S. 139–151. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.10.023>
- SCHMELLER, D. ET AL. (2009): "EuMon – Arten- und Lebensraum-Monitoring in Europa". *Naturschutz und Landschaftsplanung*. https://www.researchgate.net/publication/228092448_EuMon_-_Arten-und-Lebensraum-Monitoring_in_Europa (2.5.2018)
- SKYGLYPH (2022): "What Are Index Maps - NDVI, GNDVI, VARI". Support Portal. <https://sky-glyph.freshdesk.com/support/solutions/articles/9000136160-what-are-index-maps-ndvi-gndvi-vari> (9.7.2022)
- STATISTA (2022): "Zivile Drohnen: Marktanteil der Hersteller". Statista. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1313177/umfrage/fuehrende-zivile-drohnenhersteller-nach-anteil-am-verkaufsvolumen/> (2.7.2022)
- STRUMIA, S. ET AL. (2020): "Monitoring of Plant Species and Communities on Coastal Cliffs: Is the Use of Unmanned Aerial Vehicles Suitable?". In: *Diversity* Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 12(4), S. 149. <https://doi.org/10.3390/d12040149>
- SUROVY, P.; KUŽELKA, K. (2019): "Acquisition of Forest Attributes for Decision Support at the Forest Enterprise Level Using Remote-Sensing Techniques—A Review". In: *Forests* 10, S. 273. <https://doi.org/10.3390/f10030273>
- TAMOURIDOU, A. A. ET AL. (2017): "Evaluation of UAV imagery for mapping *Silybum marianum* weed patches". In: *International Journal of Remote Sensing* Taylor & Francis. 38 (8–10), S. 2246–2259. <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1252475>



- TMUŠIĆ, G. ET AL. (2020): "Current Practices in UAS-Based Environmental Monitoring". In: Remote Sensing 12(6), S. 1001. <https://doi.org/10.3390/rs12061001>
- UAVFORECAST (2022): "UAV Forecast". <http://www.UAVForecast.com> (7.7.2022)
- VANDEN BORRE, J. ET AL. (2011): "Integrating Remote Sensing in Natura 2000 Habitat Monitoring: Prospects on the Way Forward". In: Journal for Nature Conservation 19(2), S. 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2010.07.003>
- VERBAND UNBEMANNTE LUFTFAHRT (VUL) (2021): "Analyse des deutschen Drohnenmarktes | Verband Unbemannte Luftfahrt". <https://www.verband-unbemannte-luftfahrt.de/analyse-des-deutschen-drohnenmarktes/> (27.7.2021)
- VERSICHEREDROHNE MAGAZIN (2022, APRIL): Drohne Versichern: Privat oder Gewerblich? <https://verschertedrohne.de/blog/drohne-versichern-privat-gewerblich> (07.06.2023)
- WEBODM (2022): "WebODM Drone Software". OpenDroneMap. <https://www.opendrone-nemap.org/webodm/> (17.2.2023)
- WEISSENSTEINER, M. H. ET AL. (2015): "Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: An effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species". In: Journal of Avian Biology 46(4), S. 425–430. <https://doi.org/10.1111/jav.00619>
- WETTERONLINE (2022): "WetterOnline". <https://www.wetteronline.de> (7.7.2022)
- WHITEHEAD, K.; HUGENHOLTZ, C. H. (2014): "Remote Sensing of the Environment with Small Unmanned Aircraft Systems (UASs), Part 1: A Review of Progress and Challenges". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems 02(03), S. 69–85. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0006>
- WHITEHEAD, K. ET AL. (2014): "Remote Sensing of the Environment with Small Unmanned Aircraft Systems (UASs), Part 2: Scientific and Commercial Applications". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems 02(03), S. 86–102. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0007>
- Züghart, Wiebke (Hrg.) (2021): "Umfassendes bundesweites Biodiversitätsmonitoring. Ergebnisse einer Vilmer Fachtagung". 585. Auflage. Bundesamt für Naturschutz. <https://doi.org/10.19217/skr585>



5 Berichte der Teilgebiete

5.1 Offenland-/Heide-Monitoring - Hirschacker

Zusammenfassung

In dem Naturschutzgebiet 'Hirschacker' wurden die Möglichkeiten von Drohneneinsätzen zur Gebietsverwaltung, zur Planung von Pflegemaßnahmen und zum Monitoring der 'Sandstrohlblume' - beispielhaft für andere Offen- oder Heideflächen - getestet. Als Ergebnis wurden Handlungsempfehlungen zum Drohnenmonitoring entwickelt.

Inhaltsverzeichnis

10.1	Offenland-/Heide-Monitoring - Hirschacker	1
	Zusammenfassung	1
	Inhaltsverzeichnis	1
	Abbildungsverzeichnis	1
	Tabellenverzeichnis	2
10.1.1	Einleitung	2
10.1.2	Untersuchungsgebiet Hirschacker	4
10.1.2.1	Fragestellungen	5
10.1.3	Methodik	6
10.1.4	Ergebnisse	6
10.1.4.1	Übersichtskarte der Befliegungen	6
10.1.4.2	Sandstrohlblume (<i>Helichrysum arenarium</i>)	8
10.1.4.3	Landreitgras (<i>Calamagrostis epigejos</i>)	10
10.1.4.4	Mistel (<i>Viscum album</i>)	11
10.1.4.5	GIMP	12
10.1.5	Hirschacker - Fazit	13
10.1.6	Offenland - Fazit	15
10.1.6.1	Wirtschaftlichkeit	16
	Literaturverzeichnis	17

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersicht des Befliegungsgebiets ‚Hirschacker‘ mit den erzeugten Orthofotos (Döring, 2021)	7
Abb. 2:	Orthofotos mit terrestrisch kartierten Vegetationseinheiten (Döring, 2021)	7
Abb. 3:	Sandstrohlblume - Standort N (Döring, 2022)	8
Abb. 4:	Sandstrohlblume - Standort S (Döring, 2022)	8
Abb. 5:	Zeichnung der Sandstrohlblume (Thomé, 1885)	8
Abb. 6:	Digitalisierung von <i>Calamagrostis</i> mit Hilfe des Import Photo-Viewers = rot - grün = digitalisierte <i>Calamagrostis</i> -Flächen (Döring, 2022)	10
Abb. 7:	Ausschnitt der <i>Calamagrostis</i> -Fläche aus MME (Döring, 2022)	11
Abb. 8:	Ausschnitt der <i>Calamagrostis</i> -Fläche aus WebODM (Döring, 2022)	11

Abb. 9: Mistel-Orthofoto in QGIS umgefärbt und mit Einzelfotos abgeglichen - die Misteln erscheinen gelblich, im ‚normalen‘ Einzelfoto hellgrün (Döring, 2022) 12
 Abb. 10: Mistelbild farblich verändert - Misteln in hellrot (Döring, 2021) 12

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beschreibung des Schutzgebietes 4
 Tab. 2: Vergleich der Flughöhen für die Sandstrohblumendetektion (Döring, 2022) 9
 Tab. 3: Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022) 13
 Tab. 4: Landschaftsmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021) 15
 Tab. 5: Landschaftsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021) 15

5.1.1 Einleitung

In der Landschaftsökologie versteht man unter *Heide* v.a. einen Vegetationstyp des Offenlandes, eine Landschaft, "die weitgehend von ericoiden Kleinsträuchern bedeckt ist und die ein geschlossenes Dach in Höhen von gewöhnlich weniger als 2 m ausbilden. Bäume und größere Sträucher fehlen oder stehen sehr vereinzelt und bilden niemals einen geschlossenen Bestand." (HÜPPE, 1993).

Als *trockene europäische Heide* wird sie laut FFH-Richtlinie der EU als geschützter Lebensraumtyp (LRT) 4030 geführt. Typisch sind baumarme oder -freie, niedrigwüchsige Vegetationsbestände dominiert von Besenheide (*Calluna vulgaris*) in verschiedenen Stadien (Pionier-, Aufbau-, Reife- und Degenerationsphase), oft mosaikartig durchzogen von Sandtrockenrasen und offenen Sandflächen, die oft viele Arten von Moosen und Flechten beheimaten.

Die heutigen Heidelandschaften entstanden durch die Rodung von Wäldern auf trockenen Standorten mit anschließender intensiver Beweidung, die keinen Wald mehr aufkommen ließ. Diese durch intensive Landnutzung oder sogar durch starke Übernutzung entstandenen Ökosysteme, wurden vielerorts wegen ihrer freien und oft ebenen Flächen auch militärisch genutzt. Das Militär setzte schwere Fahrzeuge und auch entflammbare Munition ein, wodurch Fahrspuren und häufig auch Brandflächen durch den Munitionseinsatz entstanden. Dies schuf ideale Standorte für die Heide- und andere eher trockene Pflanzengesellschaften. Da die Nutzung aber meist nur temporär war/ist, folgten natürlicherweise auf diese Übergangsbiotope andere Sukzessionsgesellschaften bis hin zur Wiederbewaldung.

In Folge sind ‚Heiden‘ im weiteren Sinn komplett auf ihre Erhaltung durch künstliche Pflege angewiesen. Dies geschieht häufig manuell, aber auch hin bis zum Einsatz von schwerem Gerät - z.B. Naturschutzpflegepanzern (BUNDESFORST, 2015). In Zukunft wird die Pflege vielleicht sogar mit Pflegerobotern (RIEMANN, H.; FÜRSTENOW, J.; MÜLLER, J., 2022) durchgeführt, da in vielen ehemaligen Truppenübungsplätzen oft noch Gefahren durch Munitionsrückstände bestehen.

Um den Bedarf und den Effekt von Landschaftspflegemaßnahmen verlässlich einzuschätzen und zu planen, ist es erforderlich den Erhaltungszustand regelmäßig zu monitoren. Dazu gibt es ein groß-angelegtes Projekt - NaTec - in der Kyritz-Ruppiner-Heide, worin sehr intensiv realisierbare Workflows und Analysemethoden entwickelt werden sollen. Es wird dabei besonderer Wert auf die Auswertung von ‚normalen‘ RGB-Bildern - unter Einsatz kleiner und handelsüblicher Drohnen - gelegt. Die räumlich-zeitlichen Veränderungen der Landschaftsentwicklung werden in Abhängigkeit von den natürlichen Prozessen der Vegetationsdynamik beobachtet. Die Heidelandschaft wird durch unterschiedliche Aspekte bes. des

Heidekrauts (*Calluna vulgaris*), aber auch dessen Begleitarten der Flechten, Moose und Gräser und dem Streuanteil im Laufe des Jahres geprägt. Die Farben wechseln mit den Jahreszeiten und können im Farbspektrum von Drohnenaufnahmen gesehen, charakterisiert und ausgewertet werden. Neben dem Artenspektrum werden Vitalitätsmerkmale in den verschiedenen Fortpflanzungs- und Verbreitungsstadien sichtbar ([NEUMANN, C. & SCHIND-HELM, A., 2022](#)). Auch die Auswirkungen von und die Entwicklungstendenzen nach Maßnahmen der Landschaftspflege lassen sich so analysieren und dokumentieren.

Die Flächen verändern sich nach Pflegeeingriffen oft drastisch in ihrem Aussehen, was in den Drohnenbildern gut nachzuverfolgen ist und so die Pflege ggf. nachjustiert werden kann. Es soll ein praktikables Drohnen-basiertes Habitat-Managementsystem aufgebaut werden ([NEUMANN ET AL., 2021](#)).

In dem Projekt NaTec werden v.a. die Veränderungen der Calluna-Vorkommen in ihrer Wachstumsdynamik und Regenerationsfähigkeit untersucht. In einer Studie zu den phänologischen und Verteilungs-Aspekten von konnte ([NEUMANN ET AL., 2020](#)) eindrücklich gezeigt werden, dass es möglich ist aus Bildern von einfachen RGB-Kameras handelsüblicher Drohnen (bei NaTec eine *DJI Phantom 4 Pro* mit ähnlicher Kamera wie die DroBio-Projekt Drohne), anhand der optischen Eigenschaften verschiedener Pflanzen deren Flächenanteile und Zustand zu extrahieren - sogar aus einer daten- und flächeneffektiven Flughöhe von 80 m. Dazu wurden Kalibrierungsdaten aus Felderhebungen zum *Ground-Truthing* herangezogen, um zu überprüfen, ob die jeweiligen Farbeigenschaften den richtigen Objekten (hier Pflanzen) zugeordnet werden können. In einer nachfolgenden Veröffentlichung erfassten und klassifizierten ([NEUMANN ET AL., 2021](#)) dann auch den Gras - Ein- und Überwuchs unter Einbeziehung von normalisierten digitalen Oberflächenmodellen, der auch bei der Bewertung von FFH-Mähwiesen eine maßgebliche Rolle spielt ([LAZBW, 2014](#)).

normalisiertes digitales
Oberflächenmodellen
(nDOM) = Digitales Oberflächenmodell minus Geländemodell oder DOM - DGM
([Eltner et al., 2022, S. 348 ff.](#))

Die Gräser - bes. auch das im ‚Hirschacker‘ stark Überhand nehmende und besonders herauszupfliegende Landreitgras (*Calamagrostis epigejos*) - formen meist größere zusammenhängende flächige Bestände und können deswegen besonders gut detektiert und flächenmäßig quantifiziert werden. *Calamagrostis* wurde von ([JUNGMEIER ET AL., 2016](#)) bei einer Lawinenbahn-Untersuchung und von ([BEYER & GRENZDÖRFFER, 2018](#)) in einem Flusstal-Moor über RGB-Drohnen-Aufnahmen erfolgreich kartiert.

In NRW wurde 2018 die Anwendung FELM (Fernerkundungsgestützte Erfassung von Lebensraumtypen für das FFH-Monitoring) entwickelt. Dabei sollen fernerkundlich erhobene Informationen (Höhendaten, digitale RGB-Orthofotos, *RapidEye*- und Sentinel-2-Satellitendaten) zur Bewertung ausgewählter Natura-2000-Lebensraumtypen (LRT) genutzt werden. Der Nutzer kann dabei gebietsspezifisch verschiedene Indikatoren, für die LRT-Bewertung nutzen. Besonders für Heide-Lebensräume konnten damit sehr gute Ergebnisse erzielt werden ([BUCK ET AL., 2018](#)). Drohnen-daten - genauer hochauflösende RGB-Orthofotos - würden sich sicherlich auch einprägen lassen.

Auf der DBU-Naturerbefläche Marienfließ, die eine ähnliche Artenausstattung hat wie das Untersuchungsgebiet ‚Hirschacker‘, werden aufgrund der starken Bodenbelastung durch Munitionsrückstände mittlerweile Kartierungen der Pflanzenwelt und Erfassung des Bodenreliefs mit Hilfe von ferngesteuerten Drohnen durchgeführt ([DBU 2022](#)).

5.1.2 Untersuchungsgebiet Hirschacker

Das Beispiel ‚Hirschacker‘ wurde ausgewählt, um eine Nachbefliegung mit der terrestrischen Aufnahme in Absprache mit dem Auftragnehmer der Kartierung - dem Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz (ILN) Bühl - zu vergleichen. Diese fand im Rahmen einer Kartierung im Projektgebiet ‚Hirschacker‘, als Teil des BfN-Hotspotprojekts "Lebensraum Oberrhein zwischen Schwetzingen und Mannheim", statt. Nach Auskunft des ILN wurde im Rahmen des Projektes das vollständige Arteninventar der Maßnahmenflächen mit zwei Personen in einem Arbeitstag im Gelände (= insg. 16 h) erfasst. Der ideale Ausführungszeitraum für die Geländearbeiten sei dazu Juni / Juli.

Nach Rücksprachen mit dem Büro Breunig, dem zuständigen Herrn vom RP Karlsruhe und dem Pflegekoordinator, der im Auftrag des NABU die Pflege des Gebiets betreut, wurde schließlich ein Flugtermin zur Blütezeit der Sandstrohblume (*Helichrysum arenarium*), als eine der Leitarten, vereinbart. Das Büro Breunig hat den Abschlussbericht zur Evaluation der Maßnahmen zur Schaffung offener Sandlebensräume im Gebiet "Hirschacker" und auf Waldflächen der "Schwetzinger Hardt" im Auftrag des NABU Landesverbands Baden-Württemberg verfasst.

Das Naturschutzgebiet "Hirschacker und Dossenwald" gehört zum "Naturraum Schwetzinger Sand" und ist eines der bedeutendsten Flugsandgebiete in Baden-Württemberg - mit charakteristischen Flugsanddünen mit bis zu 13 Meter Höhe, die am Ende der letzten Eiszeit entstanden sind.

Tab. 1: Beschreibung des Schutzgebietes

Art des Schutzgebietes	Naturschutzgebiet
Schutzgebiets-Nr.	2.171
Name	Hirschacker und Dossenwald
Gemeinde	Mannheim - Schwetzingen
Fläche (ha)	128.9
Naturraum	Neckar-Rheinebene
<u>Lage</u>	49° 25' N, 8° 34' O
Kurzbeschreibung	Binnendünenzug, Flugsandfelder und Waldstreifen des Neckarschwemmfächers; offene Sandflächen mit spezifischer Sandrasenflora und -fauna und ein einzigartiges Flechtenvorkommen; lückige Kiefernwälder und geophytenreiche Eichen-Hainbuchen-Wälder auf den schweren Böden des Neckarschwemmfächers
<u>Schutzgebietssteckbrief: Naturschutzgebiet Hirschacker und Dossenwald</u> (LUBW 2022)	

Die Landschaft des "Hirschackers" hat sich bis in die Neuzeit immer wieder verändert. Die trockenen Sandböden brachten landwirtschaftlich wenig Ertrag und wurden mit der Zeit oft aufgeforstet.

Von 1937 bis 2014 diente das Areal erst der deutschen Wehrmacht, dann den amerikanischen Streitkräften als militärisches Übungsgelände. Die eingesetzten schweren Fahrzeuge hielten einen Teil der Sandflächen lange und kontinuierlich weitgehend offen, wodurch sich im Kerngebiet flachwüchsige Sandrasengesellschaften mit lichten Waldkiefernbeständen und Gebüschern trockenwarmer Standorte etablieren konnten. Die kargen Sandböden

ermöglichen das Wachstum vieler geschützte Arten wie der Sandstrohblume (*Helichrysum arenarium*), dem Silbergras (*Corynephorus canescens*), der Besenheide (*Calluna vulgaris*) sowie der in Baden-Württemberg sehr seltenen Grauen oder Duft-Skabiose (*Scabiosa canescens*). Zudem charakterisieren ausgedehnte Eichenwälder den Süden und Nordosten des Hirschackerwaldes. 1994 wurden dieser südliche Eichen-Buchenwald als Landschaftsschutzgebiet, die waldfreien Flächen im Norden als Naturschutzgebiet und der gesamte ‚Hirschacker‘ als Teil des europäischen Schutzgebietsnetzes Natura 2000 ausgewiesen. ([NABU SCHWETZINGEN 2022](#))

In dem Abschlussbericht "Schaffung offener Sandlebensräume im Gebiet „Hirschacker“ und auf Waldflächen der "Schwetzinger Hardt" - Evaluation der Maßnahmen" heißt es in der einleitenden Zusammenfassung, dass zwischen 2014 und 2016 in den Gebieten "Hirschacker" und "Schwetzinger Hardt" zur Entwicklung von Sandlebensräumen mit lebensraumtypischer Vegetation offener Binnendünen und Flugsanddecken auf mehreren Flächen Kiefern-Bestände gerodet, auf einzelnen Dünenflächen humoser Oberboden abgeschoben und Ansaaten vorgenommen wurden (BREUNIG & NABU, 2019). Seitdem wird die Pflege im Hirschacker durch das Regierungspräsidium Karlsruhe geplant und koordiniert. Für die Ausführung ist der NABU Rhein-Neckar-Odenwald zuständig und es werden jährlich Pflegemaßnahmen wie die Beseitigung von Problemarten manuelle und durch Mähen mit Abräumen durchgeführt. "Zur Evaluation der Maßnahmen wurden auf den einzelnen Maßnahmenflächen jährlich Artenlisten der Gefäßpflanzen mit Angabe der Abundanz erstellt. 2018 und 2019 wurden zusätzlich die Populationsgröße besonders wertgebender Pflanzenarten (Zielarten) erfasst und die vorkommenden Biotoptypen kartiert." (BREUNIG & NABU, 2019)

Es werden in dem Abschlussbericht auch Empfehlungen für die Fortführung der Pflege der einzelnen Teilflächen gegeben, mit einem Hauptaugenmerk auf die Zunahme und Ausbreitung des Land-Reitgras (*Calamagrostis epigejos*), das aktuell bei der Pflege der Teilflächen im Gebiet „Hirschacker“ besonders problematisch ist.

Zur Planung der Pflegemaßnahmen könnte man vorab Drohnenbefliegungen durchführen, um den Umfang der Ausbreitung von *Calamagrostis* zu kartieren und den Einsatz zu planen. Zum Befliegungszeitpunkt war es aber nicht mehr möglich, das explizit zu zeigen, da das Landreitgras gerade gemäht wurde und die meisten Flächen schon durchgepflegt waren. Jedoch konnten noch ein paar Reste in den erfolgten Aufnahmen erfasst und damit die Machbarkeit der Drohnenkartierung exemplarisch dargestellt werden (s. unten). Normalerweise ist eine Kartierung des Landreitgras, wie in der Einleitung zum übergeordneten Kapitel zu lesen, gut möglich, da es recht dominant und flächig auftritt und gut zu sehen ist.

Der spätere Befliegungszeitpunkt war mit dem Gebietskoordinator der Pflege abgesprochen worden, um somit zur Hauptblüte der Sandstrohblume (*Helichrysum arenarium*) die Fragestellungen zur möglichen Kartierung dieser besonders wertgebenden Pflanze beantworten zu können.

Fragestellungen

- Ist ein Effizienzvergleich zwischen rein terrestrischer Kartierung und Drohnen-unterstützter Kartierung möglich?
- Ist es möglich, die Sandstrohblume (*Helichrysum arenarium*) als eine der wertgebenden Arten mit Drohnen flächig zu erfassen?
- Kann die Entwicklung der Vegetationsstruktur bes. des auf den Pflegeflächen durch regelmäßige Befliegungen effektiv(er) verfolgt werden?

- Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich, die einzelnen Vegetations-einheiten/-elemente zu differenzieren und den Offen-/Grünlandanteil abzuschätzen?
- Erstellung eines detaillierten Orthofotos im Vorfeld von naturschutzfachlichen Maßnahmen.
- Inwieweit können die überwachsenen bzw. nicht förderfähigen Flächenanteile mit der Hilfe von Drohnen abgeschätzt und die Festlegung der Förderfähigkeit unterstützt werden?
- Wie oft muss dazu in der Vegetationsperiode geflogen werden?
- Sind die erfliegenen Höhenmodelle genau genug, um qualifizierte Differenzierungen der Wuchshöhen zu ermöglichen?
- Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?
- Welche Methoden sind für die Flugplanung günstig?
- Welche Flugbedingungen und welche Befliegungsmethodik sollten angestrebt werden?

5.1.3 Methodik

Bei dem eintägigen Einsatz wurden ‚normale‘ Rasterbefliegungen mit Überflügen auf unterschiedlichen Höhen durchgeführt, um zu zeigen, wie eine möglichst einfache und effektive Drohnen-Kartierung zur Gebietsbetreuung erfolgen könnte. Im Anschluss wurden Orthofotos erzeugt, die dann für den Einsatz als Hintergrundkarten für das Pflegemanagement dienen können.

5.1.4 Ergebnisse

Laut Aussage des ILN Bühl ist der ideale Ausführungszeitraum für die Geländearbeiten im Gebiet Hirschacker Juni / Juli, so dass Befliegung eigentlich für diesen Zeitraum geplant war. Durch verschiedene Umstände fand die Befliegung der unten beschriebenen Flächen letztlich erst am 25.08.2021 statt. Der Termin wurde jedoch in engem Austausch mit dem Projektleiter des Artenschutzprojektes "Sandrasen" und Pfliegertruppleiter beim NABU Rhein-Neckar-Odenwald (im Auftrag des RP Karlsruhe), auf die Blütezeit der Sandstrohlblume abgestimmt. Diese stand zum Befliegungszeitpunkt noch in voller Blüte.

Der Pfliegertruppleiter des NABU wies den Projektkoordinator am vereinbarten in die Fläche ein und zeigte ihm speziell die bekannten zu befliegenden Vorkommen der Sandstrohlblume. Er war auch bei den ersten Flügen präsent und ließ sich die Technik erklären. Eine Befreiung des RP Karlsruhe für die Befliegung lag vor.

Übersichtskarte der Befliegungen

Die in der Karte (*Abb. 1*) sichtbaren Orthofotos vor der lila eingefärbten NSG-Fläche zeigen die befliegenen Teilgebiete. Auf den zwei orange-umrandeten Flächen befinden sich die Standorte der Sandstrohlblume, die dem Projektkoordinator vom Pfliegertruppleiter vor Ort gezeigt worden waren. Sie wurden zuerst auf 30 m Höhe befliegen, was jedoch zur alleinigen Erkennung der Sandstrohlblume nicht ausreichte. Deswegen wurden noch Tests zur Herausarbeitung einer Detektionshöhe durchgeführt.



Abb. 1: Übersicht des Befliegungsgebiets ‚Hirschacker‘ mit den erzeugten Orthofotos (Döring, 2021) - orange = Sandstrohblumenvorkommen, rosa = Calluna-Flächen, grün = *Calamagrostis*, lila = NSG, blau schraffiert = FFH-Gebiet

Auf der westlichen Fläche wurden exemplarisch die Calluna-Flächen digitalisiert (rosa) und auf der nördlichen Fläche das *Calamagrostis*-Vorkommen (grün). Auf den restlichen befliegenen Flächen sind allgemein Strukturen gut zu erkennen, die aber nicht weiter ausgewertet wurden.



Abb. 2: Orthofotos mit terrestrisch kartierten Vegetationseinheiten (Döring, 2021)

Das vom INL Bühl zur Verfügung gestellte SHP-File mit den kartierten Vegetationseinheiten sieht man auf der linken Karte als grüne Polygone. Diese Kartierung wurde, wie oben beschrieben in einem Tag von zwei Personen durchgeführt. Diese Flächen könnten an sich auch in einem Tag befliegen werden, doch lassen sich diese Einheiten, die sich oft nur durch die Vergesellschaftung unscheinbarer und mit der Drohne nicht zu erfassender Arten unterscheiden, nicht aus Luftbildern abgrenzen.

Deswegen macht ein Zeitvergleich in diesem Zusammenhang keinen Sinn. Außerdem ist der Mehrwert der Luftbild-Dokumentation und der für das Management leicht und schnell zu erfassenden und digitalisierbaren Flächen mit der Drohne aus der Luft nicht zu budgetieren, da dies am Boden so gar nicht erfolgen kann.

Sandstrohlblume (*Helichrysum arenarium*)

Die Sandstrohlblume wurde an den zwei indizierten Orten (Abb. 3 + 4) in jeweils unterschiedlichen Höhen befliegen, um die optimale Flughöhe zur Detektion herauszufinden. Das war der erste gezielte Test für eine brauchbare Flughöhe zur Arterkennung.



Abb. 3: Sandstrohlblume - Standort N (Döring, 2022)



Abb. 4: Sandstrohlblume - Standort S (Döring, 2022)

Da die relativ niedrige und weniger effiziente Flughöhe von 30 m erfahrungsgemäß nicht zur Detektion ausreichen würde, wurden zusätzlich manuell detailliertere Einzelfotos der beiden *Helichrysum*-Vorkommen erfolgt.

Auf diesen Einzelbildern wurde ersichtlich, dass sie bis zu einer Höhe von gut 7 m noch hinreichend gut detektiert werden kann. Solch detailliertere Einzelfotos ermöglichen es, in QGIS via *Import Photos* (s. [Kapitel Methodik](#)) und Ansicht der Einzelfotos, die Fundorte auch auf den Orthofotos aus 30 m Höhe gut zu digitalisieren.

Das Zählen der einzelnen Individuen gestaltet sich aufgrund der Wuchsform der Sandstrohlblume (mehrere Individuen auf einem Fleck bzw. mehrere Stängel aus einem Rhizom und mehreren Blüten/Pflanze (Abb. 5) schwer bis unmöglich.

Eine erste Suche und die flächige Kartierung mit einer Drohne ohne Kenntnis der Standorte ist somit wenig effizient. Sobald aber die Standorte bekannt sind, kann die Fläche auf einer größeren effektiven Höhe - abhängig von den anderen Fragestellungen auf dieser Fläche - befliegen werden.

Die bekannten Standorte von *Helichrysum* können dann zur näheren Inspektion und Dokumentation des Bestandes auf niedrigerer Höhe nachbeflogen werden. Auf einer Höhe bis 7 m oder etwas höher, wenn keine Verwechslungsgefahr mit anderer Art besteht, und mit achtsamem Blick auf den Monitor, können die Vorkommen manuell befliegen und detailliert aufgenommen werden. Dabei sollten diese niedrigen Flüge gut mit den Gebietsbetreuern abgesprochen werden, um potenzielle Störungen zu minimieren.




Die Fotos dienen dann der Unterstützung der Digitalisierung der Bestände auf den weniger hochauflösten Orthofotos (da mit Bildern aus größerer Höhe erstellt).




Abb. 5: Zeichnung der Sandstrohlblume ([THOMÉ, 1885](#))

Im Tab. 2 wurde der Flughöhentest zur Bestimmung der Flughöhe für eine sichere Ansprache der Sandstrohlblume analysiert.

Tab. 2: Vergleich der Flughöhen für die Sandstrohlblumendetektion (Döring, 2022)

Flughöhe - Anmerkungen	Bildausschnitt
<p>3.90 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Bild gut bestimmbar - zumindest, wenn nur diese <i>Helichrysum</i> Art im Gebiet vorkommt • beim Hineinzoomen sind Blüten und Blattstruktur gut zu erkennen • mit Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung sehr gut verwendbar 	
<p>5.0 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Bild noch bestimmbar - zumindest, wenn nur diese <i>Helichrysum</i> Art im Gebiet vorkommt • beim Hineinzoomen sind Blüten und Blattstruktur mit Farben noch zu erkennen • Konturen der Blätter werden unschärfer • mit Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung gut verwendbar 	
<p>6.9 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Bild allein kaum mehr bestimmbar • beim Hineinzoomen sind Blütenstruktur und -farbe noch einigermaßen zu erkennen • Blattstruktur immer weniger zu erkennen • mit Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung gut verwendbar 	

<p>11.5 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Bild alleine nicht mehr bestimmbar • ohne Verwechslungsgefahr mit anderer Art Erkennung evtl. noch möglich • beim Hineinzoomen Blütenstruktur nicht mehr differenzierbar • Blütenfarbe noch zu erkennen • Blattstruktur nicht mehr deutlich zu erkennen • bei gutem Ground-Truthing und für automatisierte Bildauswertung ggf. noch brauchbar 	
--	--

Landreitgras (Calamagrostis epigejos)

Wie oben erwähnt, waren auf manchen Flächen doch noch *Calamagrostis*-Flächen zu erfassen. Sie konnten in OGIS mit Hilfe des Viewers für Einzelfotos des [Import Photo-Tools](#) (Abb. 6 rot umrandet) gut erkannt und zur Anschauung digitalisiert werden. Im Viewer-Bild kann hineingezoomt werden, was eine genauere Ansprache der Objekte erlaubt.

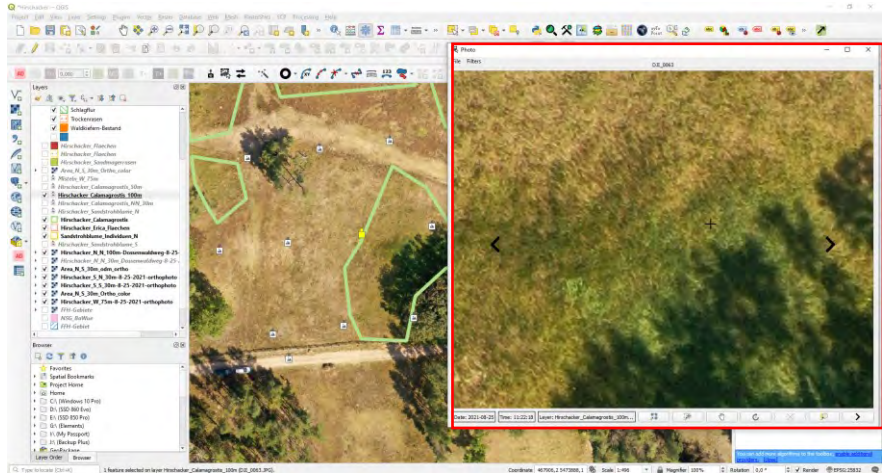


Abb. 6: Digitalisierung von *Calamagrostis* mit Hilfe des *Import Photo-Viewers* (rot umrandet) - grün = digitalisierte *Calamagrostis*-Flächen (Döring, 2022)

Auf den Orthofotos alleine wäre ist eine Ansprache nicht so sicher möglich - speziell in diesem Beispiel, da an diesem Tag genügend Wind ging, um das Landreitgras zu bewegen. Das führte dazu, dass die zusammengesetzten Orthofotos nicht so scharf wie unter optimalen Bedingungen wurden, da sie ja aus den Einzelfotos 'zusammengenäht' werden. Bei Wind wird aber jedes Objekt in den zugehörigen Einzelfotos mit einer etwas anderen Ausrichtung abgebildet, was zu Unschärfen im Gesamtbild führt. Doch ein Einzelfoto ist eine statische Momentaufnahme ohne Verzerrung.

Sowohl im aus den 28 Einzelfotos Online-generierten Orthofoto von [MapsMadeEasy](#) (Abb. 7), als auch in dem mit [WebODM](#) erstellten (Abb. 8), lassen sich die relevanten Flächen oder Strukturen gut erkennen und abgrenzen (s. unten).

Beide Orthofotos stammen aus demselben Flug auf 100 m Höhe mit 2,3 cm GSD (Bodenauf-lösung), der nur 4 Minuten dauerte.

Das Orthofoto aus *WebODM* wurde im 'fast'-Modus in weniger als 4 Minuten erstellt und steht qualitativ zur Auswertung in nichts nach.



Abb. 7: Ausschnitt der *Calamagrostis*-Fläche aus MME (Döring, 2022)



Abb. 8: Ausschnitt der *Calamagrostis*-Fläche aus WebODM (Döring, 2022)

Die Schnelligkeit der Befliegung und sogar der Prozessierung der Fotos, zeigt die mögliche Effizienz und Brauchbarkeit solcher Flüge für das Flächenmanagement.

Vergleichende Flüge auf 50 m und 30 m Höhe brachten für die Strukturerkennung zum Flächenmanagement keine wesentlichen Änderungen, aber natürlich eine höhere Auflösung (50 m - 1,2 cm GSD, 30 m - 0,7 cm GSD).

Zur Erkennung von Objekten auf Artenniveau braucht man aber noch viel geringere Flughöhen wie oben gesehen, was sich wiederum extrem negativ auf die Flächenleistung auswirkt. Dabei sollten diese niedrigen Flüge immer gut mit den Gebietsbetreuern abgesprochen werden, um potenzielle Störungen zu minimieren.

Die Fotos dienen dann der Unterstützung der Digitalisierung der Bestände auf den weniger hochauflösten Orthofotos (da mit Bildern aus größerer Höhe erstellt).

Deswegen sollten solch niedrige Flughöhen nur zur Verifizierung von einzelnen Arten auf begrenzter Fläche eingesetzt werden und dann ggf. auch nur durch Aufnahme einzelner Fotos zum Belegen des Vorkommens.

Mistel (Viscum album)

Gewissermaßen als 'Beifang' wurde in den Drohnenbildern auch noch viele mit Misteln befallene Waldkiefern erfasst. Wie in (ECKE, 2017) konnten sowohl die befallenen Bäume, als auch einzelne Misteln gezählt werden. Natürlich sind nicht alle Misteln in den Kiefern-Kronen gut sichtbar, jedoch können wohl die meisten befallenen Bäume erfasst werden.

In QGIS können Bilder in den Bildeigenschaften (Histogramm) farblich verändert werden. So entstehen Falschfarbenfotos, die z.B. die Misteln auf den befallenen Kiefern hell hervorheben (Abb. 9).

Dafür wurden in diesem Fall im Histogramm die Werte für Band 1 mit (0, 255), für Band 2 mit (150, 255) und für Band 3 mit (0, 255 oder weniger) eingestellt. Für andere Fotos mögen aber durchaus andere Werte sinnvoller sein und ein Ausprobieren bleibt für den jeweiligen Fall unumgänglich.

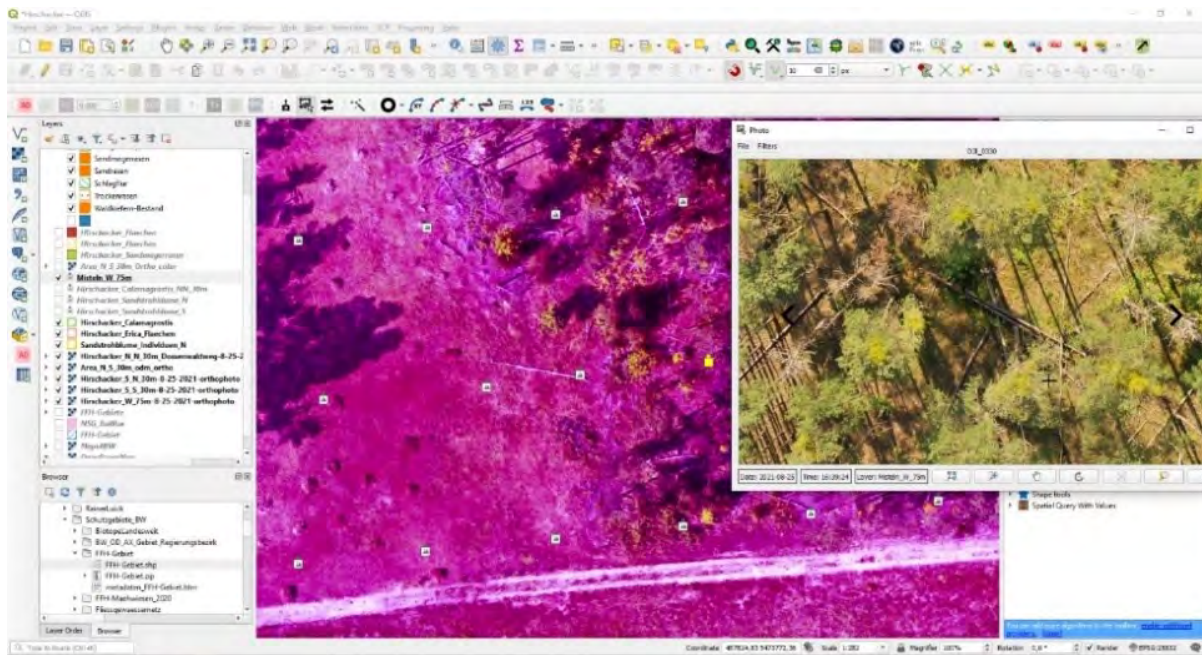


Abb. 9: Mistel-Orthofoto in OGIS umgefärbt und mit Einzelfotos abgeglichen - die Misteln erscheinen gelblich, im ‚normalen‘ Einzelfoto hellgrün (Döring, 2022)

GIMP

Natürlich kann man auch ein Bildbearbeitungsprogramm wie z.B. das kostenfreie Open-Source-Programm [GIMP](#) verwenden. Darin kann man z.B. mit den Parametern *Hue* und *Saturation* spielen, um den gewünschten Effekt zu erreichen.

Das Bild rechts (Abb. 10) wurde in *GIMP* mit den Einstellungen *Color* → *Hue-Saturation* (*Hue* ab -39) versehen, wodurch die Bäume grüngrau und die Misteln rot erscheinen und sich gut vom Rest der Landschaft abheben.



Abb. 10: Mistelbild farblich verändert - Misteln in hellrot (Döring, 2021)

Das Thema Misteln wird im Teilprojekt 'Waldmonitoring' ausführlicher behandelt.

5.1.5 Hirschacker - Fazit

Tab. 3: Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
Ist ein Effizienzvergleich zwischen rein terrestrischer Kartierung und Drohnen-unterstützter Kartierung möglich?	<ul style="list-style-type: none"> • Nein, die terrestrische Kartierung fand mit zwei Personen an einem Tag statt, was mit einem Drohneneinsatz und anschließender Auswertung nicht möglich ist. • Außerdem ist die Kartierung auf Artenniveau zur Abgrenzung von fein differenzierten Vegetationseinheiten mit einer Drohne noch nicht realisierbar. • Dafür liefern Drohnenaufnahmen hochauflösende messbare, digitalisierbare und ggf. automatisiert auswertbare Orthofotos und eine permanente Dokumentation.
Ist es möglich, die Sandstrohblume (<i>Helichrysum arenarium</i>) mit Drohnen flächig zu erfassen?	<ul style="list-style-type: none"> • Für eine sichere Erkennung ist eine Flughöhe von nur wenigen Metern nötig - speziell mit den kleinen Kameras der handelsüblichen Drohnenmodelle. Das verringert die Flächenleistung erheblich und macht eine flächige Kartierung wenig effektiv. • Mit größeren Drohnen-Systemen könnte eine Kartierung evtl. machbar sein. - aber einfach ist es nicht realisierbar • Wenige manuell und niedrig erfolgene Fotos von bereits bekannten Vorkommen/Standorten können aber helfen, die Bestände auf Orthofotos aus größerer und effektiverer Flughöhe zu digitalisieren und anschließend flächig auszuwerten. Dabei sollten diese niedrigen Flüge immer gut mit den Gebietsbetreuern abgesprochen werden, um potenzielle Störungen zu minimieren. • Die niedrig erfolgten Fotos können auch zur Unterstützung der Digitalisierung der Bestände auf den weniger hochauflösten Orthofotos (da mit Bildern aus größerer Höhe erstellt) dienen.
Kann die Entwicklung der Vegetationsstruktur - besonders im Hinblick auf <i>Calamagrostis</i> - auf den Pflegeflächen durch regelmäßige Befliegungen effektiv(er) verfolgt und die einzelnen Vegetationseinheiten/-elemente gut abgegrenzt werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, man kann die phänologischen Veränderungen durch regelmäßige Befliegungen auf den Flächen dokumentieren und eindeutig unterscheidbare Einheiten abgrenzen. Schwer und nur auf Artenniveau abgrenzbare Vegetationseinheiten können bisher ausschließlich terrestrisch durch Fachleute durchgeführt werden. • Die Ausbreitung z.B. vom flächig auftretenden Landreitgras (<i>Calamagrostis epigejos</i>) kann effizient kartiert werden (HECKE ET AL., 2018), (NEUMANN ET AL., 2021). Es reichen meist schon 100 m Flughöhe, um - ggf. in QGIS mit Hilfe der via <i>Import Photos</i> eingeblendeten Einzelfotos - das Landreitgras sicher im Orthofoto abgrenzen zu können.
Ist die Erstellung eines detaillierten Orthofotos im Vorfeld von naturschutzfachlichen Maßnahmen möglich.	<ul style="list-style-type: none"> • Ja • Dafür reichen, wie gezeigt, oft Flüge auf effektiven 100 m Flughöhe, die schnell durchgeführt und deren Bilder ggf. schnell zu einem Orthofoto prozessiert werden können.
Wann muss dazu in der Vegetationsperiode geflogen werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Je nachdem, was genau untersucht werden soll.

	<ul style="list-style-type: none"> ○ zum Flächenmanagement - am besten kurz vor der Maßnahme, damit die zu pflegende Vegetation auch schon sicher vorhanden ist und auf größtmöglicher effizienter Höhe ○ zur Kontrolle einer Maßnahme auch nach der Durchführung ○ Für die Arterkennung bzw. Verifizierung von Vorkommen muss natürlich zum Blühzeitpunkt der Art geflogen werden.
<p>Sind die erfolgten Höhenmodelle genau genug, um qualifizierte Differenzierungen der Wuchshöhen zu ermöglichen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die relativen Höhen-Modelle bilden Höhenunterschiede sehr fein ab, so dass Wuchshöhen - zumindest von Sträuchern und Bäumen - gut differenziert werden können. • Absolute genaue Höhenangaben sind jedoch ohne Vermessungsmethoden wie RTK-Drohnen oder geodätisch erfassten Bodenpunkte zur Georeferenzierung nicht möglich.
<p>Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst nicht in der Brutzeit fliegen. • Befliegungen immer mit den zuständigen Fachleuten absprechen. • 40 m bis 50 m Flughöhe haben sich bis jetzt generell als unproblematisch erwiesen - s. <i>Kapitel Störungsökologie</i> im Hauptteil und die veröffentlichte Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen (DÖRING, S.; MITTERBACHER, M., 2022) • Die generellen Regeln für schonendes und störungsarmes Fliegen daraus gelten natürlich immer.
<p>Welche Methoden sind für die Flugplanung günstig?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Als sinnvoll haben sich Rasterflüge zur effektiven Abdeckung der gewünschten Flächen erwiesen, die auch am PC geplant und als KMLs auf die Drohnen übertragen werden können. Eine Planung am PC hat den Vorteil, dass in GIS schon vorhandene Geometrien aus amtlichen oder anderweitig vorliegenden Geo- oder Artendaten als Grundlage zur Flugplanung genutzt werden können. • Flughöhen <ul style="list-style-type: none"> ○ Für das Flächenmanagement und nicht allzu feine Strukturen reichen meist Flüge in 100 m Höhe aus. ○ Zur Erkennung feinerer Strukturen oder gar einzelner Arten sind generell niedrigere Höhen sinnvoll (muss jeweils ausprobiert werden), oder besser ○ es werden ergänzend manuelle Flüge auf Höhen < 10 m zur Aufnahme ergänzender Einzelfotos für die Artendifferenzierung durchgeführt. Diese sollten immer gut mit den Gebietsbetreuern abgesprochen werden, um potenzielle Störungen zu minimieren.
<p>Welche Flugbedingungen sollten angestrebt werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Je feiner die Vegetation, desto weniger Wind sollte zum Flugzeitpunkt wehen (<i>Calamagrostis</i> z.B. bewegt sich leicht) • Es sollte beim Fliegen möglichst gleichmäßiges Licht herrschen, am besten gleichmäßig bewölkt, oder sonnig ohne (viele) Wolken. Bei Sonne herrscht aber häufig mehr Wind. • kein Regen

5.1.6 Offenland - Fazit

Tab. 4: Landschaftsmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Offenlandmonitoring		
Schwierigkeit 	Erfahrung 	Nutzen 
Ziele	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> • Zustandserfassung • Strukturerrfassung • Change Detection • Vegetationserkennung - nur bedingt zur Arterkennung • Habitatmonitoring • Kontrolle 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Orthofotos ○ permanente Dokumentation ○ spart Zeit ○ ggf. genaue Verortung mit Mehrfrequenz-GNSS - ○ evtl. Multispektral-Analysen ○ 3D-Punktwolken 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotos - RGB, Multi-spektral, Thermal • Orthofotos • 3D-Modelle • Laserscans

Tab. 5: Landschaftsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Empfohlene Methodik/Parameter	Grund
Unbedingt die <i>Störungsökologischen Grundregeln</i> (v.a. Brut- und Mauserzeiten beachten) - s. <i>4.2 Störungsökologie</i>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Kapitel <i>3.1.2 Befliegungs-Methodik</i> sollte immer beachtet werden.	
<p>Die effektivste Flugweise wird durch programmierte Rasterflüge erreicht. Diese sollten grundsätzlich mit einer Überlappung von mind. 75 % vorwärts und 60 % seitlich programmiert werden.</p> 	<p>Für brauchbare Orthofotos wird immer eine gewisse Überlappung benötigt. Photogrammetrie-Software benötigt tausende von sog. Schlüsselpunkten zwischen den einzelnen Fotos, um diese verknüpfen zu können. Aus einer Gruppe von übereinstimmenden Schlüsselpunkten entsteht ein 3D-Punkt.</p> <p>Mehr Überlappung bedeutet mehr übereinstimmende Schlüsselpunkte zwischen den Einfeldfotos und damit auch mehr 3D-Punkte für bessere Modelle.</p>
<p>Immer so hoch, wie möglich fliegen. → Zusätzlich niedrig geflogene Fotos können genutzt werden, um in Orthofotos aus größerer und effektiverer Flughöhe Arten sicherer zu detektieren und anzusprechen (Verifikation der Arten).</p>	<p>Aus störungsökologischen Gründen sollte immer möglichst viel Abstand zu potenziellen Arten am Boden gehalten werden. Die Höhe sollte sich natürlich immer nach dem kleinsten zu untersuchenden Objekt richten. Ein Objekt sollte durch mindestens 3</p>

<p>→ Muss aus methodischen Gründen (z.B. Detektion von Pflanzen auf Artenniveau) wesentlich tiefer geflogen werden, sollten diese Flüge möglichst nicht in kritischen Zeiten wie Mauser- oder Brutzeiten stattfinden und/oder gut mit den Gebietsbetreuern abgesprochen werden.</p>	<p>Bild-Pixel repräsentiert sein, um überhaupt erkennbar zu sein. Die Minimierung von Störungen sollte prioritär sein. Doch können Drohnenflüge sogar zur Verminderung von Störungen gegenüber terrestrischen Erfassungsmethoden beitragen (z.B. in Feuchtgebieten) (LAG VSW, 2023). Die Effizienz erhöht sich mit größerer Flughöhe, da dadurch die Flächenleistung höher wird - s. 3.1.2 Befliegungs-Methodik.</p>
<p>bei einförmigen Strukturen wie hohes Grass(land) - z.B. Blütenwiese mit vielen oberständigen Gräsern, Maisfelder, Seen, Sand, Schnee → Überlappung mind. 85 % vorwärts und 70 % seitlich → auf guten Kontrast in Bildern achten</p>	<p>Photogrammetrie-Programmen haben oft Probleme, wenn sie bei sehr gleichförmigen Strukturen keine eindeutigen Verknüpfungspunkte zwischen den einzelnen Bildern finden. Deshalb möglichst viele 'Struktur' wie Büsche oder Bäume am Rand der Fläche mit aufnehmen.</p>
<p>Bei Flüssen und Seen sollte möglichst immer ein Stück Uferbereich mit aufgenommen werden.</p>	<p>Reine Wasserflächen zu gleichförmig, mit starker Reflektion und Wellengang lassen meist keine Orthofoto-Erstellung zu - s. oben.</p>

5.1.7 Wirtschaftlichkeit

Offenlandmonitoring mit Drohnen lohnt sich dann, wenn

- es günstiger ist als andere Methoden (Satelliten, Flugzeugbefliegungen), was der Fall ist, wenn nur kleinere Flächen zu befliegen sind.
- ständig wiederkehrende Befliegungen überschaubarer Flächen durchgeführt werden - je nach Fluggerät (Multikopter oder Starrflügler/VTOL).
- mit unterschiedlichen Flugparametern geflogen werden muss (Nadir, Schrägaufnahmen, unterschiedliche Höhen).
- mit unterschiedlichen Sensoren geflogen werden soll.
- ein flexibler und spontaner Einsatz nötig ist.

Literaturverzeichnis

- BEYER, F.; GRENZDÖRFFER, G. (2018): "Klassifikation von Vegetationstypen auf Moorstandorten unter Verwendung von multisensoralen Drohnendaten". Conference Paper. https://www.researchgate.net/publication/324389960_Klassifikation_von_Vegetationstypen_auf_Moorstandorten_unter_Verwendung_von_multisensoralen_Drohnendaten
- BREUNIG, T.; NABU, L. B. (2019): "Schaffung offener Sandlebensräume im Gebiet „Hirschacker“ und auf Waldflächen der „Schwetzingen Hardt“ - Evaluation der Maßnahmen - Abschlussbericht".
- BUCK, O. ET AL. (2018): "Der Einsatz von Fernerkundung im FFH-Monitoring am Beispiel der Anwendung FELM". In: Natur und Landschaft 93(5). <https://doi.org/10.17433/5.2018.50153577.215-223>
- BUNDESFORST (2015): "Managementplan für das FFH-Gebiet Wittstock-Ruppiner Heide". <https://lfu.brandenburg.de/daten/n/natura2000/managementplanung/556/FFH-MP-556.pdf>
- DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU) (2022): "DBU-Naturerbefläche Marienfließ". <https://www.dbu.de/naturerbeflaechen/marienfluss/> (16.7.2022)
- DÖRING, S.; MITTERBACHER, M. (2022): "Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>
- ECKE, S. (2017): "Aufnahme hochaufgelöster Luftbilder mittels UAV zur Visualisierung und räumlichen Analyse von Kiefernmisteln (*Viscum album ssp. austriacum* (Wiesb.) Vollmann) an Waldkiefern (*Pinus sylvestris* L.)". Bachelorarbeit. HSWT.
- HECKE, C. ET AL. (2018): "Drohneinsatz in der Vegetationsökologie: Neue Perspektiven auf Muster und Dynamik – das Beispiel Hörfeld-Moor". In: Carinthia II 208./128. Jahrgang, S. 429–436. https://e-c-o.at/files/publications/downloads/R00000_Carinthia_Hecke%20H%C3%B6rfeld%20Moor_2018.pdf
- HÜPPE, J. (1993): "Entwicklung der Tieflands-Heidelandschaften Mitteleuropas in geobotanisch-vegetationsgeschichtlicher Sicht". https://www.zobodat.at/pdf/Ber-Reinh-Tuexen-Ges_5_0049-0075.pdf
- JUNGMEIER, M. ET AL. (2016): "Naturprozesse in einem Lawinarsystem - das Beispiel Kalktal im Nationalpark Gesäuse". In: Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark 145, S. 17–31. https://www.researchgate.net/profile/Michael_Jungmeier/publication/302929650_Naturprozesse_in_einem_Lawinarsystem_-_das_Beiispiel_Kalktal_im_Nationalpark_Gesause_Ennstaler_Alpen_Tamischbachturm
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTEMBERG (LUBW) (2022): "Schutzgebietssteckbrief: Naturschutzgebiet Hirschacker und Dossenwald". <https://rips-dienste.lubw.baden-wuerttemberg.de/rips/ripsserver/vices/apps/naturschutz/schutzgebiete/steckbrief.aspx?id=919001000195> (15.7.2022)
- LANDWIRTSCHAFTLICHES ZENTRUM BADEN-WÜRTEMBERG (LAZBW) (2014): "FFH-Mähwiesen - Grundlagen". https://fortbildung-lazbw.lgl-bw.de/lazbw/webbasys/download/Shop/2018_GL_lazbw_FFH_Maehwiesen_Grundlagen.pdf
- NABU SCHWETZINGEN (2022): "Der Hirschacker-Dossenwald". Homepage des NABU Schwetzingen & Umgebung. <http://www.nabu-schwetzingen.de/nabu-gebiete-in-der-region/schwetzingen/hirschacker/> (3.6.2022)
- NEUMANN, C. ET AL. (2020): "The Colors of Heath Flowering – Quantifying Spatial Patterns of Phenology in *Calluna* Life-cycle Phases Using High-resolution Drone Imagery". In: Remote Sensing in Ecology and Conservation 6(1), S. 35–51. <https://doi.org/10.1002/rse2.121>
- NEUMANN, C.; SCHINDHELM, A. (2022): "Farben der Veränderung - Phänologie & Sukzessionsdynamik in hochaufgelösten Drohnenbildern". NaTec. <http://heather-conservation-technology.com/de/remote-cent-7.html> (16.7.2022)
- NEUMANN, C. ET AL. (2021): "The Regenerative Potential of Managed *Calluna* Heathlands - Revealing Optical and Structural Traits for Predicting Recovery Dynamics". In: Remote Sensing 13(4), S. 625. <https://doi.org/10.3390/rs13040625>



RIEMANN, H.; FÜRSTENOW, J.; MÜLLER, J. (2022): "NaTec-KRH Project Heathland Conservation Monitoring". NaTec - KRHfounder - Combining Nature Conservation & Technology. http://heather-conservation-technology.com/de/land_1.html (15.7.2022)

THOMÉ, O. W. (1885): "Sand-Strohblume". Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sand-Strohblume&oldid=216733575> (19.8.2022)

5.2 Offenland- und Waldweide-Monitoring - Taubergießen

Zusammenfassung

Im Teilprojekt 'Taubergießen' wurden Befliegungen zum Monitoring von FFH-Wiesen, von Waldweide- und Waldumbauflächen und von neu angelegten Tümpeln durchgeführt, um die Möglichkeiten des Drohneneinsatzes für diese Aufgaben auszuloten.

Bezüglich der Befliegungsmethodik gilt grundsätzlich das gleiche wie beim Heidemonitoring im Gebiet 'Hirschacker' und wie bei eigentlich allen Landschaftsbefliegungen. Auch die Detektion der hier untersuchten Vegetationsstrukturen in den Luftbildern gestaltet sich gleich.

Was neu ist, ist die Frage, ob z.B. einzelne Arten, die wertgebend für die Mähwiesen-Qualität sind (LAZBW, 2014), überhaupt und wenn ja auf welcher Flughöhe detektiert werden können. Die Antwort wirkt sich erheblich auf die Effektivität der Befliegungen aus.

Inhaltsverzeichnis

10.2	Offenland- und Waldweide-Monitoring - Taubergießen	1
	Zusammenfassung	1
	Inhaltsverzeichnis	1
	Abbildungsverzeichnis	2
	Tabellenverzeichnis	3
10.2.1	Einführung	4
	10.2.1.1 Monitoring von Grünland	4
	10.2.1.2 Einzelpflanzenerkennung	5
10.2.2	Methodik	7
	10.2.2.1 Projektgebiet	7
	Gebietsdaten	7
	10.2.2.2 Fragestellungen	10
	Schwerpunktthemen	10
10.2.3	Wald-Monitoring	11
	10.2.3.1 Übersicht	11
	10.2.3.2 Analyse der Bilder	11
	Bestand SW	12
	Bestand NO	12
	10.2.3.3 Befliegungen FELIS	14
	10.2.3.4 Wald-Monitoring Fazit	17
10.2.4	Tümpel-Monitoring	19
	10.2.4.1 Ergebnisse	20
	10.2.4.2 Tümpel-Monitoring Fazit	24
10.2.5	FFH-Flachland-Mähwiesen (LRT 6510) - Arterkennung mit Drohne	25
	10.2.5.1 Qualitätskontrolle von Mähwiesen	26
	Methodik der terrestrischen Schnellaufnahmen	27
	Methodik für Drohnenbefliegungen	27
	Detektierbarkeit der Charakterarten	28
	10.2.5.2 Ergebnisse	29
	Vertikalflüge zur Arterkennung	29
	Strukturerkennung in Wiesen	31

10.2.5.3	FFH-Wiesen-Monitoring Fazit	34
10.2.6	Methodenentwicklung zur Einzelpflanzendetektion (FELIS)	36
10.2.6.1	Befliegung von Wiesen in Taubergießen, im Südschwarzwald (Präg) und im Abuseni Gebirge in Rumänien	36
10.2.6.2	Arnika Wiese im Präg-Gebiet (Südschwarzwald).....	37
10.2.6.3	Methodenentwicklung – Einsatz von generellen Bildverarbeitungsmethoden	38
10.2.6.4	Methodenentwicklung – Neuronale Netze	38
10.2.6.5	Florabefliegung im Apuseni Gebirge (Rumänien)	39
10.2.7	Weinbergbefliegungen (FELIS)	41
10.2.7.1	Einleitung	41
10.2.7.2	Projektgebiet	41
10.2.7.3	Fragestellungen	42
10.2.7.4	Methodik	42
	Befliegungen.....	42
10.2.7.5	Ergebnisse	43
10.2.7.6	Weinbergmonitoring -Fazit.....	44
10.2.8	Offenland - Fazit	45
10.2.8.1	Wirtschaftlichkeit.....	46
10.2.9	Literaturverzeichnis	47

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Taubergießen - Projektgebiete Wilde Weiden (Döring, 2022)	9
Abb. 2:	Taubergießen - Orthofotos der beflogenen Gebiete (Döring, 2022)	9
Abb. 3:	Bilder der beflogenen Wald-Bestände - rechts Aufnahme-Punkte der Fotos	11
Abb. 4:	SW-Waldfläche (Döring, 2021)	12
Abb. 5:	NO-Waldfläche (Döring, 2021)	12
Abb. 6:	NO-Waldfläche - Oberflächenmodell (Döring, 2021)	13
Abb. 7:	NO-Waldfläche - Oberflächenmodell (Döring, 2021)	13
Abb. 8:	Orthofoto im Schollenwald (Döring, 2022)	13
Abb. 9:	Ausschnitt aus dem Schollenwald-Orthofoto (Döring, 2022)	13
Abb. 10:	Höhenmodell des Schollenwalds (Döring, 2022)	14
Abb. 11:	DGM im Schollenwald (FELIS, 2022)	15
Abb. 12:	DOM im Schollenwald (FELIS, 2022)	15
Abb. 13:	Waldlücke im Schollenwald - Laserscan-Punktwolke (FELIS, 2022).....	15
Abb. 14:	Totholz im Schollenwald aus Laserscanning (FELIS, 2022)	16
Abb. 15:	Grafik - Parameter zur Waldbefliegung (Döring, 2022)	18
Abb. 16:	Waldmonitoring und Sichtweite (Döring, 2022)	19
Abb. 17:	Waldmonitoring und Erhöhung der Sichtweite auf Plattform (Döring, 2022)	19
Abb. 18:	Teiche in Taubergießen aus 45 m Höhe (FELIS, 2021)	21
Abb. 19:	Tümpelkette in Taubergießen - Übersicht (Döring, 2022)	21
Abb. 20:	Tümpel in Taubergießen - Zoombild (Döring, 2022)	21
Abb. 21:	Manuell auf ca. 3 m Höhe beflogener Tümpel (Döring, 2022)	22
Abb. 22:	Ausschnitt aus Abb. 21 (Döring, 2022)	22
Abb. 23:	Laichpakete (Döring, 2022)	22

Abb. 24: Frösche im Scheinwerferlicht der Drohne (Mitterbacher LfU Bayern, 2021)	23
Abb. 25: FFH-Wiesen-Karte (Saier, 2022)	25
Abb. 26: Eindruck des wenig bunten Wiesen-Aspektes (Döring, 2022).....	26
Abb. 27: Qualitätserfassung von FFH-Mähwiesen mit Drohnen (Döring, 2022)	27
Abb. 28: FFH-Mähwiese 1 - Befliegung 2021	31
Abb. 29: FFH-Mähwiese 1 - Befliegung 2022.....	31
Abb. 30: Orthofoto des Kalkmagerrasens	32
Abb. 31: Karte digitalisierter Wiesen-Zonen (Döring, 2022)	32
Abb. 32: Ausschnitt aus Orthofoto des Kalkmagerrasens	33
Abb. 33: Ausschnitt - Orthofoto der FFH-Mähwiese 1	33
Abb. 34: Wildschaden in Wiese (Elsner, 2021)	33
Abb. 35: Ausschnitt einer Blume und sukzessive Anwendung verschiedener Filter	38
Abb. 36: obere Zeile: Farbsegmentierung, untere Zeile: Schematische Darstellung der Anwendung von morphologischer Bearbeitung auf die Maske der Farbsegmentierung (FELIS, 2022)	38
Abb. 37: Yolo5 – Präg (Südschwarzwald) Arnika montana. Selbst sich mehrfach überlappende Blüten werden von diesem System korrekt erkannt. (FELIS, 2022) .	39
Abb. 38: Arnikablüten in Rumänien	39
Abb. 39: Gänseblümchen (Bellis perennis) - Erkennung.....	40
Abb. 40: Weinberg - Karte des Befliegungsgebietes 2021 (FELIS, 2021)	41
Abb. 41: Weinberg – Entwurf der Vegetationspflege jeder Gasse des Untersuchungsgebiets (FELIS, 2021)	42

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beschreibung des Schutzgebietes (Döring, 2022)	7
Tab. 2: Antworten & Empfehlungen Waldmonitoring (Döring, 2022)	17
Tab. 3: Antworten & Empfehlungen Tümpelmonitoring (Döring, 2022).....	24
Tab. 4: Erkennbarkeit von Charakterarten in FFH-Mähwiesen (Döring, 2022)	28
Tab. 5: Auswertung der Vertikalflüge zur Artenerkennung (Döring, 2022)	29
Tab. 6: Antworten & Empfehlungen zum Wiesenmonitoring (Döring, 2022)	34
Tab. 7: Bilder aus ca. 14 m, 20 m, ca. 28 m und 65 m Flughöhe. (FELIS, 2020).....	37
Tab. 8: Grashöhen in den Gassen an 2 unterschiedlichen Befliegungstagen (FELIS, 2021) .	43
Tab. 9: Höhendifferenzen ermittelt aus den Befliegungen (FELIS, 2021)	44
Tab. 10: Landschaftsmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)	45
Tab. 11: Landschaftsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)	45

5.2.1 Einführung

In der Literaturübersicht konzentrieren wir uns v.a. auf das Grünlandmonitoring, da die Waldthematik in dem entsprechenden Teilbericht extra behandelt wird.

Monitoring von Grünland

Grünland zählt global zu den artenreichsten Ökosystemen und einige Grünlandtypen, wie z.B. einige Kalkmagerrasen in Rumänien, können es kleinräumig mit der Biodiversität tropischer Regenwälder aufnehmen ([WILSON ET AL., 2012](#)). Leider jedoch sind die meisten ökologisch wertvollen Grünlandflächen in den vergangenen Jahrzehnten zu Bauland, Acker oder Wald geworden. Gleichzeitig sind die restlichen Wiesen und Weiden durch intensive Nutzung immer artenärmer geworden. Um möglichst vielen Tier- und Pflanzen-Arten Lebensraum bieten zu können, dürfen Wiesen und Weiden nur selten gemäht oder entsprechend sensibel beweidet bzw. extensiv bewirtschaftet werden - ohne oder lediglich mit sehr wenig und fein abgestimmter Düngung. Bei zu intensiver Nutzung, aber auch durch Verwahrlosung gehen diese wertvollen Habitate verloren. ([GIERCZAK, 2021](#))

In Baden-Württemberg ist Grünland ein wesentliches Element der Kulturlandschaft und macht laut ([LAZBW, 2022](#)) mehr als 50 % der v.a. für den Ackerfutterbau landwirtschaftlich genutzten Fläche aus. Grünlandböden binden zudem viel Kohlenstoff, schützen vor Erosion und dienen dem Grundwasserschutz.

Seit der EU-Agrarreform 2013 wird der Erhalt von Dauergrünland über Auflagen als Voraussetzung für flächengebundene Direktzahlungen geregelt. Da dies jedoch nur Betriebe gilt, die Direktzahlungen in Anspruch nehmen, haben einige Bundesländer (Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Baden-Württemberg) eigene rechtliche Regelungen zum Umbruch von Grünland - sog. Umbruchverbote - erlassen. Verstöße dagegen werden als Ordnungswidrigkeiten geahndet. Aber nur in FFH-Gebieten gilt ein absolutes Umwandlungs- und Pflugverbot. ([UBA, 2022](#))

Als Teil des Umwelt-Indikators HNV-Farmland (ökologisch wertvolle Agrarlandschaftsfläche) wird in Baden-Württemberg das Offenland auf den gleichen Stichprobenflächen wie das Monitoring häufiger Brutvögel und das landesweite Insektenmonitoring erfasst. Auf 372 jeweils 1 km² großen Stichprobenflächen werden Lebensräume mit Hilfe einer vereinfachten Erfassungsmethodik hinsichtlich ihrer Größe und ihres ökologischen Zustands bewertet. Die erfassten Nutz- und Lebensraumflächen werden mit Hilfe von Kennarten und die Landschaftselemente werden ergänzend anhand ihrer Struktureigenschaften in 3 Qualitätsstufen eingeteilt. Die HNV-Flächen müssen nach der Erfassung digitalisiert und die Probeflächen quantitativ und qualitativ ausgewertet werden. Jährlich werden 25 % der Flächen neu bewertet und so die Veränderungen festgehalten. ([LUBW, 2022B](#))

Da die landesweiten Orthofotos nur alle 2 - 3 Jahre neu erstellt werden, können auf ihnen Veränderungen von Vegetation oder Strukturen oft nicht befriedigend nachvollzogen werden. Deswegen bietet sich hier eine Befliegung der Flächen mit Drohnen an. Durch die erhaltenen aktuellen Orthofotos kann der momentane Zustand erfasst und evtl. sogar am PC digitalisiert und analysiert, aber auf jeden Fall langfristig dokumentiert werden. Wenn die Flächen sehr groß sind, sollten dazu allerdings eher RTK-fähige Starrflügler-Drohnen eingesetzt werden. Damit ist eine Vermessungs-genaue, großflächige Datenaufnahme möglich, wie das in einem Projekt der Landwirtschaftsverwaltung in Bayern getestet wurde ([WINGTRA, 2021](#)). Leider liegt dazu kein offizieller Bericht vor, doch es fand ein reger Austausch mit den Projektkoordinatoren statt.

Einige Grünlandtypen sind als Lebensraumtypen auch direkt durch die FFH-Richtlinien geschützt - z.B. als LRT 6510 die Flachland- und als LRT 6520 die Berg-Mähwiesen. Für diese besteht eine gesetzliche Monitoringpflicht und es gilt das Verschlechterungsverbot.

([GILLAN ET AL., 2020](#)) beschäftigten sich mit der Entwicklung von Indikatoren für die Bewertung von Weideland anhand von RGB-Daten und den Bildern einer Multispektral-Kamera von nun schon oft zitierten herkömmlichen und kostengünstigen DJI-Phantom-Drohnen. Es wurden die aus den Drohnen Daten errechneten Indikatoren Vegetationshöhe, Bedeckungsgrad und Bestandes-Lücken mit den terrestrischen Aufnahmen der nordamerikanischen Beifuß-Steppe verglichen. Die Übereinstimmungen waren vielversprechend und sie boten Verbesserungsvorschläge und Empfehlungen für den effektiven Einsatz von Drohnen für Weideland-Monitoring an. Sie kamen zu dem Schluss, dass Drohnen Daten zwar die herkömmlichen Methoden nicht völlig ersetzen können, wohl aber doch für viele Fragestellungen eine kostengünstige und leicht einsetzbare Ergänzung oder auch Alternative darstellen. Dabei können neue 'Luft-Einsichten' und Parameter bes. für größere Flächen erfasst werden, die bei terrestrischen Aufnahmen normalerweise in solcher Ausdehnung gar nicht abgedeckt werden können.

Im Frühjahr 2019 fand an der Hochschule Anhalt die Fachtagung „Produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen“ statt, während der ([PIETSCH ET AL., 2020](#)) einen Vortrag zu den "Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten im Monitoring und Management von Naturschutzmaßnahmen auf Landwirtschaftsflächen" hielten. Darin unterstrichen sie die Wichtigkeit u.a.

- des Monitorings von Veränderungen innerhalb einer Vegetationsperiode oder über längere Zeiträume hinweg,
- der Beurteilung von Pflanzenbeständen hinsichtlich Qualität, möglichen Schäden und deren Ursachen, Artenzusammensetzung etc.,
- von Oberflächenmodellen zur Ableitung von Entwicklungsstadien vorhandener Vegetationseinheiten (z.B. Heideflächen, Blühstreifen).

Sie konnten mit Hilfe von UAV-Bilddaten für Ackerbrachen und Blühstreifen sowohl die Strukturvielfalt als auch die Pflanzenvielfalt anhand der Ermittlung der Blütenfarben abbilden. Es wurde jedoch auch klar, dass für die Aufnahme ausgewählter, aber in dichten Pflanzenbeständen schwer erkennbarer Zielarten und der Ermittlung ihrer Deckungsgrade ergänzende Vegetationsaufnahmen unverzichtbar sind.

Verschieden Veröffentlichungen zu Drohnen und Grünland beschäftigen sich auch mit der fernerkundlichen Messung des Ernte-Ertrags von Grünland. So konnten ([BARETH, 2018](#)), ([LUSSEM ET AL., 2019](#)) und ([LUSSEM ET AL., 2020](#)) mit herkömmlichen DJI Phantom Drohnen gute photogrammetrische Höhenmessergebnisse erzielen. Damit konnten die Grasland-Erträge abgeschätzt berührungsfrei (kein 'Zertrampeln' der Wiese gegenüber der *Rising-Plate*-Methode) werden. Natürlich spielen da Parameter wie Artenzusammensetzung und Mahdzeitpunkt eine Rolle, die die Voraussagen der Erntemenge erschweren. Doch ist der Ansatz vielversprechend und die Methodik wird weiterverfolgt werden. Auch an der Uni Hohenheim werden im Projekt DiWenKLa ([DIWENKLA, 2022](#)) ähnliche Ansätze im Südschwarzwald verfolgt.

Einzelpflanzenerkennung

Schon 2015 testeten ([SØRENSEN ET AL., 2015](#)) den Einsatz einer handelsüblichen Drohne mit einer RGB-Kamera zur Detektion von Blüten bestimmter Wildpflanzen als Indikatoren für die Auswirkungen bestimmter landwirtschaftlicher Prozesse oder von Klimaschwankungen.

Durch eine gebietsweite Aufnahme der Indikator-Pflanzen(blüten) durch Drohnen besteht die Möglichkeit des großflächigen Monitorings solcher Auswirkungen. Es kommt nur darauf an, die richtige Indikatorpflanze (in diesem Fall eine Kleeart) für eine schnelle Identifikation auszuwählen. Für die Bildanalyse wurde in dieser Arbeit das kostenfreie und mächtige Open Source Bildbearbeitungs- und Analyseprogramm [ImageJ](#) herangezogen, womit die Autoren die Blüten klassifizieren konnten.

Anmerkung: Nach kurzer Betrachtung des Tools erscheint es auch nicht einfacher eingesetzt werden zu können, als die anderen Klassifizierungstools (viele Parameter zum Einstellen und intensive Einarbeitungszeit). Es ist somit auch nicht für 'einfache' und schnelle Analysen geeignet zu sein.

In Portugal wurde zur Eindämmung der fortschreitenden Invasion von *Acacia longifolia* eine australische Knospengallwespe als biologisches Bekämpfungsmittel eingesetzt. Um den Verlauf der Eindämmung zu monitoren entwickelten ([DE SA ET AL., 2018](#)) ein Verfahren, um mit digitalen Bildklassifikationsverfahren in Drohnen-Bildern (RGB- und CIR-Bilder) die Blüten der Akazien zu zählen, um so deren Rückgang verfolgen zu können. Das Blütenzählen hat im Vergleich zu den terrestrischen Aufnahmen nicht so gut funktioniert, doch die Verteilung der Akazien an sich konnte effektiv und kostengünstig festgehalten werden.

([WJESINGHA ET AL., 2020](#)) konnten durch Daten von verschiedenen Sensoren an Drohnen und automatischen Bildklassifizierungsmethoden eine hohe Detektionsgenauigkeit der invasiven Lupine (*Lupinus polyphyllus*) erreichen, die um nur 5 % von den manuell digitalisierten Vorkommen abwichen. Die dazu erarbeiteten Workflows sind auch auf andere Gebiete und Arten anwendbar.

In einer anderen Studie auf Artenniveau simulierten ([LOPATIN ET AL., 2017](#)) den Einsatz von Drohnen bestückt mit einer Hyperspektralkamera, indem sie ein Spektrometer auf ein Gerüst in 2.5 m über Grund montierten, um so hochauflösende Daten der Untersuchungsplots zu bekommen. Ziel war es die Möglichkeit von Drohneneinsätzen zu testen, da herkömmliche Untersuchungsplots recht klein sind und versucht werden sollte, größere Flächen aufzunehmen und die Daten möglichst automatisiert auszuwerten.

UAV-basiertes Monitoring zur Klassifikation von einzelnen Grasland-Arten sei unter folgenden Bedingungen möglich

- Zuerst muss die Auflösung hoch genug sein, damit keine Mix-Pixel mit Teilen von verschiedenen Arten auftreten. Es werden Auflösungen von < 1 cm empfohlen. Diese ist aber abhängig von den vorkommenden Arten und der Komplexität von deren Zusammensetzung.
- Je komplexer die Artenzusammensetzung und strukturelle Ausformung der Bestände ist, desto mehr Probleme treten bei der Auswertung und den Genauigkeiten der Klassifikationen auf. Damit sinkt natürlich auch die Effektivität gegenüber den terrestrischen Stichproben-Feldaufnahmen.

Als Fazit wurde festgehalten, dass wohl in sehr komplexen Ökosystemen mit hoher struktureller Heterogenität durch verschiedene Straten und Überlappungen von Individuen hoch ist, Befliegungen und automatisierte Auswerteverfahren eher weniger möglich sind.

Wenn aber in Beständen Arten in homogenen Gruppen und kaum mit anderen Arten vermischt auftreten oder sehr lückig wachsen, könnte der Ansatz durchaus erfolgreich sein. Auch wenn nur bestimmte Zielarten im Fokus stehen und noch darüber hinaus klar zu detektieren sind, gestaltet sich eine Automatisierung der Analyse von Drohnen-Daten als durchaus machbar - s. auch unten

[Methodenentwicklung zur Einzelpflanzendetektion \(FELIS\).](#)

5.2.2 Methodik

Die Methodik für die genannten Aufgaben ist hinsichtlich der Flugplanung immer die gleiche - es wurden Rasterflüge durchgeführt, die im Wald auf größerer Höhe stattfanden und generell sollten (s. Teilbericht 'Wald'), als im Offenland zur Vegetationsentwicklung oder den Tümpeln. Die Tümpel selbst wurden zur näheren Inspektion bezüglich der Detektion von Amphibien auf niedriger Höhe manuell befliegen.

Beschränkt durch den rechtlichen Einzugsbereich des Flughafens Lahr, wurden alle Flüge bis zu maximal 50 m Höhe durchgeführt, da dies durch einen einfachen Anruf beim Flughafen freigegeben werden können - Tel.: +49 7821 994 400 - ops@edtl-airport-lahr.de - [Der Flughafen | Lahrer Flugbetriebs GmbH & Co. KG \(airport-lahr.de\)](http://DerFlughafen.com). Am Flugtag muss man sich dann unter dieser Nummer am Tower an- und abmelden.

Eine Flughöhe über 50 m - bis zu den normalerweise max. möglichen 120 m - muss durch die deutsche Flugsicherung genehmigt werden (BNL@dfs-as.aero). Zur Abklärung des Prozedere für zukünftige Flugmissionen wurde die DFS 2022 kontaktiert. Dabei wurde die Auskunft erteilt, dass der Antrag (mit Ort, Datum, Ansprechpartner, Zeitraum) mindestens 2 Wochen vor der geplanten Mission gestellt werden sollte, in diesem aber auch ein längerer Zeitraum - statt eines einzigen Tages - angegeben werden kann, um flexibel und wetterunabhängig zu bleiben.

Für das Offenland wurden verschiedene Flughöhen mit der Projektdrohne, als auch der neuen Drohne der Uni Freiburg - ausgestattet mit einer höher auflösenden Kamera - ausprobiert und die Tümpel wurden überwiegend manuell befliegen. Ergänzend wurden von den Partnern der Uni Freiburg auch noch Daten von anderen Befliegungen für die Analysen herangezogen.

Der Wald wurde sowohl mit der Projekt-Drohne, als auch mit der neuen Drohne der Uni Freiburg - diesmal ausgestattet mit einem Laserscanner (LIDAR) - befliegen.

Zur Auswertung wurden im Offenland seitens des Projektkoordinators überwiegend [WebODM](#) als Standard-Software und [MME](#) Online zum Testen, als auch manchmal zum Vergleich Agisoft Metashape verwendet.

Das Team der Uni Freiburg wertete seine Daten sowohl mit Agisoft Metashape als Standard-Tool - ergänzt durch selbst entwickelte Software-Skripte z.B. für die Auswertung der Laserscan-Punktewolke - aus.

Projektgebiet

Gebietsdaten

Tab. 1: Beschreibung des Schutzgebietes (Döring, 2022)

Art des Schutzgebietes	Naturschutzgebiet Schutzgebietssteckbrief	FFH-Gebiet Schutzgebietssteckbrief
Schutzgebiets-Nr.	3.233	7712341
Name	Taubergießen	Taubergießen, Elz und Ettenbach
Fläche (ha)	1.697,0	4.920,2
Naturraum	Offenburger Rheinebene	
Kurzbeschreibung	Rheinauenlandschaft, die heute nur noch teilweise überflutet wird, mit dem Restrhein, der überfluteten	Rheinauelandschaft mit naturnahen Wäldern, Wasserläufen, Altrheinarmen, Quelltöpfen u. Gießen.

	<p>Innenrheinmündung, den Altrheinarmen, Gießen, Uferzungen, Wäldern, Pfeifengraswiesen, Wiesen, trockenen Magerrasen und Hochwasserdämmen als Lebensraum zahlreicher charakteristischer Tier- und Pflanzengesellschaften mit seltenen, zum Teil vom Aussterben bedrohten Tier- und Pflanzenarten. ...</p>	<p>Mosaik aus Feuchtwiesen, Magerrasen (6210*: 80 %), Wiesen u. Gebüsch. Im Hinterland ausgedehntes Wiesengebiet entlang eines Flusslaufs, randl. Wälder</p>
--	--	--

Der Name "TauberGießen" stammt von einem Gewässerlauf im Norden des Gebiets, wobei "Gießen" ein vom Grundwasser gespeistes Fließgewässer bezeichnet und sich "taub" auf den meist geringen Fischbestand nährstoffarmer Gewässer bezieht.

Das Naturschutzgebiet TauberGießen ist seit 1979 mit rund 1.682 ha eines der größten Schutzgebiete in Baden-Württemberg. Es liegt in der südlichen Oberrheinebene - zwischen Freiburg und Offenburg - und gleichzeitig in der ehemaligen Furkationszone des Rheins überwiegend auf den Gemarkungen Kappel-Grafenhausens, Rusts und Rheinhausens.

Es ist eingebettet im FFH-Gebiet TauberGießen, Elz und Ettenbach und den Vogelschutzgebieten „Rheinniederung Sasbach - Wittenweiher“, „Elzniederung zwischen Kenzingen und Rust“ und „Johanniterwald“.

In den dortigen rezenten Auen birgt es Relikte ehemals ausgedehnter Auwälder, die von einer Vielzahl, überwiegend durch Grundwasser gespeister, stark mäandrierender Bachläufe durchzogen sind.

Im Offenland fließen die teils kanalisierten oder begradigten Gewässersysteme des Leopoldkanals, der Elz und des Ettenbachs, die das landwirtschaftlich extensiv genutzte Offenland - die Streu-, Nass-, Mäh- und Wasserwiesen - stark beeinflussen. Auch Magerrasen und Streuobstwiesen prägen das sehr abwechslungsreiche Landschaftsbild. Das ganze Gebiet ist eigentlich eine Auenlandschaft mit engen Vernetzungen von Wald, Wiesen und Gewässern, geprägt durch einen ständigen Wechsel von Hoch- und Niedrigwasser. Dadurch konnte sich eine enorme Artenvielfalt mit seltenen Pflanzen- (wie 21 verschiedene Orchideenarten) und Tierarten (bes. seltenere Vogel- und Insektenarten) entwickeln. ([DAS TAUBERGIEßEN - NATURZENTRUM RHEINAUEN, 2022](#))

Bei Kappel-Grafenhausen werden im Projektgebiet „Wilde Weiden TauberGießen“ natur-schutzorientierte Beweidungskonzepte erprobt, die zur Erhaltung und Pflege des Gebiets beitragen sollen ([INULA, 2019](#)). So weiden im Naturschutzgebiet seit einigen Jahren wieder auf rund 70 ha Wald und 30 ha Offenland urige *Salers*-Rinder und *Konik*-Pferde ([WEIDEWELT, 2019](#)). Sie lichten die Wälder auf und sorgen durch Fraß, Tritt und ihren Dung für diversere Standort-Bedingungen, die v.a. konkurrenzschwächeren Spezialisten (oft seltene und gefährdete Arten wie Orchideen oder Insektenspezialisten-relevante Wiesenarten wie die Wiesenknöpfe - *Sanguisorba* sp.) überhaupt erst Lebensmöglichkeiten bieten und tragen daher zur starken Erhöhung der Artenvielfalt bei ([RUPP, 2013](#)).

In Abb. 1 ist das Projektgebiet mit seinen verschiedenen Zonen abgebildet. Das gelb schraffierte Offenland setzt sich aus einem Offenlandteil mit Flachland-Mähwiesen (LRT 6510), Halbtrockenrasen und anderen Grünlandtypen zusammen.

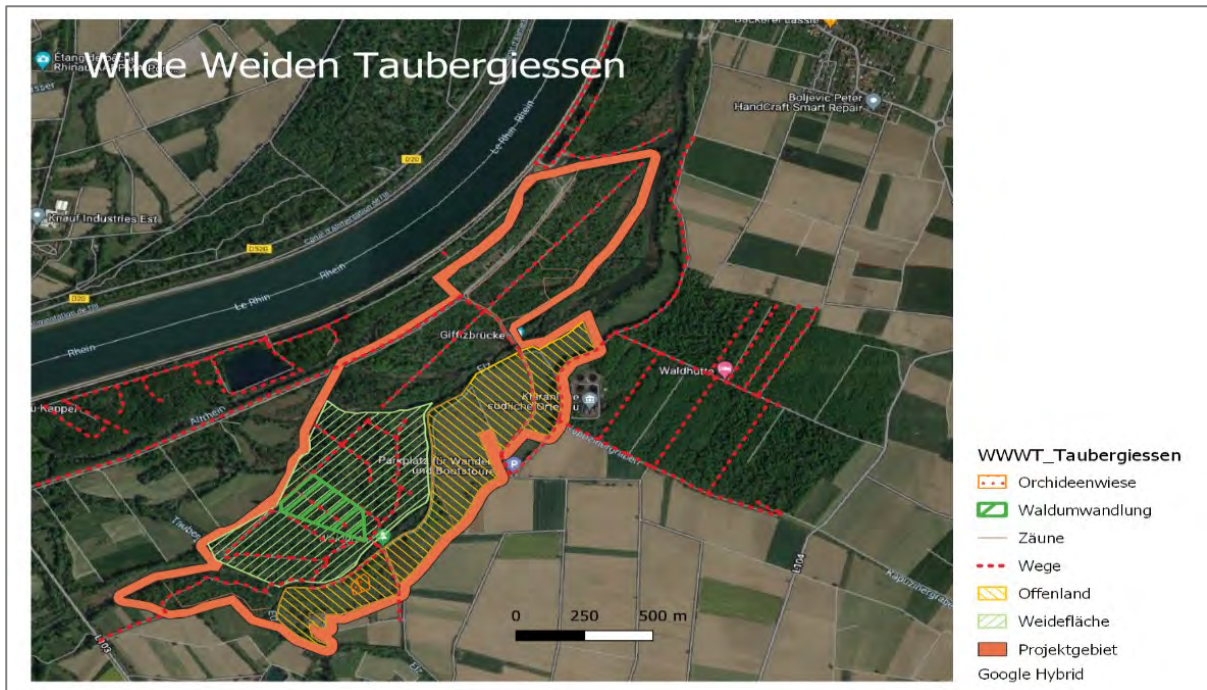


Abb. 1: Taubergießen - Projektgebiete Wilde Weiden (Döring, 2022)

Abb. 2 zeigt Gelb umrandet die beflogenen Mähwiesen, die alle in durchschnittlichem Erhaltungszustand und mit C bewertet sind. Es wird bereits versucht, mit einem abgestimmten Beweidungs- und Mahdregime die Erhaltungszustände zu verbessern.

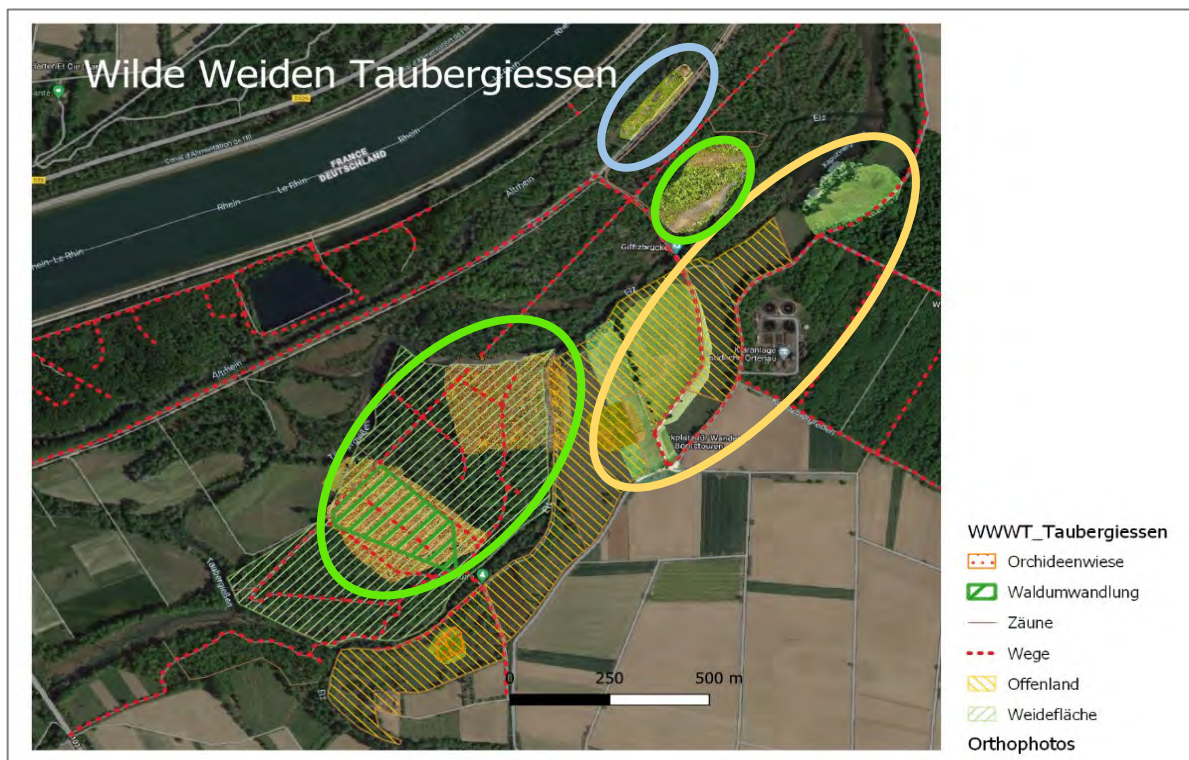


Abb. 2: Taubergießen - Orthofotos der beflogenen Gebiete (Döring, 2022)

Grün umrandet sind die beflogenen Waldweide- und Waldumbauflächen, die befliegen wurden, um den momentanen Zustand festzuhalten und die Methodik zu deren Monitoring zu erproben.

Blau umrandet sind die neu angelegten Tümpel, die ebenfalls befliegen wurden.

Fragestellungen

Die folgenden Fragestellungen wurden mit dem ehrenamtlichen Gebietsbetreuer vom Verein 'Wilde Wald Weiden Taubergießen' und dem zuständigen Waldweiden-Fachmann der FVA erarbeitet. Für das Offenland wurde auch die Gebietsbetreuerin des RP Freiburg einbezogen.

Schwerpunktt Themen

- Waldumwandlung - Waldweide
Vergleich der Entwicklung der beweideten Bestände hin zum Hutewald und des Waldumbaus gewisser Bestände vom Hochwald zum Mittelwald.
- Struktur- und Artenveränderungen der Waldweideflächen und der FFH-Flachlandmähwiesen durch Beweidung für die Zustands-Kontrolle und FFH-Berichtspflicht
- Die Laich- und Bestandeskontrolle von Amphibien bei den neu angelegten Tümpeln

Basierend auf diesen Schwerpunktt Themen wurden dann die endgültigen Fragestellungen konkretisiert, die hauptsächlich die Dokumentation von Veränderungen durch verschiedene Maßnahmen zum Thema haben.

- Inwieweit kann der Waldumbau mit der Hilfe von Drohnenaufnahmen zur Erfolgskontrolle bewertet werden?
- Sind die erfliegen Höhenmodelle genau genug, um qualifizierte Differenzierungen der Wuchshöhen im Waldumbau zu ermöglichen?
- Wie kann man effektiv die Strukturveränderung in den Waldweideflächen mit Drohnenaufnahmen monitoren?
- Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich in den vorhandenen und neu angelegten Tümpeln Laich zu detektieren und quantitativ gut zu erfassen?
- Inwieweit können die Weideflächen auf den FFH-Mähwiesen mit der Hilfe von Drohnen bewertet und die Qualität für das FFH-Monitoring abgeschätzt werden?
- Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich die einzelnen Vegetationseinheiten/-elemente zu differenzieren und die Strukturentwicklung und Schwarzwildschäden auf den Kalkmagerrasen zu monitoren?
- Wie oft muss dazu in der Vegetationsperiode geflogen werden?
- Welche störungsökologischen und luftverkehrsrechtlichen (Flughafen Lahr) Bedingungen sind bei Befliegungen zu beachten?
- Welche Methoden sind für die Flugplanung günstig?
- Flugbedingungen/-methodik?

Die Befliegungen wurden mit dem RP Freiburg grundsätzlich und später dann direkt mit der Gebietsbetreuerin aus gleichem Hause abgestimmt und von diesen genehmigt. Die Befliegungen fanden alle in Abstimmung und meist im Beisein der Gebietsbetreuerin, der Gebietsrangerin oder dem ehrenamtlichen Gebietsbetreuer statt.

5.2.3 Wald-Monitoring

Zu den oben erwähnten Fragen des Monitorings des Waldumbaus, der Wuchshöhen der Bestände und der begleitenden Strukturveränderungen, wurden im November 2020 die ersten Flüge durchgeführt. Der ehrenamtliche Gebietsbetreuer und ehemalige Forstamtsleiter führte auf die Flächen und begleitet die Flüge. Von ihm ist auch die forstliche Karte, die in Abb. 3 die befliegenen Bestände rot umrandet zeigt.

Übersicht

Beide Bestände liegen im Projektgebiet der 'Wilden Weiden Taubergießen' und der SW-Bestand ist auch für den Waldumbau hin zum Mittelwald vorgesehen.



Abb. 3: Bilder der befliegenen Wald-Bestände - rechts Aufnahme-Punkte der Fotos (Döring, 2020)

Analyse der Bilder

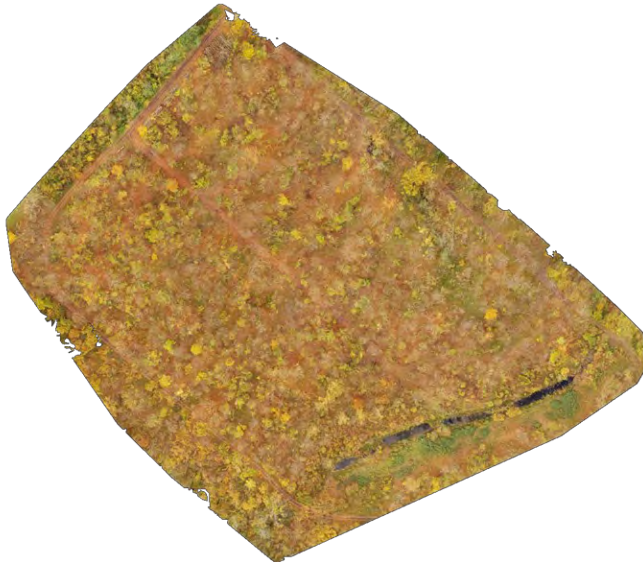
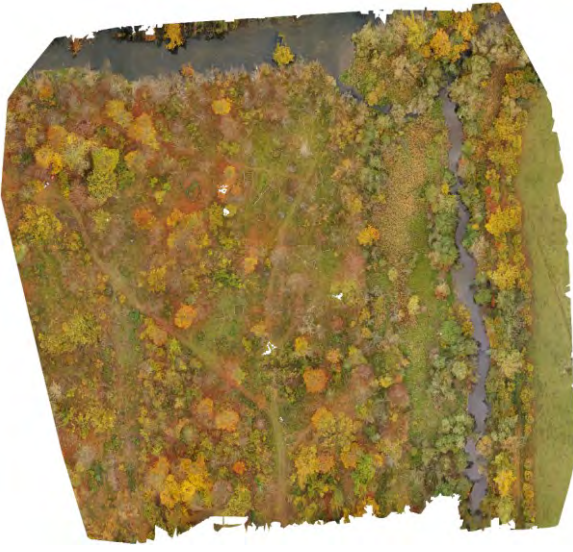


Trotz der rel. niedrigen Flughöhe von 50 m konnten brauchbare Orthofotos aus den Befliegungen gewonnen werden (Abb. 4 + 5), in einer Qualität, die zur Beantwortung der oben genannten Fragestellungen geeignet ist.

Es können alle relevanten Strukturen gut identifiziert werden, v.a. da in 50 m Höhe die Einzelphotos eine Boden-Auflösung von 1.2 cm haben.

Das Orthofoto hat eine geringere Auflösung von 2 bis 3 cm, die aber für diese großen Strukturen weithin ausreicht.

Selbst Flüge aus 100 m oder bis zu den erlaubten 120 m Höhe (nach beantragter Genehmigung) würden für brauchbare Orthofotos noch gut ausreichen.

Hinweis: Für die Erkennung der Strukturen sollte möglichst im unbelaubten Zustand geflogen werden!

Bestand SW	Bestand NO
	
	
<p>Abb. 4: SW-Waldfläche - man sieht auf dem Orthofoto gut alle relevanten Strukturen unten im Zoom-Ausschnitt (Baumkronen, liegende Stämme, Wege, Feuchtstellen, etc.) (Döring, 2021)</p>	<p>Abb. 5: NO-Waldfläche - auch hier sind unten im Zoom-Ausschnitt die Strukturen gut zu erkennen (Baumkronen, Wege, Flussarme, liegende Stämme, kl. Maßnahmen-Gatter) (Döring, 2021)</p>

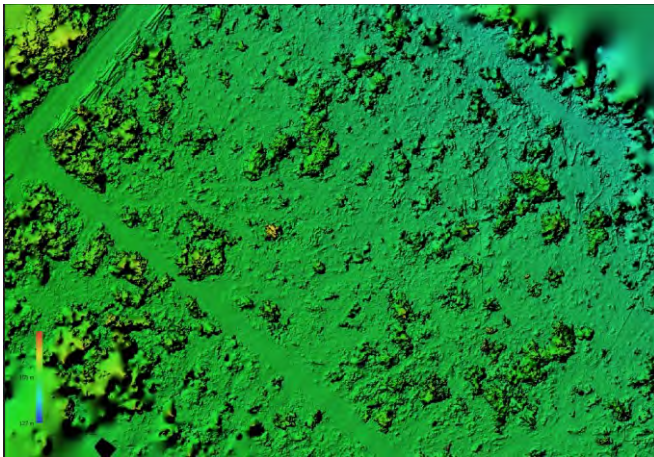


Abb. 6: NO-Waldfläche - Oberflächenmodell (Döring, 2021)

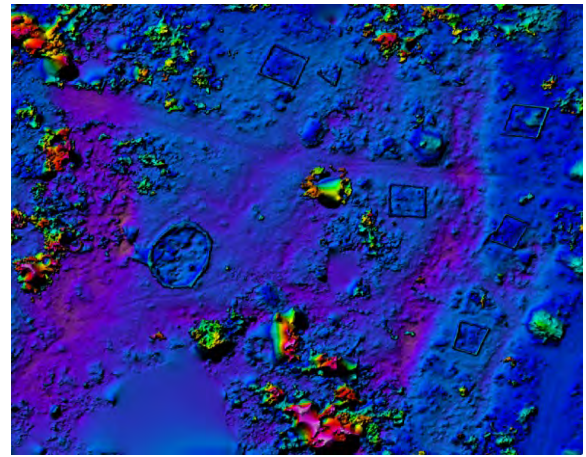


Abb. 7: NO-Waldfläche - Oberflächenmodell (Döring, 2021)

Die Höhen- oder Oberflächenmodelle (Abb. 6 + 7) sind ebenfalls hochauflösend und erlauben, wie bei ([DEMPEWOLF ET AL., 2017](#)) beschrieben, aus ihnen erfolgreich das Höhenwachstum der beobachteten Bestände zu beobachten und zu berechnen. So kann der Wachstumsverlauf selbst innerhalb einer Wachstumsperiode verfolgt werden.

In Taubergießen könnte man den Turnus der Befliegungen wohl etwas weiter fassen (jährlich oder mehr), was die Höhen-Unterschiede noch markanter zu Tage treten lässt.

Ein ernst zu nehmender Einflussfaktor machte sich bei einer weiteren Wald-Befliegung im Mai 2022 von einer kleinen Fläche im Schollenwalds (in der Übersichtskarte grün umrandet) bemerkbar - der Wind. Im Orthofoto der Abb. 8 sieht man beim Hineinzoomen (Abb. 9) deutlich die verwaschenen Flächen auf einigen Bäumen, die sowohl vom Wind, als wohl auch von der für Wald rel. niedrigen Flughöhe herrühren. Im Flussarm sind hingegen auch kleinere Strukturen deutlich zu erkennen.



Abb. 8: Orthofoto im Schollenwald (Döring, 2022)



Abb. 9: Ausschnitt aus dem Schollenwald-Orthofoto (Döring, 2022)

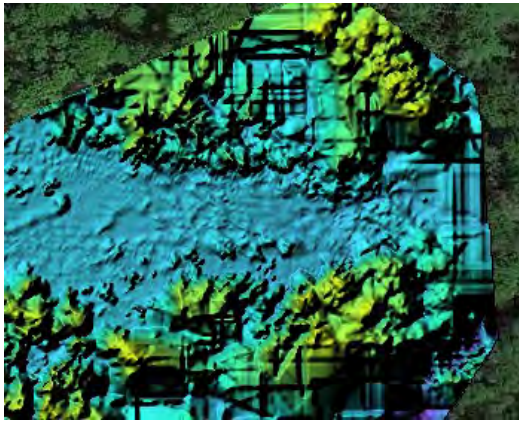


Abb. 10: Höhenmodell des Schollenwalds
 (Döring, 2022)

Im Höhenmodell (Abb. 10) sieht man deutlich, dass die Software Schwierigkeiten hatte, die Bilder sauber zu prozessieren. Der mittlere blaue Bodenanteil wurde 'normal' berechnet und zeigt eine 'saubere' Oberfläche, die grünen Baumkronen zeigen deutliche Probleme bei der Prozessierung durch 'grobe' quadratische Geometrien, anstatt der 'normalen' feineren Oberfläche.

Am selben Tag im Mai 2022 wurde mit der oben angesprochenen neuen Drohne des Kooperationspartners der Uni Freiburg, ausgestattet mit einer hochauflösenden Kamera, aber noch viel wichtiger mit einem Laserscanner, eine weitere Befliegung durchgeführt.

Laserscanner sind aktive Sensoren und werden schon seit längerem bei bemannten Befliegungen der Landesvermessungen (LiDAR-Technik = *Light Detection and Ranging*) zur Erstellung der amtlichen Höhenmodelle (DGM) verwendet. Sie senden aktiv Laserstrahlen aus, deren Reflexionen an den abgescannten Oberflächen im Rücklauf gemessen werden. Im Wald ist damit eine wesentlich größere Durchdringung der Vegetation möglich als mit Luftbildern. Man kann sich das wie Sonnenstrahlen vorstellen, die auf den Waldboden durchdringen. So ähnlich verhält es sich mit den Laserstrahlen, die in großer Anzahl und mit hoher Frequenz ausgesendet werden und von denen aber immer auch etliche selbst in kleinsten Lücken den Waldboden erreichen. Durch diese in Summe doch ausreichenden Strahlen sind auch in dichter Vegetation oft noch Boden-Höhenmodelle möglich - im Gegensatz zu Luftbildern, die ja nur passiv aufgenommen werden und deren 'Bodensicht' sich auf größere Lücken in der Vegetation beschränkt. In ([CHAUVIN & MICHELETTI, 2021](#)) werden die Unterschiede zwischen LiDAR und Luftbild-Photogrammetrie recht anschaulich erklärt und gleichzeitig ein Einblick in die Nutzung von Drohnen (u.a. *DJI Mavic* wie im 'DroBio'-Projekt) für forstliche Management-Zwecke gewährt.

Befliegungen FELIS

Im Mai 2022 wurden vom Team *FeLis*, zusammen mit dem Projektkoordinator, zwei Befliegungen im beweideten Schollenwald ([Abb. 2](#) - nordöstliche Fläche grün umrandet) durchgeführt. Die Laserbefliegung sollte exemplarisch zeigen, wie gut die Durchdringung des Lasers für die Detektion von Strukturen am Boden (v.a. von Pfaden und Lagerstellen der Rinder aber auch für die Abschätzung der gesamten Raumnutzung oder des Totholzanteils) ist.

Der eingesetzte Laser (*DJI L1*) ist erst letztes Jahr auf den Markt gekommen und hat durch seinen erstaunlich niedrigen Preis (ca. 12.000 €) für einiges an Furore gesorgt. Bisher waren die günstigsten Laserscanner erst ab etwa 40.000 € aufwärts - bis zu einem Vielfachen - zu finden. Dieser Scanner hat neben dem Laser-Abtaster auch eine ähnliche Kamera wie 'unsere' Projektdrohne *DJI Mavic 2 Pro* verbaut. Diese dient auf v.a. dazu, die 'ertasteten' Punktwolken mit den realen Farben einzufärben, indem die Bilder synchronisiert zusammen mit den Laserpunkten aufgenommen werden. Zudem können damit aber auch 'normale' Luftbild-Kartierungen durchgeführt werden, allerdings dann mit anderen Flugparametern als für die Laserscan-Befliegung. Das erklärt sich dadurch, dass der Laserscanner sowohl mit weniger Überlappung auskommt, als auch erheblich schneller geflogen werden kann. Das ist aber für eine Luftbild-Befliegung einerseits zu wenig und andererseits zu schnell.

Das Team von *felis* hat zur Berechnung der Laserscan-Daten ein eigenes Programm *Trees-Vis* entwickelt mit dem sowohl *DGMs* (also Geländemodelle des Bodens - Abb. 11) als auch *DOMs* (digitale Oberflächenmodelle) berechnet werden können.

Man erkennt im *DOM* (Abb. 12), dass es in diesem differenzierten Laubbaumbestand schwierig ist, einzelne Baumkronen klar voneinander zu unterscheiden, da ihre Kronen ineinander gewachsen sind. Das ist bei dichten Laubbaumbeständen immer der Fall, v.a. bei Aufnahmen in belaubtem Zustand ohne Sicht auf die Stämme. Im Winter besteht eher die Chance, über die Stämme einzelne Individuen auseinanderzuhalten.

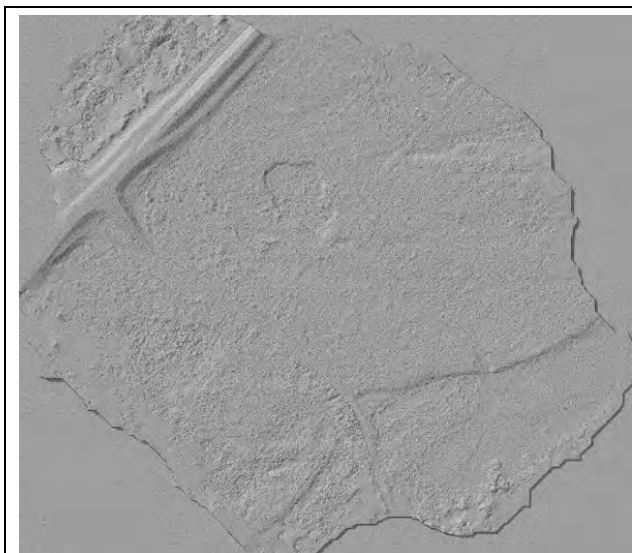


Abb. 11: DGM im Schollenwald (FELIS, 2022)



Abb. 12: DOM im Schollenwald (FELIS, 2022)

In Taubergießener Schollenwald interessieren insbesondere die 'Offenbereiche'. Es wurde zwar keine automatische Berechnung dieser Flächen durchgeführt, aber wenn man sich die farbige Punktwolke anschaut, stechen diese Offenflächen direkt ins Auge (Abb. 12).

Einzelne Strukturen (weiße Behälter, Äste, Steine, etc.) sind deutlich im 3D-Modell aus der Laserscan-Punktwolke ersichtlic. Solch detaillierte 3D-Modelle sind auch für ansprechende Darstellungen und Simulationen interessant.

Für das Monitoring dieser Bereiche, die ja besonders interessant für die Struktur- und Artenvielfalt sind, ist der Drohneneinsatz sehr gut geeignet. Eine automatische Extraktion der für die Biodiversität äußerst



Abb. 13: Waldlücke im Schollenwald - Laserscan-Punktwolke (FELIS, 2022)

wichtigen Offenflächen (Waldlücken oder Gaps) ([GETZIN ET AL., 2014](#)) ist aus diesen Daten ebenfalls gut möglich ([ZIELEWSKA-BÜTTNER ET AL., 2016](#)).

Auch stehendes und liegendes Totholz lässt sich in weiteren Bearbeitungsschritten quantifizieren (Abb. 14). Dies könnte entweder visuell und manuell durch die Betrachtung des DOM und Digitalisierung des Totholzes oder auch teil- bzw. vollautomatisch geschehen, ggf. sogar mit Erkennung der Baumarten ([KRZYTEK ET AL., 2020](#)). Das stehende Totholz könnte aus den 3D-Punkten, die während der Vegetationszeit im Laub befliegen wurden, ermittelt werden. Doch kann das liegende Totholz im ganzen Laubwaldgebiet nur dann erfolgreich extrahiert werden, wenn eine zusätzliche Befliegung in der laubfreien Zeitspanne durchgeführt wird. Denn nur dann treffen überall genügend Laserpunkte auf den Boden, um die liegenden Stämme zu detektieren.

Gute Ergebnisse wurden von ([THIEL ET AL., 2020](#)) aber auch mit 'reiner' photogrammetrischer Luftbild-Auswertung durchgeführt, ohne dass ein teurer Laserscanner - mit ebenfalls deutlich teurerer Trägerdrohne - eingesetzt werden musste.

Die Stärke des Laserscans liegt, wie zuvor erwähnt, v.a. in der besseren Durchdringung der Vegetation, wodurch meist auch dann noch brauchbare Boden-Höhenmodelle erstellt werden können, wenn auf Drohnen-Bildern zu wenig bis gar keine Bodenpunkte erfasst wurden.



Abb. 14: Totholz im Schollenwald aus Laserscanning (FELIS, 2022)

Wald-Monitoring Fazit

Tab. 2: Antworten & Empfehlungen Waldmonitoring (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
<p>Inwieweit kann der Waldumbau mit der Hilfe von Drohnenaufnahmen zur Erfolgskontrolle bewertet werden bzw. sind die erfolgten Höhenmodelle genau genug, um qualifizierte Differenzierungen der Wuchshöhen im Waldumbau zu ermöglichen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> Die Detektion von Strukturen und der Vergleich des Höhenwachstums ist durch 'normale' Befliegungen und DHM möglich - s. (DEMPEWOLF ET AL., 2017) Zusätzlich könnten Flüge mit einem Lidar-Sensor durchgeführt werden, die eine Zentimeter-genaue Differenzierung der Höhen und Abschätzung des Volumens ermöglichen (TOPODRONE & LOPATIN, 2021) und die Erstellung von hochgenauen 3D-Modellen gestatten.
<p>Wie kann man effektiv die Strukturveränderung in den Waldweideflächen mit Drohnenaufnahmen monitoren?</p>	<ul style="list-style-type: none"> mit Rasterbefliegungen und rel. hoher Überlappung von $\geq 80\%$ ggf. ergänzenden Schrägaufnahmen, um besser IN die Baumkronen zu fotografieren - zur besseren Kalkulation von Volumina und zur Erstellung von 3D-Modellen normalerweise möglichst hoch - also auf 120 m - fliegen, womit man selbst mit der kleinen Projektdrohne immer noch eine Bodenauflösung von etwa 3 cm erreicht s. oben + automatisierte Analysemethoden für Totholz (liegende Stämme u.ä.) (THIEL ET AL., 2020) + Teilbericht 'Waldmonitoring'
<p>Welche luftverkehrsrechtlichen (Flughafen Lahr) Bedingungen sind bei Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> will man nur auf 50 m fliegen → Flughafen informieren und am Tower an- und abmelden > 50 m Höhe → Antrag bei der Deutschen Flugsicherung (DFS) stellen - Antrag liegt bei
<p>Welche Methoden sind für die Flugplanung und Durchführung günstig?</p>	<ul style="list-style-type: none"> immer eine automatisierte Raster-Flugplanung mit dem jeweiligen Sensor entsprechenden Parametereinstellungen für photogrammetrische Flüge im Wald eine hohe Überlappung und eigentlich so hoch wie möglich fliegen - s. unten Gebiet unterteilen → in Sichtweite fliegen! bezüglich Störungen ist zur Brutzeit auf Brutbäume und Territorien sensibler Arten zu achten - auf bodenlebende Arten sind bei der im Wald angestrebten Flughöhe normalerweise keine Auswirkungen zu befürchten - s. auch (DÖRING & MITTERBACHER, 2022)
<p>Welche Flugbedingungen sollten angestrebt werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> möglichst gleichmäßiges Licht - gleichmäßig bewölkt oder sonnig ohne Wolken (aber da Achtung Wind!)

	<ul style="list-style-type: none"> • möglichst ohne Wind und natürlich Niederschlag
Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst nicht in der Brutzeit fliegen. • Befliegungen mit den zuständigen Fachleuten absprechen. • s. Kapitel <i>Störungsökologie</i> im Hauptteil und die veröffentlichte Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen (DÖRING & MITTERBACHER, 2022) • Die generellen Regeln für schonendes und störungsarmes Fliegen daraus gelten natürlich immer.

Die 'Waldfolien' aus den Schulungsmaterialien (Döring, 2022) zeigen die wichtigsten Parameter für Drohnenmonitoring im Wald (Abb. 15), als auch die Besonderheiten der Sichtweite im Wald (Abb. 16 + 17).

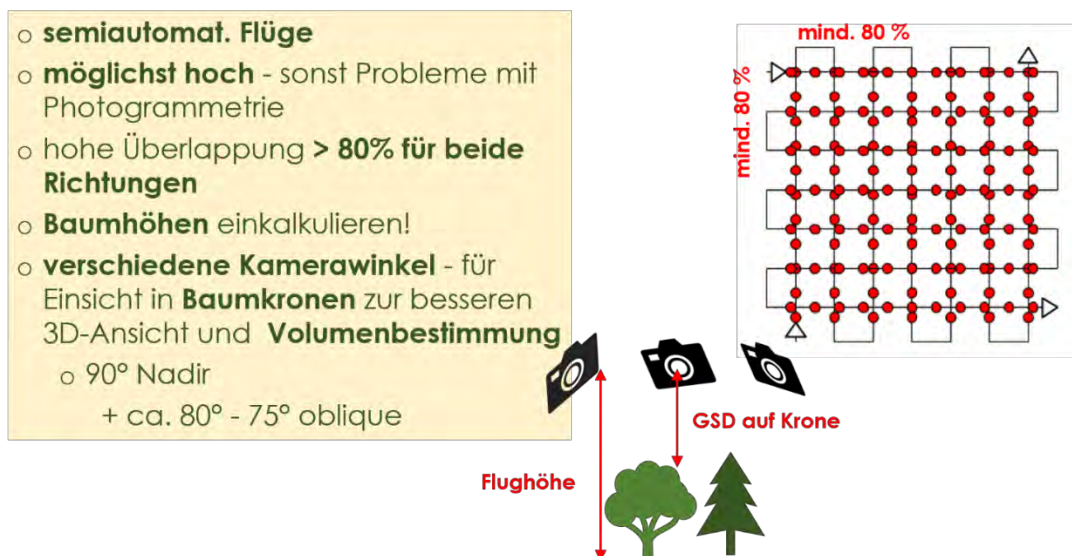
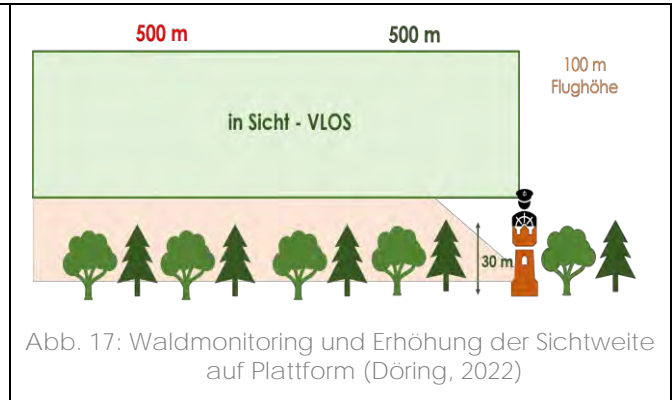
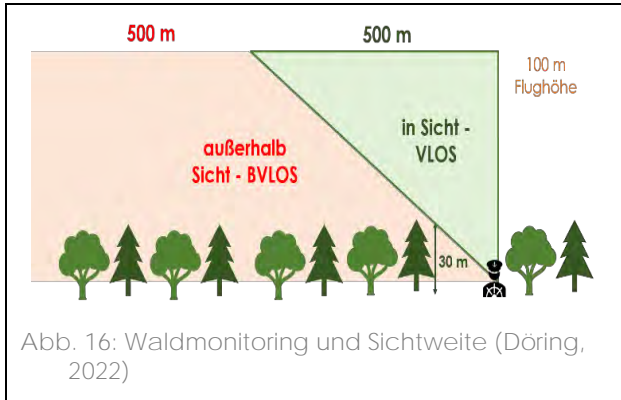


Abb. 15: Grafik - Parameter zur Waldbefliegung (Döring, 2022)

ACHTUNG: Die Sichtflugverhältnisse im Wald sind sehr stark eingeschränkt (Abb. 16)! Es muss evtl. in einer anderen Kategorie (Specific) und mit Spezialgenehmigungen geflogen werden oder man kann die Position des Piloten erhöhen, wie in (Thiel et al., 2020), die im Hainich von einer Beobachtungsplattform aus operierten und dadurch die Drohnen über dem Wald während des gesamten Fluges sehen konnten (Abb. 17).



Andere Wissenschaftler erreichten ähnliches mit einem Hubsteiger ([QUANTUM.SYSTEMS. 2018](#)). Eine dritte Möglichkeit, die laut der neuen EU-Bestimmungen möglich ist (sein wird), ist die [Beantragung](#) zum Betrieb einer Drohne außerhalb der Sichtweite (BVLOS) in der [speziellen Kategorie](#).

5.2.4 Tümpel-Monitoring

Zum Monitoring von Amphibien mit Drohnen gibt es so gut wie noch keine Veröffentlichungen. ([DUFRESNES ET AL., 2020](#)) nutzten als erste bei einer Bestandsaufnahme des kleinen Wasserfrosches (*Pelophylax/Rana lessonae*) eine kleine Drohne (*DJI Mavic Air*), um neben den traditionellen Erfassungsmethoden ergänzende Beobachtung aus der Luft zu bekommen. Kleine Wasserfrösche tauchten die Störungen am Ufer durch den Begang schnell ab, weswegen die Erfassung mit einer Drohne getestet wurde. Auf 6 m Höhe konnten dabei erfolgreich adulte Individuen aufgenommen und im Nachhinein in den Bildern gezählt werden.

Die Tümpel-Befliegungen (in [Abb. 2](#) blau umrandet) hatten zwei Ziele:

- Nachzuweisen, ob Aufnahmen von einer kleinen und handelsüblichen Drohne nutzbar sind, um Froschpopulation (durch Zählung des Laichs oder von adulten Tieren) abschätzen zu können und
- aufzuzeigen, wie die Vegetationsentwicklung in den neuen Tümpeln durch Drohnen-Aufnahmen gemonitort werden kann.

Am 28.05.2021 fanden zwei Befliegungen durch das Team der Uni Freiburg an den Tümpeln statt:

- Flughöhe 45 m: Da die Bäume im Randgebiet dieser Testfläche knapp 35 m hoch sind, musste mit dieser Mindesthöhe geflogen werden, um Kollisionen sicher zu vermeiden. Bei diesem Flug war das Ziel, aus den Aufnahmen die Vegetationsentwicklung beurteilen zu können.
- Flughöhe 9 m: Bei diesem Flug war das Ziel die Erkennung und möglicherweise ebenfalls die Zählung von vorhandenem Froschlaich oder Fröschen in den Bildern zu ermöglichen. Eine noch niedrigere Flughöhe wurde verworfen, da sich die Frösche dann höchstwahrscheinlich wegen des Fluglärms und der Windentwicklung durch die Rotoren der Drohne „versteckt“ hätten.

Ergebnisse

Frösche konnten in den Bildern mit 9 m Flughöhe leider nicht gesichtet werden. Ob dies an der dichten Ufer- und Teichvegetation lag oder daran, dass sich die Frösche versteckt hatten, konnte nicht festgestellt werden.

- Wie auch bei der Auswertung auf Artenniveau bei Pflanzen, sollte man die Frosch(laich)-Erkennung und -zählung besser in den Originalbildern durchführen. Diese weisen zwar evtl. auch leichte Verzerrungen auf, sind aber doch wesentlich schärfer und detailreicher als die aus ihnen errechneten Orthofotos.
- Eine automatisierte Flugplanung auf 9 m Höhe ist bei viel Vegetation nicht zu empfehlen. Besser ist es manuell und 'auf Sicht' zufliegen - d.h. mit den Augen zwischen dem Display und der Umgebung hin und her wechselnd, um die Drohne sicher zu steuern. Außerdem können ggf. auch zusätzlich Bilder auf niedrigerer Höhe aufgenommen werden, um einzelne Strukturen zu überprüfen - s. [Methodik für Drohnenbefliegungen](#).
- Eine Überlappung der Bilder ist aber dennoch anzustreben, da dadurch sichergestellt wird, dass die Tümpelflächen vollständig und ohne Abbildungslücken aufgenommen werden. Dies setzt aber ein wenig Flugerfahrung und räumliche Vorstellungsvermögen voraus - s. Teilbericht 'Faunamonitring'.

Auf dem Orthofoto der Abb. 18, kann man aus 45 m Höhe gut den Unterschied zwischen den älteren (unten links) und den kürzlich angelegten Tümpeln (oben rechts) erkennen, die noch recht 'nackig' erscheinen. Beim Hineinzoomen erkennt man dann auch gut kleinere Strukturen zur Differenzierung unterschiedlicher Vegetationseinheiten.



Abb. 18: Teiche in Taubergießen aus 45 m Höhe (FELIS, 2021)

Bei den Befliegungen 2022 wurden die Tümpel noch einmal vom Projektkoordinator auf unterschiedlichen Höhen sowohl manuell zur Artendetektion, als auch automatisiert für Vegetationsaufnahmen befliegen.

Dabei waren in den Aufnahmen aus 45 m Höhe wieder gut alle Strukturen zu erkennen, die zur Bewertung hinsichtlich des Bewuchses, Verlandungstendenzen o.ä. mehr als ausreichend sind. Die älteren Tümpel waren gut bewachsen und die neuesten wieder rel. vegetationslos.



Abb. 19: Tümpelkette in Taubergießen - Übersicht (Döring, 2022)



Abb. 20: Tümpel in Taubergießen - Zoombild (Döring, 2022)

In den folgenden Fotos der Tümpel aus den manuell und sehr niedrig durchgeführten Befliegungen, kann man sehr schön selbst kleine Strukturen am Grund des Tümpels (kleine Äste, Vegetationsreste, etc.) erkennen (Abb. 21 + 22).



Abb. 21: Manuell auf ca. 3 m Höhe beflogener Tümpel - man sieht gut selbst kleine Objekte am Grund (Döring, 2022)



Abb. 22: Ausschnitt aus Abb. 21 - jedes kleine Ästchen am Grund ist gut sichtbar (Döring, 2022)

Wenn man sich nun die Größe der Laichballen in Abb. 23, die wie Abb. 22 auch aus etwa 3 m Entfernung mit dem Handy aufgenommen wurden, anschaut, kann man analog schlussfolgern, dass diese in Drohnenaufnahmen und auch aus größerer Entfernung/Höhe gut zu sehen sein würden.

Besonders die recht großen Laichballen von Gras-, Spring- oder Moorfrosch mit dunklen Eiern, die in der Regel im zeitigen Frühjahr (Februar bis April) abgelegt werden ([LARS, 2022](#)), sind gut auszumachen. Zudem die recht großen Ballen oder Teppiche an der Oberfläche driften.

Die meisten anderen heimischen Amphibienarten legen kleinere Eier oder Eischnüre, die entweder aufgrund ihrer Größe oder ihrer eher versteckten Lage zwischen der Vegetation oder am Grund des Gewässers, nicht aus der Luft auszumachen oder gar zu differenzieren sein dürften.

In den nächsten Jahren noch weitere Untersuchungen folgen, um die Unterschiede auszu-
testen.



Abb. 23: Laichpakete (Döring, 2022)

Adulte Exemplare können unter bestimmten Bedingungen auch mit der Drohne erfasst werden (Abb. 24) - allerdings mit erheblichem Aufwand und nötiger Erfahrung zum Fliegen in der Dunkelheit. Wie man in den Abbildungen unten sehen kann, ist es möglich Frösche im Scheinwerferlicht aufzunehmen, um die Fotos anschließend auszuwerten. Allerdings kann auch hier die Artdifferenzierung schwierig sein - noch dazu unter den suboptimalen Beleuchtungsverhältnissen.



Abb. 24: Frösche im Scheinwerferlicht der Drohne (Mitterbacher LfU Bayern, 2021)

Die Aufnahmen wurden von dem Kollegen nur mit dem eingebauten Scheinwerfer der DJI Mavic gemacht. Es gibt aber auch Anbauscheinwerfer, die einfach an die Drohne geklippt werden können und sowohl mehr Licht, als auch die Verstellung des Abstrahlwinkels ermöglichen - z.B. <https://www.pgytech.com/de/products/pgytech-landing-gear-extensions-led-headlamp-set-for-mavic-2>.

Zwar ist nach (SCHLÜPMANN & KUPFER, 2009) die beste Tageszeit für alle Amphibien-Sichtbeobachtungen nach Einbruch der Dunkelheit (bis Mitternacht), aber nicht alle Arten sind so zu erfassen.

Amphibien reagieren artspezifisch unterschiedlich auf das Licht von Taschenlampen - z. B. sind Molche bei Nacht mit der Taschenlampe wesentlich besser zu sehen als bei Tage, Grasfrösche hingegen reagieren mit Flucht.

Erdkröten wiederum sind mit Hilfe von Taschenlampen sehr gut zu beobachten und entlang des Ufers von klaren, übersichtlichen Gewässern auf diese Weise sogar zu zählen.

Kreuz- und Wechselkröten sind auf gleiche Weise auch gut an ihren Laichplätzen zu zählen, verstummen aber oft beim Anleuchten. Ein Rotlichtvorsatz für die Lampe könnte da helfen, da das Rotlicht von vielen Amphibien nicht wahrgenommen wird und diese sich damit weiterhin ungestört verhalten.

Bei den Befliegungen konnte das Verstummen der oben genannten Veröffentlichung bestätigt werden, da nach Beginn eines Fluges immer jegliches Gequacke eingestellt wurde.

Achtung: Beim Fliegen in der Nacht müssen natürlich besondere Vorkehrungen getroffen (Gelände kennen, Hindernisse vorab inspizieren etc.) und sichergestellt werden, dass kein nachtaktiven Tiere Schaden nehmen können.

Tümpel-Monitoring Fazit

Tab. 3: Antworten & Empfehlungen Tümpelmonitoring (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
<p>Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich in den vorhandenen und neu angelegten Tümpeln Laich oder auch adulte Tiere zu detektieren und quantitativ zu erfassen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aller Laich, der an der Oberfläche in gut sichtbaren Paketen zu sehen ist, kann auch mit der Drohne detektiert werden. • Adulte Tiere können ggf. in der Dunkelheit mit einem Scheinwerfer erfasst werden. • Nach (SCHLÜPMANN & KUPFER, 2009) lassen sich je nach Amphibienart durch Sichtzählungen nur halbquantitative Aussagen über die Populationen machen - die Bestände der meisten Amphibienarten werden durch bloße Sichtbeobachtungen zumeist erheblich unterschätzt. • Auch das Zählen der Laichballen sei sehr fehleranfällig und Beobachter-spezifisch. • Gute Jahreszeit für Amphibien-Monitoring: Laich - Februar bis April, adulte Tiere - April bis Juni/Juli
<p>Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Befliegungen, v.a. die niedrigen Flüge, sollten unbedingt mit den GebietsbetreuerInnen abgesprochen werden, um Störungen zu minimieren - diese kennen ihre Arten. • Möglichst im Abstand zu den Tümpeln - z.B. in Taubergießen am Damm - starten und von oben herunter die Tümpel anfliegen. • (DUFRESNES ET AL., 2020) konnten auf 6 m Höhe erfolgreich kleine Wasserfrösche in den Drohnenaufnahmen erfassen. • Die generellen Empfehlungen zur Störungsökologie sind zu beachten - s. 4.2 Störungsökologie im Hauptteil, den <i>Teilbericht 'Faunamonitoring'</i> und (DÖRING & MITTERBACHER, 2022). • Beim Fliegen in der Nacht muss natürlich sichergestellt werden, dass kein nachtaktiven Tiere Schaden nehmen können.
<p>Welche luftverkehrsrechtlichen (Flughafen Lahr) Bedingungen sind bei Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Will man nur auf 50 m fliegen, reicht ein Anruf beim Flughafen, • will man höher fliegen, muss man schriftlich und mit ca. 2 Wochen Vorlaufzeit einen Antrag bei der Flugsicherung stellen. • s. Methodik

<p>Welche Methoden für die Flugplanung und welche Befliegungsmethodik sind für die Befliegungen zu empfehlen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Zur Detektion von Amphibien empfiehlt sich manuelles Fliegen. Auf niedriger Flughöhe ist eine Flugplanung nicht angeraten, da meist Ufervegetation zu beachten ist. • Zum Erfassen der Vegetation sind Rasterflüge auf 50 m Flughöhe (GSD ca. 1.2 cm) mehr als ausreichend → Bäume werden sicher überflogen und die Vegetation ist gut zu analysieren. • Beim Fliegen in der Nacht müssen natürlich besondere Vorkehrungen getroffen werden (Gelände kennen, Hindernisse vorab inspizieren, etc.). Nach neuem Recht darf eine Drohne jetzt auch ohne besondere Genehmigung in der Nacht oder Dämmerung geflogen werden. Allerdings muss diese dazu laut Luftfahrt Bundesamt (LBA) seit 07/2022 mit einem grünen Blinklicht ausgestattet sein.
<p>Welche Flugbedingungen sollten angestrebt werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Wie immer gutes Licht - am besten gleichmäßige Bewölkung oder sonst wolkenlos. • Natürlich kein Niederschlag und kein Wind! • Möglichst nicht am Wochenende oder in der Ferienzeit fliegen, um keine Nachahmung zu provozieren - s. (Döring & Mitterbacher, 2022).

5.2.5 FFH-Flachland-Mähwiesen (LRT 6510) - Arterkennung mit Drohne

Das Hauptaugenmerk bei den Befliegungen in Taubergießen lag auf den Flachland-Mähwiesen in Abb. 25, die die Gebietsbetreuerin des RPF noch einmal spezifiziert hatte. Aufgrund ihres FFH-Status müssen diese ja regelmäßig untersucht werden, um ihren Zustand einzuschätzen. Dafür erhofft sich die Gebietsbetreuerin Unterstützung durch Drohnenbilder.



Abb. 25: FFH-Wiesen-Karte (Saier, 2022)

- (1) einschürige Mahd mit Beweidung (FFH Mähw.)
- (2) zweischürige Mahd, keine Beweidung (FFH Mähw.)
- (3) zweischürige Mahd, keine Beweidung; diese Fläche wird ab 2022 beweidet, sobald eingezäunt (Kandidat FFH Mähw.)
- (4) Auszäunung Orchideen: mit Beweidung, späte Mahd (Sept)
- (5) Auszäunung Orchideen: ohne Beweidung, späte Mahd (Sept)

Der Erhaltungszustand C der Wiesen brachte jedoch mit sich, dass relativ wenige blühende Arten angetroffen wurden. Dies erwies sich als eine Herausforderung für die

photogrammetrischen Analysen, da der dichte Grasoberstand und kaum andere Strukturen auf den Wiesen zu einer großen Gleichförmigkeit führten, die den Photogrammetrie-Programmen generell das Finden von Passpunkten in den Einzelbildern für das Zusammensetzen sehr erschweren bis unmöglich machen - genauso wie Sand- oder Wasserflächen oder Maisfelder ([PIX4D, 2022B](#)).

Generell kann gesagt werden, dass je besser der Erhaltungszustand einer FFH-Mähwiese ist, desto artenreicher und blumenbunter ist sie. Viele der im Anschluss genannten Charakterarten ([Tab. 4](#)) lassen sich unter guten Bedingungen auch in einem Drohnen-Luftbild erkennen. Aus der 'Buntheit' des Bildes lässt sich also auf die Artenvielfalt und somit indirekt auf den Erhaltungszustand der Mähwiese schließen.

Andersherum, je weniger bunte Blüten zu erkennen oder überhaupt vorhanden sind, desto schlechter ist der Erhaltungszustand. Zusätzlich dominiert dann meist der Gräserbestand und die wertgebenden bunten Pflanzenarten sind erst recht nicht mehr gut oder gar nicht zu sehen ([Abb. 26](#)) - sei es, dass zu viel Gras in der Oberschicht steht oder sei es, dass überhaupt nur wenige Arten vorhanden sind.



Abb. 26: Eindruck des wenig bunten Wiesen-Aspektes ([Döring, 2022](#))

Qualitätskontrolle von Mähwiesen

Da Baden-Württemberg mit 41,3 % innerhalb der kontinentalen Region Deutschlands einen besonders hohen Flächenanteil am Gesamtbestand der Mageren Flachland-Mähwiesen LRT 6510 besitzt, der Anteil bei den Berg-Mähwiesen LRT 6520 mit 22,1 % ebenfalls hoch ist und es zudem besonders hochwertige Ausprägungen dieser Bestände gibt ([LUBW, 2022A](#)), hat es auch eine besondere Verantwortung für diese beiden Lebensraumtypen (LRTn). Durch Schutz- und Entwicklungsmaßnahmen müssen diese laut der FFH-Richtlinie dauerhaft in einem günstigen Erhaltungszustand erhalten werden - beziehungsweise dieser ist bei Bedarf wiederherzustellen.

Um dies nachzuweisen, müssen alle 6 Jahre Berichte an die EU zu deren Erhaltungszuständen angefertigt werden. Zudem fördert das Land Baden-Württemberg jährlich mit mehreren Millionen Euro die zum Fortbestand dieser beiden LRTn notwendige adäquate Art der Bewirtschaftung, die unter rein ökonomischen Gesichtspunkten heutzutage eigentlich nicht mehr rentabel ist.

Aus diesen beiden Punkten ergibt sich die Verpflichtung zu einem genauen Monitoring und der regelmäßigen Überprüfung der Bestände. ([LUBW, 2022A](#))

Zur Dokumentation der Qualität der FFH-LRTn Magere Flachland-Mähwiesen und Berg-Mähwiesen wurden in Baden-Württemberg im Rahmen einer FFH-Biotopkartierung 2016 und werden seit diesem Zeitpunkt bei der Erstellung von FFH-Managementplänen und durch das landesweite FFH-Mähwiesen-Monitoring regelmäßig vegetationskundliche Schnellaufnahmen angefertigt.

Methodik der terrestrischen Schnellaufnahmen

Bei diesen Schnellaufnahmen werden exakt 10 Minuten lang Farn- und Samenpflanzen auf einer 25 m² großen Probefläche erfasst.

Im Durchschnitt werden so etwa 76,5 % der vorkommenden Arten erfasst, was laut ([BREUNIG ET AL., 2015](#)) ausreicht, um die naturschutzfachliche Qualität von FFH-Mähwiesen annähernd so gut zu beurteilen wie mit einer vollständigen Vegetationsaufnahme. Die relevanten Kennwerte und Arten zur Beurteilung der Qualität von FFH-Mähwiesen (wie der Anteil der Magerkeits-, Stickstoff- und Störzeiger) können laut Breunig et al. bei beiden Methoden ähnlich gut erkannt werden, obwohl bei der Schnellaufnahme im Gegensatz zur Vollaufnahme nicht immer alle Arten vollständig detektiert werden.

Methodik für Drohnenbefliegungen

Diese Schnellaufnahmen könnten evtl. auch mit Drohnen durchgeführt werden, um Qualitätskontrollen durchzuführen - Abb. 27.

- Dazu könnte die erfassende Fachperson selbst die Mähwiesen zuerst flächig befliegen, um ein aktuelles Orthofoto der gesamten Wiese zu bekommen und

- zusätzlich mit einem niedrigen Transekt-Flug (blaue Punkte in Abb. 27) zusätzlich noch Einzelbilder aufnehmen. Mit der in DroBio verwendeten *DJI Mavic 2 Pro (M2P)* weisen die Bilder aus 5 m Höhe eine Fläche von 24 m² auf. Dieser 'Footprint', also die in einem Einzelbild erfasste Fläche, kann auch für andere Kameras leicht ausgerechnet werden ([PIX4D, 2022A](#)). Links ein paar weitere 'Footprint-Werte' der M2P.

Höhe	Footprint
5 m	6 × 4 m ²
6 m	7 × 5 m ²
7 m	9 × 6 m ²

- Diese Einzelbilder könnten dann für eine Schnellaufnahme am PC herangezogen werden. Viele der wertgebenden Arten sind unter günstigen Verhältnissen (wenig Wind, ausreichende Kameraauflösung, etc.) gut zu erkennen. Mit der erwähnten *Flora Incognita* App konnten Arten selbst direkt vom PC-Bildschirm erkannt werden.

- Dabei sollten diese niedrigen Flüge besonders mit den GebietsbetreuerInnen abgesprochen werden, um potenzielle Störungen zu minimieren.

Die Auswertung der Bilder am PC wird wahrscheinlich in absehbarer Zeit auch über KI-basierte Methoden automatisiert möglich sein - entweder über die direkte Identifikation und Zählung von Arten in einer semiautomatischen Bildklassifikation, oder über den 'Buntfarben-Anteil' bzw. Deep Learning Analysen mit KI von RGB-Daten - s.

Methodenentwicklung zur Einzelpflanzendetektion (FELIS) oder ([BASAVEGOWDA ET AL., 2022](#)), ([KATTENBORN ET AL., 2019](#)), ([LOPATIN ET AL., 2017](#)) bzw. einen Index aus Multispektral-Daten ([GRÖSCHLER & OPPELT, 2022](#)).

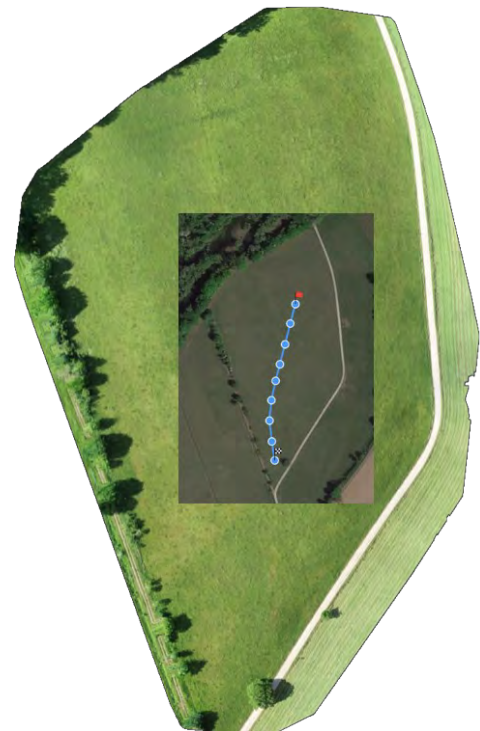


Abb. 27: Qualitätserfassung von FFH-Mähwiesen mit Drohnen (Döring, 2022)




























Schon bei einer Pixelgröße von 2 cm können in Echtfarbenbildern ([Neumann et al., 2022](#)) bereits mit bloßem Auge die Farbe der Blüten, der Moose, des Totholzes und das Alter z.B. von Heide-Pflanzen (frisch-grün, alt-braun) erkannt werden.

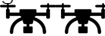
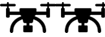
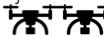
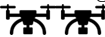
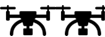
All die genannten Methoden können die objektive und in einem GIS messbare Erfassung des Erhaltungszustandes (Flächenanteile, etc.) von Mähwiesen großflächiger und effektiver möglich machen. Besonders vor dem Hintergrund der Anklage Deutschlands durch die EU-Kommission wegen des Vorwurfs des unzureichenden Schutzes von blütenreichen Wiesen in Natura-2000-Gebieten, erlangt deren effektiver Schutz und dessen Überwachung und Kontrolle eine noch größere Wichtigkeit.

Detektierbarkeit der Charakterarten

In folgender Tabelle wurden die Charakterarten für FFH-Mähwiesen (LAZBW, 2014) charakterisiert und bezüglich ihrer Detektierbarkeit aus der Luft gutachterlich bewertet.

Tab. 4: Erkennbarkeit von Charakterarten in FFH-Mähwiesen (Döring, 2022)

Art	Habitus	Blüte	Detektion/Erkennung
Wiesen-Knautie (<i>Knautia arvensis</i>)	30-80 cm, gegenständige + fiederspaltige Laubblätter	Mai-September, Blüten 2 - 4 cm, lila (blau- bis rotviolett)	Erkennung in Blütezeit eindeutig möglich selbst getestet   
Wiesen-Margerite (<i>Leucanthemum ircutianum</i>)	10-90 cm	Mai-Okt., Blütenköpfe 3-5 cm, weiß mit gelber Mitte	Erkennung in Blütezeit gut möglich selbst getestet   
Wiesen-Bocksbart (<i>Tragopogon pratensis</i>)	bis 70 cm	Mai-Juli, Blüten 4-7 cm, gelb, nach Blüte 'Pustblume', rund-kegelförmige gr. Knospen	Erkennung in Blütezeit gut möglich selbst getestet   
Wiesen-Glockenblume (<i>Campanula patula</i>) ähnlich - <i>C. glomerata</i> und <i>rundifolia</i>	20-70 cm, aufrecht	Mai-Juli, Glöckchen 1-3 cm, oft leicht nickend, lila bis blauviolett	Erkennung in Blütezeit gut möglich selbst getestet   
Wiesen-Flockenblume (<i>Centaurea jacea</i>) ähnlich - <i>C. scabiosa</i> , <i>C. nigra</i> , <i>C. pseudophrygia</i>	30-70 cm, <i>C. scabiosa</i> bis 120 cm	Juni-Okt., Blüten 2 - 4 cm, violett	Erkennung in Blütezeit gut möglich    - evtl. Verwechslungsgefahr der <i>Centaurea</i> -Arten
Wilde Möhre (<i>Daucus carota</i>)	20-120 cm,	Juni-Okt., Blütendolden groß, rundlich weiß	Erkennung in Blütezeit gut möglich    - evtl. Verwechslungsgefahr mit anderen <i>Apiaceae</i>
Wiesen-Salbei (<i>Salvia pratensis</i>)	30-50 cm,	April-Aug., Scheinähre 10-30 cm, violett	Erkennung in Blütezeit gut möglich   
Störzeiger für Überdüngung			
Wiesen-Bärenklau (<i>Rosa villosa</i>)	80-150 cm, Blätter fiederteilig tief gelappt oder grob gezähnt, 20 bis 50 cm	Juni-Sept., Blütendolde groß, 15- bis 30-strahlig, weiß	Erkennung in Blütezeit gut möglich    - evtl. Verwechslung mit Riesenbärenklau
Wiesen- und Wald-Storchschnabel (<i>Geranium pratense und sylvaticum</i>)	60-150 cm	Juni-August, Blüte 3-4 cm, rundlich, hellblau bis violett	in Blütezeit gut möglich    , aber ggf. beide Arten miteinander zu verwechseln

<u>Wiesen-Kerbel</u> (<i>Anthriscus sylvestris</i>)	5 - 15 cm, dreieckige, gefiederte Laubblätter, 15-30 cm	April-Juni, verzweigte 'luftige' Doppeldolde weiß	Erkennung in Blütezeit unter guten Bedingungen evtl. möglich mit Verwechslungsgefahr 
Giftige Pflanzen			
<u>Adlerfarn</u> (<i>Pteridium aquilinum</i>)	50-300 cm, Blattspreite im Umriss dreieckig	grüne große Wedel, im Winter braun sehr gut zu erkennen	Erkennung gut möglich  - s. Teilbericht 'Südschwarzwald'
<u>Herbstzeitlose</u> (<i>Colchicum autumnale</i>)	bis 50 cm, breit-lanzettliche Laubblätter	Blätter März-Mai, Blüte Aug.-Okt., bis 30 cm blassrosa bis violett	Blätter - Erkennung im Frühjahr bei niedriger Vegetation gut möglich,  Blüten - auf abgemähten Wiesen leicht zu erkennen
<u>Jakobs-Greis- oder Kreuzkraut</u> (<i>Senecio jacobaea</i>)	30-90 cm, Pflanze oben verzweigt	Juni/Juli, Einzelblüten 1-3 cm, verzweigte, zahlreiche körbchenförmige Teilblütenstände, gelb	Erkennung gut möglich  - selbst ausprobiert
<u>Klappertopfarten</u> (<i>Rhinanthus spec.</i>)	10-50 cm, Blätter	Mai-Sept., Blüten 1 cm, traubige Blütenstände zw. grünen und krautigen Blättern gelb	Erkennung je nach Dichte des Gras-Oberstandes durch Form und Farbe gut möglich 





Ergebnisse



Die genannten FFH-Wiesen wurden mehrmals befliegen, um einen Vergleich anstellen zu können. Dabei wurden auch vertikale Flüge über einem kleinem Testgebiet durchgeführt, um zu sehen, ab welcher Höhe die einzelnen Arten noch eindeutig zu erkennen sind.

Vertikalflüge zur Artenerkennung

Tab. 5: Auswertung der Vertikalflüge zur Artenerkennung (Döring, 2022)

Flughöhe - Anmerkungen	Bildausschnitte von Einzelbildern
<p>3 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arten (Kuckucks-Lichtnelke, Schafgarbe, Jakobs-Greiskraut, Ackerwitwenblume) gut aus Bild bestimmbar • mit grobem Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung sehr gut verwendbar <ul style="list-style-type: none"> • beim Hineinzoomen sind Blüten und Blattstruktur gut zu erkennen • <i>Knautia</i> wurde mit der Flora Incognita App selbst über eine Bildschirmfoto erkannt 	 

<p>6 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arten (Kuckucks-Lichtnelke, Schafgarbe, Jakobs-Greiskraut, Ackerwitwenblume) gut aus Bild bestimmbar • mit grobem Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung gut verwendbar 	
<p>8 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arten (Kuckucks-Lichtnelke, Schafgarbe, Jakobs-Greiskraut, Ackerwitwenblume) aus Bild noch bestimmbar • Konturen verwischen immer mehr • mit Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung noch verwendbar 	
<p>10 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Bild alleine nicht mehr bestimmbar • beim Hineinzoomen Blütenstruktur nicht mehr gut differenzierbar • Blütenfarbe noch zu erkennen • Blattstruktur noch zu erkennen • bei gutem Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung noch brauchbar 	
<p>15 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Bild alleine nicht mehr bestimmbar • beim Hineinzoomen Blütenstruktur nicht mehr gut differenzierbar • Blütenfarbe noch zu erkennen • Blattstruktur noch einigermaßen zu erkennen • bei gutem Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung ggf. noch brauchbar 	

<p>25 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Bild alleine nicht mehr bestimmbar • beim Hineinzoomen Blütenstruktur nicht mehr gut differenzierbar • Blütenfarbe noch zu erkennen • Blattstruktur noch einigermaßen zu erkennen • bei gutem Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung noch brauchbar? 	
<p>30 m</p> <ul style="list-style-type: none"> • aus Bild alleine nicht mehr bestimmbar • beim Hineinzoomen Blütenstruktur nicht mehr differenzierbar • Blütenfarbe noch etwas zu erkennen • Blattstruktur noch schwach zu erkennen • bei gutem Ground-Truthing für automatisierte Bildauswertung noch brauchbar? 	

Strukturerkennung in Wiesen

In den Orthofotos der FFH-Mähwiesen (Fläche 1 - [Abb. 25](#)) aus 50 m Höhe können Zonen unterschiedlicher Ausprägung gut ausgemacht werden.

 <p>Abb. 28: FFH-Mähwiese 1 - Befliegung 2021 (Döring, 2022)</p>	 <p>Abb. 29: FFH-Mähwiese 1 - Befliegung 2022 (Döring, 2022)</p>
--	---

Im Folgenden werden einige Strukturen näher beleuchtet.



Abb. 30: Orthofoto des Kalkmagerrasens (Döring, 2022)

Auf dem Orthofoto links vom Kalkmagerrasens, kann man deutlich Zonen unterschiedlicher Ausprägung sehen. Diese können Trocken- oder Feuchtstellen oder unterschiedliche Vegetationseinheiten darstellen, was durch das Ground Truthing vom Experten am Boden verifiziert werden müsste.

Digitalisiert man die einzelnen Bereiche wie in Abb. 31, bekommt man eine Verteilungskarte.

Befliegt man dann in regelmäßigen Abständen diese Flächen, kann man in der entstehenden Zeitreihe die Flächenanteile jeweils neu digitalisieren und erhält so eine Entwicklungskarte der Vegetationseinheiten.

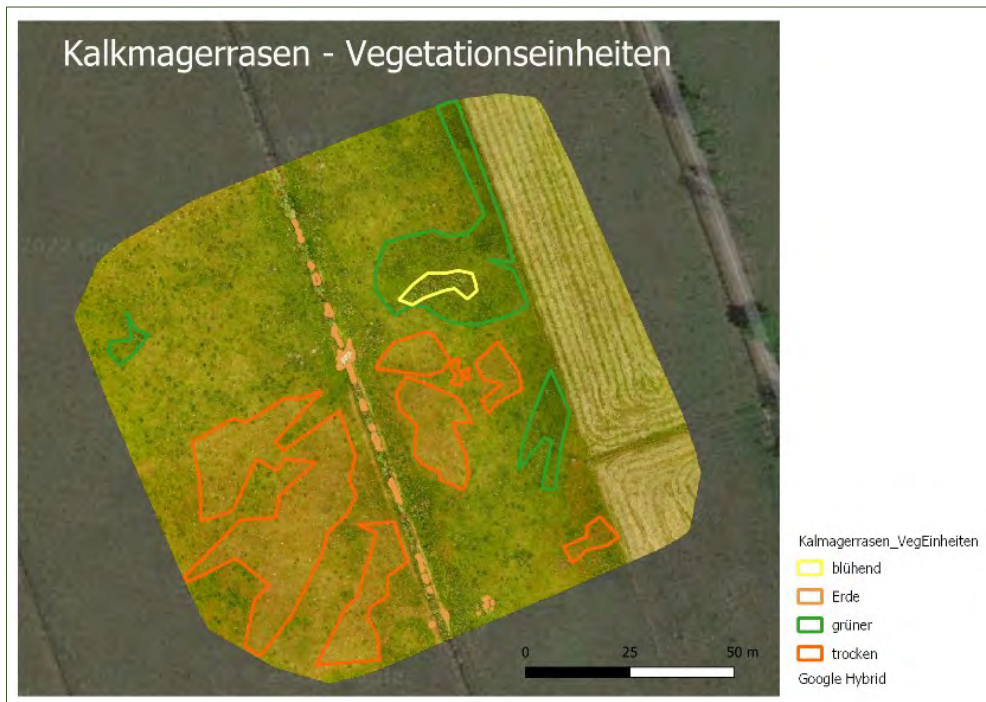


Abb. 31: Karte digitalisierter Wiesen-Zonen (Döring, 2022)



Abb. 32: Ausschnitt aus Orthofoto des Kalkmagerrasens (Döring, 2022)

Links auf dem Orthofoto sieht man aus 30 m Höhe auch sehr kleine Flächen oder Spots barer Erde im Kalkmagerrasens. Diese konnten in der Karte oben (Abb. 31) ebenfalls digitalisiert werden.



Abb. 33: Ausschnitt - Orthofoto der FFH-Mähwiese 1 (Döring, 2022)

In diesem Orthofoto von 2021 sieht man sehr deutlich auch relativ schmalen Spuren - vermutlich von Wildtieren - im Gras.

Indem man diese digitalisiert kann man die Raumnutzung des Viehs durch seine 'Tracks' und Lagerspuren darstellen, um Flächenanteile stärker oder weniger stark genutzter Bereiche zu bestimmen.

Auch aus wesentlich größerer Höhe, gar nicht zu sprechen von den getesteten 50 m Höhe, kann man die flächigen Schäden durch Wildschweine wie im Bild unten erkennen.



Abb. 34: Wildschaden in Wiese (ELSNER, 2021)

Schäden durch Wildschweine entstehen in Wiesen meist durch Umwühlen (Abb. 34). Die braune Erde ist im umgebenden Grün auch aus größerer Höhe (100 m) gut zu erkennen. In Wiesen muss kaum verifiziert werden, ob es sich um einen Wildschwein-Schaden handelt.

In Maisfeldern aber können z.B. auch Dachschweine oder Biber die Verursacher massiver Schäden sein, weshalb dort auf der Fläche noch genau überprüft werden muss, um welches Tier es sich bei dem Verursacher gehandelt hat. Denn es gibt Unterschiede in der Rechts- und Entschädigungslage.

Drohnen werden von Wildschadenschätzern zunehmend eingesetzt, um die Flächen schneller überschauen zu können.

FFH-Wiesen-Monitoring Fazit

Tab. 6: Antworten & Empfehlungen zum Wiesenmonitoring (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
<p>Inwieweit können die Weideflächen auf den FFH-Mähwiesen mit der Hilfe von Drohnen bewertet und die Qualität für das FFH-Monitoring abgeschätzt werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Orthofotos aus 50 m (oder höher) könnten durch hochauflösende Fotos, die als Stichproben auf einem Transekt aufgenommen wurden, validiert werden. Dabei sollten diese niedrigen Flüge besonders mit den GebietsbetreuerInnen abgesprochen werden, um potenzielle Störungen zu minimieren. • Ein Vorteil ist, dass größere Flächen mit einhergehender höherer Stichprobenzahl bewertet werden könnten. • Eine Qualitätsabschätzung ist noch schwierig und müsste durch gutes <i>Ground Truthing</i> bestätigt werden. • Der Fachmann für das <i>Ground-Truthing</i> sollte am besten selbst die Drohne einsetzen.
<p>Wie oft muss dazu in der Vegetationsperiode geflogen werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es muss auf jeden Fall einmal vor dem ersten Schnitt oder dem ersten Weidegang - s. Kartieranweisung Offenlandbiotope (BREUNIG ET AL., 2015) - und ggf. später vor weiterer Mahd oder Beweidung geflogen werden. • Natürlich müssen genügend Charakterarten blühen, um eine Bewertung per Drohne durchführen zu können.
<p>Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich, die einzelnen Vegetationseinheiten/-elemente zu differenzieren und die Strukturentwicklung zu monitoren?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, man kann die phänologischen Veränderungen durch regelmäßige Befliegungen auf den Flächen dokumentieren und eindeutig unterscheidbare Einheiten abgrenzen. Nur auf Artenniveau schwer abgrenzbare Vegetationseinheiten können bisher ausschließlich terrestrisch durch Fachleute durchgeführt werden. • Wie oben beschrieben ist es möglich Einheiten abzugrenzen und zu digitalisieren, um die Entwicklung verfolgen zu können.
<p>Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich, Schwarzwildschäden auf den Kalkmagerrasen zu monitoren?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ja - s. oben.
<p>Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Flüge (und besonders auch die niedrigen) müssen unbedingt mit GebietsbetreuerInnen abgesprochen werden. • Möglichst nicht in der Brutzeit fliegen. • 40 m bis 50 m Flughöhe haben sich bis jetzt generell als unproblematisch erwiesen - s. <i>Kapitel Störungsökologie</i> im Hauptteil und die veröffentlichte <i>Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnentflügen</i> (DÖRING & MITTERBACHER, 2022), (LAG VSW, 2023).

	<ul style="list-style-type: none"> Die Grund-Regeln für schonendes und störungsarmes Fliegen daraus gelten natürlich immer - s. auch <i>Teilbericht 'Faunamonitoring'</i>.
<p>Welche luftverkehrsrechtlichen (Flughafen Lahr) Bedingungen sind bei Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> Das Fluggebiet befindet sich im rechtlichen Einzugsbereich des Flughafens Lahr Flüge bis zu maximal 50 m Höhe können durch eine einfache Anfrage beim Flughafen freigegeben werden - Tel.: +49 7821 994 400 - ops@edtl-airport-lahr.de - Der Flughafen Lahrer Flugbetriebs GmbH & Co. KG (airport-lahr.de). Am Flugtag muss man sich dann unter dieser Nummer am Tower an- und abmelden. Flughöhen über 50 m müssen durch die deutsche Flugsicherung genehmigt werden (BNL@dfs.as.aero). Dabei sollte der Antrag (mit Ort, Datum, Ansprechpartner, Zeitraum) mindestens 2 Wochen vor der geplanten Mission gestellt werden. Genehmigungen können auch für einen Zeitraum statt für einen einzigen Tage erteilt werden, um flexibel und wetterunabhängig zu sein.
<p>Welche Methoden sind für die Flugplanung günstig?</p>	<ul style="list-style-type: none"> Als sinnvoll haben sich Rasterflüge zur effektiven Abdeckung der gewünschten Flächen erwiesen, die am PC geplant und als KMLs auf die Drohnen übertragen werden können. Eine Planung am PC hat den Vorteil, dass in GIS schon vorhandene Geometrien aus amtlichen oder anderweitig vorliegenden Geo- oder Arten-daten als Grundlage zur Flugplanung genutzt werden können. Für das Flächenmanagement und nicht allzu feine Strukturen reichen meist Flüge in 100 m Höhe aus. Zur Erkennung feinerer Strukturen oder gar einzelner Arten sind generell niedrigere Höhen sinnvoll (muss jeweils ausprobiert werden), oder besser es werden ergänzend manuelle Flüge auf Höhen < 10 m zur Aufnahme ergänzender Einzelfotos für die Artendifferenzierung durchgeführt - s. auch <i>Teilbericht 'Hirschacker'</i>.
<p>Welche Flugbedingungen und welche Befliegungsmethodik sollten angestrebt werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> Je feiner die Vegetation, desto weniger Wind sollte zum Flugzeitpunkt wehen (<i>Calamagrostis</i> z.B. bewegt sich leicht) Es sollte beim Fliegen möglichst gleichmäßiges Licht herrschen, am besten gleichmäßig bewölkt, oder sonnig ohne (viele) Wolken. Bei Sonne herrscht aber häufig mehr Wind - s. <i>Methodik im Hauptbericht</i>
<p>Besonderheit: Blütenwiesen mit vielen oberständigen Gräsern macht wie andere einförmige Strukturen wie Meer/Sand/Mais/Schnee den Photogrammetrie-Programmen oft Probleme, da sie keine Verknüpfungspunkte zwischen den einzelnen Bildern finden. Deshalb empfiehlt es sich, möglichst viele 'Struktur-Besonderheiten' wie Büsche oder Bäume am Rand der Fläche mit aufzunehmen - s. (pix4d, 2022b).</p>	

5.2.6 Methodenentwicklung zur Einzelpflanzendetektion (FELIS)

Der Projekt-Kooperationspartner, die Forschungsgruppe des Lehrstuhls für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme (*FeLis*) der Uni Freiburg ist dabei Methoden zu entwickeln, um die Detektion und Identifikation einzelner Blütenpflanzen anhand bestimmter (Blüten)-Merkmale in hochauflösenden Drohnenbildern und mit Hilfe von künstlicher Intelligenz zu erreichen. Dazu wurden u.a. auch innerhalb des Projektes 'DroBio' Flüge durchgeführt und erste Ergebnisse zur Verfügung gestellt.

Befliegung von Wiesen in Taubergießen, im Südschwarzwald (Präg) und im Abuseni Gebirge in Rumänien

Die Befliegungen in diesen Gebieten fand 2021 und 2022 mit eigenem Equipment statt und hatten folgende Ziele:

1. Test der Anwendung einer Tragflächendrohne (*SenseFly Ebee*) als Alternative zu Kopter-Drohnen, da mit Tragflächendrohnen größere Gebiete befliegen werden können.
2. Prüfung, ob mit der hochauflösenden *SenseFly S.O.D.A.* RGB-Kamera für die Ebee Aufnahmen zur Blütenidentifikation möglich sind, mit deren Hilfe - ggf. noch mit Unterstützung durch Daten einer Multispektral-Kamera (*Parrot Sequoia*) der Habitatzustand von Wiesen abgeschätzt werden kann.
3. Vergleich der Daten beider Kameras und darauf aufbauend eine Abschätzung welche Kamera und welche Drohne für diese Aufgabe besser geeignet ist und somit eher empfohlen werden kann.

Keine der beiden Kameras erwies sich 2021 in Kombination mit der flächeneffektiven Ebee für eine Identifizierung von Blütenpflanzen in Wiesen geeignet, was hauptsächlich auf die technischen Einschränkungen der verwendeten Drohne (Ebee) und der Kameras zurückzuführen war. Wenn man keine Höhenmodelle und keine Orthofotos berechnen will und stattdessen direkt in den Originalbildern auswerten möchte, könnten vielleicht die beiden Kameras doch auch für die Blumenerkennung mit der Ebee eingesetzt werden.

Allerdings ist unserer Meinung nach, der Einsatz einer Kopter-Drohne sinnvoller und zielführender, da man dort die Geschwindigkeit und Flughöhe genau auf die jeweiligen Bedürfnisse anpassen kann. Es ist dann vielleicht nicht möglich so große Flächen wie mit der Tragflächendrohne in einem Flug aufzunehmen, es könnten aber z.B. einige größere Stichprobenflächen (3 - 5 ha) befliegen und die resultierenden hochaufgelösten Bilder ausgewertet werden (wie auch teilw. bei terrestrischen Erhebungen üblich). So könnte dann der Anteil an Blütenpflanzen für die gesamte Fläche hochgerechnet werden. Solche Aufnahmen und Ergebnisse wären, unserer Ansicht nach, zuverlässiger als die flächig sehr begrenzten terrestrischen Stichprobenerhebungen mit Flächen von nur 1 m², da mit solchen Befliegungen viel größere Kontrollflächen als Grundlage für die Schätzung des Bestandes auf der ganzen Fläche zur Verfügung stehen.

4. Test Befliegung im Südschwarzwald Gebiet Präg mit einem Oktokopter (= 8 Rotoren der Firma *Mikrokopter*) und einer *Sony ILCE-7R* Kamera mit einem 50 mm Objektiv.
5. Test Befliegung mit einer neuen *DJI M300 RTK*, ausgestattet mit einer hochauflösenden *DJI Zenmuse P1* Kamera (Taubergießen/Rumänien)

Im Frühsommer 2022, stand dann durch eine Neuanschaffung die *DJI M300 RTK* mit der *Zenmuse P1* Kamera zur Verfügung. Deswegen haben wir nochmals über einigen Wiesen in Taubergießen weitere Testflüge durchgeführt.

Ein Problem das auftrat, sowohl bei den Sommer Befliegungen 2021, als auch bei der Befliegung Ende Mai 2022, war die Tatsache, dass nur wenige Blumen mit Blüten auf den zu befliegenden Wiesen vorzufinden waren, bzw. etliche Arten aber auch noch nicht blühten. Der Befliegungstermin war aber zu diesem Zeitpunkt gewählt worden, da der erste Mahdtermin direkt bevorstand und eigentlich schon viele Arten hätten blühen können. Die Mahd der FFH-Wiesen wurde aus naturschutzfachlichen Gründen so früh terminiert, da die dominierenden oberständigen Gräser möglichst nicht zum Aussamen kommen und dadurch zurückgedrängt werden sollten, um so den wertgebenden Kräutern in den nächsten Jahren mehr 'Luft' zum Wachsen zu geben.



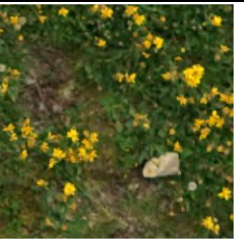
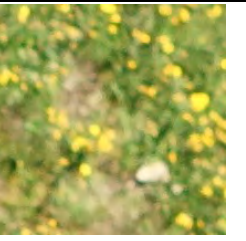
Daher haben wir Bilddaten von weiteren Befliegungen genutzt, die wir teilweise schon früher durch Befliegungen im Südschwarzwald im Gebiet Präg, aufgenommen hatten. Hierbei handelt es sich um Aufnahmen einer „Arnikawiese“. Außerdem haben wir auch noch zusätzlich Bilddaten von Befliegungen in Rumänien aus dem Apuseni Gebirge -aus dem Projekt zum 'Schutz des artenreichen Graslands durch eine nachhaltige Nutzung von *Arnica montana*' - vom Frühsommer 2022 für die zur Entwicklung der KI-Auswertungen herangezogen.

Arnika Wiese im Präg-Gebiet (Südschwarzwald)

Bei dieser Befliegung kam der Oktokopter ausgestattet mit der Sony ILCE-7R zum Einsatz. Die Wiese wurde mehrfach in verschiedenen Flughöhen überflogen.

Tab. 7 zeigt vier Bildausschnitte der unterschiedlichen Flughöhen über Grund. Man erkennt sofort, dass auf 65 m die Blüten nicht mehr klar erkennbar sind. Zudem wird noch ein allgemeines Problem sichtbar, das man bei weiteren Auswertungsschritten berücksichtigen muss - nämlich, dass sich die Bildhelligkeit zwischen den einzelnen Aufnahmen durch wechselnde Lichtverhältnisse aufgrund ziehender Wolken signifikant ändern kann.

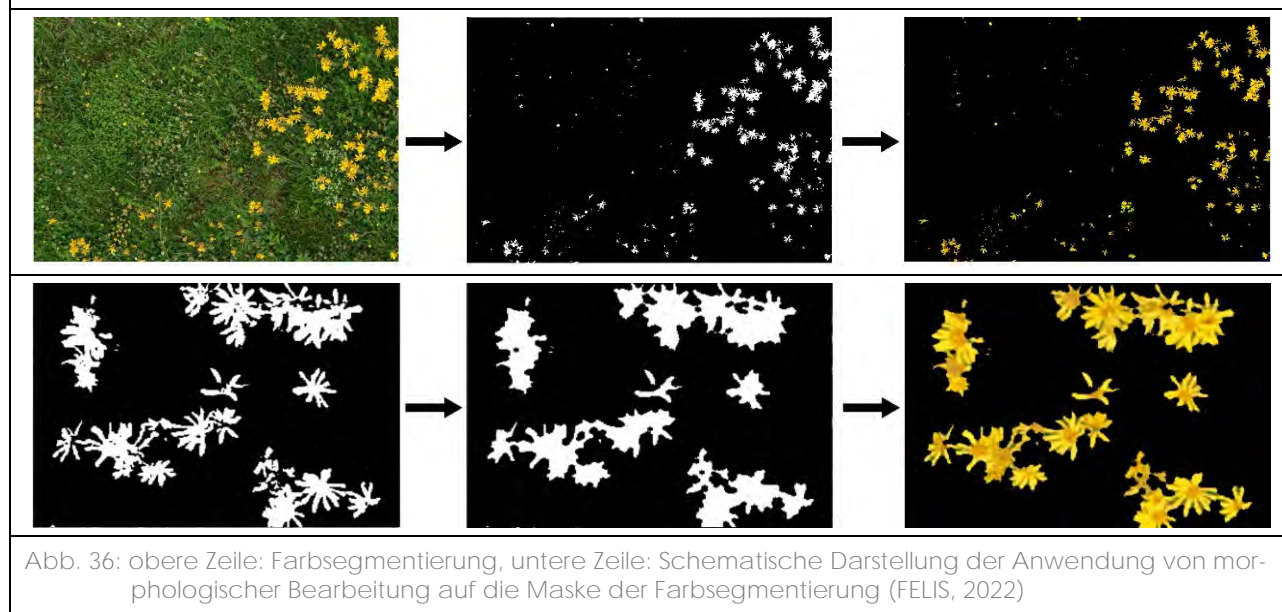
Tab. 7: Bilder aus ca. 14 m, 20 m, ca. 28 m und 65 m Flughöhe. Was besonders auffällt, sind die starken Unterschiede in der Gesamthelligkeit der Bilder durch vorbeiziehende Wolken. (FELIS, 2020)

				
	Flug 1	Flug 2	Flug 3	Flug 4
Flughöhe	13.8 m	20.3 m	27.8 m	64.6 m
Anzahl Bilder	236	208	233	355
Boden-Auflösung (mm/pix)	1.32	1.89	2.6	5.93
Flächenleistung (ha)	0.1	0.633	0.950	1.74

Methodenentwicklung – Einsatz von generellen Bildverarbeitungsme- thoden

Ein erstes Entwicklungsmodul basierte auf generellen Bildverarbeitungsroutinen der Drohnenbilder. Dazu wurde nach Vorverarbeitungsschritten eine Farbsegmentierung auf den Bildern durchgeführt.

Daran folgten u.a. morphologische Verarbeitungsschritte, die Zwischenergebnisse sind in folgenden Abbildungen zu sehen (Abb. 35 + 36).



Das Ergebnis war bis dahin schon vielversprechend, doch gab es Problemstellen, bei sich stark überlappenden Blüten. Unter anderem wurde daher beschlossen, die Prozessierung mit KI-Methoden unter zu Hilfenahme neuronaler Netze zu testen.

Methodenentwicklung – Neuronale Netze

Es gibt bereits mehrere Apps zur Blumenerkennung auf Smartphones, die auf neuronalen Netzen basieren. Allerdings sind die mit dem Smartphone aufgenommenen Fotos der zu erkennenden Blumen (Blüten) sehr groß und "scharf".

Bei UAV Befliegungen bekommt man nie so große Fotos der Blüten und aufgrund der Fluggeschwindigkeit der Drohne in der Regel auch Unschärfen in den Fotos.

Um "das Rad nicht neu erfinden", haben wir untersucht, welche Möglichkeiten es gibt, für unsere Aufgabenstellung schnell und mit vergleichsweise geringer Einarbeitungszeit einen auf neuronalen Netzen basierenden Prototypen zur Blütenerkennung zu entwickeln.

Unsere Wahl fiel auf die Programmiersprache *Python*, da in dieser Sprache die meisten *Deep-Learning-Frameworks* als freie Software zur Verfügung stehen. Hier sind zwei weit verbreitete *Deep-Learning-Frameworks* zu nennen, *Pytorch* und *Tensorflow*, außerdem existieren viele *High-Level-APIs*, die jeweils auf diesen Frameworks aufbauen, wie *Keras*, *Fastai*, *Yolo5* und *Detectron2*.

Wir entschieden uns für das *Framework Pytorch*. Es wird von *Facebook AI Research (FAIR)* zur Verfügung gestellt. Diese Software unterstützt ein natives *Python* und die Nutzung aller Bibliotheken. Obendrein ist es für *Rapid Prototyping* in der Forschung gut geeignet, da es eine "einfach" zu verwendende *API* besitzt und zudem extrem schnell ist, was beim Training von Netzen sehr wünschenswert ist.

Aufbauend auf diesem Framework wurden die beiden Systeme *Yolo5* und *Detectron2* eingesetzt.

Zum Testen der Workflows wurden die Befliegungen weiterer Arten im Apuseni Gebirge (Rumänien) herangezogen.

Florabefliegung im Apuseni Gebirge (Rumänien)

Bei den Apuseni Befliegungen wurde im Frühsommer 2022 die *DJI M300 RTK* mit der Kamera *Zenmuse P1* eingesetzt. Die Befliegungen in Rumänien wurden im Rahmen eines noch bis Frühjahr 2024 laufenden *Arnika* Forschungsprojektes "*Conservation of biodiversity in Romania – perspectives for oligotrophic grassland in the Apuseni Mountains with focus on the key species Arnica montana*" ([DBU, 2021](#)) von den dortigen rumänischen Projektmitarbeitern durchgeführt.

Aus diesen Befliegungen wurden Aufnahmen von *Bellis perennis* (Gänseblümchen, Blütengröße bis zu 2,5 cm), *Arnica montana* (Arnika, Blütengröße bis zu 6,5 cm) und *Adonis vernalis* (Frühlings-Adonisröschen, Blütengröße bis zu 8 cm) neben den *Arnika*-Bildern aus Prag für die weitere Entwicklung der Prozessierungs-Workflows herangezogen.



Abb. 37: Yolo5 – Prag (Südschwarzwald) *Arnica montana*.
 Selbst sich mehrfach überlappende Blüten werden von diesem System korrekt erkannt.

alle Bilder (FELIS, 2022)



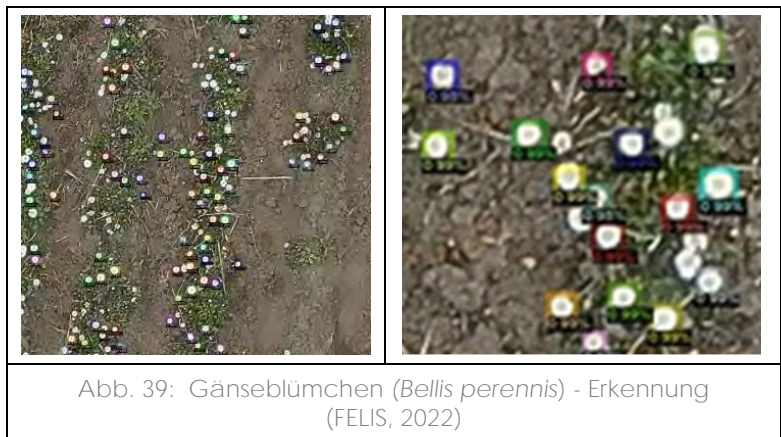
Abb. 38: Arnikablüten in Rumänien

Zur Verdeutlichung der erreichten Ergebnisse mit Yolo5 zeigt Abb. 37 die Vergrößerung eines Ergebnisbildes. Man erkennt, dass sogar sich sehr stark überdeckende Blüten separiert und somit korrekt erkannt werden konnten.

Die Bilder aus dem Apuseni Gebirge wurden mit der Softwarekombination *Detectron2* + *Faster-R-CNN* ausgewertet. In Abb. 38 ist das Ergebnis der Erkennung der rumänischen Arnika zu sehen. Auch in diesem Fall ist das Ergebnis sehr befriedigend. Um dies zu verdeutlichen, haben wir drei Beispiele im Ergebnisbild markiert. Das Bild oben in Abb. 38 zeigt das Bild vor der Prozessierung. Im Bild unten kann man nach der Prozessierung Quadrate um die erfolgreich erkannten Arnikablüten erkennen. Die roten Kreise zeigen jeweils zwei sich überlappende Blüten, die ebenfalls separat erkannt wurden. Der grüne Kreis in der Mitte zeigt eine Blüte, die erkannt wurde, obwohl sie fast um 90 Grad gekippt und nur partiell zu sehen ist.

Da das Ergebnis dennoch nicht vollständig befriedigend war, wurde noch ein zweites System getestet.

Die Erkennung von *Bellis perennis* in den Drohnenbildern ist als besonders erfreulich anzusehen. Denn bei dessen, im Vergleich zur Arnika, wesentlich kleineren Blüten war es nicht sicher, ob diese überhaupt zu erkennen sein würden. Um dies zu verdeutlichen wird in Abb. 39 ein stark vergrößertes Bild gezeigt. Es ist nicht sehr scharf, doch wird das Wichtige deutlich - praktisch um jede einzelne Blüte ist ein farbiges Kästchen das deren erfolgreiche Erkennung anzeigt. Das bedeutet, dass der Algorithmus des neuronalen Netzes, die Blüten zu einem hohen Prozentsatz erkennen konnte. Es gibt zwar immer noch einige Problemfälle, die aber hoffentlich in weiteren Entwicklungen gelöst werden, um so den Prozentsatz der korrekt erkannten Blüten erhöhen zu können.



Die Methodenentwicklung und Auswertung findet bei *FeLiS* im Rahmen von Bachelor-, Masterarbeiten und "aktuellen Themen" statt. Durch die Verknüpfung, sowohl der Daten, die im Rahmen von „Drohnen im BioMonitoring“ und des Arnika Projektes erflogen wurden und der kontinuierlich stattfindenden Entwicklungsarbeit in diesem Forschungsbereich, haben alle Projekte davon profitiert.

5.2.7 Weinbergbefliegungen (FELIS)

Einleitung

Effiziente Landnutzung ist heute entscheidend für eine erfolgreiche nachhaltige Entwicklung. Dabei werden Doppelnutzungsformen wieder populär. Ein Beispiel ist die Weide von Schafen in Weinbergen, da diese seit je her auch im Winter noch Grasflächen zur Beweidung bieten. In diesem Teilprojekt sollte verglichen werden, wie verschiedene Vegetationsbehandlungen (Extensiv- und Intensivbeweidung, Mulchen und Walzen) den Bewuchs beeinflussen. Zu diesem Zweck wurde die Anwendbarkeit von UAV-Befliegungen und photogrammetrische Aufnahmen mit einer *DJI Mavic 2 Pro* zur Messung der Grashöhen untersucht. Das war außerdem eine direkte Ergänzung zu den Befliegungen der landwirtschaftlichen Flächen in Taubergießen (FFH-Mähwiesen) und im Südschwarzwald (extensive Allmendweiden).

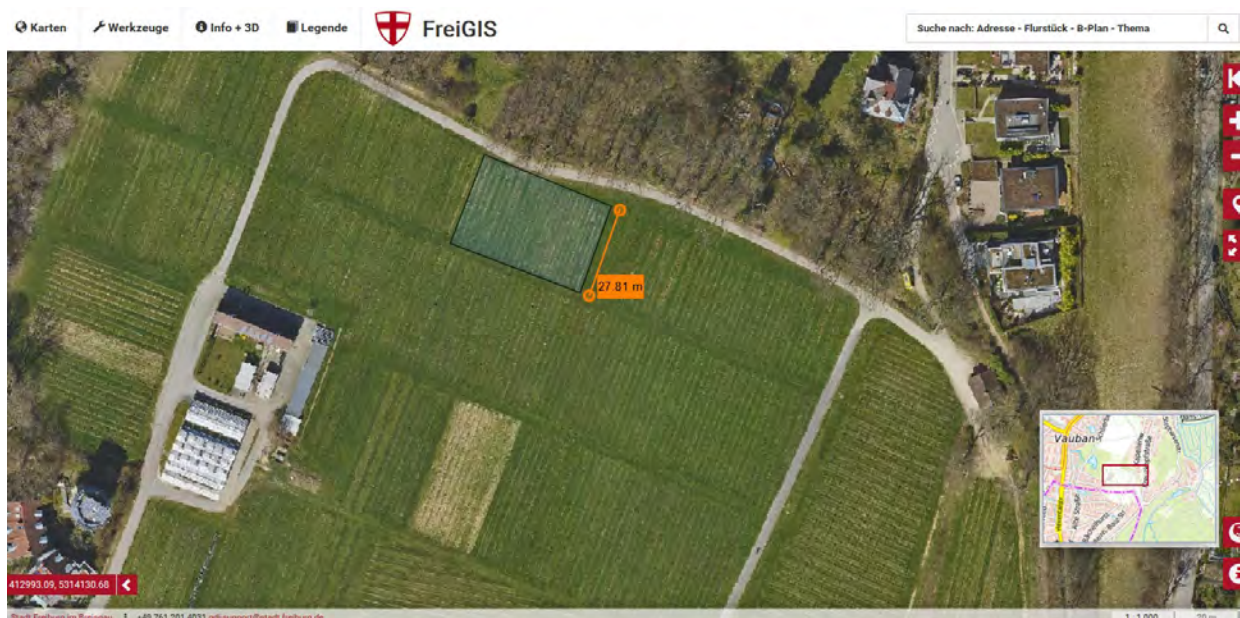


Abb. 40: Weinberg - Karte des Befliegungsgebietes 2021 (FELIS, 2021)

Zusätzlich wurde auch die Synergie zum Projekt Schafe im Weinberg - [W3: Win-Win im Weinberg](#) hergestellt, um in diesem Kontext das Potenzial von Drohneneinsätzen aufzuzeigen.

In diesem Grundlagen-orientierten Forschungsmodul wurden die Wirkungen von Schafbeweidung im Weinberg untersucht, um zu zeigen, wie diese Maschineneinsätze reduzieren und Herbizidausbringung verringern helfen können. Von Interesse sind dabei nicht nur die biotischen (u.a. Vegetation, Struktur, Insekten), sondern auch die abiotischen (Bodenparameter) Veränderungen in den Reben.

Projektgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt auf einer Fläche, die zum Staatlichen Weinbauinstitut in Freiburg im Breisgau in der Nähe des Stadtteils Vauban, gehört. Sie umfasst eine Fläche von ca. 28 m Breite und 40 m Länge. In diesem Areal befinden sich 18 Gassen/Weinreben.

In Abb. 40 sieht man die Lage des Untersuchungsgebiets mit dem Weinbauinstitut links und der Untersuchungsfläche in der Mitte oben (mit oranger Bemaßung).

Fragestellungen

Die folgenden Aufgaben wurden mit dem Projektmanager des Weinberg-Projekts [W3: Win-Win im Weinberg](#) und dem DroBio Projektkoordinator erarbeitet:

- Ist es mit Drohnenaufnahmen möglich, die Biomasse- und Höhenwechsel von Gras zu detektieren und quantitativ gut zu erfassen?
- Inwieweit können Drohnenaufnahmen die Messungen zur Bestimmung der Biomasse und Höhen des Bewuchses ersetzen?
- Welchen Methoden und Software kann oder sollte ein "normaler Nutzer" (kein Profipilot) für die Flugplanung und den Flugbetrieb einsetzen, um ohne große Fachkenntnisse in der Photogrammetrie zuverlässige und nachvollziehbare Ergebnisse mittels Drohnenbefliegung zu erhalten?

Methodik

Die Methodik für die genannten Aufgaben hatte bereits im Vorfeld anhand anderer Befliegungen erarbeitet werden können.

Die beiden ersten Fragestellungen können durch photogrammetrisch erzeugte Oberflächen-Höhenmodelle (DOM-Berechnungen), beantwortet werden. Dazu müssen die DOMs, die aus Befliegungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten abgeleitet wurden, miteinander verglichen werden.

Die Oberflächen-Höhenmodelle wurden als georeferenzierte Rasterdateien mittels ArcGIS analysiert. Als Ergebnis ergaben sich wiederum Rasterdateien, in denen nun die Höhenunterschiede, die durch die verschiedenen Nutzungen oder Bearbeitungen der Vegetation (Beweidung, Mulchung, Walzung etc.) entstanden sind, zu sehen sind. Ebenso wurden die Höhen der Drohnen-Aufnahmen mit den Höhen aus manuellen Vegetationsmessungen in kleinen Proben-Quadraten verglichen.

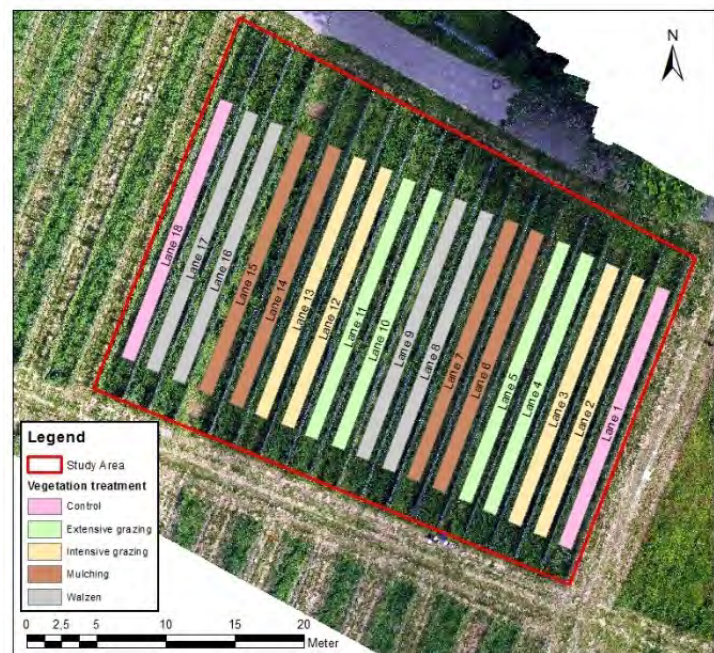


Abb. 41: Weinberg – Entwurf der Vegetationspflege jeder Gasse des Untersuchungsgebiets (FELIS, 2021)

Befliegungen

Die Versuchsflächen in Abb. 41 wurden je nach Farbe unterschiedlich behandelt. Vor der Durchführung der entsprechenden Maßnahmen (intensive und extensive Beweidung, Mulchung, Walzung und Kontrollflächen) wurden die Flächen zum ersten Mal aus verschiedenen Höhen aufgenommen. Zusätzlich wurden feste Passpunkte am Boden eingemessen, um die Lagegenauigkeit der Aufnahmen aus den unterschiedlichen Befliegungen gewährleisten zu können. Dann wurden zu Beginn und während der Maßnahmen regelmäßig Befliegungen durchgeführt, um den Wachstumsverlauf nachvollziehen zu können.

Da der Versuchszeitraum recht eng gesteckt worden war (3 - 4 Wochen), mussten die Befliegungen auch bei nicht idealen Witterungsbedingungen und Sonnenstand durchgeführt werden.

Geplant war gewesen, ab Beginn der Beweidung mindestens eine Befliegung pro Woche zum Monitoring der Veränderungen durchzuführen. Dies konnte im Juni auch so durchgeführt werden. Im Juli aber konnten nur noch drei Befliegungstermine realisiert werden.

Ergebnisse

Die regelmäßigen Flüge ermöglichten es, das Vegetationswachstum an sich zu observieren. Allerdings war es schwierig zu schätzen, um wie viele Zentimeter genau die Vegetation gewachsen war. Es zeigte sich zudem, dass sich die Ergebnisse insbesondere mit den gewählten Flughöhen signifikant änderten. Dabei traten bei den 10-Meter-über-Grund-Flügen die größte Abweichung zu den anderen Flügen auf.

Der Grund dafür konnte jedoch leider nicht ermittelt werden. Tab. 8 zeigt die Grashöhen in den jeweiligen Gassen bezogen auf die Befliegungen in unterschiedlichen Flughöhen an zwei Befliegungstagen.

Tab. 8: Grashöhen in den Gassen an 2 unterschiedlichen Befliegungstagen (FELIS, 2021)

Flughöhe		10 m			20 m			30 m		
Gasse	Vegetationspflege	09.06.	11.06.	Diff.	09.06.	11.06.	Diff.	09.06.	11.06.	Diff.
1	Kontrolle	299.17	299.13	-0.04	299.15	299.13	-0.02	299.19	299.09	-0.10
2	Intens. Beweidung	299.01	298.67	-0.35	299.03	298.65	-0.39	299.08	298.65	-0.42
3	Intens. Beweidung	298.69	298.45	-0.24	298.73	298.40	-0.33	298.78	298.43	-0.35
4	Extens. Beweidung	298.60	298.31	-0.29	298.68	298.27	-0.41	298.73	298.30	-0.43
5	Extens. Beweidung	298.11	297.98	-0.13	298.18	297.91	-0.27	298.25	297.97	-0.28
6	Mulchen	297.90	297.71	-0.19	297.99	297.64	-0.35	298.06	297.70	-0.36
7	Mulchen	297.49	297.36	-0.13	297.59	297.26	-0.33	297.66	297.34	-0.32
8	Walzen	297.29	297.15	-0.14	297.40	297.04	-0.36	297.48	297.11	-0.37
9	Walzen	297.02	296.88	-0.14	297.13	296.76	-0.37	297.21	296.84	-0.38
10	Extens. Beweidung	296.66	296.59	-0.07	296.77	296.46	-0.31	296.84	296.53	-0.31
11	Extens. Beweidung	296.36	296.26	-0.09	296.46	296.13	-0.33	296.53	296.20	-0.33
12	Intens. Beweidung	296.07	295.95	-0.12	296.17	295.81	-0.36	296.22	295.87	-0.35
13	Intens. Beweidung	295.76	295.62	-0.14	295.85	295.46	-0.39	295.90	295.52	-0.38
14	Mulchen	295.36	295.55	0.19	295.42	295.35	-0.06	295.45	295.42	-0.03
15	Mulchen	295.06	294.99	-0.08	295.11	294.81	-0.31	295.15	294.88	-0.28
16	Walzen	294.86	294.73	-0.13	294.87	294.56	-0.32	294.88	294.62	-0.26
17	Walzen	294.59	294.39	-0.21	294.56	294.23	-0.34	294.56	294.28	-0.28
18	Kontrolle	294.36	294.16	-0.20	294.28	294.00	-0.28	294.25	294.05	-0.20

Die uns zur Verfügung gestellten manuellen terrestrischen Kontrollmessungen aus einer im Projekt W3 durchgeführten Bachelorarbeit waren leider inkonsistent. Kontrollgassen wurden zum Teil nicht gemessen und teilweise in verkehrte Kategorien eingruppiert. Das hatte zur Folge, dass diese Messungen nicht als Kontrollmessungen eingesetzt werden konnten. Somit konnte *FeLiS* nur eine eingeschränkte Analyse der erhaltenen Ergebnisse durchführen.

Erschwerend kam hinzu, dass es während des gesamten Befliegungszeitraums praktisch fast jeden Tag einmal geregnet hat. Solches Wetter ist generell nur bedingt für Befliegungen und insbesondere Höhenmessungen geeignet.

In Tab. 9 werden die Höhendifferenzen aus unterschiedlichen Flughöhen für die verschiedenen Bewirtschaftungsarten dargestellt.

Tab. 9: Höhendifferenzen ermittelt aus den Befliegungen bezogen auf die vier unterschiedlichen Bewirtschaftungsarten und Flughöhen (FELIS, 2021)

Mittelwertdifferenz aller Gassen [m]	Flughöhe 10 m	Flughöhe 20 m	Flughöhe 30 m
Kontrolle	-0.12	-0.15	-0.15
Intensive Beweidung	-0.21	-0.37	-0.37
Extensive Beweidung	-0.15	-0.33	-0.34
Mulchen	-0.05	-0.26	-0.25
Walzen	-0.15	-0.35	-0.32

Weinbergmonitoring -Fazit

Fazit dieses Teilprojektes ist, dass Grashöhen in den Rebassen grundsätzlich mit Drohnenbefliegungen bestimmt werden können.




Allerdings waren in diesem speziellen Fall die Witterungsumstände der Befliegungen durch den häufigen Regen und die Hagelereignisse so schlecht, dass keine genaue Aussage über die Höhenänderungen im cm-Bereich, möglich waren.

Die angewandte Methode ist jedoch nur bedingt für einen Laien bzw. nicht geübten Drohnenpiloten/Auswerter geeignet, da für eine genaue Positionierung der DOMs, die Aufnahme von Bodenpasspunkten notwendig ist und Auswertesoftware eingesetzt werden sollte/muss, die ein gehöriges Maß an Fach-Kenntnis bedarf. Falls jedoch eine Person gut eingearbeitet wird und die Befliegungen und Auswertungen regelmäßig durchführt, ist eine solche Vorgehensweise zur Ableitung von Grashöhen durchaus zielführend.

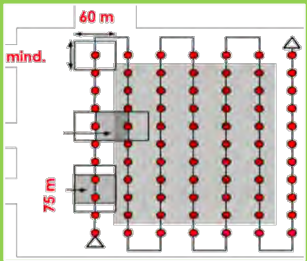
Zur Erleichterung könnten auf Dauer-Versuchsflächen einmal durch eine geübte Person oder professionellen Vermesser gut verteilte Passpunkte eingemessen und dauerhaft markiert werden. Diese können dann immer wieder genutzt werden.

5.2.8 Offenland - Fazit

Tab. 10: Landschaftsmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Offenlandmonitoring		
Schwierigkeit 	Erfahrung 	Nutzen 
Ziele	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> • Zustandserfassung • Strukturerrfassung • Change Detection • Vegetationserkennung - nur bedingt zur Arterkennung • Habitatmonitoring • Kontrolle 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Orthofotos ○ permanente Dokumentation ○ spart Zeit ○ ggf. genaue Verortung mit Mehrfrequenz-GNSS - ○ evtl. Multispektral-Analysen ○ 3D-Punktwolken 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotos - RGB, Multi-spektral, Thermal • Orthofotos • 3D-Modelle • Laserscans

Tab. 11: Landschaftsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Empfohlene Methodik/Parameter	Grund
Unbedingt die <i>Störungsökologischen Grundregeln</i> (v.a. Brut- und Mauserzeiten beachten) - s. <i>4.2 Störungsökologie</i>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Kapitel <i>3.1.2 Befliegungs-Methodik</i> sollte immer beachtet werden.	
<p>Die effektivste Flugweise wird durch programmierte Rasterflüge erreicht. Diese sollten grundsätzlich mit einer Überlappung von mind. 75 % vorwärts und 60 % seitlich programmiert werden.</p> 	<p>Für brauchbare Orthofotos wird immer eine gewisse Überlappung benötigt. Photogrammetrie-Software benötigt tausende von sog. Schlüsselpunkten zwischen den einzelnen Fotos, um diese verknüpfen zu können. Aus einer Gruppe von übereinstimmenden Schlüsselpunkten entsteht ein 3D-Punkt.</p> <p>Mehr Überlappung bedeutet mehr übereinstimmende Schlüsselpunkte zwischen den Einfeldfotos und damit auch mehr 3D-Punkte für bessere Modelle.</p>
<p>Immer so hoch, wie möglich fliegen.</p> <p>→ Zusätzlich niedrig geflogene Fotos können genutzt werden, um in Orthofotos aus größerer und effektiverer Flughöhe Arten sicherer zu detektieren und anzusprechen (Verifikation der Arten).</p> <p>→ Muss aus methodischen Gründen (z.B. Detektion von Pflanzen auf</p>	<p>Aus störungsökologischen Gründen sollte immer möglichst viel Abstand zu potenziellen Arten am Boden gehalten werden. Die Höhe sollte sich natürlich immer nach dem kleinsten zu untersuchenden Objekt richten. Ein Objekt sollte durch mindestens 3 Bild-Pixel repräsentiert sein, um überhaupt erkennbar zu sein.</p>

<p>Artenniveau) wesentlich tiefer geflogen werden, sollten diese Flüge möglichst nicht in kritischen Zeiten wie Mauser- oder Brutzeiten stattfinden und/oder gut mit den GebietsbetreuerInnen abgesprochen werden.</p>	<p>Die Minimierung von Störungen sollte prioritär sein. Doch können Drohnenflüge sogar zur Verminderung von Störungen gegenüber terrestrischen Erfassungsmethoden beitragen (z.B. in Feuchtgebieten) (LAG VSW, 2023).</p> <p>Die Effizienz erhöht sich mit größerer Flughöhe, da dadurch die Flächenleistung höher wird - s. 3.1.2 Befliegungs-Methodik.</p>
<p>Bei einförmigen Strukturen wie hohes Grass(land) - z.B. Blütenwiese mit vielen oberständigen Gräsern, Maisfelder, Seen, Sand, Schnee sollte</p> <p>→ die Überlappung auf mind. 85 % vorwärts und 70 % seitlich eingestellt werden und</p> <p>→ auf guten Kontrast in Bildern geachtet werden.</p>	<p>Photogrammetrie-Programmen haben oft Probleme, wenn sie bei sehr gleichförmigen Strukturen keine eindeutigen Verknüpfungspunkte zwischen den einzelnen Bildern finden.</p> <p>Deshalb möglichst viele 'Struktur' wie Büsche oder Bäume am Rand der Fläche mit aufnehmen - s. (pix4d, 2022b).</p> <p>Bei guten Wetterbedingungen fliegen - s. 3.1.2 Befliegungs-Methodik</p>
<p>Bei Flüssen und Seen sollte möglichst immer ein Stück Uferbereich mit aufgenommen werden.</p>	<p>Reine Wasserflächen zu gleichförmig, mit starker Reflektion und Wellengang lassen meist keine Orthofoto-Erstellung zu - s. oben.</p>

5.2.9 Wirtschaftlichkeit

Offenlandmonitoring mit Drohnen lohnt sich dann, wenn

- es günstiger ist als andere Methoden (Satelliten, Flugzeugbefliegungen), was der Fall ist, wenn
 - nur kleinere Flächen zu befliegen sind.
 - ständig wiederkehrende Befliegungen überschaubarer Flächen durchgeführt werden - je nach Fluggerät (Multikopter oder Starrflügler/VTOL).
 - mit unterschiedlichen Flugparametern geflogen werden muss (Nadir, Schrägaufnahmen, unterschiedliche Höhen).
 - mit unterschiedlichen Sensoren geflogen werden soll.
 - ein flexibler und spontaner Einsatz nötig ist.

Literaturverzeichnis

- BARETH, G. (2018): "Replacing Manual Rising Plate Meter Measurements with Low-Cost UAV-Derived Sward Height Data in Grasslands for Spatial Monitoring". In: PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science 86. <https://doi.org/10.1007/s41064-018-0055-2>
- BASAVEGOWDA, D. H. ET AL. (2022): "Indicator Plant Species Detection in Grassland Using EfficientDet Object Detector". Präsentiert auf: Künstliche Intelligenz in der Agrar-und Ernährungswirtschaft, Lecture Notes in Informatics (LNI). Bonn: Gesellschaft für Informatik. https://dl.gi.de/bitstream/handle/20.500.12116/38431/GIL2022_Basavegowda_57-62.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- BREUNIG, T.; REMKE, P.; WIEST, K. (2015): "Erhaltungszustand von Mähwiesen - Vegetationskundliche Schnellaufnahmen zur Dokumentation". In: Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg - Band 78 - 2015/2016 78, S. 34. <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/25082>
- CHAUVIN, C.; MICHELETTI, M. (2021): "Using UAV Imagery for Forest Management in the OESF and Beyond". https://www.dnr.wa.gov/sites/default/files/publications/lm_oesf_may_2021_nwsltr.pdf
- DE SA, N. C. ET AL. (2018): "Mapping the Flowering of an Invasive Plant Using Unmanned Aerial Vehicles: Is There Potential for Biocontrol Monitoring?". In: Frontiers in Plant Science Frontiers. 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00293>
- DEMPEWOLF, J. ET AL. (2017): "Measurement of Within-Season Tree Height Growth in a Mixed Forest Stand Using UAV Imagery". In: Forests 8(7), S. 231. <https://doi.org/10.3390/f8070231>
- DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU) (2021): "DBU - Schutz des artenreichen Graslands im Apuseni-Gebirge (Rumänien) durch eine nachhaltige Nutzung von Arnica montana | Beispielhafte Projekte & Schwerpunkte". <https://www.dbu.de/projektbeispiele/schutz-des-artenreichen-graslands-im-apuseni-gebirge-rumaenien-durch-eine-nachhaltige-nutzung-von-arnica-montana/>
- DIWENKLA (2022): "TP11: Digitale Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft". <https://diwenkla.uni-hohenheim.de/tp11> (24.10.2022)
- DÖRING, S.; MITTERBACHER, M. (2022): "Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>
- DUFRESNES, C. ET AL. (2020): "Monitoring of the Last Stronghold of Native Pool Frogs (Pelophylax lessonae) in Western Europe, with Implications for Their Conservation". In: European Journal of Wildlife Research 66(3), S. 45. <https://doi.org/10.1007/s10344-020-01380-3>
- ELSNER, G. (2021): "Wildschaden". Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/Wildschaden#/media/Da:te:Wildschaden.jpg> (23.9.2022)
- GETZIN, S.; NUSKE, R.; WIEGAND, K. (2014): "Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests". In: Remote Sensing 6(8), S. 6988–7004. <https://doi.org/10.3390/rs6086988>
- GIERCZAK, M. (2021): "Grassworks". Leuphana Universität Lüneburg. <https://www.leuphana.de/institute/institut-fuer-oekologie/personen/vicky-temperton/grassworks.html> (14.9.2022)
- GILLAN, J. K.; KARL, J. W.; VAN LEEUWEN, W. J. D. (2020): "Integrating Drone Imagery with Existing Rangeland Monitoring Programs". In: Environmental Monitoring and Assessment 192(5), S. 269. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8216-3>
- GROESCHLER, K.-C.; OPPELT, N. (2022): "Using Drones to Monitor Broad-Leaved Orchids (Dactylorhiza Majalis) in High-Nature-Value Grassland". In: Drones Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 6(7), S. 174. <https://doi.org/10.3390/drones6070174>
- INULA (2019): "MaP Taubergießen, Elz und Ettenbach". fertiggestellt - INULA - Institut für Naturschutz und Landschaftsanalyse - Freiburg". https://www.inula.de/aktuelles/map_Taubergießen.html
- KATTENBORN, T.; EICHEL, J.; FASSNACHT, F. E. (2019): "Convolutional Neural Networks Enable Efficient, Accurate and Fine-Grained Segmentation of Plant Species and Communities from High-Resolution UAV Imagery". In: Scientific Reports 9(1), S. 17656. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53797-9>

- KRZYTEK, P. ET AL. (2020): "Large-Scale Mapping of Tree Species and Dead Trees in Šumava National Park and Bavarian Forest National Park Using Lidar and Multispectral Imagery". In: Remote Sensing Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 12(4), S. 661. <https://doi.org/10.3390/rs12040661>
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN (LAG VSW) (2023): "Position der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW) zu Drohnen und Vogelschutz". Positionspapier. http://www.vogelschutzwarten.de/downloads/2023lagavsw23-1_drohnen.pdf (10.6.2023)
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW) (2022a): "FFH-Berichtspflicht und Monitoring". <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/ffh-berichtspflicht-und-monitoring> (26.9.2022)
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW) (2022b): "HNV Farmland-Indikator - Methodik". <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/methodik> (20.7.2022)
- LANDWIRTSCHAFTLICHES ZENTRUM BADEN-WÜRTTEMBERG (LAZBW) (2014): "FFH-Mähwiesen - Grundlagen". https://fortbildung-lazbw.lgl-bw.de/lazbw/webbasys/download/Shop/2018_GL_lazbw_FFH_Maehwiesen_Grundlagen.pdf
- LANDWIRTSCHAFTLICHES ZENTRUM BADEN-WÜRTTEMBERG (LAZBW) (2022): "Grünlandwirtschaft und Futterbau". https://lazbw.landwirtschaft-bw.de/pb/_Lde/Startseite/Themen/Gruenlandwirtschaft+und+Futterbau (14.9.2022)
- LARS (2022): "LARS e.V. - Bestimmungshilfe Amphibien in Bayern". http://www.lars-ev.de/erfassung/bestimmung_Laich.htm (15.9.2022)
- LOPATIN, E. (2020): "Precise multispectral forest mapping | Dr. Eugene Lopatin". TOPODRONE Online User Conference 2020. [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=KBZ4JF3DCuA](https://www.youtube.com/watch?v=KBZ4JF3DCuA)
- LOPATIN, J. ET AL. (2017): "Mapping Plant Species in Mixed Grassland Communities Using Close Range Imaging Spectroscopy". In: Remote Sensing of Environment 201, S. 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.08.031>
- LUSSEM, U. ET AL. (2019): "Estimating biomass in temperate grassland with high resolution canopy surface models from UAV-based RGB images and vegetation indices". In: Journal of Applied Remote Sensing International Society for Optics and Photonics. 13(3), S. 034525. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.13.034525>
- LUSSEM, U.; SCHELLBERG, J.; BARETH, G. (2020): "Monitoring Forage Mass with Low-Cost UAV Data: Case Study at the Rengen Grassland Experiment". In: PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science 88(5), S. 407–422. <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00117-w>
- NATURZENTRUM RHEINAUEN (2022): "Taubergiessen - Naturzentrum Rheinauen". <https://www.naturzentrum-rheinauen.eu/site/Rust-Naturzentrum-Rheinauen/node/2616497?QUERYSTRING=taubergie%C3%9Fen>
- NEUMANN, C. (2022): "Räumliche Erfassung der Heideblüte - Kartierung einzelner Heidepflanzen über Unbemannte Luftfahrzeuge (UAV)". http://heather-conservation-technology.com/de/recent_2.html (15.7.2022)
- PIETSCH, M. ET AL. (2020): "Produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen - Berichte aus der Landschafts- und Umweltplanung". In: Berichte aus der Landschafts- und Umweltplanung 2020 S. 116. <https://www.shaker.de/de/content/catalogue/index.asp?lang=de&ID=8&ISBN=978-3-8440-7122-1&search=yes>
- PIX4D (2022a): "Pix4D - Image Acquisition - Computing the Flight Height for a given GSD". Support. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557469-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-b-Computing-the-Flight-Height-for-a-given-GSD> (6.7.2022)
- PIX4D (2022b): "Pix4D - Image Acquisition - Plan Type". Support. <http://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-a-Selecting-the-Image-Acquisition-Plan-Type> (12.6.2022)
- RUPP, M. (2013): "Beweidete lichte Wälder in Baden-Württemberg: Genese, Vegetation, Struktur, Management". Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg. <https://www.freidok.uni-freiburg.de/fedora/objects/freidok:9188/datastreams/FILE1/content>

- SCHLÜPMANN, M.; KUPFER, A. (2009): "Methoden der Amphibienerfassung – eine Übersicht". https://www.researchgate.net/profile/Alexander-Kupfer-2/publication/236347472_Methoden_der_Amphibienerfassung_ein_Ueberblick/links/00463517e441c985f1000000/Methoden-der-Amphibienerfassung-ein-Ueberblick.pdf
- SØRENSEN, P. B.; STRANDBERG, B.; BAK, J. L. (2015): "Counting wild flower heads using UAV". Präsentiert auf: SCIENCE FOR THE ENVIRONMENT 2015, https://conferences.au.dk/fileadmin/2_PeterSoerensen_01.pdf
- THIEL, C. ET AL. (2020): "UAS Imagery-Based Mapping of Coarse Wood Debris in a Natural Deciduous Forest in Central Germany (Hainich National Park)". <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3293>
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2022): "Grünlandumbruch". Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/gruenlandumbruch> (15.9.2022)
- WEIDEWELT (2019): "Weidelandschaft des Jahres 2019: Wilde Weiden Taubergießen". Weidewelts Webseite! <http://weidewelt.jimdofree.com/weidelandschaft-des-jahres/2019-wilde-weiden-taubergießen/> (12.5.2020)
- WIJESINGHA, J. ET AL. (2020): "Mapping Invasive *Lupinus Polyphyllus* Lindl. in Semi-Natural Grasslands Using Object-Based Image Analysis of UAV-Borne Images". In: PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science <https://doi.org/10.1007/s41064-020-00121-0>
- WILSON, J. ET AL. (2012): "Plant species richness: the world records". In: Journal of Vegetation Science 23, S. 796–802. <https://doi.org/10.2307/23251355>
- WINGTRA (2021): "AELF Agrar-Wingtra Bayern - Posten | LinkedIn". https://www.linkedin.com/posts/wingtra_bavaria-is-the-largest-states-in-germany-activity-6788030394810810368-84V8/ (12.5.2021)
- ZIELEWSKA-BÜTTNER, K. ET AL. (2016): "Automated Detection of Forest Gaps in Spruce Dominated Stands Using Canopy Height Models Derived from Stereo Aerial Imagery". In: Remote Sensing 8 (3), S. 175. <https://doi.org/10.3390/rs8030175>

5.3 Moor-Monitoring

Zusammenfassung

In diesem Teilprojekt wurden die Möglichkeiten von Drohneneinsätzen zur Gebietsverwaltung, zur Planung von Maßnahmen und zur Dokumentation von Mooregebieten in den Naturschutzgebieten 'Kupfermoor' und 'Pfrunger-Burgweiler Ried' beispielhaft für andere Mooregebiete getestet. Zusätzlich durften dankenswerterweise die Erfahrungen des schon bestehenden Drohnen-Moormonitorings der NABU-Gebietsbetreuung Federsee nachrichtlich übernommen werden.

Aus allen Informationen und Untersuchungen entstanden Handlungsempfehlungen zum Monitoring von Mooren und zur Biberkontrolle mit Hilfe von Drohnen.

Inhaltsverzeichnis

10.3 Moor-Monitoring	1
Zusammenfassung	1
Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
10.3.1 Einleitung	2
10.3.2 Pfrunger-Burgweiler Ried	7
10.3.2.1 Lage und Entstehung	7
10.3.2.2 Schutzgebiete	7
10.3.2.3 Das Naturschutzgroßprojekt	7
Aufgabe der Gebietsverwaltung	8
10.3.2.4 Fragestellungen	8
10.3.2.5 Ergebnisse	9
Einleitung zum Bibermonitoring	9
Bibermonitoring im Rahmen des Projekts	10
Untersuchung zur Störungsökologie der Herden	11
10.3.2.6 Pfrunger-Burgweiler Ried - Fazit	11
10.3.3 Kupfermoor	13
10.3.3.1 Untersuchungsgebiet	13
10.3.3.2 Fragestellung	14
10.3.3.3 Befliegung	14
10.3.3.4 Ergebnisse	14
MME - kostenlose Online-Prozessierung	15
WebODM	16
Auswertungsmöglichkeiten	18
10.3.3.5 Kupfermoor - Fazit	19
10.3.4 Drohnen am Federsee	21
10.3.4.1 Einsatzfelder der Drohne	21
Dokumentation von Renaturierungsmaßnahmen	22
Bibermonitoring und -kontrolle	22
10.3.5 Moor-/Bibermonitoring - Fazit	24

10.3.6	Wirtschaftlichkeit.....	25
10.3.7	Literaturverzeichnis	26
10.3.8	Anlage.....	29
10.3.8.1	Protokoll Störungsökologie-Befliegungen Pfrunger-Burgweiler Ried	29

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersicht über das Pfrunger-Burgweiler Ried (pfrunger-burgweiler-ried.de, 2022) ...	7
Abb. 2:	Bildflug für Schautafel (Döring, 2020).....	9
Abb. 3:	Biber - Kontrollmonitoring (Döring, 2021 - Folie aus dem Schulungsmodul)	10
Abb. 4:	Kupfermoor-Orthofoto (MME, Döring, 2021)	15
Abb. 5:	Detail aus Kupfermoor-Orthofoto (Döring, 2021).....	15
Abb. 6:	Vegetationseinheiten im Kupfermoor-Orthofoto (Döring, 2021)	16
Abb. 7:	Kupfermoor - Orthofoto aus WebODM (Döring, 2021).....	16
Abb. 8:	Kupfermoor - WebODM, 3D-Punktwolke (Döring, 2021)	17
Abb. 9:	Kupfermoor - DSM	17
Abb. 10:	Kupfermoor - DTM.....	17
Abb. 11:	Import und Bearbeitung von Drohnenbildern in Google Earth (Lutz, 2022)	18
Abb. 12:	Ergebnis der Bearbeitung von Drohnen­daten in Google Earth (Lutz, 2022)	18
Abb. 13:	Rodung von Fichtenbeständen auf Moorstandorten vorher - nachher.....	22
Abb. 14:	Biberrevier mit Konfliktpotential - Vorher-Nachher Aufnahmen (NABU Federsee)	23
Abb. 15:	Biberdamm Kanalkontrolle und Nahinspektion (NABU Federsee)	23
Abb. 16:	Federsee - Orthofoto eines vom Biber aufgestauten Baches (NABU Federsee) ...	23

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Beschreibung des Schutzgebietes.....	7
Tab. 2:	Antworten & Empfehlungen für das Moormonitoring mit Drohnen (Döring, 2022)...	11
Tab. 3:	Beschreibung des Schutzgebietes.....	14
Tab. 4:	Antworten & Empfehlungen zum Kupfermoor-Monitoring (Döring, 2022).....	19
Tab. 5:	Moor/Bibermonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)	24
Tab. 6:	Moor/Bibermonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)	24

5.3.1 Einleitung

Bis ins 17. Jahrhundert waren Moore für den Menschen lebensfeindliche und unzugängliche Gebiete und blieben weitgehend unberührte Wildnis. Während der Industrialisierung wurden Moore zunehmend entwässert, um sie land- oder forstwirtschaftlich zu nutzen. Heute sind die verbliebenen Moorlebensräume stark gefährdet und zusammen mit ihnen viele ihrer typischen und meist hoch spezialisierten Tier- und Pflanzenarten. ([BfN, 2022](#))

Viele Moore wurden aufgrund ihres starken Rückgangs und ihrer anhaltenden Gefährdung unter Schutz gestellt. Die nationale Strategie zur biologischen Vielfalt schreibt explizit die Erhaltung und Renaturierung von Moorflächen als deklariertes Ziel fest. Mit diesen Schutzmaßnahmen konnte zwar ein Großteil der Moore gesichert werden, die meisten Moore sind jedoch stark degradiert und vielerorts ist ihr Wasserhaushalt gestört. Deswegen sind

umfangreiche Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen nötig, um auch in Zukunft die biologische Vielfalt der Moore zu erhalten und zu fördern. ([Moorschutz in Deutschland & BfN, 2022](#))

In Baden-Württemberg haben Moore einen Anteil von 1,3 % an der Landesfläche. Besonders naturnahe Moore haben eine große Bedeutung für die Erhaltung von nährstoffarmen Feuchtlebensräumen und ihren zahlreichen an sie angepassten und oft stark gefährdeten Arten. Moore tragen außerdem zum Erhalt der Grundwasserqualität bei und ihr Schutz hat gleichzeitig auch kultur- und landschaftshistorische Bedeutung, da viele erhaltenswerte vor- und frühgeschichtlichen Fundstätten in Mooren zu finden sind. ([LUBW, 2022b](#))

Überdies sind intakte, wassergesättigte Moore wirksame Kohlenstoffspeicher. Entwässerte Moorböden hingegen mineralisieren und setzen dadurch erhebliche Mengen an CO₂ und anderen klimawirksamen Gasen frei. Deshalb ist Moorschutz auch aktiver Klimaschutz und als solcher ein Handlungs- und Umsetzungsschwerpunkt der Naturschutzstrategie Baden-Württemberg ([UM BW, 2021](#)).

Seit 2014 wurde im Rahmen der Naturschutzkonzeption Baden-Württemberg in Zusammenarbeit von UM und LUBW eine eigene 'Moorschutzkonzeption' entwickelt und seither umgesetzt - mit dem Ziel Hoch- und Niedermoore systematisch zu erhalten und zu renaturieren ([UM BW, 2021](#)).

Als Grundlage des mittlerweile eigenständigen Landesprogramms, dient weiterhin das bewährte 'Moorkataster', in dem regelmäßig die Flächen, das Erscheinungsbild und die Torfmächtigkeit der eingetragenen Moore gemonitort und dokumentiert werden ([UM BW, 2021](#)).

Der Einsatz von Drohnen bietet sich hier als ergänzende Monitoring-Methode an. Mit ihnen ist eine berührungslose Erkundung und die bildliche Erfassung eines gesamten Gebietes zur Dokumentation möglich. Gut erkennbare Vegetationseinheiten können einfach erfasst, differenziert, digitalisiert und in weiterführenden Analysen untersucht werden. Zur Verifikation der luftbildlich erfassten Objekte muss immer begleitend eine stichprobenartige terrestrische Überprüfung durch Experten, das sogenannte *Ground Truthing*, erfolgen. Am wirtschaftlichsten ist es natürlich, wenn die verifizierenden Fachleute die Befliegungen auch selbst durchführen.

Seitens der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (HFR) haben ([Hilmer et al., 2018](#)) in einer Projektarbeit in der Vertiefungsrichtung GIS die Einsatzmöglichkeiten von Drohnen für das Moormonitoring getestet. Dazu hat ein befreundeter Wissenschaftler ein Mooregebiet an der Donau mit RGB- und Multispektralkamera und automatisierten Rasterflügen systematisch befliegen. Gleichzeitig haben die Studierenden terrestrische Vegetationsaufnahmen durchgeführt. Anschließend wurden die aufgenommenen RGB-Bilddaten mit Hilfe von zeitaufwendigen GIS-basierten Klassifizierungstools analysiert. Mit den Multispektralaufnahmen wurden Vegetations-Indizes berechnet, die dann ebenfalls in die Analysen eingearbeitet wurden. Die Studierenden kamen letztendlich zu dem Schluss, dass das Monitoring mit Drohnen durchaus sinnvoll ist. Allerdings sei ihrer Meinung nach eine Multispektralkamera zwingend erforderlich, um eine hinreichend genaue Klassifikation der Vegetationsgrundtypen durchführen zu können. Mit einer einfachen RGB-Kamera sei eine sichere technische Unterscheidung der Gruppen nicht möglich.

Anmerkung: In den RGB-Bildern kann man aber - durch trainierte Personen und/oder Fachleute - sehr wohl Vegetationseinheiten visuell mit Hilfe der MI (menschlichen Intelligenz) gut abgrenzen. Für die automatisierten Verfahren ist das im Vorfeld zwingend nötig, um zuerst Trainingsgebiete mit beispielhaft abgegrenzten Klassen zum Anlernen der KI (künstlichen Intelligenz) zu erstellen ([Hilmer et al., 2018](#)). Bei sich ändernden phänologischen Bedingungen

müssen überdies solche Trainingsgebiete jedes Mal aufs Neue angelegt werden. Weder die visuelle Interpretation noch die automatisierte Bildauswertung lassen sich ohne einen gewissen Zeitaufwand oder genügend Übung einfach realisieren. Zudem sind für die beschriebenen Methoden fortgeschrittene GIS-Kenntnisse nötig.

Im Vergleich von Kartierungen der Jahre 1992 und 2000 konnten die Studierenden feststellen, dass Bereiche der trockenen Rasenbestände sukzessiv von Vernässungszeigern (Seggen) besiedelt wurden. Durch diese großflächige Ausbreitung der Seggenriede schlossen sie in diesem Gebiet auf ein Ansteigen des Grundwasserspiegels.

Durch die Nutzung einer selbst-konfigurierten Drohne beim Monitoring von Mooren haben ([Hecke et al., 2018](#)) eine detaillierte Anleitung zur Erkennung, Beschreibung und Analyse von Vegetationsmustern in den Drohnen-Bildern für vegetationsökologische Fragestellungen erarbeiten können. Am Beispiel des Hörfeld-Moors wurden 2016 Befliegungen durchgeführt und unterschiedliche Vegetationsmuster erkannt und klassifiziert. Sie differenzierten

- intrinsische oder Art-immanente Muster ausgewählter Vegetationstypen aus der Wuchsform (z.B. einer Horstbildung), aus intraspezifischer Konkurrenz oder einer spezifischen Verbreitungsstrategie einer Art.
- Weiterhin waren auch phänologiebedingte Muster durch die zeitlich unterschiedliche Entwicklung von Vegetationseinheiten und Arten im jahreszeitlichen Verlauf zu erkennen.
- Außerdem konnten standortbedingte Muster durch Zonierungen an ökologischen Gradienten wie z.B. der Feuchtigkeit, durch abiotische Umweltfaktoren wie Wind, Wasserströmungen, (Sonnen-)Einstrahlung oder mechanische Störung wie durch Lawinen erkannt werden.
- Des Weiteren resultierten erkennbare Muster aufgrund extrinsischer Faktoren wie Tierfraß oder -lagerspuren oder deren Exkrememente-Eintrag und damit einhergehender Nährstoffverlagerung. Dabei spielen natürlich auch anthropogene Landnutzungen wie z. B. die Mahd von Wiesen, Aufforstung oder intentionale (z. B. Trockenlegung, Düngung) oder in Kauf genommene Veränderungen (z. B. Nährstoffeinträge) der ökologischen Standortfaktoren eine Rolle.

Neue Möglichkeiten des Monitorings durch Drohnen entstünden insbesondere auch in der Dokumentation schwer zugänglicher Bereiche - s. z.B. ([Jungmeier et al., 2016](#)), wie in der Erfassung phänologischer Erscheinungen und natürlicher Prozesse.

Schon seit 2012 nutzt ein Verein in England Drohnen zum Moorschutz und um Bergmoore in Yorkshire zu untersuchen und zu kartieren ([IUCN UK, 2020](#)). Sie erzeugen dabei mit hochauflösenden Drohnen-Daten präzise Höhenmodelle zur Analyse von Oberflächen und Erosionsprozessen, zur Erstellung von hydrologischen Modellierungen von Abflüssen und Querprofilen und zur Planung von Wiedervernässungsmaßnahmen. Diese Maßnahmen wiederum werden nach ihrer Durchführung - auch mit Hilfe von Drohnen-Daten - kontrolliert. Die hochauflösenden RGB-Fotos werden zur Erstellung von 3D-Modellen, zum (automatisierten) Vegetationsmonitoring und zum Planen von Eingriffsmaßnahmen herangezogen. Die MoorschützerInnen nutzen somit die gesamte Bandbreite der klassischen Analysemethoden von Drohnen-Daten aus. Der Erwerb einer Drohne und die Erzeugung eigener hochauflösender Daten war für sie günstiger und bringt hochwertigere Daten, als teuer kommerziell erworben werden könnten. Zwar stellen die Datenmengen eine Herausforderung in Speicherung und Verwaltung dar, doch lohnt sich der Aufwand, da so die Moore in bisher nicht möglicher Qualität und Tiefe kartiert und untersucht werden können. Der Drohneinsatz hat nach

Aussage des Vereins ihre Art und Weise der Wiederherstellung von Hoch-Mooren revolutioniert.

([Harvey et al., 2019](#)) nutzten eine Drohne mit Thermalkamera, um den Austritt von Grundwasser zu detektieren. Grundwasseranschluss ist das Ziel vieler Renaturierungsmaßnahmen von Feuchtgebieten. Sie flogen im Winter, um den Temperaturkontrast zwischen dem kalten Oberflächen- und dem wärmeren Grundwasser, das aufgrund seiner geringen Dichte an die Oberfläche aufsteigt, kartieren zu können. Mit diesen sogenannten TIR-Kartierungen (*Thermal InfraRed*) gelang ihnen die Verteilung der Grundwasser-Einsickerungen, deren Verlauf und ihren Einfluss auf schon wiederhergestellte Kanäle nachzuweisen. Sie empfehlen diese Technik zur Planung und Erfolgskontrolle von Renaturierungsmaßnahmen.

([De Roos et al., 2018](#)) nutzten eine DJI Phantom 4 Pro (mit ähnlicher Kamera wie die im Projekt DroBio verwendete Drohne), um in Australien verlässliche Höhenmodelle zur Erstellung von Hydrologische Oberflächenmodellen zu generieren - zum Schutz und zur Regeneration von geschädigten *Sphagnum*-Beständen. Diese leisten nämlich einen entscheidenden Beitrag für die Resilienz von Mooren.

Ebenfalls 2018 verbesserten ([Liu & Abd-Elrahman, 2018](#)) die Objekt-basierte Bildklassifikation zur Analyse der Landbedeckung in Feuchtgebieten auf Basis hochauflösender Drohnen-Bilder und konnten dadurch genauere Ergebnisse erzielen.

In Deutschland zeigten ([Beyer & Grenzdörffer, 2018](#)), dass die Vegetationsklassifikation eines Moores durch sehr hochaufgelöste multisensoriale Drohnen-Daten unter Verwendung moderner Klassifikatoren präzise möglich wird. Der multisensoriale Datensatz (14 Bänder) einer ca. 8 ha großen Moorfläche, bestand aus RGB-Daten, multispektralen Informationen, Thermaldaten, einem digitalen Oberflächenmodell (DOM) und mehreren Vegetationsindizes. Mit einem automatisierten Random Forest-Klassifikationsansatz konnte eine Gesamtgenauigkeit von ca. 89 % erreicht werden. Dabei waren die relevantesten Variablen für die Klassifikation das DOM, die Thermaldaten, der normalisierte Vegetationsindex aus dem Rot und dem Red-Edge-Band und der NDVI-Multispektral-Index. Sie konstatieren, dass Drohnen "auf der Skalenebene zwischen Blatt- und Bestandesebene neue Daten ermöglichen, die herkömmlichen Satelliten- und Flugzeug-basierten Untersuchungen überlegen sind".

([Pande-Chhetri et al., 2017](#)) nutzten hochauflösende Drohnen-Daten aus 2012, um erfolgreich mit einem automatisierten Bildklassifizierungsansatz die Vegetation von Feuchtgebieten zu analysieren. Allerdings waren die Untersuchungen sehr zeitaufwendig und benötigten Expertenwissen zur Kalibrierung der Ergebnisse.

2013 bereits befliegen ([Chabot & Bird, 2013](#)) im Zuge von Studien zum Schutz der Amerikanischen Zwergdommel (*Ixobrychus exilis*) 128 ha Feuchtgebiete mit einer Starrflügler-Drohne. Dabei konnten sie in den hochauflösenden Bildern für die Art sowohl automatisiert als auch rein visuell relevante Vegetationsstrukturen erkennen und analysieren. Sie empfehlen den Gebrauch von Drohnen zum Feuchtgebiets-Monitoring.

Da die Drohnentechnik und mit ihr die Regularien und Anwendungen schnell fortschreiten, ist es schwierig praktische Anleitungen und Handlungsempfehlungen zur Anwendung von Drohnen für Kartierungen und zum Monitoring von Feuchtgebieten zu geben. Deswegen haben ([Jeziorska, 2019](#)) eine sehr informative und übersichtliche Zusammenstellung erarbeitet, um über Drohnen-Hardware und Software, Regulierungen, wissenschaftliche Anwendungen und Vorgehensweisen zur Datenaufnahme und Prozessierung im Kontext von Feuchtgebiets-Monitoring und hydrologischer Modellierung zu informieren.

Auch ([Dronova et al., 2021](#)) haben in einer sehr ausführlichen und praktischen Metaresearch den Status-Quo und die sich eröffnenden Möglichkeiten für Drohneneinsätze bei

Feuchtgebietsuntersuchungen zusammengestellt. Dabei lag der Fokus auf dem Ökosystem-Management und den dazu nötigen wissenschaftlichen und technischen Untersuchungsmethoden und Datenanforderungen. Sie haben dafür 122 Fallstudien aus 29 Ländern hinsichtlich der bestmöglichen Unterstützung der Monitoring- und Management-Ziele durch die Drohnen-Technologie untersucht. Außerdem schauten sie sich die Analyse-Workflows für die Drohnen-Daten an und ordneten sie systematisch.

Tipp: Die beiden letzten zitierten Arbeiten sind für Moor- und Feuchtgebietsfachleute, die sich für die Drohnentechnologie in ihrem Aufgabenbereich interessieren sehr nützliche Informationsquellen und seien zur ergänzenden Lektüre wärmstens empfohlen.

In Bayern gibt es seit 2021 ein Projekt zur Erfolgskontrolle und Vegetationserkennung in Mooren ([LfU Bayern, 2021](#)). Dabei spielt v.a. folgende Fragen eine Rolle:

- Kann die Funktionsfähigkeit der Dämme sowie die Entwicklung der moortypischen Vegetation im Sinne einer Erfolgskontrolle der Moorrenaturierungen mit Hilfe der Drohnentechnik überwacht und bestimmt werden?

Erst Drohneneinsätze in den Stammbeckenmooren bei Rosenheim zeigten bereits deutlich, dass die Befliegung mit Drohnen in den schwer begehbaren ehemaligen renaturierten Torfabbaugebieten mit Wasserflächen, Verlandungsvegetation, Torfmoosrasen, Torfkanten und weichen Torfsenken und Gehölzsukzession eine bedeutende Innovation im Moor-Monitoring und eine Erleichterung der Geländearbeit darstellt. Es wurde bislang zwar nur eine optische Kamera (die gleiche, wie auch in unserem DroBio-Projekt) eingesetzt, doch lieferte diese bereits wertvolle Bilddaten mit hervorragender Qualität. Später soll noch eine Infrarotkamera zum Einsatz kommen, um Vernässungen und Wasserstände für die Planung bzw. das Langzeitmonitoring der Wiedervernässung von Mooren zu erfassen und Vegetations- bzw. Wasserstands-Änderungen zu begleiten. ([Mitterbacher, 2021, S. 12](#))

Der DroBio-Projekt Koordinator steht mit den Akteuren in Bayern in Verbindung und fungiert auch über das Netzwerk als Bindeglied zur LUBW (speziell dem Seenforschungsinstitut), wo ähnliche Einsätze geplant sind.

In der Abschlussveranstaltung des DroBio-Projekts hielt die Projektkoordinatorin des LfU-Projekts einen Vortrag und berichtete, genauso wie ein Biologe der Regierung von Oberpfalz, über ihre Drohneneinsätze im Kontext 'Moor'.

Durch diese im Projekt und weitere im Netzwerk entstandenen Kontakte, entwickelte sich eine lockere Zusammenarbeit verschiedener 'Moorleute'. Aus dem Austausch mit diesen konnten weitere Fragen beantwortet und ein Überblick über bereits realisierte und potenzielle Drohneneinsätze zum Moor-Monitoring gewonnen werden.

Im Folgenden sind unsere Befliegungen im Pfrunger-Burgweiler Ried aus dem DroBio-Projekt und die Drohnen-Aktivitäten des NABU-Federsee beschrieben. Dort wird seit 2021 eine Drohne zur Gebietsbetreuung eingesetzt wird.

5.3.2 Pfrunger-Burgweiler Ried

Das Pfrunger-Burgweiler Ried ist neben dem Federseegebiet und dem Wurzacher Ried eines der größten zusammenhängenden Moorgebieten Süddeutschlands. Es gehört deswegen zu den Landschaften mit nationaler und zum Teil internationaler Bedeutung.

Lage und Entstehung

Das Pfrunger-Burgweiler Ried liegt im Voralpenland in den Landkreisen Ravensburg und Sigmaringen zwischen den Gemeinden Königseggwald, Ostrach, Riedhausen und Wilhelmsdorf. Mit ca. 2.600 Hektar handelt es sich um das zweitgrößte zusammenhängende Moorgebiet in Südwestdeutschland.

Schutzgebiete

Im Januar 2017 erfolgte die Ausweisung des neuen und mit 1.508 ha gegenüber dem alten auch doppelt so großem NSG "Pfrunger-Burgweiler Ried".

Das ganze Pfrunger-Burgweiler Ried steht außerdem als FFH-Gebiet 8122-342 "Pfrunger Ried und Seen bei Illmensee" und als Vogelschutzgebiet 8022-401 "Pfrunger und Burgweiler Ried" in der Liste der Natura 2000-Gebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung.

Ebenso ist das Gebiet als Landschaftsschutzgebiet "Pfrunger Ried-Rinkenburg" ausgewiesen und der Bannwald „Pfrunger-Burgweiler Ried“ ist der größte Baden-Württembergs ([BfN, 2021](#)).



Abb. 1: Übersicht über das Pfrunger-Burgweiler Ried (pfrunger-burgweiler-ried.de, 2022)

Tab. 1: Beschreibung des Schutzgebietes

Art des Schutzgebietes	Naturschutzgebiet
Schutzgebiets-Nr.	4.028
Name	Pfrunger-Burgweiler Ried
Fläche (ha)	1.506,9
Naturraum	Oberschwäbisches Hügelland
Kurzbeschreibung	Einziger ausgedehnter Moorkomplex aus Hoch-, Zwischen- und Niedermooren als Lebensraum einer artenreichen Pflanzen- und Tierwelt. Die Vielfalt der von Natur und Kultur geprägten Landschaftselemente soll für die künftigen Generationen bewahrt werden. (Große Trauben + Pfrunger Ried).

Das Naturschutzgroßprojekt

Als Lebensraum einer artenreichen, charakteristischen und z.T. stark gefährdeten und seltenen Tier- und Pflanzenwelt sowie als Rastgebiet gefährdeter Vogelarten wurde das Pfrunger-Burgweiler Ried in das europäische Schutzgebietsnetz Natura 2000 aufgenommen, um

diese Vielfalt der Arten und Lebensräume zu erhalten, zu entwickeln und zu sichern. Überdies wurde es im Zeitraum 2002 bis 2015 im Rahmen des Programms "chance.natur - Bundesförderung Natur" als Naturschutzgroßprojekt gefördert.

Das Hauptziel des Projektes bestand darin, die Moorabbauenden Prozesse zu unterbinden, um so langfristig eine Renaturierung der Moorökosysteme zu gewährleisten. Um die Artenvielfalt auf den landwirtschaftlichen Flächen zu erhöhen, wurde zudem daraufhin gearbeitet, deren Nutzung zu extensivieren. So wurden, mit Beginn der Umsetzung des Naturschutzgroßprojekts, großflächige extensive Beweidungsprojekte eingeführt – insbesondere auf Flächen, die ohnehin aufgrund der Wiedervernässung nicht mehr oder nur mit großem Aufwand maschinell gepflegt werden können. Insgesamt sind auf diesen Flächen fünf robuste Rinderrassen zur Landschaftspflege im Einsatz - *Galloways* in verschiedenen Farbschlägen, so wie *Scottish Highland*, *Heck-Rinder*, *Pinzgauer* und *Limousins*. ([pfrunger-burgweiler-ried, 2021](#))

Aufgabe der Gebietsverwaltung

Zentrale Aufgabe des Naturschutzzentrums Wilhelmsdorf ist die Betreuung der Naturschutzgebiete im Pfrunger-Burgweiler Ried im Auftrag des Landes Baden-Württemberg. Dazu gehören Tätigkeiten wie:

- die Beobachtung und Dokumentation von Flora und Fauna der nebenstehenden Teilgebiete
- die Koordination und Organisation von Pflegemaßnahmen im Gebiet
- die Flächenverwaltung und Verkehrssicherung
- die Betreuung der [extensiven Beweidung](#)
- die Durchführung von Artenschutzmaßnahmen
- [Besucherangebote und Besucherlenkung](#)
- [Information der Öffentlichkeit](#) und die [Umweltbildung](#)

Bei den ersten 5 der genannten Aufgaben konnte man sich eine Drohneneinsatz zur effektiveren Bewältigung der Aufgabe vorstellen. Zusammen mit der Leiterin des Naturschutzzentrums Pia Wilhelm und der Gebietsbetreuerin Sabine Behr wurden folgende Fragestellungen zu relevanten Monitoring-Aufgaben und den dafür möglichen Drohneneinsätzen entwickelt - einige davon lassen sich methodisch aus ein und denselben Befliegungen bedienen, ohne dass ein großer Mehraufwand entsteht.

Fragestellungen

- Moor-Monitoring - Inwieweit kann mit Drohnen das in großen Teilen unzugängliche Hochmoor zu Aufnahmen der Vegetation, des Vernässungszustandes oder seines allgemeinen Zustands effektiv befliegen werden und mit welchen Methodiken?
- Biber-Monitoring - Wie können Drohnenflüge das Bibermonitoring erleichtern oder sogar ersetzen?
- Herden- und Weide-Monitoring - Wie können mit Hilfe von Drohnen die extensiv und recht 'wild' gehaltenen Herden beobachtet, kontrolliert, geschützt und einzelne Tiere - z.B. Muttertiere, die sich zur Kalbung in uneinsichtige Gebiete zurückgezogen haben oder zur Ohrmarkenkontrolle - wiedergefunden werden?
- Reptilien-Monitoring (Monitoring Europäische Sumpfschildkröte) - Wie könnte eine Bestandskontrolle der Europäische Sumpfschildkröte mittels Drohnen-Befliegungen

effektiv durchgeführt werden? Erste Flüge dazu fanden 2020 durch den Reptilienspezialisten Hubert Laufer - Büro für Landschaftsökologie - statt. Der Kontakt zu diesem Fachmann wurde durch Frau Wilhelm hergestellt und es findet seitdem ein reger Austausch statt.

- Wildschweinschäden im Hochmoor - Können die Schäden mit Hilfe 'normaler Kartierungsbefliegung' und anschließender Auswertung erfasst werden?

Ergebnisse

Im Oktober 2020 wurden an 2 Tagen die ersten Befliegungen durchgeführt. Nach einer kurzen Rundfahrt mit der Leiterin Pia Wilhelm wurden zur Dokumentation und für neue Schautafeln einige Flächen befliegen, um Drohnen-Fotos zu schießen und einen Überblick über das Gebiet zu bekommen (Abb. 2).



Abb. 2: Bildflug für Schautafel (Döring, 2020)

Einleitung zum Bibermonitoring

Schon 2015 zeigten ([Puttock et al., 2015](#)), wie mit Hilfe einer einfachen Digitalkamera und geplanten Rasterflügen im Winter (im laubfreien Zustand für bessere Einsichten) auf 25 m Höhe die Biber-Aktivitäten und ihre Auswirkungen auf das Ökosystem in den hochauflösenden Bildern und Höhenmodellen gut erkannt werden können. Sie empfehlen Drohnen als kosteneffektive Instrumente für das Monitoring von Biberaktivitäten.

Anmerkung: Die Kameras der DroBio-Drohne, bzw. der hier im Bericht empfohlenen Drohnen, sind für diese Aufgabe mindestens so gut geeignet wie die Kamera von ([Puttock et al., 2015](#)).

Um Überflutungs-Gebiete und Verbindungskanäle von Biberaktivitäten zu kartieren, nutzten ([Briggs et al., 2019](#)) Drohnen, um den Schwermetall-Transport in Biber-Kanälen mit der 'normalen' Schwermetallverbreitung in Biber-freien Gegenden zu vergleichen. Dabei stellten sie eine erhöhte Schwermetall-Verteilung in Biber-beeinflussten Gebieten fest und sprachen zum Schluss die deswegen notwendigen Abwägungen und Konsequenzen bei Management-Entscheidungen an.

Eine Gemeinde in Niederösterreich hat 2022 ([Großdietmanns, 2022](#)) das für die Berichtspflicht der Fauna-Flora-Habitat Richtlinie nötige Monitoring für den streng geschützte Biber

erstmalig mit Drohnen durchgeführt. "Die mittels Drohnen aufgenommenen Bilder werden anschließend auf Biberzeichen hin ausgewertet und so die aktuelle Verbreitung und Populationsgröße ermittelt." Nachdem die Methode erfolgreich angewendet worden war, sollen die Befliegungen 2023 wiederholt werden.

Im ukrainischen Slobozhanskyi Nationalpark (50northspatial.org, 2018) werden schon seit mindestens 2018 Drohnen zur Kartierung der Biberaktivitäten eingesetzt.

Im südlichen Feuerland wurde, sowohl auf Chilenischer wie Argentinischer Seite, die Präsenz von Bibern durch verschiedene Fernerkundungsmethoden großflächig untersucht ([Huertas Herrera et al., 2019](#)). Dabei wurden bei Feldkampagnen auch handelsübliche Drohnen eingesetzt. Die Anstrengungen mündeten in einer Präsenzdichte-Karte.

Wiederum in Niederösterreich befasste sich 2019 eine Masterarbeit mit Fernerkundungsmethoden zur Ableitung der Habitatqualität von Biber-Revieren durch die Analyse der Landbedeckung ([Schlegel, 2019](#)). Dabei wurden verschiedene Fernerkundungs-Datensätze - u.a. Drohnen-Orthofotos - und Methoden auf ihre Eignung am Beispiel eines reich strukturierten Gewässerabschnitts getestet. Auf einem hochauflösenden Drohnen-Orthofoto mit 3 cm Auflösung wurden so bessere automatisierte Klassifikationsergebnisse erreicht als auf dem niedriger aufgelösten Luftbild der Landesvermessung (mit der auch in Deutschland üblichen Auflösung von 20 cm).

Drohnenaufnahmen oder Videos von Biberaktivitäten sind auch für Informations- und Dokumentationszwecke bei Tagungen oder andere Veranstaltungen gut einzusetzen. Schon 2019 hat der DroBio-Projekt Koordinator mit dem Biberbeauftragten des BUND in Mittelfranken mehrere Biberreviere befliegen und zu dem normalen Raster-Bildflug auch ein paar Videos gedreht. Aus letzteren entstand dann ein kleiner Film über eines der größten Biberreviere an dem Flüsschen Rohrach, der anschließend bei Infoveranstaltungen und auf Tagungen gezeigt werden konnte.

Bibermonitoring im Rahmen des Projekts

Der Gebietsbetreuerin Sabine Behr wurde beim ersten Treffen gezeigt, wie das Monitoring eines Biberengewässers mit einer Drohne stattfinden könnte (Abb. 3). Dazu wurde ein Videoflug durchgeführt, um die Biber-Infrastruktur

(Dämme und Burgen) zu kontrollieren. Laut ihrer Aussage könnte diese Methode ihr sehr viel Zeit waten oder rudern im Belly-Boat ersparen. Am Ende konnte sie sich einen Einsatz von Drohnen für diese Aufgabe gut vorstellen.



Abb. 3: Biber - Kontrollmonitoring (Döring, 2021 - Folie aus dem Schulungsmodul)

Untersuchung zur Störungsökologie der Herden

Am zweiten Befliegungs-Termin wurden - wieder mit der Gebietsbetreuerin Frau Behr - Flüge zur Untersuchung der Störungsempfindlichkeit zweier Herden angestellt. Wir wollten sehen, wie die Rinder auf den extensiven Weiden auf eine Drohne reagieren würden. Die Flüge wurden protokolliert und brachten recht unerwartete Ergebnisse. Die 'wildere' Herde nämlich war mit der Drohne auch in niedrigen Höhen nicht aus der Ruhe zu bringen, wohingegen eine 'zahmere' Herde direkt an einem Wanderweg doch recht deutlich reagierte - s. das [Protokoll Störungsökologie-Befliegungen Pfrunger-Burgweiler Ried](#) im Anhang.

Leider konnten zum Reptilien- oder Wildschweinschaden-Monitoring keine methodischen Untersuchungen mehr durchgeführt werden, da u.a. ein Schwarzstorch im Gebiet gesichtet wurde und deswegen die Befliegungen eingestellt werden sollten.

Pfrunger-Burgweiler Ried - Fazit

Aus den eigenen Befliegungen, weiteren Untersuchungen auch in anderen Gebieten, ausgetauschten Informationen und Recherchen konnten folgende Antworten auf die Fragestellungen für das Pfrunger-Burgweiler-Ried festgehalten werden:

Tab. 2: Antworten & Empfehlungen für das Moormonitoring mit Drohnen (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
<p>Moor-Monitoring</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inwieweit kann mit Drohnen das in großen Teilen unzugängliche Hochmoor zu Aufnahmen der Vegetation, des Vernässungszustandes oder seines allgemeinen Zustands effektiv befliegen werden und mit welchen Methodiken? • Können mit Drohnenaufnahmen Wildschweinschäden im Hochmoor erfasst und flächig ausgewertet werden? 	<ul style="list-style-type: none"> • Für beide Fragestellungen können grundsätzlich die Kriterien und Auswertungen der 'normalen' Landschaftsbefliegungen herangezogen werden - s. auch Methodik-Befliegungen im Hauptteil oder in den Teilberichten Offenland Hirschacker oder Taubergießen. • Wenn Vernässungszustände erfasst werden sollen, muss ggf. noch auf andere Sensoren (thermal und multispektral) zurückgegriffen werden oder über indirekte Parameter wie die meist dunkelgrünere Feucht-Vegetation Rückschlüsse gezogen werden. • Für Thermalbefliegungen empfiehlt sich die Zusammenarbeit mit Rehkitzrettern, die mehrheitlich Thermalkameras an ihren Drohnen haben.
<p>Herden-Monitoring und -kontrolle</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie können mit Hilfe von Drohnen die extensiv und recht 'wild' gehaltenen Herden beobachtet, kontrolliert, geschützt und einzelne Tiere - z.B. Muttertiere, die sich zur Kalbung in uneinsichtige Gebiete zurückgezogen haben - wiedergefunden werden? 	<ul style="list-style-type: none"> • Für 'normale' Suchflüge kann eine kleine handelsübliche Drohne mit RGB-Kamera ggf. ausreichen - wenn man in etwa weiß, wo man suchen soll. Allerdings wird man ggf. im Moorwald schnell die Übersicht und den Sichtkontakt zur Drohne verlieren und über den Monitor fliegen müssen, was streng genommen nicht erlaubt ist. • Es empfiehlt sich daher die Tiere v.a. mit Thermalkameras über ihre Wärmesignatur zu suchen - evtl. wieder in Zusammenarbeit mit Rehkitzrettern oder Jägern - s. oben.
<p>Biber-Monitoring</p>	

<ul style="list-style-type: none"> • Wie können Drohnenflüge das Bibermonitoring erleichtern oder sogar ersetzen? 	<ul style="list-style-type: none"> • Wie beschrieben können einfache Videoflüge durchgeführt werden - mit der Möglichkeit jederzeit die Drohnen abzusenken, wenn ein Objekt näher inspiert werden soll. Mehr dazu im Fazit. • Für Gebietsanalysen können aber wie bei (Puttock et al., 2015) ggf. auch Rasterflüge zur flächigen Erfassung und Erstellung von Orthofotos durchgeführt werden.
<p>Amphibien-Monitoring (z.B. Europäische Sumpfschildkröte)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie können Befliegungen zur Bestandskontrolle der Europäische Sumpfschildkröte effektiv durchgeführt werden? • Erste Flüge dazu fanden 2020 durch den Reptilienspezialisten Hubert Laufer (Büro für Landschaftsökologie) statt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Leider konnten dazu aus den oben genannten Gründen keine Befliegungen mehr durchgeführt werden. Jedoch ist der Austausch mit Herrn Laufer weiterhin im Gange und es werden in Zukunft dazu noch Untersuchungen stattfinden - s. auch <i>Teilbericht Taubergießen</i>. • Es wurden aber intensive Gespräche geführt und dabei festgestellt, dass ein effektives Monitoring mit der Drohne wohl nicht sehr effektiv sein wird, da nicht genau bekannt ist, wo sich die Schildkröten genau aufhalten. Somit müssten viele Tümpel/Teiche auf Verdacht geflogen werden, was einen zu großen Aufwand bedeutet und eine unsichere Datenlage, ausschließlich basierend auf Zufallsbeobachtungen, bedeuten würde. • Ferner wurde der Kontakt zur Umweltabteilung der Deutschen Bahn hergestellt, wo ein Monitoring von umgesiedelten Zauneidechsen im Zusammenhang mit Stuttgart 21 und dem Ausbau der Bahnstrecke nach Ulm stattfindet. Ein Austausch dazu ist im Gange.
<p>Was ist bei Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • So hoch fliegen, wie es die jeweilige Kamera zur sicheren Detektion zulässt. Damit wird die Effizienz gesteigert und zudem Störungen minimiert. • Es können automatische Rasterbefliegungen mit ruhigen und regelmäßigen Flugbahnen durchgeführt werden, die eine möglichst effektive Batterienutzung ermöglichen und auch zur Minimierung der Störung beitragen. • Gute Lichtverhältnisse mit wenig Wolken und Schattenwurf sind zu empfehlen. • Es sollte auch kein Regen und nicht zu viel Wind herrschen. • Eine gute Vorbereitung inklusive der Abfrage der wahrscheinlichen Standorte der Tiere zur Eingrenzung der zu befliegenden Gebiete, wird angeraten. Das vermeidet unnötige Befliegungen und mindert zusätzliche Störungen und Frust durch geringe Detektionserfolge.

Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?

- Möglichst nicht in der Brutzeit fliegen.
- Befliegungen müssen immer mit den zuständigen Fachleuten abgesprochen werden.
- Der Start sollte wie bei allen Befliegungen zur Tierbeobachtung/-Rettung möglichst etwas (idealerweise > 100 m) entfernt von den eigentlichen Zielen und möglichst auf Wegen oder anderen 'öffentlichen' Plätzen stattfinden. 40 m bis 50 m Flughöhe haben sich bis jetzt generell als unproblematisch erwiesen - s. *Kapitel Störungsökologie* im Hauptteil und die [Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen](#) (Döring & Mitterbacher, 2022)
- Die generellen Regeln für schonendes und störungsarmes Fliegen daraus gelten natürlich immer.

5.3.3 Kupfermoor

Die Idee zur Befliegung des Kupfermoors kam von der zuständigen Betreuerin am RP Stuttgart, die gerne den Status-Quo des Moores erfasst gehabt hätte, da in absehbarer Zeit Eingriffe stattfinden sollten.

Untersuchungsgebiet

Das Kupfermoor ist ein größeres Moor am Fuß der Waldenburger Keuper-Berge (Schwäbisch-Fränkische Waldberge). Es ist ein wichtiges pflanzengeografisches Bindeglied zwischen den oberschwäbischen Mooren, den Schwarzwaldmooren und den Mooren Mitteldeutschlands. Durch pollenanalytische Untersuchungen dient es zudem als ein Dokument der württembergischen Waldgeschichte. In der ersten älteren nacheiszeitlichen Periode vor rd. 10.000 Jahren war zuerst die Kiefer der vorherrschende Baum, dem erst allmählich Birken, Eichen, Ulmen und Linden folgten. Erst viel später folgten Fichten und Tannen und dann die Buche.

Der eigentliche Moorkessel entstand in einer Auslaugung eines Gipslayers im Gipskeuper. Pflanzensoziologisch findet man im Kupfermoor alle klassischen Verlandungszonen mit den jeweiligen charakteristischen Pflanzenarten vom

- offenen Moorweiher mit Schwimm- und Tauchblattgesellschaft bestehend aus Seerosen (*Nymphaea alba*), Laichkraut (*Potamogeton*) und Froschlöffel (*Alisma plantago*)
- über das Röhrlicht, die Schwinggrasengesellschaft mit Blutaugle (*Comarum palustris*), Fieberklee (*Menyanthes trifolia*) und schmalblättrigen Wollgras, (*Eriophorum polystadum*)
- bis hin zum Übergangsmoor mit Hochmooransatz,
- dem Flachmoor mit Kleinseggen und Pfeifengrasbestände und
- dem Erlenbruchwald.

Trotz starker Kriegseinwirkungen ist dieser einmalige Pflanzenstandort erhalten geblieben und hat sich weitgehend regeneriert. ([LUBW, 2022a](#))

Tab. 3: Beschreibung des Schutzgebietes

Art des Schutzgebietes	Naturschutzgebiet
Schutzgebiets-Nr.	1.018
Name	Kupfermoor
Gemeinde	Untermünkheim
Fläche (ha)	3,7
Naturraum	Hohenloher-Haller-Ebene
<u>Lage</u>	49° 10' N, 9° 41' O
Kurzbeschreibung	Das einzige größere Moor am Fuß der Waldenburger Berge (Schwäbisch-Fränkische Waldberge); wichtiges Bindeglied zwischen den oberschwäbischen Mooren, den Schwarzwaldmooren und den Mooren Mitteldeutschlands; Dokument der Waldgeschichte.
Es ist Teil des 2740 Hektar großen FFH-Gebiets Nr. 6723.311 <i>Ohrn-, Kupfer- und Forellental</i> . (LUBW, 2022c)	

Fragestellung

Der 'Auftrag' war hier aufgrund der fehlenden Möglichkeit mit einer Multispektralkamera zur Analyse der Vernässung zu fliegen, recht einfach.

- Erstellung eines hochauflösenden Orthofotos zur Dokumentation des Status-Quo im Vorfeld geplanter Eingriffs-Maßnahmen

Befliegung

Die Befliegung wurde mit dem RPS vorbereitet und abgesprochen. Mit dessen Genehmigung fand die Befliegung am Samstag, dem 18.09.2021 statt.

Ergebnisse

Die erfolgten Drohnen-Fotos wurden einmal mit der Online-Software MapsMadeEasy (MME), die im Gesamtbericht unter Methodik beschrieben ist, und mit der dort ebenfalls aufgelisteten kostengünstigen und doch professionellen Software WebODM prozessiert. Damit soll gezeigt werden, dass mit beiden kostengünstigen Lösungen brauchbare bis gute Ergebnisse produziert werden können. Dies ist für kleinere Büros und eigenständige FeldökologInnen von besonderem Interesse, da so die Kosten für den Einsatz von Drohnen niedrig gehalten werden können.

Die Befliegungen wurden auf 100 m Höhe durchgeführt - zum einen wegen des Baumbewuchses, der auch problemlos (s. Teilbericht Waldmonitoring) prozessiert werden sollte und zum anderen für eine möglichst hohe Effizienz durch schnelle Flächenabdeckung. Da für das Erfassungs-Ziel keine Erkennung auf Artenniveau angestrebt wurde, konnte aus der Erfahrung heraus diese Flughöhe gewählt werden. Immerhin wird damit immer noch eine Boden-Auflösung von ca. 3 cm mit der eingesetzten Drohne erreicht. Das war und ist für ein Orthofoto für den angestrebten Zweck mehr als ausreichend. Zum Vergleich haben die alle 2 Jahre neu zur Verfügung stehenden Orthofotos der Landesvermessung eine Auflösung von 20 cm.

MME - kostenlose Online-Prozessierung

Die Qualität des MME-Orthofotos reicht mehr als aus, um gut die unterschiedlichen Vegetationsbereiche, Wasser und höhere Vegetation (Büsche und Bäume) voneinander unterscheiden zu können (Abb. 4). Die Flächen der unterschiedlichen Vegetationseinheiten können so abgegrenzt und digitalisiert werden.



Abb. 4: Kupfermoor-Orthofoto (MME, Döring, 2021)

Zoomt man weiter in das Bild hinein, sieht man detailliert selbst kleinere Objekte wie einzelne Seerosenblätter oder einen Stein am Grund des Wassers (Abb. 5).



Abb. 5: Detail aus Kupfermoor-Orthofoto (Döring, 2021)

In Abb. 6 sieht man gut, dass einzelne Vegetationseinheiten sehr gut voneinander zu unterscheiden sind.

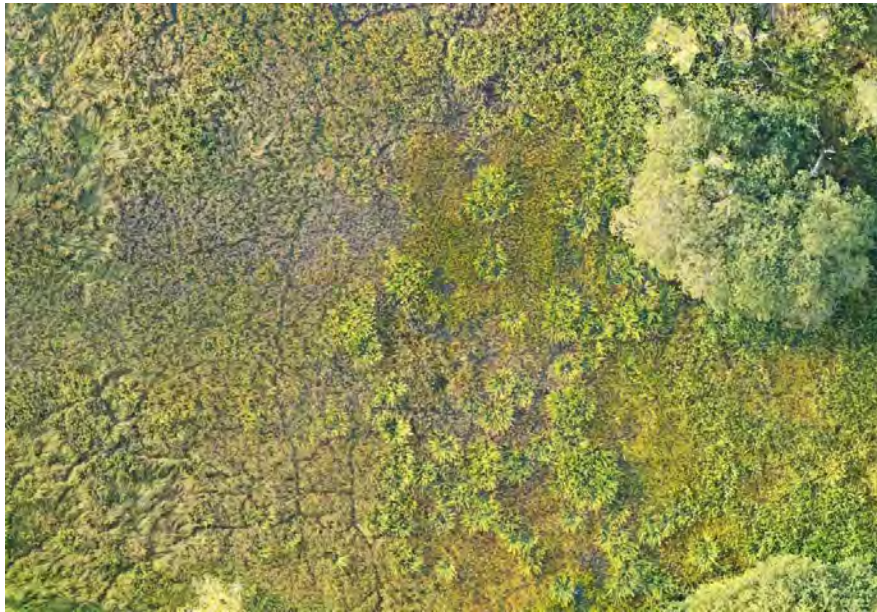


Abb. 6: Vegetationseinheiten im Kupfermoor-Orthofoto (Döring, 2021)

WebODM

In WebODM hat man die Möglichkeit ein Orthofoto mit verschiedenen voreingestellten Parametern (sog. *Presets*) zu erstellen. Diese sind über ein Auswahlmenü einfach auszuwählen und bringen im Allgemeinen gute Resultate - ggf. mit der *fast*-Einstellung auch in unter einer



Abb. 7: Kupfermoor - Orthofoto aus WebODM (Döring, 2021)

Stunde mit einem Laptop mit 32 GB Ram. Die Vegetationseinheiten und andere Einzelheiten sind hier ebenfalls sehr gut zu differenzieren.

Zusätzlich zu dem Orthofoto wird immer zuerst eine Punktwolke und in Folge ein 3D-Modell als Output bereitgestellt (Abb. 8), die einen räumlichen Eindruck des Gebietes vermitteln und für verschiedene Analysen, Darstellungen oder für ansprechende Präsentationen durchaus nützlich sein können.

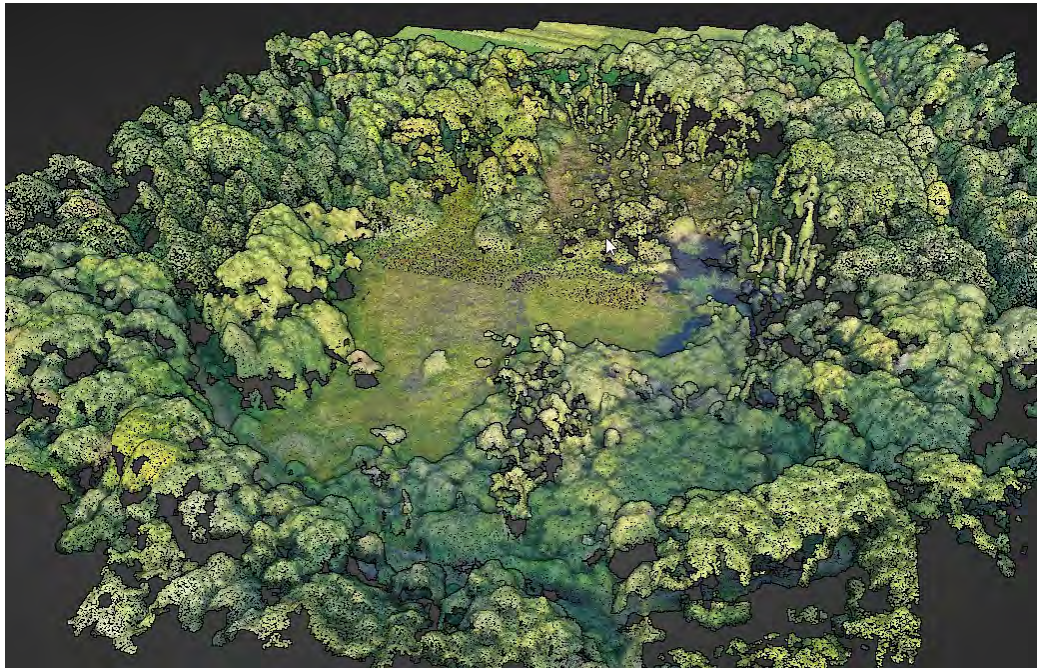


Abb. 8: Kupfermoor - WebODM, 3D-Punktwolke (Döring, 2021)

Auch ein Höhen- und Oberflächenmodelle (Abb. 9 + 10) werden als Ergebnisse jeder Prozessierung der Fotos errechnet und bieten Möglichkeiten zur Analyse der Vegetationshöhen, des Geländes oder hydrologischer Modelle.

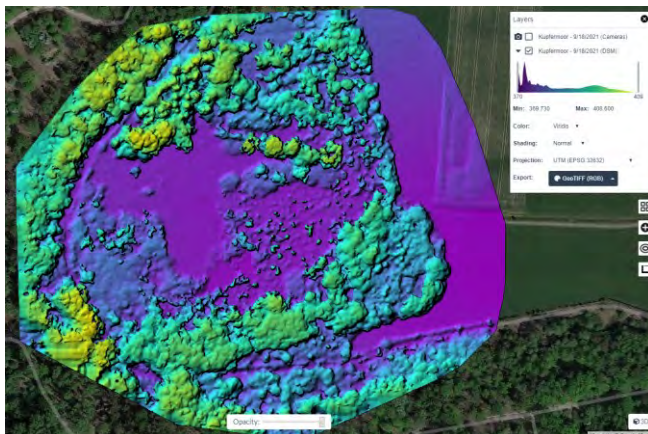


Abb. 9: Kupfermoor - DSM

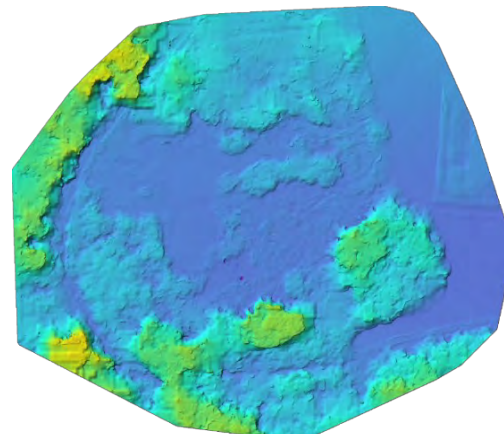


Abb. 10: Kupfermoor - DTM

(beide Döring, 2021)

Auswertungsmöglichkeiten

GIS-Systeme

Kurz vor Ende des Projekts DroBio meldete sich ein Student zur Bearbeitung des Bachelorarbeitsthemas zur Bearbeitung und Analyse von Drohnen- und anderen Fernerkundungsdaten mit dem Ziel, möglichst einfache und effektive Workflows zu erarbeiten. Als erste Beispielauswertung für seine Arbeit hat er die Kupfermoor-Daten bearbeitet.

Er lotete als Erstes die Möglichkeiten mit *Google Earth (GE)* aus. *GE* ist ein Geografisches Informationssystem (GIS), das kostenlos heruntergeladen und auf dem Rechner installiert werden kann. Es ist zwar rel. einfach aufgebaut, hat aber für erste Analysen durchaus ausreichende Kapazitäten.

Die Orthofotos z.B. können als *Tiffs* oder im *KML*-Datenformat einfach hineingezogen oder importiert und dann visuell inspiziert werden.

Die unterschiedlichen erkannten Strukturen können als Polygone, Linien oder Punkte digitalisiert und auch in unterschiedlichen Datenformaten exportiert werden (Abb. 11).

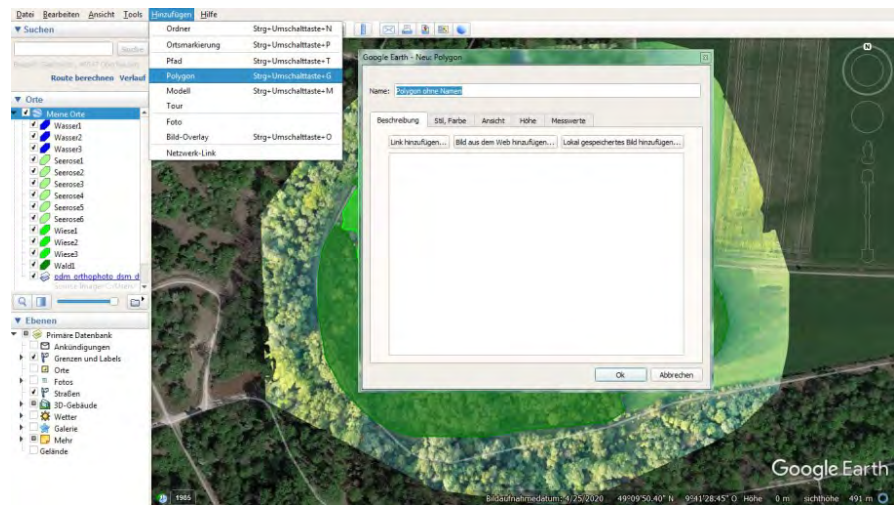


Abb. 11: Import und Bearbeitung von Drohnenbildern in Google Earth (Lutz, 2022)

Abb. 12 zeigt das Ergebnis solch einer Digitalisierung. Wasser und unterschiedliche Vegetationstypen wurden voneinander abgegrenzt.



Abb. 12: Ergebnis der Bearbeitung von Drohnenbildern in Google Earth (Lutz, 2022)

Vergleich zwischen Drohnen- und Google Earth-Bilddaten

In *Google Earth Pro* stehen Luftbilder zur Verfügung, die schon eine relative gute Auflösung aufweisen und ziemlich aktuell gehalten werden (jährliche Befliegungen). Sie bieten bereits eine gute Grundlage, um einfache Auswertungen vorzunehmen. Für feinere Strukturen ist eine Abgrenzung jedoch nur schwer möglich, da manchmal weder die Qualität der Google-Aufnahmen, noch deren Auflösung ausreichen. Beispielsweise war für das Kupfermoor laut Lutz das Erkennen der Wasserfläche in Google Earth recht schwer. Seerosen, welche man in den Drohnenaufnahmen gut zuordnen konnte, seien in den Google-Aufnahmen kaum bis gar nicht zu erkennen gewesen.

Ein weiterer Nachteil sei zudem, dass der Aufnahmezeitpunkt (zeitliche Auflösung) nicht selbst bestimmt werden könne. Mit Drohnen hingegen können schnell und einfach Aufnahmen zu gewünschten Zeitpunkten erfolgen werden. Diese können dann auch, regelmäßig aufgenommen, zu Zeitreihen zusammengestellt werden.

Weitere Möglichkeiten der Auswertung mit GIS

Natürlich können auch andere GIS-Programme wie das kostenlose *QGIS* oder das kostenpflichtige *ArcGIS* verwendet werden. Diese bieten außer der Möglichkeit zu visuellen Analysen und zur manuellen Digitalisierung auch automatisierbare Bild-Klassifikationslösungen.

Lutz testete einige dieser semi- oder vollautomatisierten Bildklassifikationsmethoden. Einige werden auch in den oben genannten Veröffentlichungen beschrieben. Ohne hier näher darauf eingehen zu wollen (ein ausführliches Beispiel ist im *Teilbericht 'Steillagen-Monitoring'* nachzulesen), muss festgestellt werden, dass diese Methoden sehr zeitaufwendig, für jede Befliegung neu zu kalibrieren und für Nicht-Experten und mit geringem Zeitbudget nicht zu empfehlen sind.

Gerade auf dem Gebiet der automatisierten Auswertung mit GIS- oder KI-Lösungen wird mit Hochdruck an möglichst einfachen und v.a. ressourceneffizienten Methoden zur Analyse von Fernerkundungsdaten (Satelliten-, Flugzeug- und Drohnendaten) geforscht. Am Landwirtschaftlichen Technologie Zentrum in Augustenberg (LTZ - ein Kontakt aus dem Netzwerk) wurde z.B. eine Workchain erstellt, die von der Prozessierung der Rohdaten von Satelliten, Flugzeug-Luftbildern oder eigenen Drohnenbildern über die Erstellung von Orthofotos und Höhenmodellen, von Vegetations-Indizes und resultierenden Analyse-Karten bis hin zu deren Visualisierung Online, einen kompletten automatisierten Arbeitsablauf ermöglicht ([LTZ Augustenberg, 2022](#)). Aber auch diese Workchain ist noch nicht für Laien einsetzbar und andere einfache Lösungen zur Automatisierung der Analyseprozesse existieren bis dato nicht.

Kupfermoor - Fazit

Tab. 4: Antworten & Empfehlungen zum Kupfermoor-Monitoring (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
Ist es sinnvoll, ein detailliertes Orthofotoerstellung im Vorfeld von naturschutzfachlichen Maßnahmen zu erstellen.	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, das macht schon alleine zu Dokumentationszwecken Sinn und • erlaubt es, in regelmäßigen Abständen wiederholt, Zeitreihen zu erstellen. So kann sowohl die Umsetzung als auch danach die Effektivität der

	Maßnahmen dokumentiert und kontrolliert werden.
Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich, die einzelnen Vegetationseinheiten/-elemente zu differenzieren und den Offen-/Grünlandanteil abzuschätzen?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, das ist möglich. • Je nachdem wie genau man arbeitet, bekommt bei der manuellen Digitalisierung oder der automatischen Bild-Klassifizierung auch mehr oder weniger detaillierte Ergebnisse.
Wie oft muss dazu in der Vegetationsperiode geflogen werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Es muss jeweils zu dem phänologisch erwünschten Zeitpunkt geflogen werden. • Wenn es Indikatorpflanzen gibt, die zuverlässige Aussagen über bestimmte Zustände zulassen und die gut und eindeutig zu erkennen sind, sollte jeweils zu deren bestem Erfassungszeitpunkt (meist Blütezeit) geflogen werden. • Für die Dokumentation und Abgrenzung von Vegetationseinheiten bietet sich v.a. die Vegetationsperiode an. • Im Winter hingegen sieht man durch die Baumkronen hindurch besser auf den Boden.
Sind die erfolgten Höhenmodelle genau genug, um qualifizierte Differenzierungen der Wuchshöhen zu ermöglichen?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, um in sich stimmige Abstufungen zu erreichen (Stratifizierung) sind auch die mit einer einfachen Drohne erfolgten Höhenmodelle ausreichend. • Will man absolute Höhen, kommt man um eine RTK-Drohne oder Aufnahmen mit Vermessungsmethoden nicht herum (LUBW, 2017).
Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst nicht in der Brutzeit fliegen. • Befliegungen immer mit den zuständigen Gebietsbetreuern absprechen. • Generell empfiehlt es sich, die im Kapitel Störungsökologie, dem Teilbericht 'Faunamonitoring' und v.a. in (Döring & Mitterbacher, 2022) beschriebenen Verhaltensregeln zu beachten.
Welche Methoden sind für die Flugplanung günstig?	<ul style="list-style-type: none"> • Es empfiehlt sich eine 'normale' Rasterflugplanung zu nutzen. • Wenn genaue 3D-Modelle erstellt werden sollen, können auch zusätzlich Doppel-Raster und ergänzende Schrägaufnahmen geflogen werden. • Es sollten die allgemeinen Regeln für gute Flug- und Bildaufnahmebedingungen beachtet werden - s. Kapitel Methodik - Befliegungen im Hauptteil.
Welchen anderen Bedingungen müssen beachtet werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Befliegungen müssen in Abstimmung mit dem RP Stuttgart und der UNB erfolgen, da es sich um eine Naturschutz-Geozone nach LuftVO handelt. • Der nahegelegene Flugplatz Schwäbisch-Hall (0791 499790) sollte auf jeden Fall vor Flugbeginn und nach Flugende informiert werden.

5.3.4 Drohnen am Federsee

Das Federseemoor liegt inmitten der eiszeitlich entstandenen Hügellandschaft Oberschwabens und ist mit 33 km² das größte Moor Südwestdeutschlands.

Es ist Lebensraum für eine einzigartige Tier- und Pflanzenwelt und für manche Arten der wichtigste Lebensraum in Baden-Württemberg. Wegen seiner großen Bedeutung auch insbesondere für die Vogelwelt ist es Teil des europaweiten Schutzgebietsnetzes „Natura 2000“ (FFH- und Vogelschutzgebiet) und „Europa-Vogelreservat“.

Zusätzlich wurden die wichtigsten Moorflächen als Naturschutzgebiete ausgewiesen und im Zuge zweier EU-Förderprojekten (LIFE-Projekte) rund 450 ha Moorflächen renaturiert. ([NABU Federsee, 2018](#))

Das NABU-Naturschutzzentrum Federsee wurde von der staatlichen Naturschutzverwaltung mit der Schutzgebietsbetreuung betraut und hat v.a. das Monitoring von Biber und Neophyten wie der Kanadischen Goldrute oder dem Indischen Springkraut, das Landschaftspflege-Management und die Beratung zu fachlichen Fragen, also die Koordination des ganzen Gebietes, zur Aufgabe.

Das Mooregebiet ist groß, unübersichtlich und mit vielen sehr nassen und überstauten Flächen schwer begehbar. Die Überwachung der Brutflöße auf dem See, der ausgedehnten Schilfgürtel und hochbultigen Groß-Seggenriede erweist sich meist vom Boden aus als schwierig, aufwändig und zudem als sehr störungsintensiv für die oft empfindlichen Arten (Vortrag NABU-Naturschutzzentrum Federsee, 2021).

Unter Berücksichtigung all dieser Gesichtspunkte, drängen sich Drohneneinsätze gewissermaßen auf. 2021 hat sich das Team des NABU-Naturschutzzentrum Federsee deswegen dazu entschlossen, eine Drohne zum Monitoring und zur Kontrolle der größtenteils unzugänglichen Moor-Flächen anzuschaffen und künftig einzusetzen. Die im Rahmen des LNV-Förderprojekts 'Maschinenringe der Naturschutzverbände' geförderte Anschaffung und Nutzung der Drohne (eine DJI Mavic 2 Pro wie die DroBio-Drohne) wurde im Vorfeld mit den Naturschutzverwaltungen (RPT, UNB) abgeklärt und von diesen zur Schutzgebietsverwaltung freigegeben.

Der Geschäftsführer des NABU-Nordschwarzwald und Verfasser des ersten deutschen Berichts zu *Drohnen im Naturschutz* - <https://nationalpark.blog/einsatz-drohnen-im-naturschutz/> - ([Pagel & Döring, 2018](#) - der DroBio-Projektkoordinator war fachlicher Ko-Autor), stellte den Kontakt zwischen den Federsee-Akteuren und dem DroBio-Projektkoordinator her, der dann anfänglich bei verschiedenen Fragen beratend unterstützen konnte. Dabei trat das NABU-Naturschutzzentrum Federsee auch dem Netzwerk 'Drohnen im Biomonitoring' bei. Ende 2021 fand außerdem ein NABU-Online-Meeting zum Thema 'Drohnen im Naturschutz' statt.

Einsatzfelder der Drohne

Folgende Einsatzziele hat das NABU-Naturschutzzentrum Federsee für den Einsatz seiner Drohne konkretisiert:

- Schutzgebietsmanagement
 - Landschaftspflege-Management - Planung, Kontrolle, Auswertung, Dokumentation
- Bibermanagement - Überwachung von Konfliktzonen, Revierkartierung, Dokumentation der Revier- und Biotopentwicklung

- Neophytenmonitoring - v.a. Kanadische Goldrute (*Solidago candiensis*) und Indisches Springkraut (*Impatiens glandulifera*)

Allerdings können nicht immer alle Goldrutenbestände aus der Luft detektiert werden, da sie sich manche unter dem Schilf 'verstecken'. In manchen Gebieten sind deshalb ggf. noch Vor-Ort-Kontrollen nötig.

Im Dezember fand der erste Flug am Federsee statt und es wurden bisher folgende Aufgaben mit der Drohne durchgeführt (der Bericht erfolgt nachrichtlich in Abstimmung mit dem NABU-Naturschutzzentrum Federsee):

Dokumentation von Renaturierungsmaßnahmen



Abb. 13: Rodung von Fichtenbeständen auf Moorstandorten vorher - nachher
(NABU-Naturschutzzentrum Federsee)

Bei einem der ersten Drohnen-Einsätze wurde eine großflächige Renaturierungsmaßnahme, nämlich die Rodung von Fichtenbeständen auf Moorstandorten, mit der Drohne begleitet (Abb. 13). Es konnten eindrucksvolle Vorher- und Nachher-Aufnahmen festgehalten werden, die viel anschaulicher wirken und weniger aufwändig zu erlangen waren, als Bilder vom Boden aus.

Auch die Entwicklung des durch die Rodung geförderten Feuchtwiesenverbundes konnte aus der Luft gut beobachtet und in Zeitreihen mit Luftbildern dokumentiert werden.

Bibermonitoring und -kontrolle

Da sich der Biber im Gebiet angesiedelt hat, ist dessen Beobachtung und sein Management wie die Überwachung von Konfliktzonen, die Kartierung der unterschiedlichen Reviere und die Dokumentation der Revier- und Biotopentwicklung, eine Hauptaufgabe der Gebietsbetreuung.

Ende Januar 2022 beispielsweise war die Funktion eines Pumpwerkes (Kläranlage und Regenüberlauf) im Gebiet gefährdet. Das Ausmaß der Stauung ist im linken Bild (Abb. 14) sichtbar. Ebenfalls links ist die Baggerspur neben dem Kanal zu sehen. Der dort entstandene Biberdamm war/ist nur etwa 400 m vom Ortsrand entfernt.

Im rechten Bild (Abb. 14) sieht man die Situation des Biberreviers nach der Dammsenkung. Es ist wesentlich trockener und die Situation konnte durch den Eingriff vorerst entschärft werden.



Abb. 14: Biberrevier mit Konfliktpotential - Vorher-Nachher Aufnahmen (NABU Federsee)

Beide Zustände waren aus der Luft gut darstellbar. Das hilft auch abzuschätzen, ob zusätzliche Begehungen nötig sind. Wenn nämlich die Drohnenbilder ausreichen, lässt sich dadurch viel Zeit für andere wichtige Aufgaben sparen.

Die Bilder dienen außerdem der Verdeutlichung der Problemstellungen und helfen bei der Beratung und Information der betroffenen Gemeinde.

Ein weiteres Beispiel ist die einfachere Kontrolle mit der Drohne des langen schwer begehbaren Grabens Richtung See hinsichtlich neuer Biberdämme (Abb. 15). Dieser musste vorher mühselig abgelaufen oder durchwaten werden, was viel Zeit in Anspruch nahm.



Abb. 15: Biberdamm Kanalkontrolle und Nahinspektion (NABU Federsee)

Im Drohnen-Orthofoto unten sieht man einen vom Biber aufgestauten Bach (Abb. 16). Die durch den Aufstau entstandenen 'Biberweiher' (links und Mitte v.a. nach unten) dienen nun als wertvolle Habitate für Wasservögel.



Abb. 16: Federsee - Orthofoto eines vom Biber aufgestauten Baches (NABU Federsee)

5.3.5 Moor-/Bibermonitoring - Fazit

Es wurde hoffentlich deutlich, dass eine Drohne richtig eingesetzt durchaus eine sinnvolle Unterstützung beim Monitoring von Mooren und seinen Bewohnern sein kann.

Nachfolgend findet man die Kurzfassung der verschiedenen Aspekte für eine erfolgreiches Drohnen-Monitoring in Mooren und für den Biber.

Tab. 5: Moor/Bibermonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Schwierigkeit 	Erfahrung 	Nutzen 
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> o Gebietsmanagement o Dokumentation von Veränderungen o Vegetationskartierung o Vegetationsklassifizierung o Renaturierungs-, Gewässer-, Kanal-Kontrollen o Bibermonitoring (Bauwerke, Habitat etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • spart Zeit - gegenüber Waten und (Belly-)Boot • effektivere und effizientere Inspektion von oben • besserer Überblick - über komplettes Gebiet, v.a. über nicht begehbare Bereiche • weniger + kürzere Störung als bei terrestrischer Inspektion • permanente Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> o Fotos - RGB, Multispektral, Thermal o Videos o evtl. Orthofotos

Tab. 6: Moor/Bibermonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
Brut- und v.a. Mauserzeiten beachten - s. 5.6.3 <i>Störungsökologische Grundregeln</i>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Kapitel 4.3.2 <i>Befliegungs-Methodik</i> sollten immer beachtet werden.	
Effektivste Flugweise = programmierte Rasterflüge → Überlappung = mind. 75 % vorwärts und 60 % seitlich	Für brauchbare Orthofotos wird immer eine gewisse Überlappung benötigt - 4.3.2 Befliegungs-Methodik .
Zur reinen Inspektion empfehlen sich manuelle Flüge - ggf. mit Videoaufnahme oder Einzelfotos. 	Manuelle Flüge erlauben eine raschere Inspektion, da keine regelmäßigen Bilder mit Überlappung benötigt werden und nur visuell - ggf. mit 'Beweisfoto' begutachtet wird. Außerdem können flexibler einzelne Objekte angeflogen werden, um diese näher zu untersuchen.

	<p>Man kann auch vorsichtig zwischen der Ufervegetation fliegen um einzelne Strukturen des Bibers näher zu begutachten.</p>
<p>Es sollte immer so hoch, wie möglich geflogen werden - aber die Höhe muss sich natürlich auch nach dem kleinsten zu untersuchenden Objekt richten, das durch mindestens 3 Pixel repräsentiert werden sollte.</p> <p>→ Ggf. kann zur näheren Inspektion oder für kleinere Untersuchungsobjekte niedriger geflogen werden.</p>	<p>Die Höhe muss sich natürlich nach dem kleinsten zu untersuchenden Objekt richten, das durch mindestens 3 Pixel repräsentiert werden sollte - s. 4.3.2 Befliegungs-Methodik.</p> <p>Es kann so hoch geflogen werden, dass das gesamte Flussbett auf dem Bildschirm zu sehen ist, oder es wird beim Flug wegwärts eine Uferseite und beim Flug zurück die andere Seite inspiziert. Das spart Zeit gegenüber einer flächigen Befliegung für Orthofotos, wenn diese nicht benötigt werden.</p>
<p>An Flüssen sollte möglichst in laubfreier Zeit befliegen werden.</p>	<p>Das ermöglicht eine bessere 'Durchsicht' auf die Uferstrukturen. Im Falle des Bibers um dessen Rutschen und Burgen sehen zu können.</p>
<p>Für bestimmte Fragestellungen kann die Verwendung mehrerer Sensoren nötig sein.</p>	<p>Wie in einigen der beschriebenen Veröffentlichungen gezeigt, können zusätzliche Thermal- oder Multispektralaufnahmen bessere Analysen und Klassifikationsmodelle erzeugen helfen.</p>
<p>Verschiedene Kamerawinkel</p> <p>→ 90° Nadir und</p> <p>→ ca. 75° geneigt</p> <p>Bei den professionellen DJI-Modellen (<i>Enterprise</i>) gibt es eigene 3D-Flugpläne.</p>	<p>Schrägaufnahmen können genutzt werden, um Volumina von Strukturen besser zu bestimmen und um bessere 3D-Modelle zu erstellen - s. Schrägaufnahmen - Oblique-Fotos.</p> <p>Überdies tragen sie zur besseren Stabilisierung des Bildverbandes und zu einer größeren Höhengenaugigkeit bei - wichtig, um Dämme, Füllstände o. Ä. im Moor genau zu erfassen.</p>

5.3.6 Wirtschaftlichkeit

Moor- und Bibermonitoring mit Drohnen lohnt sich

- zur Schutzgebietsbetreuung im Einsatz der zuständigen Verwaltung
- da dies oft eine schonendere Methode mit weniger Störungspotential (Tritt, Präsenz) darstellt, als terrestrische Aufnahmen
- zur regelmäßigen Biberkontrolle an Gewässern

- wenn es günstiger ist als andere Methoden (Satelliten, Flugzeugbefliegungen), was der Fall ist, wenn
 - ständig wiederkehrende Befliegungen überschaubarer Flächen durchgeführt werden sollen - je nach Fluggerät (Multikopter oder Starrflügler/VTOL)
 - mit unterschiedlichen Flugparametern geflogen werden muss (Nadir, Schrägaufnahmen, unterschiedliche Höhen)
 - mit unterschiedlichen Sensoren geflogen werden soll
 - ein flexibler und spontaner Einsatz nötig ist

Literaturverzeichnis

- 50northspatial.org. (2018). *Modern approaches in beaver studies*. URL: <http://www.50northspatial.org/modern-approaches-beaver-studies/>, zuletzt abgerufen am: 10.04.2022
- Beyer, F., & Grenzdörffer, G. (2018). Klassifikation von Vegetationstypen auf Moorstandorten unter Verwendung von multisensoralen Drohnendaten. *Conference Paper*, S. 14.
- BfN. (2021). *BfN: Naturschutzgroßprojekt „Pfrunger – Burgweiler Ried“*. URL: <https://www.bfn.de/themen/biologische-vielfalt/nationale-strategie/projekt-des-monats/archiv/naturschutz-grossprojekt-pfrunger-burgweiler-ried.html>, zuletzt abgerufen am: 25.03.2021
- BfN. (2022). *Moore* | BfN. URL: <https://www.bfn.de/moore>, zuletzt abgerufen am: 14.07.2022
- Briggs, M. A., Wang, C., Day-Lewis, F. D., Williams, K. H., Dong, W., & Lane, J. W. (2019). Return flows from beaver ponds enhance floodplain-to-river metals exchange in alluvial mountain catchments. *Science of The Total Environment*, 685. Jg., S. 357–369.
- Chabot, D., & Bird, D. M. (2013). Small unmanned aircraft: precise and convenient new tools for surveying wetlands. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 01. Jg., Heft 01, S. 15–24.
- De Roos, S., Turner, D., Lucieer, A., & Bowman, D. M. J. S. (2018). Using Digital Surface Models from UAS Imagery of Fire Damaged Sphagnum Peatlands for Monitoring and Hydrological Restoration. *Drones*, 2. Jg., Heft 4, S. 45.
- 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
- Dronova, I., Kislik, C., Dinh, Z., & Kelly, M. (2021). A Review of Unoccupied Aerial Vehicle Use in Wetland Applications: Emerging Opportunities in Approach, Technology, and Data. *Drones*, 5. Jg., Heft 2, S. 45.
- Großdietmanns, G. (2022). Der Biberbestand wird mittels Drohnenflug im Rahmen der Biberkartierung 2023 erhoben. *Marktgemeinde Grossdietmanns*. URL: <https://www.grossdietmanns.gv.at/der-biberbestand-wird-mittels-drohnenflug-im-rahmen-der-biberkartierung-2023-erhoben/>, zuletzt abgerufen am: 10.04.2022
- Harvey, M. C., Hare, D. K., Hackman, A., Davenport, G., Haynes, A. B., Helton, A., Lane, J. W., & Briggs, M. A. (2019). Evaluation of Stream and Wetland Restoration Using UAS-Based Thermal Infrared Mapping. *Water*, 11. Jg., Heft 8, S. 1568.
- 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.
- Hilmer, P., Bonnekamp, F., & Mörder, H. (2018). *Analyse einer Moor-Wiedervernässung mittels Drohnenbefliegung - HFR GIS-Projekt* (S. 56) [Projektbericht]. Rottenburg: HFR.
- Huertas Herrera, A., Toro Manriquez, M., & Lencinas, M. (2019). *Densidad de diques de castor (Castor canadensis) en el archipiélago de Tierra del Fuego*.
- IUCN UK. (2020). *Habitat Restoration in England's Hills and Mountains: A Novel Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology* | IUCN UK Peatland Programme. URL:

<https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/news/habitat-restoration-englands-hills-and-mountains-novel-application-unmanned-aerial-vehicle-uav>, zuletzt abgerufen am: 08.09.2020

- Jeziorska, J. (2019). !!! UAS for Wetland Mapping and Hydrological Modeling. *Remote Sensing*, 11. Jg., Heft 17, S. 1997.
- Jungmeier, M., Kirchmeier, H., Hecke, C., & Kreiner, D. (2016). *Naturprozesse in einem Lawinarsystem - das Beispiel Kalktal im Nationalpark Gesäuse*.
- LfU Bayern. (2021). *Biodiversität und Moorschutz - LfU Bayern*. URL: https://www.lfu.bayern.de/natur/bayaz/arbeitsschwerpunkte/biodiversitaet_moorschutz/index.htm, zuletzt abgerufen am: 17.10.2022
- Liu, T., & Abd-Elrahman, A. (2018). Multi-view object-based classification of wetland land covers using unmanned aircraft system images. *Remote Sensing of Environment*, 216. Jg., S. 122–138.
- LTZ Augustenberg, I.-L. (2022). *Drohnen im Versuchswesen*. URL: <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Drohnen+im+Versuchswesen>, zuletzt abgerufen am: 16.01.2022
- LUBW. (2017). *Drohnenbefliegung zur Luftbilderfassung und Höhenvermessung im Wurzacher Ried*. URL: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/99015>, zuletzt abgerufen am: 11.07.2022
- LUBW. (2022a). *Kupfermoor - Würdigung des NSG*. URL: http://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/abt2/dokablage/oac_12/wuerdigung/1/1018.htm, zuletzt abgerufen am: 14.07.2022
- LUBW. (2022b). *Moorschutz*. URL: <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/moorschutz>, zuletzt abgerufen am: 14.07.2022
- LUBW. (2022c). *Schutzgebietssteckbrief: FFH-Gebiet Ohrn-, Kupfer- und Forellental*. URL: <https://ripsdienste.lubw.baden-wuerttemberg.de/rips/ripsservices/apps/naturschutz/schutzgebiete/steckbrief.aspx?id=809028000010>, zuletzt abgerufen am: 14.07.2022
- Mitterbacher, M. (LfU). (2021). *Einsatz von Drohnen im Natur- und Artenschutz und bei der Wildtierrettung*. S. 20.
- Moorschutz in Deutschland, & BfN. (2022). *Moorschutz in Deutschland*. Thünen Projekte. URL: <https://www.moorschutz-deutschland.de/>, zuletzt abgerufen am: 14.07.2022
- NABU Federsee. (2018). *Federseenatur*. nabu-federsees Webseite! URL: <https://www.nabu-federsee.de/natur-naturschutz/federseenatur/>, zuletzt abgerufen am: 13.07.2022
- Pagel, M., & Döring, S. (2018). *Einsatz von Drohnen im Naturschutz - ein Übersichtsartikel*. Nationalpark Schwarzwald Onlinemagazin. URL: <https://nationalpark.blog/einsatz-drohnen-im-naturschutz/>, zuletzt abgerufen am: 30.04.2020
- Pande-Chhetri, R., Abd-Elrahman, A., Liu, T., Morton, J., & Wilhelm, V. L. (2017). Object-based classification of wetland vegetation using very high-resolution unmanned air system imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50. Jg., Heft 1, S. 564–576.
- pfrunger-burgweiler-ried. (2021). *Naturschutzgroßprojekt Pfrunger-Burgweiler Ried*. URL: <https://pfrunger-burgweiler-ried.de/naturschutzgebiet-3/naturschutzgrossprojekt/>, zuletzt abgerufen am: 25.03.2021
- pfrunger-burgweiler-ried.de. (2022). *Pfrunger-Burgweiler Ried - Gebietsinformationen*. URL: <https://pfrunger-burgweiler-ried.de/naturschutzgebiet-3/projektgebiet/>, zuletzt abgerufen am: 17.10.2022
- Puttock, A. K., Cunliffe, A. M., Anderson, K., & Brazier, R. E. (2015). Aerial photography collected with a multicopter drone reveals impact of Eurasian beaver reintroduction on ecosystem structure. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 3. Jg., Heft 3, S. 123–130.
- Schlegel, A. (2019). *Erfassung von relevanten Vegetationsstrukturen für Biber (Castor fiber) - Methoden der Fernerkundung im Vergleich* [BOKU Wien].



UM BW. (2021, Oktober). *Moorschutzkonzeption*. Baden-Württemberg.de. URL: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/naturschutz/instrumente-des-naturschutzes/foerderung/moorschutzkonzeption/>, zuletzt abgerufen am: 14.07.2022

Anlage

Protokoll Störungsökologie-Befliegungen Pfrunger-Burgweiler Ried

Flugort: Wehauer Teufelste		Datum: 27.10.20	Erfasser: Gyda /
Tierart: Hochländer	Stör-Intensität	Fluggerät: Haswic	Bemerkungen: 1 händischer Flug / Wind weht
Flughöhe	Einzel	Gruppe	
100	-	1	
90	-	-	
80	-	-	
70	-	-	
60	-	-	
50	-	-	
40	-	-	
30	-	-	
20	-	-	
10	-	-	
<p>Stehen ruhig, bei Kopfhub kein Feinmotorik über Kopf stehen (Blickend) die sind über Haube stehend im Kreis fliegend stehend; Kopf über sich bei 60 m; in der Höhe sehr geschult → kein Reakt</p>			
Flugort: Störungsökologie		Datum:	Erfasser:
Tierart: Störungsökologie	Stör-Intensität	Fluggerät:	Bemerkungen:
Flughöhe	Einzel	Gruppe	
100	-	-	
90	-	-	
80	-	-	
70	-	-	
60	-	-	
50	-	-	
40	-	-	
30	-	-	
20	-	-	
10	-	-	
<p>Gruppe steht bummeln phleg Drehen Kopf 1. Richtung Dohle keine Reaktion " " " " Stör hat stehen / hoch fliegend, was Dohle nicht macht Recht wenn von vorne der Angriff ruhig fliegend → stark Enger zusammen mit Staffen Döring - DroBio 2020 schmale Flucht</p>			

0 = keine Reaktion
1 = Wahrnehmung, Aufschauen - Aufmerksamkeit zum UAS hingegts. Fressunterbrechung
2 = Vermeidungsbewegung, rel. ruhige Wegbewegung
3 = Flucht

0 = keine Reaktion
1 = Wahrnehmung, Aufschauen - Aufmerksamkeit zum UAS hingegts. Fressunterbrechung
2 = Vermeidungsbewegung, rel. ruhige Wegbewegung
3 = Flucht

5.4 Steillagen-Monitoring - Biosphärengebiet Südschwarzwald

Zusammenfassung

In dem Teilprojekt 'Steillagen-Monitoring' wurden extensive Weidflächen im Biosphärengebiet Südschwarzwald befliegen, um zu zeigen, dass und wie man mit einer kleinen und handelsüblichen Drohne diese Flächen effektiv befliegen, deren Strukturen erfolgreich erkennen und in einem GIS quantifizieren kann.

Inhaltsverzeichnis

10.4 Steillagen-Monitoring - Biosphärengebiet Südschwarzwald	1
Zusammenfassung	1
Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	2
10.4.1 Einleitung	3
10.4.1.1 Brutto-/Netto-Problematik im Südschwarzwald	4
10.4.1.2 Exkurs landwirtschaftliche Flächenkontrolle	6
10.4.2 Fragestellungen	8
10.4.3 Methodik	9
10.4.3.1 Fluggebiete	9
10.4.3.2 Befliegungen	10
Übersichtskarte der Befliegungen	11
10.4.4 Ergebnisse	11
10.4.4.1 Ziegenweide Happach/Holderrütte - manueller Testflug	11
10.4.4.2 Windfeld	13
10.4.4.3 Katzenstein	15
10.4.5 Fazit Bruttoflächen-Monitoring	18
10.4.6 Steillagen Monitoring - Weidfelder Fazit	20
10.4.7 Wirtschaftlichkeit	23
10.4.8 Literaturverzeichnis	24

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vergleich verschiedener Bildanalyse-Methoden (Oddi et al., 2021)	3
Abb. 2: Flächenkontrolle vor Ort mit 2 Leuten ((European Court of Auditors, 2020, S. 9)	6
Abb. 3: Nutzung von Bildgebungstechnologien durch Zahlstellen (European Court of Auditors, 2020)	7
Abb. 4: Übersichtskarte der Befliegungen (Döring, 2021)	11
Abb. 5: Katzenpfötchen (Bernd Haynold 2006)	11
Abb. 6: Orthofoto der Ziegenweide Happbach	12
Abb. 7: Orthofoto der Ziegenweide Happbach	12
Abb. 8: Ausschnitt aus Orthofoto - Happbach	12
Abb. 9: Ausschnitt aus Höhenmodell - Happbach	12
Abb. 10: Windfeld am 02.11.2020 (Döring, 2021)	13

Abb. 11: Windfeld am 24.04.2021 (Döring, 2021)	13
Abb. 12: Windfeld am 20.08.2021 (Siebold, 2021)	13
Abb. 13: Höhenmodell des Windfelds (Döring, 2021)	13
Abb. 14: Unterschiede in den Flächenanteilen verschiedener Vegetationseinheiten bei unterschiedlichen Klassifikationsmethoden (FELIS et al., 2021)	14
Abb. 15: Katzenstein - Orthofoto (Döring, 2021)	15
Abb. 16: Sommer-Aspekt der Katzensteinfläche (Google Earth, 2022)	16
Abb. 17: Katzenstein - Höhenmodell (Döring, 2021)	16
Abb. 18: Katzenstein - Orthofoto aus MME (Döring, 2021)	17
Abb. 19: Katzenstein - Ausschnitt zur Verdeutlichung der Auflösung aus dem MME-Orthofoto (Döring, 2021)	17
Abb. 20: Katzenstein - Digitalisierung mit Import Photos (Döring, 2022)	17
Abb. 21: Katzenstein - Digitalisierung der Verbuschung (Döring, 2022)	18
Abb. 22: Aufteilung einer Fläche in homogene Teilbereiche bzw. getrennte Teilschläge (MLR BW, 2021)	19

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beschreibung der Schutzgebiete	9
Tab. 2: Bewertung relevanter Objekte auf Bruttoflächen hinsichtlich ihres Drohnenmonitorings (Döring, 2022)	19
Tab. 3: Antworten & Empfehlungen Südschwarzwald (Döring, 2022)	20
Tab. 4: Steillagenmonitoring - Methodik (Döring, 2022)	23

5.4.1 Einleitung

Das naturschutzfachliche Weidemonitoring in Steillagen ist eine recht spezifische Fragestellung und es wurden nur wenige Veröffentlichungen dazu gefunden. (ODDI ET AL., 2021) evaluierten verschiedene Methoden und Befliegungszeitpunkte zur Klassifizierung und Quantifizierung der Gehölsukzession auf aufgegebenen Bergweiden in den Alpen. Dazu wurden Befliegungen mit einer handelsüblichen und kostengünstigen RGB-Drohne (DJI Phantom 4 Pro mit ähnlichen Spezifikationen wie die DroBio-Drohne) durchgeführt und anschließend auf drei verschiedene Arten analysiert - einmal mittels Foto-Interpretation durch einen Fachmann und zweimal automatisiert durch jeweils eine Pixel-basierte und eine Objekt-basierte Bildklassifikation. Für großflächige und längerfristiges Monitoring war die Pixel-basierte Methode durchaus hilfreich, jedoch wurde die rein visuelle Foto-Interpretation für kurzfristige Beobachtungen empfohlen, da sie am genauesten abschneidet und am 'einfachsten' ist, wie man im Bild - symbolisiert durch die beiden lilafarbenen Prozessstränge - sieht. Es werden weder spezielle Tools noch spezielle technische Fähigkeiten dazu benötigt.

Für die kleinflächige Vegetations-Analyse einer Lawenbahn setzten (JUNG-MEIER ET AL., 2016) eine Eigenbau-Drohne ein, um ihre Probeflächen parallel zu der terrestrischen Vegetationserhebung zu befliegen. Es wurden aus vergleichsweise geringen Höhen scharfe Luftbilder erfolgen. Die Bilder wurden manuell georeferenziert und zu einem Panorama zusammengefügt. Dieses diente als detaillierte Hintergrundkarte zur Darstellung der kartierten Flächen. Die Aufnahmequalität der UAV-Bilder gegenüber den Standard-Orthofotos des Landes war wesentlich besser und ermöglichte es - v.a. auch in schwer zugänglichen Abschnitten - die reiche Strukturierung des Lebensraumes mit Sträuchern, liegendem Totholz und vegetationsfreien Offenbereichen zu differenzieren.

Anmerkung: Eine manuelle Georeferenzierung erübrigt sich bei den moderneren Drohnen, da mittlerweile selbst relativ einfache und kostengünstige Modelle die Koordinaten des Aufnahmeorts in die Bild-Metadaten schreiben und so die automatische Orthofotoerstellung leicht machen.

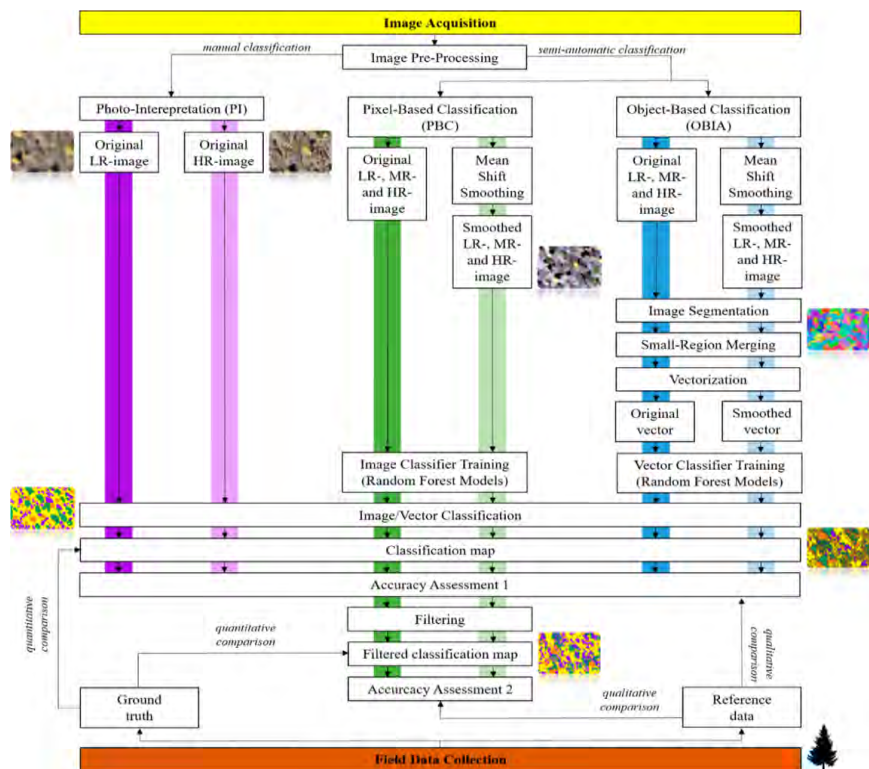


Abb. 1: Vergleich verschiedener Bildanalyse-Methoden (ODDI ET AL., 2021)

Polnische Wissenschaftler erarbeiteten anhand sehr aufwendiger und mit Vermessungsgenauigkeit durchgeführter Flüge eine Monitoring-Methode für Wanderpfade im Gebirge und deren Auswirkungen bezüglich Erosion und Vegetationszustand ([ĆWIAKAŁA ET AL., 2017](#)). Die Autoren kommen alle zu dem Schluss, dass Drohnen v.a. in Steillagen das Monitoring einfacher und kostengünstiger gestalten helfen und damit oft erst erschwinglich machen.

An der Hochschule für Forstwirtschaft in Rottenburg haben sich 2 Studenten im Rahmen ihres obligatorischen GIS-Projektes im Rahmen der Vertiefungsrichtung 'GIS & Landschaftsmanagement' Gedanken zur Befliegung von Weideflächen im Südschwarzwald gemacht ([PANDIKOW & RUHNAU, 2020](#)). Bei ihnen stand das Sukzessionsmonitoring mit Drohnen im Vordergrund - als Grundlage zur Planung (v.a. in schwer begehbarem Gelände) und zur Erstellung einer Arbeitsempfehlung für die Entbuschung von landwirtschaftlichen Flächen. Zur Auswertung wurden von ihnen verschiedene RGB-Indizes und ein selbst erstelltes Höhenmodell zur Differenzierung der zu entnehmenden Vegetation getestet. Die aufwendigen Analysen führten nicht ganz zu den gewünschten Ergebnissen. Ein Fazit war deshalb die Notwendigkeit des Einsatzes von in fernerkundlichen Methoden geschultem Personal.

Die Nachfolgearbeit auf das Projekt war die Bachelorarbeit von ([PANDIKOW, 2020](#)), in der er die Analysen über die Verwendung von den vorher angesprochenen RGB-Indizes in Verbindung mit automatischer Bildklassifikation vertiefte. Einer der Indizes und die Bildklassifikation ermöglichten eine feinere Differenzierung zwischen verschiedenen Vegetationstypen und Vegetation und Offenland, aber eine genauere Klassifizierung der Vegetation war auch hier nicht möglich. Auch Fehlklassifizierungen wie die Schatten von Bäumen macht die Anwendung dieser aufwendigen Methoden für Nicht-Spezialisten de facto weitestgehend unbrauchbar. Die eingesetzten Ressourcen stehen dabei in keinem Verhältnis zum Ergebnis.

Im Ergebnisteil zum Windfeld wird, durch eine Studierendengruppe unseres Projektpartners FELIS der Uni Freiburg, dessen Analyse mittels Bildklassifikation näher vorgestellt.

Nutzt man allerdings die Drohnendaten v.a. zur Kontrolle und begnügt sich mit der visuellen Auswertung mittel MI (menschlicher Intelligenz - diese kann z.B. Schatten erkennen und die darunterliegenden Objekte richtig zuordnen) und händischer Digitalisierung zur Abgrenzung von Einheiten, besitzen Drohneneinsätze dennoch ein großes Potenzial und erleichtern die Arbeit in steilem Gelände erheblich, wie man in den nächsten Seiten sehen wird.

Brutto-/Netto-Problematik im Südschwarzwald

Das Biosphärengebiet Schwarzwald mit seinen großen mageren und strukturreichen Weidbergen und Allmendflächen wurde von der UNESCO als Repräsentant für den Landschaftstyp grünlandreiche Waldlandschaften ausgewählt. Dieses extensiv bewirtschaftete Grünland mit seinen großflächigen Magerweiden verleiht dem Südschwarzwald sein besonderes Landschaftsbild und ist Lebensraum für viele schützenswerte Pflanzen und Tiere. Außerdem birgt es wichtige ökologische, ökonomische und soziale Aspekte in sich ([BROSSETTE, 2021](#)). "Hierbei sind die Allmendweiden, (historisch) gemeinschaftlich genutzte Weideflächen, welche sich häufig in Ungunstlagen befinden, ein ökologisches und kulturelles Kernelement des Gebiets. Eine Aufgabe des Biosphärengebiets Schwarzwald ist der nachhaltige Erhalt dieser Flächen und deren charakteristischen Gegebenheiten." ([BROSSETTE, 2020](#))

Wie in anderen landwirtschaftlichen Gebieten mit schwierigen und weniger ertragreichen Bewirtschaftungsmöglichkeiten und herausfordernden Lagen, drohen Betriebsaufgaben durch Strukturwandel, Abwanderung, stetig wachsende Bürokratie, Modernisierungszwang, nicht kostendeckende Erzeugerpreise und so weiter. Diese Gegebenheiten stellen eine große Herausforderung für den Erhalt dieser wertvollen Flächen dar.

Gleichzeitig stellt das Gebiet aber auch einen attraktiven Erholungs- und Identifikationsraum für Einheimische und Touristen dar, wobei die interessanten und abwechslungsreichen extensiven Weiden eine große Rolle spielen.

Seit 2019 beschäftigt sich das Projekt Allmende 2.0 mit der Frage wie, unter welchen Bedingungen und mit welchen Konzepten die Allmendweiden erhalten werden können. Ein Teil dieser Fragen betrifft die landwirtschaftliche Förderpolitik. Diese ist oft nicht den regionalen Verhältnissen und Bedürfnissen angepasst und benachteiligt durch starre Förderkulissen mit sehr strengen Auflagen und einer komplizierten Antragstellung überproportional besonders kleine Betriebe, die oft nur im Nebenerwerb geführt werden.

Da Weidfelder vollständig beweidet werden, bestehen sie (gerade deswegen) aus einem Mosaik aus Grünland, Heiden, Zwergsträuchern, Borstgrasrasen und verschiedenen Sukzessionsstadien. Diese Flächen werden durch Vor-Ort-Kontrollen seitens der Landwirtschaft-Verwaltung streng kontrolliert. Der Grünlandanteil liegt nämlich oft unter 50 % und der Nicht-Grünlandanteil muss - als einzelne Teilfläche - aus der förderfähigen landwirtschaftlichen Bruttofläche herausgemessen werden ([MLR BW, 2021](#)). Das bedeutet in Folge einen anteiligen Abzug bei den landwirtschaftlichen Direktzahlungen der EU-Förderung. Diese Direktzahlungen machen aber oft rund 2/3 der betrieblichen Umsätze aus ([BROSSETTE, 2021](#)).

Kurioserweise besteht der Nicht-Grünlandanteil der extensiv bewirtschafteten Flächen aber oft aus naturschutzfachlich interessanten Elementen - oft „Trockene Heiden“ (LRT 4030) - die dann aus der landwirtschaftlichen EU-Förderung herausfallen. Für den Naturschutz stellen diese Flächen aber oft wertvolle und streng zu schützende FFH-Lebensraumtypen dar. Diese Nicht-Bruttoflächenanteile können ggf. über die Landschaftspflegeberichtlinie (LPR) vergütet werden, allerdings nur erheblich geringer als durch die landwirtschaftliche Förderung. Dies führt dann zu empfindlichen Einbußen bei den oft ohnehin nur geringen Umsätzen der betroffenen Landwirte.

Will ein Landwirt solche Flächen nun intensiver bewirtschaften, um sie als Bruttofläche landwirtschaftlich gefördert zu bekommen und um sein notwendiges Einkommen zu erwirtschaften, müsste er zwangsläufig gegen FFH-Vorschriften verstoßen. „Der Landwirt kann es gar nicht richtig machen“, stellt der zuständige Dezernent des Landkreises Lörrach Michael Kauffmann in einem Artikel fest. Er fährt fort, dass das Thema Offenhaltung für den Südschwarzwald systemrelevant sei und passgenaue Lösungsansätze brauche, die verwaltungsmäßig zu leisten sind und Akzeptanz bei den Bewirtschaftern finden. Zudem seien die bisher notwendigen Vor-Ort-Kontrollen mit einem unglaublichem Verwaltungsaufwand verbunden und daher sehr teuer. ([BOSSERT, 2017](#))

Definition: Dauergrünland umfasst Flächen, die durch Einsaat oder auf natürliche Weise (Selbstaussaat) zum Anbau von "Gras oder anderer Grünfütterpflanzen" (GoG) genutzt werden und mindestens fünf Jahre lang nicht in Fruchtfolge bewirtschaftet werden. ([MLR BW, 2021](#))

Exkurs landwirtschaftliche Flächenkontrolle

Wenn aus den amtlichen Luftbildern mit 20 cm Bodenauflösung relevante Flächen-Elemente am PC nicht genau genug definiert werden können, wird eine Vor-Ort-Flächenkontrolle angeordnet. Dazu geht meist ein 2-Mann-Team der landwirtschaftlichen Vermessung ins Gelände, um bei Bedarf die Nicht-Grünland-Teilgebiete Dezimeter-genau mit einem GPS-System herauszumessen. Zusätzlich müssen evtl. auch noch ein Vertreter der landwirtschaftlichen Zahlstelle und ein Naturschutzvertreter die Fläche besichtigen. Die häufigen Steillagen der Flächen im Süd-Schwarzwald machen solche Kontrolltätigkeiten aber sehr mühsam, zeitaufwendig und für die Vermesser auch nicht ungefährlich.



Abb. 2: Flächenkontrolle vor Ort mit 2 Leuten ([European Court of Auditors, 2020, S. 9](#))

Eine Umfrage des Europäischen Rechnungshofes zeigte, dass in Dänemark die Kontrolleure der Zahlstellen schon oft Drohnen für schwer zugängliche Gebiete nutzen. So können sie das Gesundheits- und Sicherheitsrisiko bei den Kontrollen senken und den Zeitaufwand für die Kontrollen verringern. Bisher haben europaweit erst 8 von 59 Zahlstellen Drohnen eingesetzt. Die anderen Zahlstellen geben eine begrenzte Flugzeit und regulatorische Beschränkungen als häufigste Gründe dafür an, dass sie Drohnen nicht umfassender einsetzen ([EUROPEAN COURT OF AUDITORS, 2020, S. 39](#)). Die Flugzeitbegrenzung z.B. kann aber durch den Einsatz von Flächendrohnen effektiv erhöht werden, wie ein Testprojekt der bayerischen Landwirtschaftsverwaltung gezeigt hat (Scharvogel mdl., 2022).

Die genannte Umfrage des Europäischen Rechnungshofes steht in dem Sonderbericht zur 'Nutzung neuer Bildgebungstechnologien zur Überwachung der Gemeinsamen Agrarpolitik: Fortschritte insgesamt kontinuierlich, bei der Klima- und Umweltüberwachung jedoch langsamer'. Im Bericht wurden Daten der Copernicus Sentinel-Satelliten, Drohnenaufnahmen und Bilder mit Geotagging analysiert. Denn eigentlich können die Zahlstellen schon seit 2018 statt der traditionellen Kontrollen durch Feldbegehungen (Vor-Ort-Kontrollen) Daten der Sentinel-Satelliten nutzen. Im Jahr 2019 nutzten 15 von 66 Zahlstellen die Sentinel-Daten, um Beihilfeanträge für einige Regelungen und Gruppen von Begünstigten zu überprüfen ("Kontrollen durch Monitoring"). Die Prüfung des Rechnungshofes ergab, dass viele Zahlstellen Hindernisse für eine breitere Nutzung der neuen Technologien sehen und sie deswegen bislang nicht einsetzen.

In Deutschland wird ab 2023 ein flächendeckendes satellitengestütztes Flächenmonitoring durch die Zahlstellen angestrebt. Dafür sollen die Satellitendaten automatisiert verarbeitet und zur Erstellung von Zeitreihen über die gesamte Anbausaison hinweg verwendet werden. Das Verfahren ermöglicht, Kulturen zu identifizieren und landwirtschaftliche Verfahren auf einzelnen Parzellen - wie Bodenbearbeitung, Ernten oder Mähen - kontinuierlich zu überwachen. Mit den kurzen Aufnahmeintervallen der gleichen Flächen (alle 5 Tage) der

modernen Sentinel-Daten besteht die Möglichkeit, Landwirte nicht mehr nur stichprobenartig zu kontrollieren, sondern alle Beihilfeempfänger permanent zu überwachen ([EUROPEAN COURT OF AUDITORS, 2020, S. 14](#)). So sollen die bekannten Vor-Ort-Kontrollen weitestgehend ersetzt werden ([TBV ERFURT, 2022](#)).

Der Rechnungshof empfahl der Kommission weiterhin, den Mitgliedstaaten Anreize zu bieten, damit sie Kontrollen durch Monitoring als zentrales Kontrollsystem in der GAP nach 2020 einsetzen. Zudem empfahl er der Kommission, neue Technologien besser für das Monitoring von Umwelt- und Klimaanforderungen zu nutzen ([EUROPEAN COURT OF AUDITORS, 2020, S. 5](#)).

Nach Angaben der Gemeinsamen Forschungsstelle (JRC) der Europäischen Kommission werden EU-weit bis dato durchschnittlich 80 % der Vor-Ort-Kontrollen mittels Fernerkundung durchgeführt. Wenn zukünftig die Zahlstelle anhand der Satelliten-Bilder zu keinen plausiblen Schlussfolgerungen gelangt, soll dann nur noch ein Kontrolleur eine "schnelle Feldbegehung" auf den betreffenden landwirtschaftlichen Parzellen durchführen. Also sind die Fernerkundung-basierten Kontrollen zwar kostengünstiger, erfordern aber doch immer noch ein menschliches Eingreifen - u.a. auch durch spezialisierte Bildinterpreten, die für die Satellitenbilder eine computergestützte Bildauswertung vornehmen.

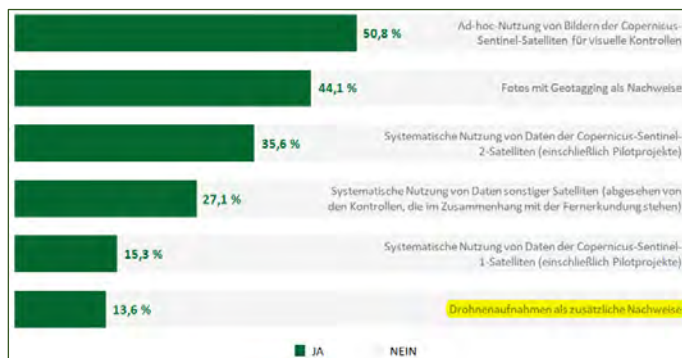


Abb. 3: Nutzung von Bildgebungstechnologien durch Zahlstellen ([EUROPEAN COURT OF AUDITORS, 2020](#)) - aus einer Umfrage des Europäischen Rechnungshofes

Das System zur Identifizierung landwirtschaftlicher Parzellen (LPIS) bildet den Grundpfeiler des integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) der Zahlstellen. Das LPIS-Bildmaterial wird nur sehr selten aktualisiert und es kann durch die Zahlstellen nicht verwendet werden, um die aktuellen landwirtschaftlichen Tätigkeiten, zu überprüfen. Deshalb mussten die Zahlstellen bisher zur Überprüfung der Einhaltung der Förderregeln Stichprobekontrollen von etwa 5 % der Landwirte vor Ort durchführen (siehe [ABB. 2](#)).

Da die Flächen der Parzellen bzw. Schläge in der niedrigen räumlichen Auflösung von 10 m nicht bemessen werden können, müssen zudem die genauen Flächengrößen im LPIS flächenscharf vorliegen. Die LPIS-Orthofotos haben eine höhere räumliche Auflösung als die Satelliten, meist 25 - 50 cm pro Pixel, aber eine niedrige zeitliche Auflösung von 2 bis 3 Jahren.

Drohneinsätze könnten also v.a. in schwer zugänglichen und nur aufwändig terrestrisch zu kontrollierenden Lagen sinnvoll eingesetzt werden, um die unklaren Gebiete flächenscharf zu überprüfen. Dabei könnten gleichzeitig die Flächen bei Bedarf zusätzlich hochgenau vermessen werden.

5.4.2 Fragestellungen

Schon im Vorfeld des Projektes wurde mit dem Leiter des Fachbereichs Naturschutz des Biosphärengebietes Südschwarzwald, Kontakt aufgenommen. Aufgrund seines Interesses an unserem Projekt, wurde mit ihm die Brutto-Netto-Problematik für das Biosphärengebiet als Thema konkretisiert. Er hatte zudem bereits in dem Brutto-Netto- und Drohnen-Kontext die oben erwähnten studentischen Arbeiten für die Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (HFR) initiiert und betreut.

So wurden mit ihm und dem Projektleiter des Projektes Allmende 2.0 die nachfolgenden Fragestellungen abgestimmt. Ziel war es eine Methodik zu entwickeln, um mit Drohnen eine einfache Kontrolle der Sukzession bzw. der einwachsenden Elemente auf entsprechenden Flächen durchzuführen - sei es im Rahmen der landwirtschaftlichen Flächenkontrolle oder, besonders interessant für die Naturschutzverantwortlichen, zur Kontrolle und Steuerung der Landschaftspflegeverträge mit den Landwirten.

- Inwieweit können die überwachsenen bzw. nicht förderfähigen Flächenanteile mit der Hilfe von Drohnen abgeschätzt und die Festlegung der Förderfähigkeit unterstützt werden?
- Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich, die einzelnen Vegetationseinheiten/-elemente zu differenzieren und den Offen-/Grünlandanteil abzuschätzen?
- Kann das Katzenpfötchen (*Antennaria dioica*) als eine Zielart aus der Luft detektiert und kartiert werden?
- Wie oft muss in der Vegetationsperiode geflogen werden?
- Sind die erflogenen Höhenmodelle genau genug, um qualifizierte Differenzierungen von Wuchshöhen zu ermöglichen?
- Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?
- Welche Methoden sind für die Flugplanung günstig?
- Welche Flugbedingungen und -methodik sind zu beachten?
- Ist evtl. eine Unterstützung der Besucherlenkung durch Drohnen möglich?

5.4.3 Methodik

Fluggebiete

Als Gebiete für die Befliegungen wurden Flächen östlich von Schönau rund um Tunau bestimmt, die alle in Natura 2000 Schutzgebietskulissen liegen. Die Befliegungen fanden immer in Abstimmung mit dem RP Freiburg oder sogar im Beisein von Hr. Huber statt.

Tab. 1: Beschreibung der Schutzgebiete

Art des Schutzgebietes	FFH-Gebiet
Schutzgebiets-Nr.	8213311
Name	Gletscherkessel Präg und Weidfelder im Oberen Wiesental
Gemeinden	Fröhnd, Schönau im Schwarzwald, Todtnau, Tunau, Utzenfeld, Wembach, Zell im Wiesental, Hüg-Ehrsberg
Fläche (ha)	4.776,1
Naturraum	Hochschwarzwald
Lage Befliegungen	Windfeld 47° 46' 14 " N, 7° 54' 0 Hörnle 47° 47' 14 " N, 7° 54' 36" O Katzenstein 47° 46' 54 " N, 7° 55' 34" O
Kurzbeschreibung	Extensiv genutzte Weidfeldlandschaft des Südschwarzwaldes mit naturnahen Wäldern und Vorkommen vieler seltener und gefährdeter Tier- und Pflanzenarten, bedeutsames Dokument einzigartiger eiszeitlicher Vorgänge.

Art des Schutzgebietes	SPA-Gebiet
Schutzgebiets-Nr.	8114441
Name	Südschwarzwald
Gemeinden	Fröhnd, Schönau im Schwarzwald, Todtnau, Tunau, Utzenfeld, Wembach, Zell im Wiesental, Hüg-Ehrsberg
Fläche (ha)	33.515,9
Naturraum	Hochschwarzwald
Lage	Windfeld 47° 46' 14 " N, 7° 54' 0, Hörnle 47° 47' 14 " N, 7° 54' 36" O, Katzenstein 47° 46' 54 " N, 7° 55' 34" O
Kurzbeschreibung	Naturraum Hochschwarzwald zwischen Höllental und Hochrhein mit Schauinsland, Feldberg, Belchen, Gletscherkessel Präg, Oberer Hotzenwald, Wehratal, Albtal, Schwarza-/Schlücht-Tal, ca. 75 % des Gebiets bewaldet, d. Rest überwiegend Grünland (Allmendweiden!)

Bei dem Haupt-Untersuchungsgebiet "Windfeld" handelt es sich um eine etwa 4 ha große Allmendweide an einem steilen Nordhang im Wiesental, bei Schönau im Schwarzwald. Die Fläche weist eine Höhenspanne von 590 bis 680 mNN auf, ist also relativ steil. Sie ist Teil eines Offenlandbiotops und gehört zur Pflegezone des Biosphärengebiets "Schwarzwald". Sie ist Teil des FFH-Gebiets "Gletscherkessel Präg und Weidfelder im Oberen Wiesental" sowie des

Vogelschutzgebietes "Südschwarzwald" und gehört damit zu einem großen Natura 2000-Gebiet von überregionaler Bedeutung.

Der wichtigste Lebensraumtyp (LRT) dieses FFH-Gebiets ist der LRT 'Artenreiche Borstgrasrasen'. Auf ihm liegt das Hauptaugenmerk für das Monitoring und fördernde Pflegemaßnahmen. Er beherbergt außerdem viele seltene Moos- und Pflanzenarten wie z.B. das Bergwohlverleih (*Arnica montana*) und ist zudem Lebensraum für eine große Anzahl an Tagfalter- und Heuschreckenarten. Durch seinen Strukturreichtum (Lesesteinhäufen, Felsen, allein stehende Bäume) und die enge Verzahnung mit anderen Lebensraumtypen (Zwergstrauchheiden, Waldränder) ist das Windfeld besonders wertvoll für viele Vogelarten ([RP FREIBURG, 2014](#)).

Die typischen Lebensraumtypen sind auf den historisch begründeten Allmendweiden durch die traditionelle extensive Beweidung mit Rindern entstanden. Auch heute noch werden die Flächen u.a. mit gefährdeten alten Nutztierassen wie dem "Hinterwälder Rind" und dem "Vorderwälder Rind", aber auch Ziegen und Schafen offengehalten ([BIOSPHEREGEBIET SCHWARZWALD, 2016](#)).

Die andere beflogene Fläche, der 'Katzenstein' südöstlich von Tunau, ist ebenfalls durch die gleiche Nutzungsart und den gleichen Lebensraumtyp 'Artenreiche Borstgrasrasen' [6230*] geprägt.

Die Ziegenweide bei Happbach, die zuerst befliegen wurde, liegt in der FFH-Kulisse ohne nähere Angaben.

Befliegungen

Die Befliegungen wurden, außer bei der Ziegenweide, alle als Raster-Missionsflüge geplant und zu verschiedenen Jahreszeiten wiederholt. Da alle Flächen recht steil waren, wurde die in [Map Pilot](#) mögliche *Terrain Awareness* Option gewählt - s. [3.1.2 Befliegungs-Methodik](#). Diese ermöglicht das Herunterladen von frei verfügbaren Satelliten-Höhendaten als Grundlage für eine höhenangepasste Befliegung. Dabei hält die Drohne annähernd die gleiche Höhe über Grund und nicht über dem Startplatz!

Die Einzelfotos haben dann alle die gleiche relative Höhe über Grund und das Orthofoto somit eine homogene Auflösung. Ansonsten wären Auflösungsprünge, aufgrund von 50 m und mehr Höhenunterschied innerhalb der gleichen Fläche, zu verzeichnen und es käme zu Verzerrungen im Höhenmodell ([MAPWARE, 2022](#)) ([PANDIKOW, 2020](#)).

Übersichtskarte der Befliegungen

In Abb. 4 sind zur Orientierung die drei Fluggebiete im Südschwarzwald markiert.



Abb. 4: Übersichtskarte der Befliegungen (Döring, 2021)

5.4.4 Ergebnisse

Alle Fotos und deren Derivate sind von (Döring, 2021), weswegen die Quelle nicht immer extra angegeben wird.

Ziegenweide Happach/Holderrütte - manueller Testflug

Die ersten Testflüge fanden mit dem Leiter des Fachbereichs Naturschutz am 31.10.2020 statt. Bei Happach/Holderrütte wurden zur Detektion des Katzenpfötchens (*Antennaria dioica* - Abb. 5) - einer besonderen Zielart in diesem Gebiet - manuelle Flüge auf einer Ziegenweide mit bekannten Vorkommen durchgeführt. Das Katzenpfötchen war damals jedoch selbst terrestrisch kaum zu finden und macht generell die Neu-Kartierung mit Drohnen unrealistisch. Das konnte ebenfalls anhand anderer ähnlich kleiner Arten in den Teilprojekten 'Hirschacker' und 'Taubergießen' gezeigt werden. Es wurden deswegen keine weiteren Detektions-Flüge 'auf Verdacht' durchgeführt.

Wie in dem Bericht zum Teilprojekt 'Hirschacker' ausgeführt, könnten manuelle Drohnenflüge auf niedriger Höhe zur gezielten Kontrolle bekannter Bestände solch kleiner Arten hilfreich sein. Damit müsste das jeweilige (Schutz-)Gebiet nicht betreten werden und die Bestände könnten mit Hilfe niedrig erflogener Einzelfotos auf höher erflogenen (= weniger hoch aufgelösten) Orthofotos digitalisiert werden. Die Methodik kann man im Teilbericht 'Offenland Hirschacker' nachlesen.



Abb. 5: Katzenpfötchen (Bernd Haynold 2006)

Antennaria dioica
 Wuchshöhe 5 - 20 cm
 3 - 12 Teilblüten Ø 5 - 8 mm
 rosafarben bis purpurrot



Abb. 6: Orthofoto der Ziegenweide Happbach

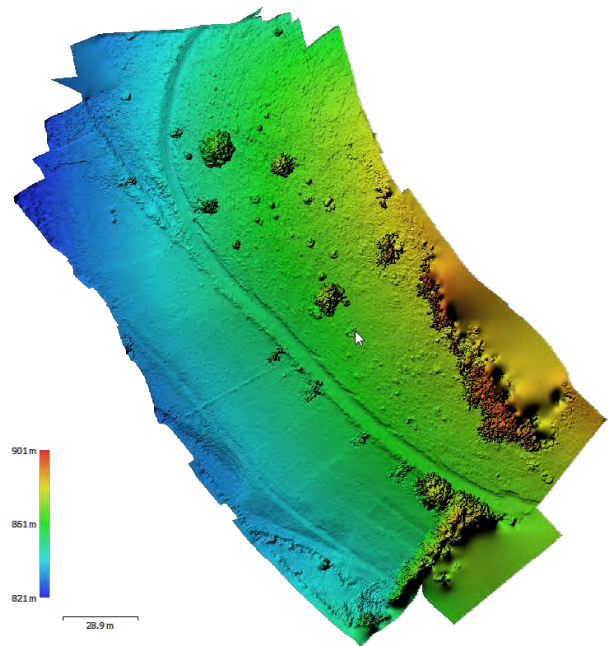


Abb. 7: Orthofoto der Ziegenweide Happbach

Trotz manueller Befliegung der Ziegenweide auf unterschiedlichen Höhen konnten präsentabile Orthofotos (Abb. 6) und Höhenmodelle (DHM) gerechnet werden (Abb. 7).

Auf den Bildern sind v.a. beim Hineinzoomen die Wege, einzelnen Büsche, Stein(haufen) und die Tritts Spuren der Ziegen, sowohl im Orthofoto (Abb. 8), als auch im Höhenmodell (Abb. 9) gut zu sehen.



Abb. 8: Ausschnitt aus Orthofoto - Happbach

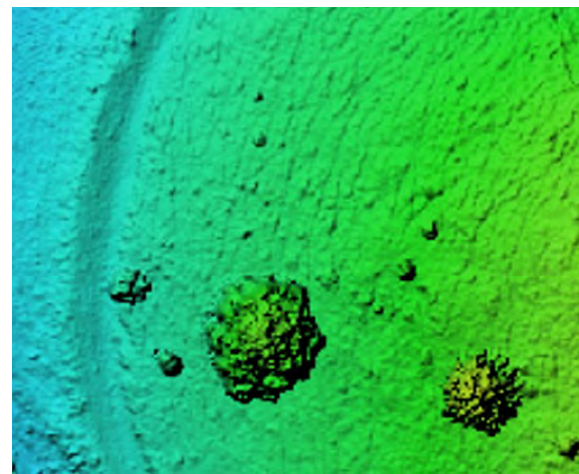


Abb. 9: Ausschnitt aus Höhenmodell - Happbach

Damit können z.B. die Raumnutzung der Ziegen, die Anzahl der Büsche und Bäume, die Verteilung von Steinhäufen als Reptilienhabitate oder ähnliche Strukturen gut digitalisiert und analysiert werden.

Windfeld

In den Bildern unten sieht man gut, dass die Vegetation zu verschiedenen Befliegungszeitpunkten unterschiedliche Aspekte zeigt und dementsprechend eher leichter oder eher schwieriger eindeutig klassifiziert werden kann.

Im November (Abb. 10) waren die deutlichsten Unterschiede zu beobachten - z.B. mit dem großen Adlerfarnfeld (rot umrandet) oder der gelblichen Birkenverjüngung (gelb umrandet). Für diese Fläche war der November mit der Vegetation in der Seneszenz-Phase ein sehr gut geeigneter Befliegungszeitpunkt, was von ([ODDI ET AL., 2021](#)) ebenfalls festgestellt wurde.



Abb. 10: Windfeld am 02.11.2020 (Döring, 2021)



Abb. 11: Windfeld am 24.04.2021 (Döring, 2021)

Im April bzw. Frühjahr (Abb. 11) erscheint die ganze Fläche wenig differenziert in grau-grünlichen Farben und im Spätsommer unten (Abb. 12) überwiegend in Grüntönen.

Das zugehörige feine Höhenmodell (Abb. 13) hilft zusätzlich bei der Differenzierung der Vegetation durch Wuchshöhe.



Abb. 12: Windfeld am 20.08.2021 (Siebold, 2021)

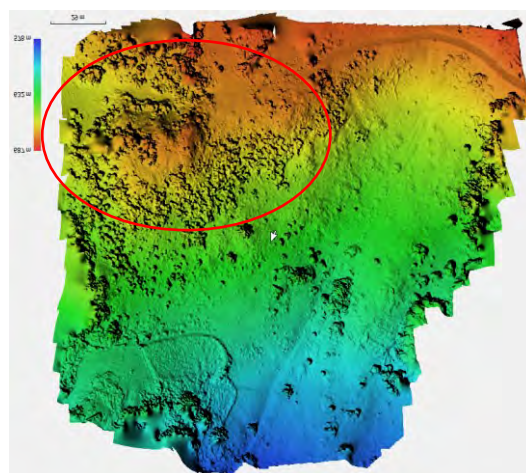


Abb. 13: Höhenmodell des Windfelds (Döring, 2021)

Studentische Arbeit

Im Rahmen eines einwöchigen Seminars untersuchten Studenten im Frühjahr 2021 für ihre Abschlussarbeit "Nutzung von UAV-Bildern für das Umweltmonitoring" (FELIS ET AL., 2021) das in Abbildung 10 gezeigte Orthofoto vom November 2020, das vom DroBio-Projekt Koordinator zur Verfügung gestellt wurde. Sie verwendeten dabei unterschiedliche RGB-Indizes und automatische Klassifikationsmethoden.

Sowohl die überwachten (SC = *supervised classification*), als auch die nicht-überwachten (UC = *unclassified cl.*) Klassifikationsergebnisse lieferten Genauigkeiten zwischen 60 % und 70 %, wobei je nach angewandter Methode und analysierter Vegetationseinheit die Genauigkeits-Unterschiede differierten.

Beide Methoden erwiesen sich bei der Klassifizierung von einigen Vegetationstypen als effektiv, bei anderen war die Klassifizierung unzureichend.

Die SC brachte vor allem bei der Klassifizierung von Zwergsträuchern, Nadelbäumen und Adlerfarn plausible Ergebnisse.

Mit der UC konnten v.a. bei der Untersuchung von Laubbäumen, Trittspfaden von Weidetieren, dunklen Zwergsträuchern oder Adlerfarnflächen - v.a. am Ende der Vegetationsperiode - plausible Ergebnisse erzielt werden.

Auch die Wahl der Vegetations-Klassen hat einen Einfluss auf die Genauigkeit der Ergebnisse.

Durch die Klassifikationsunterschiede variierten natürlich auch die klassenspezifischen Flächenanteile (Abb. 14), was eine der Schwierigkeiten der automatischen Bildauswertung deutlich macht.

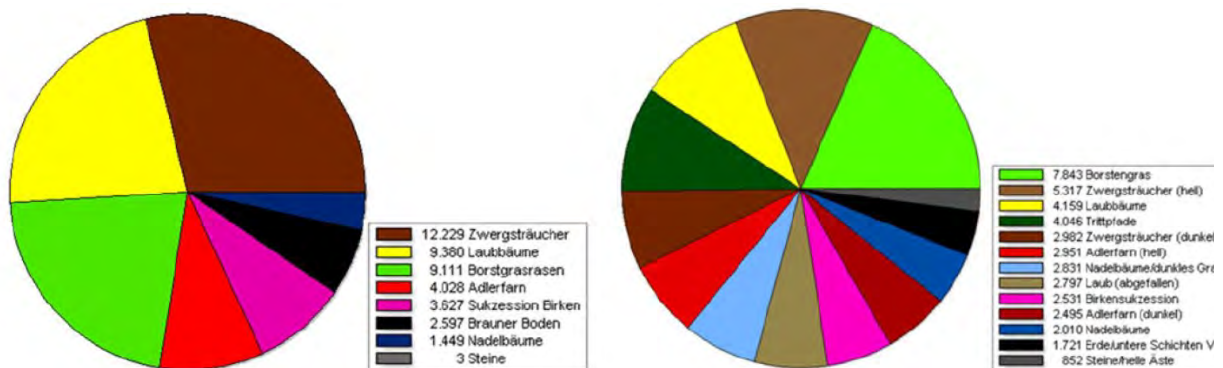


Abb. 14: Unterschiede in den Flächenanteilen verschiedener Vegetationseinheiten bei unterschiedlichen Klassifikationsmethoden (FELIS ET AL., 2021)

Für bestimmte Vegetations-Merkmale und für einen ersten Eindruck vom Gebiet, bot der Einsatz von Vegetationsindizes (VI) aber doch einige Möglichkeiten. Allerdings musste für bestimmte Vegetationstypen oder spezifische Geländemerkmale jeweils der geeignete Index gewählt werden, was jedoch spezifische Kenntnisse oder viel Ausprobieren voraussetzt.

Nach Aussage der Autoren könnten zusätzliche Spektren - z.B. das Nahinfrarot-Band - ggf. die Genauigkeit erhöhen. Das würde aber gleichzeitig sowohl die Datenmenge als auch die Anforderungen an das Equipment, die Anwender und die Auswertungsmethoden erhöhen.

Fazit der Studenten

"Im Untersuchungsgebiet könnte zum Beispiel die Ausbreitung des Adlerfarns überwacht, die verbleibende Borstgrasrasenfläche dokumentiert oder die Effektivität von Maßnahmen zur Bekämpfung der Sukzession überprüft werden.

Hierfür müsste jedoch zunächst die Methodik weiterentwickelt und ein Stück weit standardisiert werden. Zudem sollten zu verschiedenen Jahreszeiten Aufnahmen gemacht werden, um festzustellen, zu welchem Zeitpunkt welche Vegetationstypen am besten klassifiziert werden können. Die Verwendung von Kameras mit NIR-Spektrum könnte die Genauigkeit der Klassifizierungen erhöhen.

Trotzdem sollten die Befliegungen auch mit Begehungen vor Ort kombiniert werden, um die Vorgehensweise zu validieren, zu ergänzen und weiterzuentwickeln." (FELIS ET AL., 2021)

Katzenstein

Auch in den Aufnahmen vom Katzenstein ist der Unterschied zwischen Herbst- und Sommeraspekt der Fläche gut zu sehen.

Der Herbstaspekt macht die unterschiedlichen Arten auf der Fläche besser differenzierbar. Gut zusehen sind die einzelnen Bäume und die an etlichen Stellen flächig wachsenden braunen Schlehen-Büsche (*Prunus spinosa* - Abb. 15), die einerseits als überwachsene und verdämmende, andererseits aber auch als naturschutzfachlich interessante Elemente (z.B. Habitatstrukturgeber für Vogelarten), gemanagt werden müssen.



Abb. 15: Katzenstein - Orthofoto (Döring, 2021)

Um extensive Weiden effektiv offenzuhalten, könnten in den Pflegeverträgen maximale und minimale Flächenanteile der relevanten Elemente - ähnlich wie hier beschrieben ([MLR BW 2021](#)) - festgelegt werden, die durch die Beweidung nicht unter-, aber auch nicht überschritten werden sollten. Diese Elemente sind einfach zu digitalisieren und können so objektiv erfasst und quantifiziert werden (s. [Tab. 2](#)).

Im grünen Zustand hingegen sind die abzugrenzenden Schlehenflächen aber nicht gut von den Bäumen zu differenzieren. Da der Katzenstein nicht im Sommeraspekt befliegen wurde, wird hier zum Vergleich ein Google Earth Bild gezeigt, in dem aber auch die einzelnen Bäume und Sträucher gut zu sehen sind (Abb. 16).



Abb. 16: Sommer-Aspekt der Katzensteinfläche (Google Earth, 2022)

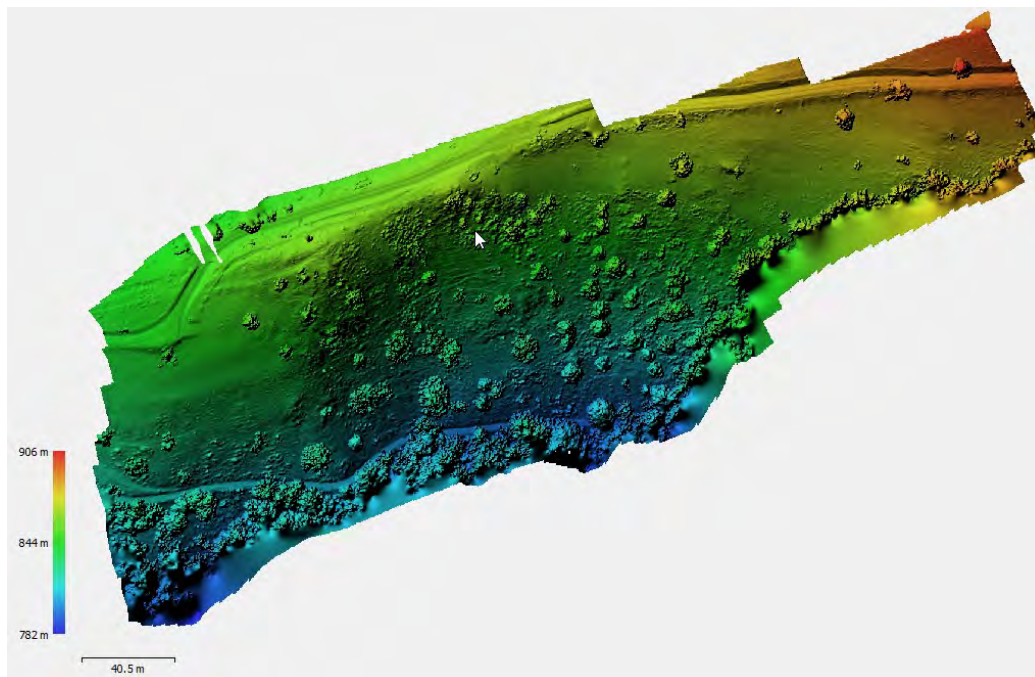


Abb. 17: Katzenstein - Höhenmodell (Döring, 2021)

Das detaillierte Höhenmodell (Abb. 17) kann zusätzlich helfen, Vegetationsklassen anhand der Wuchshöhe zu differenzieren ([NEUMANN ET AL., 2020](#)).

Um die Brauchbarkeit von [MapsMadeEasy](#) (MME), die in der Methodik im Hauptbericht beschriebene kostengünstige Online-Photogrammetrie-Lösung zur Orthofoto-Erstellung, zu zeigen, wurde ein Subset der Bilder erstellt und prozessiert (Abb. 18). Auf dem rechten Bild

sieht man hineingezoomt gut die hohe Auflösung des MME-Orthofotos, bei der fast jedes Steinchen gezählt werden kann (Abb. 19).

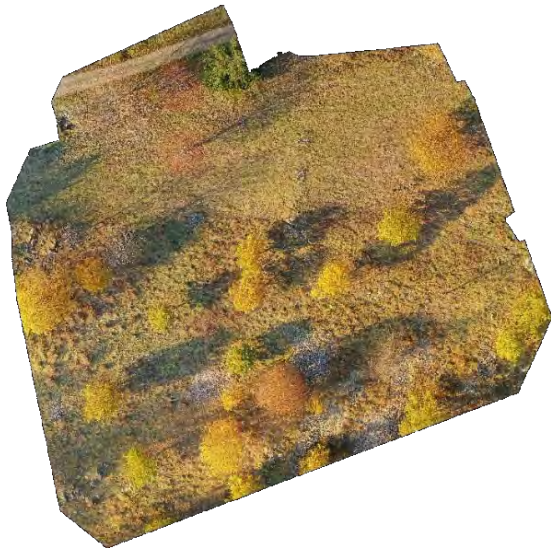


Abb. 18: Katzenstein - Orthofoto aus MME



Abb. 19: Katzenstein - Ausschnitt zur Verdeutlichung der Auflösung aus dem MME-Orthofoto

Mit diesem Orthofoto vom Katzenstein wurde exemplarisch eine einfache Auswertung durch Digitalisierung der Verbuschung und anderer Landschaftselemente durchgeführt. In QGIS wurde dazu das Orthofoto importiert und mit der Erweiterung *Import Photos* (s. Methodik im Teilbericht 'Offenland Hirschacker') wurden zusätzlich Einzelfotos zur detaillierteren Abgrenzung der Elemente hinzugeladen (Abb. 20).

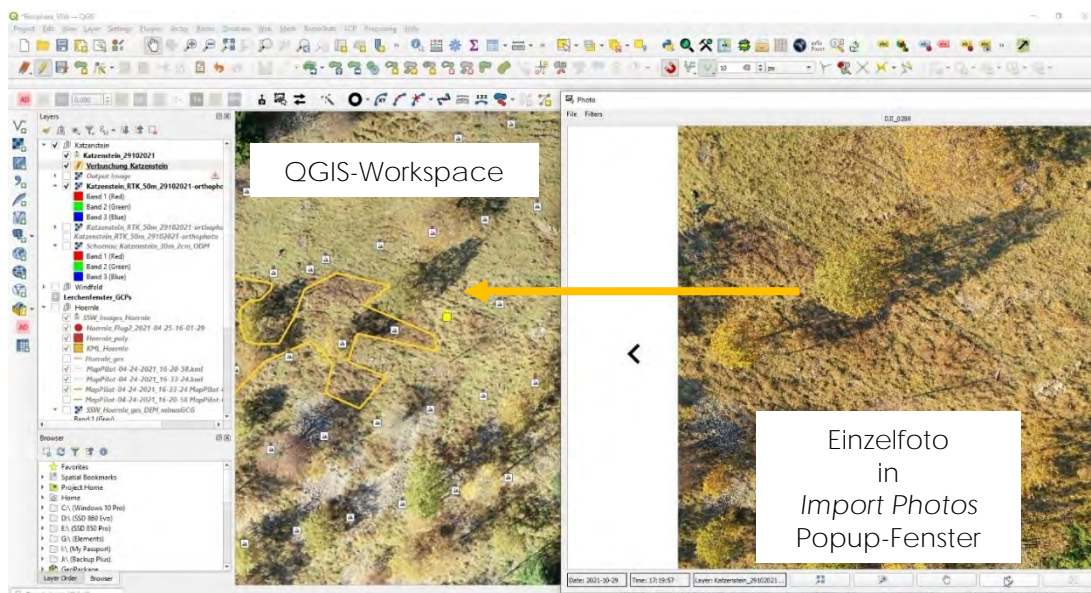


Abb. 20: Katzenstein - Digitalisierung mit *Import Photos* (Döring, 2022)

Nach Abgrenzung und Digitalisierung der Elemente auf der Fläche kann man deren Anzahl und Flächenanteile bestimmen (Abb. 21).

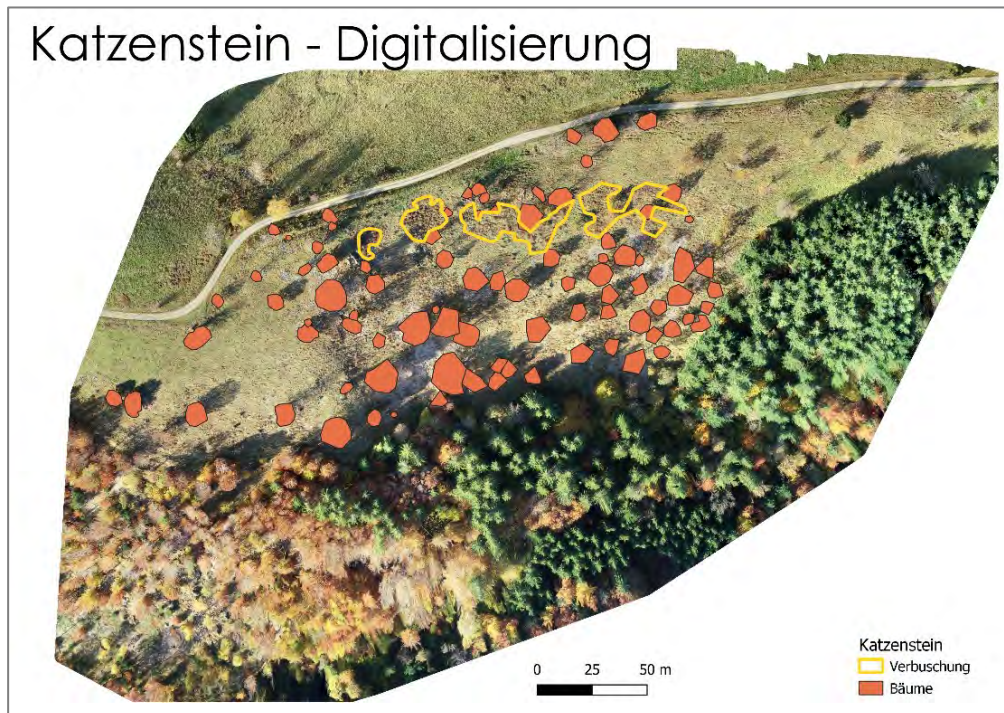


Abb. 21: Katzenstein - Digitalisierung der Verbuschung (Döring, 2022)

Eine automatisierte Auswertung würde in dem verwendeten Orthofoto hingegen nur partiell funktionieren, da viele Schatten in dem Bild vorhanden sind. Diese kann das menschliche Auge zwar gut als solche erkennen, jedoch für eine Klassifikations-Software sind Schatten nur ein dunkler Farbwert, der mit gleichen Farbwerten anderer Objekte in eine Klasse gesteckt und so falsch klassifiziert wird. Um dennoch brauchbare Ergebnisse zu bekommen, müsste man wohl eine große Menge an Algorithmen zusammen mit Höhenmodell-Analysen austüfteln - aber selbst dann mit zweifelhaftem Ergebnis.

Natürlich könnte man aber auch erst einmal zu einem Zeitpunkt mit besseren Lichtbedingungen ohne Wolken fliegen und dann eine automatische Bild-Klassifizierung versuchen!

Mit viel weniger Zeitaufwand kann man das Ganze aber, wie gezeigt, auch rein visuell mit der MI (menschlichen Intelligenz), die sehr wohl Schatten abstrahieren kann, auswerten und manuell digitalisieren. Gerade bei so kleinen und übersichtlichen Flächen ist das gut möglich und wird so ähnlich auch bisher bei der landwirtschaftlichen fernerkundlichen Flächen-Kontrolle gemacht - nur dort mit weniger hoch aufgelösten und oft nicht aktuellen amtlichen Luftbildern.

5.4.5 Fazit Bruttoflächen-Monitoring

Folgende Zusammenstellung der zur Bewertung der Förderfähigkeit relevanten Kriterien aus dem bereits zitierten Handbuch "Extensives Grünland - Beihilfefähigkeit und Abgrenzung der Bruttofläche" ([MLR BW, 2021](#)) zeigt, dass Drohnen sehr gut für die gedachten Aufgaben einsetzbar sind und oft einfacher bessere Ergebnisse liefern können. Den Kriterien wurden die potenziellen Möglichkeiten für einen Drohneneinsatz zu deren Kontrolle zugeordnet.

Tab. 2: Bewertung relevanter Objekte auf Bruttoflächen hinsichtlich eines Drohnenmonitorings (Döring, 2022)

Bruttofläche - relevante Objekte	Bemerkungen
<p>GRAS ODER ANDERE GRÜNFUTTERPFLANZEN (GoG)</p> <p>Gemeint sind alle Grünpflanzen, die in natürlichem Grünland anzutreffen oder Teil von Saatgutmischungen für Weideland / Wiesen sind.</p> <p>Falls auf Flächen der Anteil von Gras oder anderen Grünfutterpflanzen in der Draufsicht unter 50 % sinkt, sind die Voraussetzungen zur Anerkennung als Bruttofläche nicht mehr erfüllt.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diese Draufsicht zur Abschätzung ist mit der Drohne besser und genauer möglich als aus den weniger hoch aufgelösten amtlichen und oft nicht aktuellen Luftbildern.
<p>BEGRENZT TOLERIERBARE GRÜNLANDPFLANZEN</p> <p>Wenn diese Pflanzen alleine oder in Mischung als "Dominanzbestand" > 50 % der Fläche einnehmen, ist die Fläche nicht mehr beihilfefähig. Eine Beweidung zwischen den Pflanzen muss möglich sein.</p> <p>Schilf (markant, groß), Kanadische Goldrute (groß, markant + gelb), Große Brennnessel (markant), Acker-Kratzdisteln (groß und stachelig), Großblättriger und Krauser Ampfer (markant), Große Klette (große Blätter + markante Blüten/Früchte), Kleinseggen und Binsen (oft dunkleres Grün), Besenginster (markant + gelb, zusätzlich kleines Landschaftselement), Adlerfarn (markant)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fast alle der genannten Pflanzen sind gut mit der Drohne zu identifizieren, da sie recht groß und/oder einige ihrer Merkmale wie Wuchsform oder Farbe markant ausgeprägt sind. • Doch ist immer ein Abgleich (Ground Truthing) am Boden vor oder nach der Befliegung nötig. • Die flächige Ausdehnung der Pflanzen kann über ein Orthofoto in einem GIS leicht digitalisiert und der Flächenanteil gemessen werden.
<p>NICHT TOLERIERBARE PFLANZEN</p> <p>bis zu einer Gesamtausdehnung von maximal 100 m² tolerierbar - Bultenbildende Großseggen (markant, groß), Brombeere (markante Ranken), Rainfarn + gelb), Staudenknöterich (sehr groß, markant)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • s. oben
<p>BEZUGSEBENE (GESAMT- / TEILFLÄCHE)</p> <p>Teilflächen mit Unterschieden im Bewuchs und voneinander abweichendem Charakter müssen in einem beantragten Schlag abgegrenzt und als getrennte Schläge ausgewiesen werden.</p> <p>Die Bewertung des Anteils an Gras oder anderen Grünfutterpflanzen muss für jeden Teilbereich gesondert erfolgen. Die Anerkennung als Bruttofläche nicht mehr möglich, wenn der Anteil von Gras oder anderen Grünfutterpflanzen in der Draufsicht unter 50 % sinkt - das gilt auch für die Bewertung von Flächen mit Sukzessionsanteilen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Abgrenzung und Abmessung von Flächen mit unterschiedlichem und visuell auffälligem Charakter ist in einem GIS anhand eines aktuellen Drohnen-Orthofoto normalerweise sehr gut möglich.  <p>Abb. 22: Aufteilung einer Fläche in homogene Teilbereiche bzw. getrennte Teilschläge (MLR BW, 2021)</p>
<p>BEWERTUNG (SCHÄTZUNG) DES DECKUNGSGRADES bzw. die Schätzung des Anteils der relevanten Pflanzen (Büsche/Bäume, etc.) an der Fläche</p> <p>BESTANDBSBILDENDE SUKZESSION (FLÄCHIGE VERBÜSCHUNG)</p> <p>PUNKTUELLE SUKZESSION (EINZELSTRAUCH)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gefordert ist eine „Draufsicht“ zur Zeit der vollen Blattentfaltung, die natürlich v.a. aus aktuellen Drohnen-Orthofotos bestens möglich ist. • Die amtlichen Luftbilder werden nur alle 2 Jahre erneuert und sind oft nicht zum erforderlichen Zeitpunkt aufgenommen worden. • Durch Digitalisierung der Pflanzen ist nicht nur eine Schätzung, sondern sogar die Zählung von Individuen und Messung der Flächenanteile möglich.

<p>OBSTBÄUME - KEINE OBSTBÄUME Bis zu 330 Bäumen je Hektar werden zur Einstufung als Grünland/Obstwiese toleriert.</p> <p>Lagerplätze, Viehtrittwege, Viehlagerplätze</p> <p>Wege, Fahrspuren, Straßenbegleitgrün</p> <p>Gräben, Bachläufe</p> <p>Bauliche Anlagen</p> <p>Lagerplätze von Erzeugnissen aus der landwirtschaftlichen Tätigkeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Durch die Digitalisierung der Objekte ist nicht nur eine Schätzung, sondern sogar eine Messung oder Zählung z.B. der Obstbäume möglich. • Die Drohnen-Orthofotos haben bei größtmöglicher Flughöhe immer noch eine Auflösung < 4 cm, womit auch eine Messung von 1 m², als Limit für kleine bauliche Objekte, gut möglich ist.
<p>LANDWIRTSCHAFTLICHE TÄTIGKEIT AUF GRÜNLAND</p>	
<p>Beweidung, Mahd, Mindesttätigkeit</p> <p>Trockene Heiden - Verbuschung</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die Kontrolle mit der Drohne ist genauer als das aus weniger hoch aufgelösten und selten aktuellen amtlichen Luftbildern möglich ist.
<p>CROSS-COMPLIANCE LANDSCHAFTSELEMENTE (CC-LE)</p>	
<p>Hecken/Knicks, Baumreihen, Feldgehölze, Feuchtgebiete, Einzelbäume, Feldraine, Trocken- und Natursteinmauern, Lesesteinwälle, Fels- und Steinriegel, Naturversteinete Fäche, Terrassen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Durch Digitalisierung der Objekte ist nicht nur eine Schätzung, sondern sogar eine Messung oder Zählung (Obstbäume) möglich. • Drohnen-Orthofotos haben bei größtmöglicher Flughöhe immer noch eine Auflösung < 4 cm - somit ist eine Messung auch von kleinen Landschaftselementen gut möglich.
<p>KLEINE LANDSCHAFTSELEMENTE</p>	
<p>Hecken/Knicks < 10 m, Feldgehölze < 50 m², Einzelsträucher, Gräben < 2 m</p>	<ul style="list-style-type: none"> • s. oben

5.4.6 Steillagen Monitoring - Weidfelder Fazit










Tab. 3: Antworten & Empfehlungen Südschwarzwald (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
<p>Inwieweit können die überwachsenen bzw. nicht förderfähigen Flächenanteile mit der Hilfe von Drohnen abgeschätzt und die Festlegung der Förderfähigkeit unterstützt werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Das ist durch die bis zu 10 x höhere Auflösung der Drohnen-Orthofotos viel besser möglich, als durch die amtlichen Orthofotos. • Durch visuelle Analysen - die menschliche Intelligenz (MI) ist noch nicht zu toppen - können hochauflösenden Orthofotos gut ausgewertet werden. Dabei können die Flächen am einfachsten in einem GIS digitalisiert und somit quantitativ erfasst werden. (ODDI ET AL., 2021) • Die automatisierte Analyse ist noch sehr arbeitsintensiv und hängt von vielen Faktoren ab (z.B. Missinterpretation durch Schattenwurf, der nicht trivial zu eliminieren ist). Es muss zudem aufwendig für jede Befliegung mit unterschiedlichen Licht- und Vegetationsverhältnissen ein eigenes Modell zur automatischen Bildklassifizierung erstellt werden (ĆWIAKAŁA ET AL., 2017). Aufgrund der unterschiedlichen Farben in jeder phänologischen Phase, über die eine RGB-Bildanalyse ja läuft, müssen andere Klassifizierungsklassen

	<p>gebildet werden, da einzelne Modelle nur für genau die gleichen Bedingungen angewendet werden können.</p>
<p>Ist es mit Drohnenaufnahmen (Orthoansichten) möglich, die einzelnen Vegetationseinheiten/-elemente zu differenzieren und den Offen-/Grünlandanteil abzuschätzen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, wie man in den Auswertungen und der Literaturrecherche gesehen hat - s. oben. • Bei Nutzung einer RTK-Drohne können auch in den Orthofotos Flächenanteile Zentimeter-genau herausgemessen werden. Diese Genauigkeit übererfüllt dabei die Anforderungen an die landwirtschaftliche Vermessung. Dort wird bei terrestrischen Vermessungen nur Dezimeter-Genauigkeit verlangt (mdl. Aussagen verschiedener Vermesser). • Die Drohnenvermessung ermöglicht v.a. auch eine sicherere Aufnahme. Denn die terrestrischen Aufnahmen in den Steilhängen des Schwarzwaldes bergen etliche Risiken für die Vermesser, sind körperlich herausfordernd und weniger effizient. • Für maximale Effizienz befliegt die (landwirtschaftliche) Kontrollperson am besten selbst mit einer RTK-fähigen Drohne die Flächen und vollzieht anschließend auch das notwendige Ground-Truthing als Kurz-Begang.
<p>Wie oft muss dazu in der Vegetationsperiode geflogen werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Je nachdem, was genau untersucht werden soll und welche Methodik/welcher Untersuchungszeitraum ggf. durch Aufnahmevorschriften vorgegeben ist, reicht einmal im Jahr oder es muss entsprechend mehrmals geflogen werden. • Wie im Bericht der Studierenden oben und auch von (ODDI ET AL., 2021) beschrieben, ist gerade für RGB-Bilder die phänologische Alterungsphase im Herbst, in der die verschiedenen Arten unterschiedliche Farben annehmen, der günstigste Zeitpunkt für eine Klassifikation der Vegetation. • Für die Verifizierung von Artenvorkommen muss natürlich zu deren Blütezeit geflogen werden.
<p>Sind die erflogenen Höhenmodelle genau genug, um qualifizierte Differenzierungen der Wuchshöhen zu ermöglichen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Die relativen Höhenmodelle sind in sich sehr genau und ermöglichen eine Differenzierung der Wuchshöhen im Dezi- bis Zentimeterbereich, wie man in den Bildern unten sieht. Es werden selbst sehr kleine Höhenunterschiede abgebildet - s. oben. • Die absoluten Höhen sind ohne RTK oder geodätische Referenzierung zu ungenau.
<p>Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es sollte möglichst hoch und • wenn möglich nicht zu Brutzeiten geflogen werden. • Die Gebietsbetreuer sollten immer eingebunden und deren Genehmigung eingeholt werden. • Die Regeln aus dem <i>Kapitel 4.2 Störungsökologie</i> und bei (DÖRING & MITTERBACHER, 2022) und (LAG VSW, 2023) sollten, wenn möglich, immer eingehalten werden.

<p>Welche Methoden sind für die Flugplanung günstig?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rasterflüge mit genügend Überlappung (mind. 75 %) sind anzuraten. • Eine möglichst große Flughöhe sorgt für eine gute Effizienz. • Höhenangepasste Befliegungen, wie mit der Map Pilot App, beschrieben in 3.1.2 Befliegungs-Methodik, sorgen für gleichmäßige Höhen in den Bildern und ermöglichen damit gute Orthofotos. • Größere Flächen können entweder in Teilflächen unterteilt werden, um <ul style="list-style-type: none"> ◦ immer die Sichtverbindung zu gewährleisten und ◦ das Akkumanagement zu erleichtern, • oder es können große Flächen geplant werden, da es die meisten modernen Drohnen erlauben, eine Mission zu unterbrechen und nach dem Akkuwechsel wieder zum letzten Punkt der Mission zurückkehren, um diese nahtlos fortsetzen. • Beim Akkuwechsel kann sich auch der Pilot auf einen neuen Standpunkt begeben, von dem er die Drohne wieder im Blick hat. Viele Drohnen haben einen dynamischen <i>Home Point</i> (der momentane Piloten-Standpunkt), den sie sich merken und immer wieder aktualisieren.
<p>Welche Flugbedingungen sollten angestrebt werden?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Günstige Befliegungszeitpunkte sind hier oft Mitte/Ende April vor dem Laubaustrieb und neuem Höhenwachstum (in höheren Lagen auch etwas später) oder/und im Herbst mit verfärbtem Laub. • Es sollten möglichst gute Lichtverhältnisse entweder ganz ohne Wolken, oder am besten mit durchgehender gleichmäßiger Bewölkung, und möglichst wenig Wind herrschen. • Fliegt man im Winter, dann möglichst um die Mittagszeit zu Sonnenhöchststand, wenn die Sonne möglichst wenig oder nur kurze Schatten produziert.
<ul style="list-style-type: none"> • Ist evtl. eine Unterstützung der Besucherlenkung durch Drohnen möglich? 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn überhaupt evtl. mit einer 250 gr. Drohne wie die DJI Mini 3 Pro - s. auch <i>Methodik im Hauptbericht</i>. • Generell ist es sonst v.a. rechtlich und sicherheitstechnisch problematisch.

Tab. 4: Steillagenmonitoring - Methodik (Döring, 2022)

Steillagenmonitoring			
Schwierigkeit	  	Erfahrung	  
		Nutzen	  
Ziel	Parameter	Daten	Vorteile
<ul style="list-style-type: none"> • Strukturerfassung • Zustandserfassung • Change Detection • Vegetationserkennung • Habitatmonitoring • Kontrolle • bedingt zur Arterkennung 	<ul style="list-style-type: none"> ○ programmierte Raster-Flüge - möglichst höhenangepasst (z.B. mit Map Pilot-App) ○ so hoch wie möglich und so tief, wie für das kleinste zu erfassende Objekt nötig ○ ggf. niedrig geflogene Fotos zur Arterkennung und zur Verifikation der Arten in Orthofotos aus effektiver Flughöhe 	<ul style="list-style-type: none"> • Orthofotos • Photos - RGB, Multi-spektral, Thermal • 3D-Modelle • Laserscans 	<ul style="list-style-type: none"> ○ ausmessbare Orthofotos ○ ggf. genaue Verortung mit Mehrfrequenz-GNSS - ○ spart Zeit ○ evtl. 3D-Punktwolken ○ evtl. Multispektral-Analysen ○ permanente Dokumentation

5.4.7 Wirtschaftlichkeit

Steillagenmonitoring mit Drohnen lohnt sich dann, wenn

- es günstiger ist als andere Methoden (Satelliten, Flugzeugbefliegungen), was der Fall ist, da meist nur kleinere Flächen zu befliegen sind.
- aktuelle Luftbilder und flexible und spontane Einsätze nötig sind.
- ständig wiederkehrende Befliegungen überschaubarer Flächen durchgeführt werden - je nach Fluggerät (Multikopter oder Starrflügler/VTOL).
- mit unterschiedlichen Flugparametern geflogen werden muss (Nadir, Schrägaufnahmen, unterschiedliche Höhen).
- mit unterschiedlichen Sensoren geflogen werden soll.

Literaturverzeichnis

- BIOSPHEREENGEbiet SCHWARZWALD (2016): "Antrag auf Anerkennung als UNESCO-Biosphärenreservat". <https://www.biosphaerengebiet-schwarzwald.de/wp-content/uploads/2017/12/bsg-unesco-deutsch.pdf>
- BOSSERT, V. R. (2017): "Passgenaue Förderung für Weidfelder gesucht". Badische Bauern-Zeitung. <https://www.badische-bauern-zeitung.de/passgenaue-foerderung-fuer-weidfelder-gesucht>
- BROSSETTE, F. (2020): "Projekt ALLMENDE 2.0 - Biosphärengebiet Schwarzwald - Erster Zwischenbericht". <https://www.biosphaerengebiet-schwarzwald.de/projektallmende/> (24.5.2022)
- BROSSETTE, F. (2021): "Projekt ALLMENDE 2.0 | Biosphärengebiet Schwarzwald - Zweiter Zwischenbericht". <https://www.biosphaerengebiet-schwarzwald.de/projektallmende/> (8.3.2021)
- ĆWIAKAŁA, P. ET AL. (2017): "Assessment of the Possibility of Using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for the Documentation of Hiking Trails in Alpine Areas". In: Sensors (Basel, Switzerland) 18(1), S. 81. <https://doi.org/10.3390/s18010081>
- DÖRING, S.; MITTERBACHER, M. (2022): "Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>
- EUROPEAN COURT OF AUDITORS (2020): "Nutzung neuer Bildgebungstechnologien zur Überwachung der Gemeinsamen Agrarpolitik". LU: Publications Office. (= Sonderbericht Nr. ... (Europäischer Rechnungshof. Internet)) <https://data.europa.eu/doi/10.2865/617102> (9.6.2022)
- FELIS ET AL. (2021): "Nutzung von UAV-Bildern für das Umweltmonitoring - Praxisorientierte GIS-Analysen FELIS". Praktikumsbericht. FELIS - Uni Freiburg.
- JUNGMEIER, M. ET AL. (2016): "Naturprozesse in einem Lawinarsystem - das Beispiel Kalktal im Nationalpark Gesäuse". In: Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark 145, S. 17–31. https://www.researchgate.net/profile/Michael_Jungmeier/publication/302929650_Naturprozesse_in_einem_Lawinarsystem_-_das_Beiispiel_Kalktal_im_Nationalpark_Gesaeuse_Ennstaler_Alpen_Tamischbachturm
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN (LAG VSW) (2023): "Position der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW) zu Drohnen und Vogelschutz". Positionspapier. http://www.vogelschutzwarten.de/downloads/2023lagavsw23-1_drohnen.pdf (10.6.2023)
- MAPWARE (2022): "What Is Terrain Following? - Mapware". <https://mapware.com/blog/what-is-terrain-following/> (24.8.2022)
- MLR BW (2021): "Extensives Grünland - Beihilfefähigkeit und Abgrenzung der Bruttofläche". https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/mlr/GA/GA_020_extern/Allgemein/Merkblaetter/Handreichung_extensives_Gruenland.pdf
- NEUMANN, C. ET AL. (2020): "The Colors of Heath Flowering – Quantifying Spatial Patterns of Phenology in Calluna Life-cycle Phases Using High-resolution Drone Imagery". In: Remote Sensing in Ecology and Conservation 6(1), S. 35–51. <https://doi.org/10.1002/rse2.121>
- ODDI, L. ET AL. (2021): "Using UAV Imagery to Detect and Map Woody Species Encroachment in a Subalpine Grassland: Advantages and Limits". In: Remote Sensing 13(7), S. 1239. <https://doi.org/10.3390/rs13071239>
- PANDIKOW, J. (2020): "Ermittlung und Bewertung der Aussagekraft von RGB-Daten bezüglich definierter Vegetationsklassen". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. http://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Pandikow_Jonas.pdf
- PANDIKOW, J.; RUHNAU, T. (2020): "Feststellung der Sukzessionsstadien auf ehemaligen Allmendweiden mittels Drohnenbefliegung im Menzenschwander Tal". Projektarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. https://www.hs-rottenburg.net/fileadmin/user_upload/Studiengaenge/Forstwirtschaft/Projektarbeiten/Kartierung/Sukzessionsstadien_Allmendweiden_Drohnenbefliegung_Menzenschwander_Tal_2020.pdf



RP FREIBURG (2014): "Managementplan für das FFH-Gebiet 8213-311 Gletscherkessel Präg und Weidfelder im Oberen Wiesental". https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/290242/8213311_02_text_gletscherkessel.pdf/24b2db13-e438-4284-95e8-2c95509b533f?version=1.0&download=true

TBV ERFURT (2022): "Flächenkontrolle per Fernerkundung seit 1. Januar auch in Thüringen in Anwendung". <https://www.tbv-erfurt.de/component/k2/item/795-flaechenkontrolle-per-fernerkundung-seit-1-januar-auch-in-thueringen-in-anwendung> (9.6.2022)

5.5 Wald-Monitoring

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Projektes selbst wurden keine eigenen Wald-Befliegungen durchgeführt, da das Waldmonitoring an sich keine Naturschutz-spezifische Aufgabe ist und der Projektkoordinator vorher in einem Projekt der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), in Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (LWF) in Bayern, schon einige hundert Befliegungen im Wald mit einer handelsüblichen Vermessungs-Drohne (*DJI Phantom 4 RTK* mit 20 MP RGB-Kamera) durchgeführt hat.

Außerdem wurden von ihm auch schon mehrere Bachelorarbeiten zu diesem Thema betreut und so konnte, in Verbindung mit weiteren Recherchen, das Thema qualifiziert bearbeitet werden.

Inhaltsverzeichnis

10.5 Wald-Monitoring.....	1
Zusammenfassung	1
Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis.....	1
Tabellenverzeichnis.....	2
10.5.1 Einleitung	2
10.5.2 Methodik - Überblick	5
10.5.2.1 Befliegungs-Parameter und Besonderheiten	5
10.5.3 Beispiele	8
10.5.3.1 Waldzustand	8
10.5.3.2 Exkurs Mistel	9
Bilder Misteln Hirschacker - Kiefernbestände	11
Misteln Streuobstwiese	12
10.5.4 Wirtschaftlichkeit.....	16
10.5.5 Waldmonitoring - Fazit	14
Literaturverzeichnis	16

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Empfehlungen für Waldbefliegungen (Döring, 2022)	6
Abb. 2: Sichtbarkeit von Drohnen im Wald (Döring, 2022).....	7
Abb. 3: Erhöhung der Drohnen-Sichtbarkeit im Wald (Döring, 2022).....	7
Abb. 4: Buchenwald mit abgestorbenen Bäumen und Totholz (Döring_2019).....	8
Abb. 5: Vergleich von RGB- und NDVI-Orthofoto (Döring, 2022)	9
Abb. 6: Mistel-Versuchsbaum liegend - 3D-Modell (Döring, 2022)	10
Abb. 7: Mistel-Baum stehend - 3D-Modell	10
Abb. 8: Kiefernbestand mit Misteln (Döring, 2021)	11
Abb. 9: Einzelne Kiefer mit großer Mistel (Döring, 2021).....	11

Abb. 10: stark von Misteln befallene Kiefer - Hirschacker (Döring, 2021)	11
Abb. 11: Befliegung einer Obstplantage mit Mistelbefall auf 50 m Höhe (Döring, 2022)	12
Abb. 12: Ausschnitt der Obstplantage mit Mistelbefall (Döring, 2022)	12
Abb. 13: Mistel-Orthofoto in QGIS umgefärbt und mit Einzelfotos abgeglichen (Döring, 2022)	13
Abb. 14: Mistelbild farblich verändert - Misteln in hellrot (Döring, 2021)	13

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Waldmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)	14
Tab. 2: Waldmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)	14

5.5.1 Einleitung

Die Möglichkeiten für den Einsatz von Drohnen im Wald sind sehr vielfältig und werden bereits immer mehr erprobt/angewendet. Angefangen hat die Fernerkundung in deutschen Wäldern zunächst mit der Auswertung von Satelliten- und Flugzeugdaten im Zusammenhang mit dem Waldsterben der 1980er-Jahre. Vorangetrieben wurde sie in Deutschland v.a. durch die Arbeitsgruppe forstlicher Luftbildinterpreten mit Mitgliedern unterschiedlicher forstlicher Forschungseinrichtungen ([FVA, 2023](#)).

Der Einsatz von Drohnen als Werkzeug für die 'nahe Fernerkundung' bekam in den letzten Jahren großen Aufwind. Die immer häufigeren trockenen Sommer machen eine Erfassung der gestressten Bäume und des dadurch immer mehr fortschreitenden Borkenkäferbefalls zwingend nötig. Drohnen können diese Arbeit erleichtern und es gibt vielerlei Projekte und Dienstleister zu diesem Thema.

Im Nationalpark (NP) Bayerischer Wald z.B. werden schon seit 2014 Drohnen für Forschung und Monitoringaufgaben speziell des Borkenkäferbefalls eingesetzt ([KEEP.EU, 2014](#)). Mit multisensorialen UAV-Daten von Hyperspektral- und Thermalkameras und Laserscannern, werden gestresste/vom Borkenkäfer befallene Bäume detektiert und der Befallsverlauf analysiert ([NP BAYERISCHER WALD, 2020](#)).

2017 evaluierte die forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg (FVA) die ersten Borkenkäfer-Versuchsbefliegungen mit Drohnen von Teilen des Nationalparks Schwarzwald und die anschließende Analyse der Daten durch künstliche Intelligenz (KI) von einer österreichischen Firma. Dazu wurde an der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (HFR) in Kooperation mit der FVA eine Bachelorarbeit zu Drohnen im Wald (Schwegler - HFR, 2017) durchgeführt, die vom Projektkoordinator mitbetreut wurde. Damals waren die Ergebnisse relativ unbefriedigend.

2018 untersuchte ([CHRISTOFFEL, 2018](#)) im Hunsrück in einer anderen Bachelorarbeit an der HFR eine ähnliche Fragestellung.

Beide Arbeiten kamen zu der Schlussfolgerung, dass Drohnen beim Borkenkäfermonitoring nützlich sein können, jedoch der Einsatz und die Methodik noch nicht 100%ig operational seien und weiter verfeinert werden müssen.

Gute Überblicke über die jüngsten Entwicklungen des Einsatzes von Drohnen für die Waldgesundheit geben zwei Veröffentlichungen von 2022 - aus Deutschland ([ECKE ET AL., 2022](#)) und aus Portugal ([DUARTE ET AL., 2022](#)).

Ecke et al. analysierten dazu 99 Arbeiten, Duarte et al. werteten 49 Veröffentlichungen aus. In vielen der analysierten Arbeiten wurden kleine und handelsübliche Drohnen verwendet. Allerdings zeigt sich eine Tendenz hin zu multisensorialen Lösungen - mit Nutzung von Multispektralkameras bis hin zu Laserscannern, die aber wiederum schwerere und teurere Träger-Plattformen (Drohnen) benötigen. Ebenfalls geht die Tendenz hin zu immer komplexeren Auswertemethoden.

An der HFR gab es noch etliche weitere Arbeiten zum Thema Drohnen-Nutzung in der Forstwirtschaft:

Ein Student untersuchte in seiner Bachelorarbeit die Möglichkeit zur Einlegung von Rückegassen mittels Drohnenbefliegungen und mobilem GNSS-System und stellte fest "So wäre es möglich, schwierigere Bestände im Voraus mit dem UAV (Drohne) zu befliegen und den Rückegassenverlauf und Zwangspunkte aus der Luft zu markieren. Eine Firma im Allgäu praktiziert bereits ein ähnliches Verfahren und plant so ihre Seiltrassen." ([KREPELA, 2019](#))

Im gleichen Forstrevier konnte in einer anderen Bachelorarbeit durch die drohnenunterstützte digitale Aufnahme von Schadh Holz in Verbindung mit der anschließenden Datenverarbeitung und -weitergabe mit einer Forst-Softwarelösung eine erhebliche Zeit- und Kostenersparnis festgestellt werden ([WINGARTZ, 2020](#)). Es wurden dabei auch mehr Totholzstämme, die teilweise noch sägefähig waren, gefunden als durch die begleitende terrestrische Begehung. Das schlug sich natürlich in den Kosten positiv nieder, weshalb dann am Ende die luftgestützte Sturmholzsuche etwa die Hälfte der terrestrischen Suche kostete.

Ein anderer Student stellte in seiner Bachelorarbeit einen Vergleich von drohnenbasierten mit terrestrischen Aufnahmen zweier Plenterwald-Versuchsflächen bezüglich der photogrammetrisch ermittelten und der terrestrisch aufgenommenen Bestandesparameter an ([SCHLÖR, 2019](#)). Die Ergebnisse waren gemischt. Allerdings schreitet die Technik ständig fort und bietet in Verbindung mit weiteren Sensoren und automatisierten Auswertungsmethoden immer mehr Möglichkeiten, wie z.B. bei Torresan et al. ([TORRESAN ET AL., 2020](#)) deutlich wird. Für ähnliche Fragestellungen gibt es auch schon gewerbliche Anbieter wie z.B. ([SKYLAB, 2022](#)) in Deutschland oder ([MOSAICMILL, 2022](#)) in Finnland.

Die Vitalität bei Fichte und Buche wurde in verschiedenen Höhenklassen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten in einer weiteren Bachelorarbeit ([MUSAHL, 2022](#)) anhand von UAV-erfassten NDVI-Daten beurteilt. Dabei konnten vielversprechende Ergebnissen produziert werden, die auch durch viele andere Arbeiten gestützt werden - wie z.B. bei ([Ecke et al., 2022](#)) nachzulesen.

Auch einige wissenschaftliche Veröffentlichungen zum Thema Drohnen und Forstwirtschaft wurden an der HFR erarbeitet:

So konnte der Baumhöhenzuwachs während der Vegetationszeit über die aus den Drohnenbildern einer handelsüblichen und etwas älteren *DJI Phantom 3* erstellten Oberflächenmodelle erfolgreich gemessen und zur Kalibrierung von Waldwachstumsmodellen für Forschung und Management genutzt werden ([DEMPEWOLF ET AL., 2017](#)).

Ein anderes Forschungsprojekt an der HFR verfolgte den völlig neuen Ansatz zur Detektion von frühem Borkenkäferbefall durch die 'Erschnüffelung' von Monoterpenen (flüchtige organische Stoffe), die von befallenen/gestressten Bäumen ausgesondert werden, mittels eines auf einer Drohne montierten Gas-Sensors ([PACZKOWSKI ET AL., 2021](#)). Der Nachweis der Praxistauglichkeit konnte dabei zwar noch nicht erbracht werden, doch die Vortests waren vielversprechend und der Ansatz soll weiterverfolgt werden.

Ein krasser Gegensatz dazu ist das Beispiel eines Privatwaldbesitzers im Sauerland (mdl.), der für seine Kollegen mit einer einfachen RGB-Drohne (*DJI Mavic*) befallene Käferbäume lokalisiert und dann zur Auffindung sichtbar mit der Drohne über dem befallenen Baum 'parkt' (*hovers*). So können die Kollegen den Baum zum Markieren anlaufen. Dies entspricht dem gekoppelten/integrierten Verfahren zwischen Drohne und Helfern, wie es oft analog in der Wildtierrettung praktiziert wird.

Die Erkennung von Baumarten aus hochauflösenden Drohnen-Fotos stellte bisher eine große Herausforderung dar. Mittels künstlicher Intelligenz kann diese Methode jedoch ständig verfeinert und Richtung Operationalität weiterentwickelt werden - z.B. ([SCHIEFER ET AL., 2020](#)).

Der Totholzanteil in Wäldern ist ein wichtiges Kriterium des Waldnaturschutzes. Im Hainich konnte von Forschern der Uni Jena und des DLR die Erhebung dieses Naturschutz-relevanten Totholzanteils durch den Einsatz von hochauflösenden Drohnen-Daten erfolgreich und v.a. günstiger als mittels terrestrischer Erfassung durchgeführt werden ([THIEL ET AL., 2020](#)).

Die Waldzustandserhebung (WZE, das sog. Level I-Programm des europa- und bundesweiten jährlichen Waldmonitorings) und die Nutzung von Drohnen für die Erhebung der Daten ist Forschungsthema eines Kooperationsprojektes der Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) zusammen mit der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) ([LWF, 2020](#)). Bei der WZE wird v.a. der gesundheitliche Zustand der Baum-Kronen anhand des prozentualen Anteils des Blatt- bzw. Nadelverlustes erfasst, und stellt eine große finanzielle und organisatorische Herausforderung dar. Die Daten werden nämlich bisher durch Fachpersonal in wochenlangen Waldbegängen erhoben. Ziel des Projektes ist es, die Wirtschaftlichkeit des Drohneinsatzes zu ermitteln, um evtl. die herkömmliche Erfassungsmethode effizienter gestalten zu können.

Weitere Projekte von LWF & HSWT beschäftigen(t)en sich mit Themen wie der möglichen Ergänzung und ggf. Substituierung von Teilen der ebenfalls aufwendigen und teuren Waldinventur ([LWF, 2019](#)), der Einschätzung von Schäden an Schwarzkiefern ([PEGELOW ET AL., 2021](#)), der drohnengestützten Pflanzensaat im Wald ([MEINHOLD & GÖTTLEIN, 2022](#)) und aktuell dem Einsatz von Starrflügler-Drohnen und dem Monitoring im Bergwald ([LWF, 2023](#)).

Auch die Forstliche Versuchsanstalt (FVA) Baden-Württemberg hat mittlerweile einige Drohnenprojekte auf den Weg gebracht. Eine Studie zur Herleitung von Waldinventurparametern verglich die Analysen von Baumhöhen, Kronenradius und Kronenansatzhöhe aus Luftbildern verschiedener Luftfahrzeuge (Flugzeug, Gyrocopter, UAV) und LiDAR-Daten (UAV) ([GANZ ET AL., 2019](#)). Baumhöhe und Kronenradius ließen sich dabei zuverlässig ableiten und die Unterschiede zwischen den Ergebnissen aus Laser- und photogrammetrischen Daten fielen geringer aus als erwartet. Da bei photogrammetrischen Daten eine hohe Punktdichte ein wichtiger Faktor für eine erfolgreiche Ableitung der Einzelbaum-Attribute ist, konnten aufgrund der höheren Auflösung mit den Drohnen-Daten die besten Resultate erzielt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass Drohnen leistungsfähige Werkzeuge für die kleinräumige Erfassung von Wald- und Baumeigenschaften darstellen und bisherige Fernerkundungsverfahren zumindest ergänzen können ([FVA, 2018](#)).

Die drohnenbasierte Erfassung von Walddynamik wurde in Zusammenarbeit mit dem Projekt "Walddrohne" ([FVA, 2019](#)) erforscht. Dabei sollte gezeigt werden, inwieweit hochaufgelöste Drohnenluftbilder die genaue Messung von Verjüngungs- und Bodenvegetationshöhen mit oft sehr feinen und komplexen Strukturen ermöglichen.

Im Projekt "NotiRufDrohne" werden Untersuchungen zur Unterstützung der Rettungskette-Forst in Waldbereichen durchgeführt, in denen keine ausreichende Mobilfunkabdeckung vorliegt. Eine Drohne soll automatisch in Gebieten im Wald aufsteigen, in denen der Empfang

am Boden schlecht bis nicht vorhanden ist, sich über dem Kronendach positionieren und einen Notruf absetzen. Aus der Luft soll anschließend eine Mobilfunkverbindung zwischen Ersthelfenden und Rettungsdienst hergestellt werden können ([FVA, 2020](#)).

Das neueste Forschungsprojekt "5G-FörsterInnendrohne" beschäftigt sich mit dem automatisierten Einsatz von Drohnen für alle möglichen forstlichen Arbeitsprozesse in Kombination mit 5G-Technologie ([FVA, 2022](#)). Dabei wird auch der Einsatz von Starrflügler-Drohnen, die eine großflächige Erfassung von Waldbeständen erlauben, erprobt.

Bereits 2014 konnten aus Drohnendaten Waldlücken (Gaps) bis hinunter auf 1 m² Größe detektiert werden ([GETZIN ET AL., 2014](#)). Damit wurde eine kostengünstige Methode für Biodiversitätsmonitoring im Wald aufgezeigt.

Gaps sind wichtige Strukturparameter und lassen Rückschlüsse auf den Biodiversitätszustand in forstlichen Beständen zu ([ZIELEWSKA-BÜTTNER ET AL., 2016](#))

Beim Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB) werden schon seit einiger Zeit regelmäßig Drohnen im operationalen Betrieb eingesetzt und es wurde dazu ein professionelles Drohnenmanagement etabliert. Mit Hilfe von Drohnendaten konnten bereits etliche und vielfältige Fragestellungen erfolgreich beantworten. Die bearbeiteten Themen sind u.a.

- die Erhebung von Waldstrukturen in Tanne, Roteiche und Wildobst
- Multispektral-Befliegungen von Eschen-Versuchsflächen
- die Einschätzung der Einzelbaumvitalität von Esche, Buche, Eiche, Kiefer und Fichte durch Drohnenbilder
- das systematische Monitoring von Blattaustrieb, Blüte und Fruktifikation von Eiche, Rotbuche, Vogelkirsche, Elsbeere, Wild-Birne und -Apfel, Tanne, (Fichte)
- das Monitoring von Kulturenerfolgen (Erstaufforstung)
- Baumschulvermessungen
- regelmäßige Aufnahmen von flächigen Waldschäden (Waldbrand, Windwurf, Blitzschlag)
- Nachweisführung von Kahlschlägen
- Polter-/Holzstapelvermessungen (3D)
- Vermessungsbildflüge an Wildbrücken
- die Wilddetektion
- der Einsatz zur ASP-Kadaver-Suche (ASP = Afrikanische Schweinepest)

5.5.2 Methodik - Überblick

Im Prinzip wird Wald genauso befliegen wie andere Landschaftstypen, jedoch müssen ein paar Besonderheiten beachtet werden.

Da Bäume und dichte Vegetation, aufgrund ihrer komplexen Geometrien aus vielen ineinandergreifenden Ästen und Blättern, ein sehr unterschiedliches Erscheinungsbild zwischen den einzelnen Drohnen-Bildern aufweisen, ist es für die Photogrammetrie-Software oft schwierig, übereinstimmende charakteristische Punkte (Schlüsselpunkte) zwischen den einzelnen Bildern zu finden. Deshalb empfiehlt es sich, die flächigen Rasterbefliegungen im Wald mit folgenden Parametern durchzuführen, um gute Ergebnisse zu erzielen ([PIX4D, 2022](#)).

Befliegungs-Parameter und Besonderheiten

- Die Überlappung zwischen den Bildern sollte so weit wie möglich (auf mindestens 85 % frontale und seitliche Überlappung) erhöht werden.

- Es sollte die maximal mögliche Flughöhe gewählt werden. Bilder aus größerer Höhe weisen weniger perspektivische Verzerrungen auf, was bei dichter Vegetation von großem Vorteil ist. Für die Software ist es dann einfacher, visuelle Ähnlichkeiten zwischen überlappenden Bildern zu erkennen.
- Dabei ist zu beachten, dass Flughöhe und Bodenauflösung sich im Wald auf die Kronenoberfläche beziehen müssen - d.h. von der programmierten Flughöhe muss im Prinzip die Baumhöhe abgezogen werden, um die reelle Auflösung GSD zu berechnen. Die Baumhöhen müssen also für die Festlegung der Flughöhe (über Grund) und damit der Auflösung (GSD), die ja nur auf die Baumkronen abzielt, einkalkuliert werden (s. Abb. 1 unten)!
- Je nach Fragestellung können zusätzliche Schrägaufnahmen (Abb. 1) mit etwa 5° bis 15° nach vorn geneigter Kamera (= 85° bis 75° aus der Waagrechten) hilfreich bis notwendig sein ([NESBIT & HUGENHOLTZ, 2019](#)) - beispielsweise für 3D-Modelle oder um das Kronenvolumen besser abschätzen zu können - z.B. ([PERROY ET AL., 2017](#)).

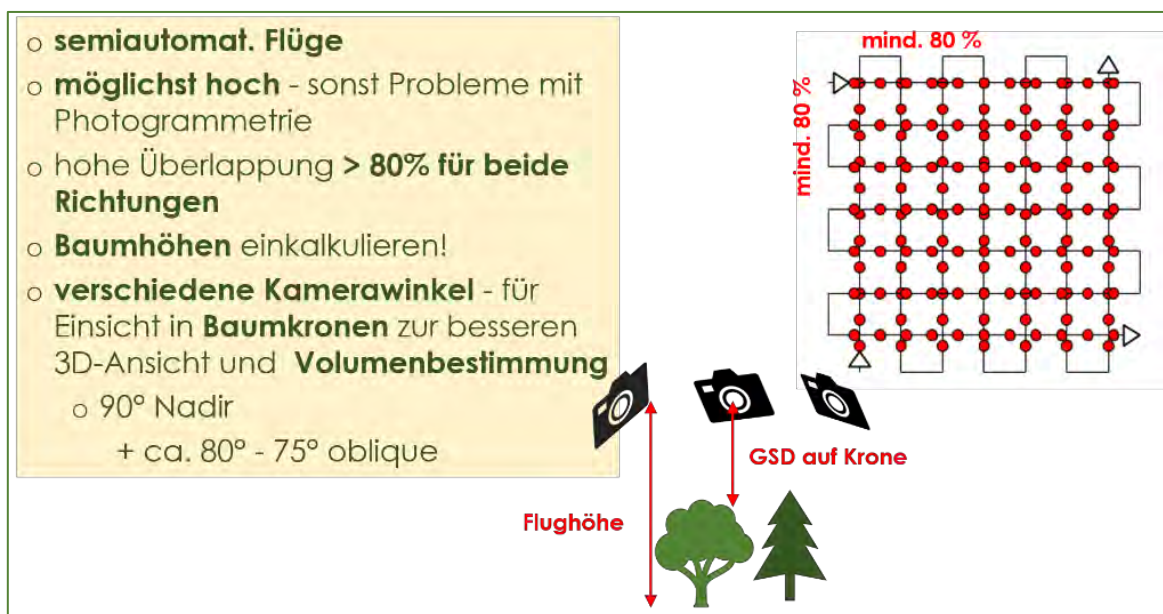


Abb. 1: Empfehlungen für Waldbefliegungen (Döring, 2022)

- Für manche Fragestellungen sollte/muss in laubfreiem Zustand (Baumstamm-Detektion, Volumenschätzungen, etc.) geflogen werden ([THIEL ET AL., 2020](#)).
- Laserscanner sind gerade für Fragestellungen im Wald immer mehr im Kommen, da sie eine bessere Durchdringung der Vegetation erreichen - z.B. für das Kartieren von Waldwegen ([BÁEZ ET AL., 2020](#)) - und immer erschwinglicher werden - wie z.B. der L1 von DJI ([Aerotas, 2022a](#)) oder der AP-LiDAR-One von ([AERIALPRECISION, 2020](#)).

ACHTUNG: Die Sichtflugverhältnisse im Wald sind sehr stark eingeschränkt!

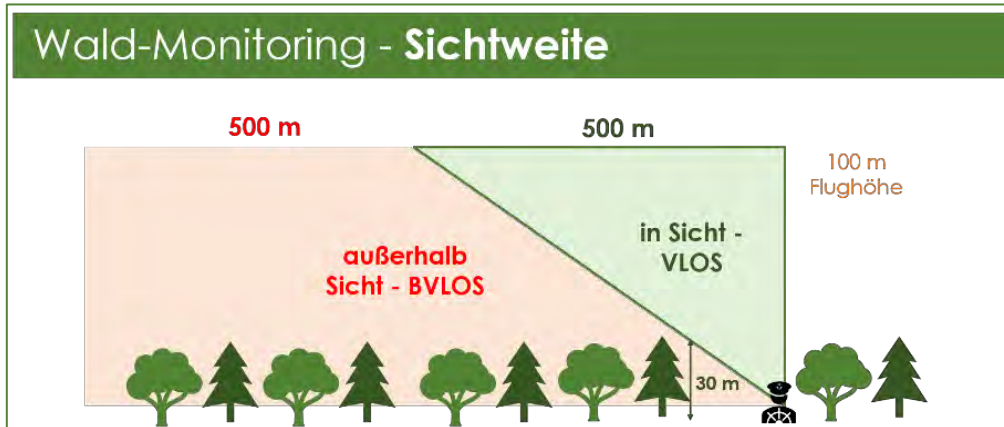


Abb. 2: Sichtbarkeit von Drohnen im Wald (Döring, 2022)

Beim Waldmonitoring spielt die Sichtweite eine besondere Rolle. Die Drohne gerät im Wald schnell außer Sicht, was ja laut LuftVO unter normalen Umständen verboten ist. Will man die Sicht erweitern, kann man z.B. seine Position erhöhen. Im Hainich nutzten Forscher dazu die Aussichtsplattform des Baumwipfelpfads ([HESE ET AL., 2019](#)).

Andere Wissenschaftler erreichten ähnliches mit einem Hubsteiger ([QUANTUM SYSTEMS, 2018](#)). Eine dritte Möglichkeit, die laut der neuen EU-Bestimmungen möglich ist (sein wird), ist die [Beantragung](#) zum Betrieb einer Drohne außerhalb der Sichtweite (BVLOS) in der [speziellen Kategorie](#).

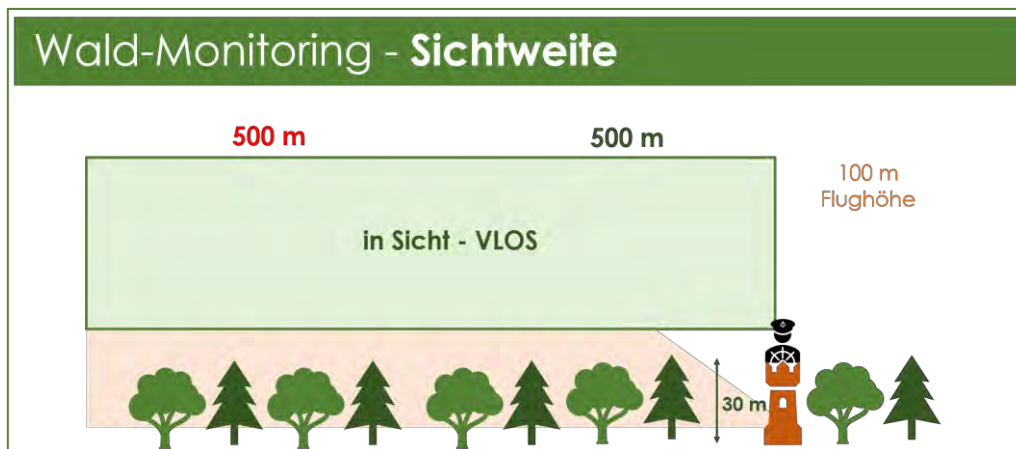


Abb. 3: Erhöhung der Drohnen-Sichtbarkeit im Wald (Döring, 2022)

5.5.3 Beispiele

Waldzustand

2019 war der Projektkoordinator wie schon erwähnt in einem Forschungsprojekt der HSWT in Kooperation mit der LWF in Bayern tätig. Das Projekt beschäftigte sich mit der Charakterisierung des Zustandes der oberirdischen Biomasse sowie der Kohlenstoffbindung durch den Einsatz von Drohnen ([LWF, 2019](#)). Außerdem wurde in ausgewählten Beständen das Buchensterben dokumentiert.

Folgende Bilder zeigen, wie die hier propagierten kleinen und handelsüblichen Drohnen auch im Wald eingesetzt werden können. Die damals verwendete Drohne besitzt nämlich qualitativ die gleiche Kamera mit 1" Sensor und 20 MP, wie die DroBio-Projekt Drohne.

Im ersten Bild (Abb. 4) sieht man sehr gut, dass selbst aus 100 m Höhe viele Strukturen wie Totholz, Lücken und selbst einzelne Äste gut zu sehen sind.

Gleichzeitig sind auch die abgestorbenen Kronen vieler Buchen zu sehen, was das Ziel der Befliegung war.



Abb. 4: Buchenwald mit abgestorbenen Bäumen und Totholz (Döring_2019)

Gleichzeitig wurde auch eine Multispektralkamera eingesetzt, die die Differenzierung der Bäume erleichtern sollte. Links sieht man das 'normale' Orthofoto und rechts das Multispektralbild (Abb. 5). In diesem Fall war aber das RGB-Bild schon aussagekräftig genug.

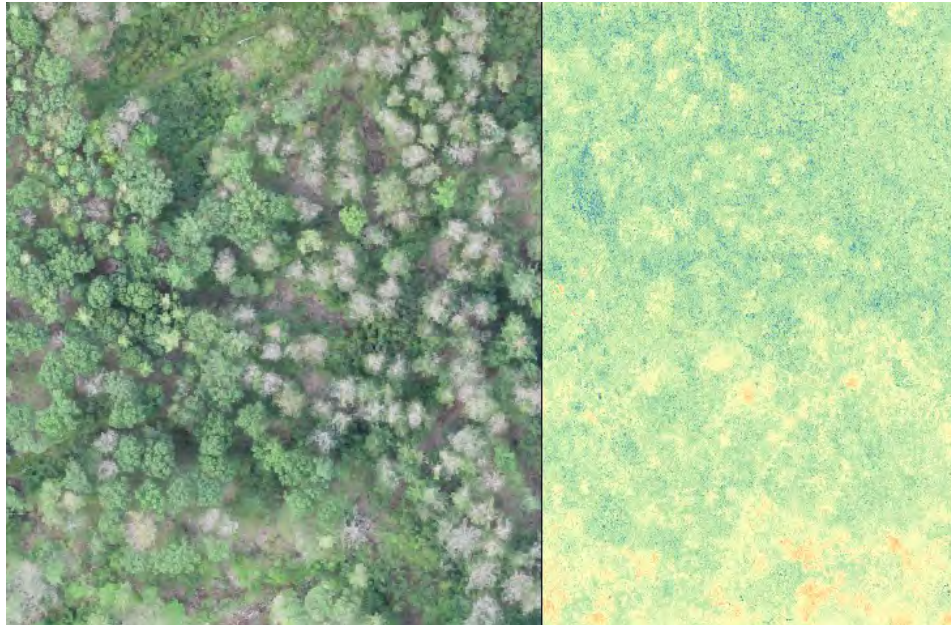


Abb. 5: Vergleich von RGB- und NDVI-Orthofoto (Döring, 2022)

Ein weiteres ausführliches Beispiel für Waldbefliegungen aus dem DroBio-Projekt findet man im Teilbericht 'Taubergießen'.

Exkurs Mistel

Früher war die Mistel (*Viscum album*) eine verehrte und wertvolle Pflanze - speziell auch bei den Druiden, wie man anschaulich in *Asterix & Obelix* nachlesen kann. Heute stellt sie leider in einigen Regionen Deutschlands immer mehr eine Gefahr für viele Streuobstbestände dar. Doch das Problem ist nicht neu, denn schon 1554 wurde die Laubholzmistel in einigen Teilen der Schweiz bekämpft und 1949 bereits wies der Schweizer Spreng darauf hin, dass mangelnde Pflege die Ausbreitung der Mistel begünstigt.

Seit den 1990er-Jahren breitet sie sich insbesondere in Süd- und Mitteldeutschland - auch in den Streuobstbeständen Baden-Württembergs - stark aus. 2011 gab es die ersten EU-geförderte Bekämpfungsmaßnahmen.

Soweit bisher bekannt ist, sind die Ursachen für ihre Ausbreitung v.a. die unregelmäßige Pflege von Streuobstbeständen, klimatische Aspekte und oft auch noch die irriige Annahme, dass sie besonders geschützt sei. Sie befällt auf Obstwiesen v.a. Apfelbäume und Ebereschen, vereinzelt auch Birnbäume, wohl aber keine Kirschen oder Pflaumen/Zwetschgen. ([KITZMANN ET AL., 2021](#))

In Bayern, und dort v.a. in Mittelfranken, wurde in den letzten Jahren auch im Forstbereich vermehrt eine Zunahme der Intensität und Ausbreitung des Mistelbefalls beobachtet. Mögliche Gründe für eine Zunahme des Mistelbefalls sind eine Konkurrenzstärkung der Misteln durch verlichtete Baumkronen und in den immer längeren und wärmeren Sommern geschwächte Wirtsbäume durch erhöhten Trockenstress. Außerdem wird die Assimilationsperiode der immergrünen Mistel in den wärmeren Wintern infolge der Klimaerwärmung immer

länger und die Lebensgewohnheiten der mistelverbreitenden Vögel ([BEHRENDT, 2017](#)) verändern sich zunehmend.

Misteln können durch ihre Senkerwurzeln bei sehr starkem Befall zum Absterben des Wirtes, führen, aber auf jeden Fall zumindest zu Wertminderungen des Holzes für die Forstwirtschaft (ECKE, 2017). Ecke konnte in seiner Bachelorarbeit auch zeigen, dass Misteln in zwei ausgewählten Kiefern-Beständen anhand von drohnenbasierten Luftaufnahmen identifiziert und ihre genaue räumliche Lage bestimmt werden konnten. Dabei konnten bei den Mistelzählungen aus der Luft günstiger und signifikant mehr infizierte Bäume festgestellt werden, als das vom Boden aus möglich war. Die Kosten zur Identifikation der befallenen Bäume waren relativ gering, der Aufwand zur manuellen Digitalisierung der Baumkronen und einzelnen Misteln aber hoch. Dieser Aufwand könnte aber durch die Anwendung automatisierter Prozesse wesentlich vereinfacht werden wie z.B. ([MEJIA-ZULUAGA ET AL., 2022](#)) zeigen.

Das Thema Mistelmonitoring kam erstmals bei dem Projekt des Projektkoordinators an der HSWT auf, wo von ihm eine Bachelorarbeit zum Thema "Anwendung UAV-gestützter und labortechnischer Methoden zur Analyse des Wachstums von Laubholzmisteln" ([HEITER ET AL., 2020](#)) betreut wurde. Darin wurde ein Mistelbefallsindex (MBI) aus drohnenbasierten Orthofotos erstellt, der es erlaubt, den Befallsgrad von Bäumen nachzuverfolgen und z.B. für Pflegemaßnahmen von Parkbäumen konkrete flächen- bzw. volumenbasierte Arbeitsaufträge zur Mistelentfernung zu geben.

In der Ukraine wurde von einem Mistel-Forschungsteam ([REDKO, 2019](#)) sogar eine 'Druiden-Drohne' zur Entfernung von Misteln patentiert ([KRASYLENKO, 2021](#)). Zu diesem Team wurde innerhalb des Projekts Kontakt aufgenommen und es wurden bereits mit viel Interesse von beiden Seiten Möglichkeiten für Kooperations-Projekte angedacht.

Das Thema Mistel wurde im DroBio-Projekt 2021 zum ergänzenden Thema, als der DroBio-Projektkoordinator von einer Bachelorandin ([KLEINZ, 2021](#)) gefragt wurde, ob er ein paar Aufnahmen von 'ihrem Mistelbaum' machen könnte (S. unten). Daraufhin wurde sowohl der zur Zählung aller Misteln gefällte Baum mit der Drohne abgeflogen und ein 3D-Modell erstellt, als auch zum Vergleich ein stehender befallener Baum in unmittelbarer Nachbarschaft für eine weiteres 3D-Modell aufgenommen.



Abb. 6: Mistel-Versuchsbaum liegend - 3D-Modell
(Döring, 2022)



Abb. 7: Mistel-Baum stehend - 3D-Modell
(Döring, 2022)

Beim liegenden Baum sind gut die pinkfarbenen Markierungen von der Mistelzählung zu sehen. Außerdem sind man auch die Schnittflächen der einzelnen Baumteile (Abb. 6).

Beim stehenden Baum ist die Mistel gut zu sehen und könnte durch Analyse der 3D-Punkt-wolke herausgearbeitete werden (Abb. 7).

Bilder Misteln Hirschacker - Kiefernbestände

Im Gebiet Hirschacker wurden dann bei den Auswertungen am PC auf den Bildern gewissermaßen als 'Beifang' Misteln entdeckt (Abb. 8 + 9).



Abb. 8: Kiefernbestand mit Misteln (Döring, 2021)



Abb. 9: Einzelne Kiefer mit großer Mistel (Döring, 2021)

Es waren v.a. Kiefern befallen, die wohl in den letzten Jahren durch die Trockenheit auch immer mehr unter Stress geraten waren.

Die hellgrünen Misteln heben sich gut von den dunkleren Kiefernästen ab und können so auf dieser stark befallenen Kiefer gut gezählt werden (Abb. 10).



Abb. 10: stark von Misteln befallene Kiefer - Hirschacker (Döring, 2021)

Misteln Streuobstwiese

Der Projektkoordinator hat ergänzend auch noch einige Befliegungen über eine Streuobstplantage in seiner Nachbarschaft durchgeführt (Abb. 11).



Abb. 11: Befliegung einer Obstplantage mit Mistelbefall auf 50 m Höhe (Döring, 2022)

Durch Hineinzoomen kann man in den Bildern die Misteln gut in den unbelaubten Bäumen sehen und zählen (Abb. 12).



Abb. 12: Ausschnitt der Obstplantage mit Mistelbefall (Döring, 2022)

Auswertung von Mistelbildern

Zur einfacheren Auswertung/Zählung können z.B. in [QGIS](#) die Mistel-Bilder farblich verändert werden. So entstehen Falschfarbenfotos, die die Misteln auf den befallenen Kiefern z.B. hell hervorheben (Abb. 13). Dazu werden in den Bildeigenschaften (Histogramm) die Farbwerte entsprechend angepasst. In diesem Fall wurden im Histogramm die Werte für Band 1 mit (0, 255), für Band 2 mit (150, 255) und für Band 3 mit (0, 255 oder weniger) eingestellt.

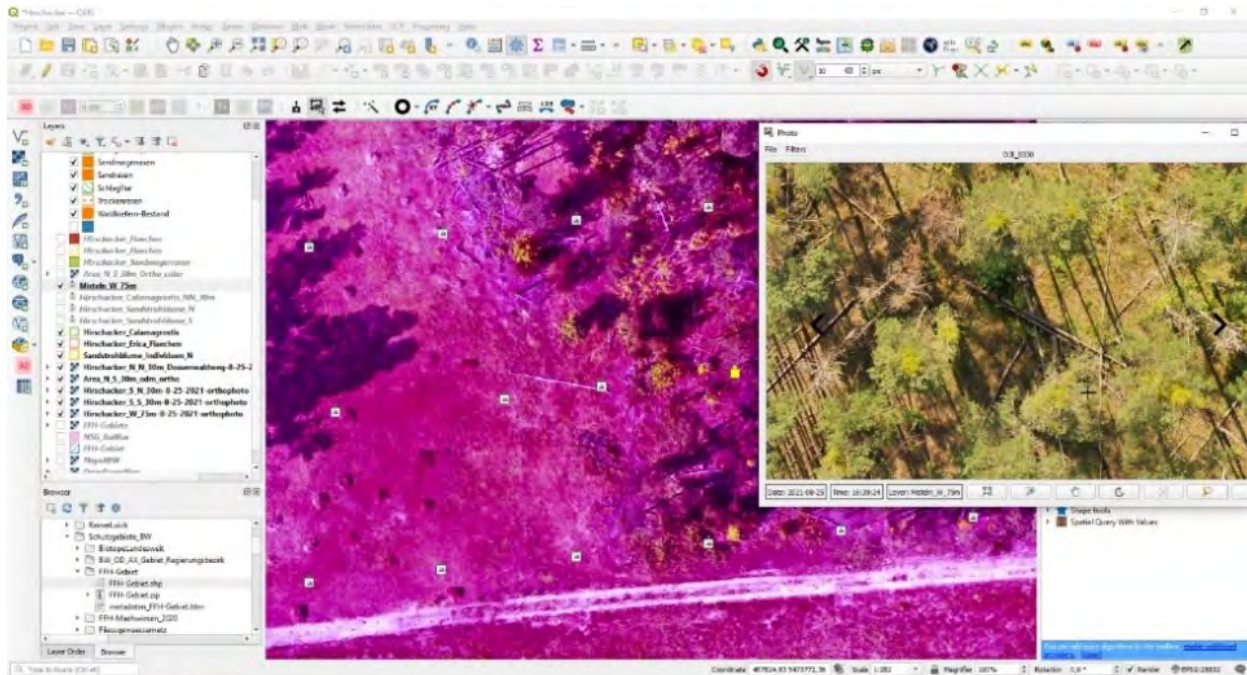


Abb. 13: Mistel-Orthofoto in QGIS umgefärbt und mit Einzelfotos abgeglichen - die Misteln erscheinen gelblich, im ‚normalen‘ Einzelfoto hellgrün (Döring, 2022)

GIMP

Natürlich kann man auch ein Bildbearbeitungsprogramm wie z.B. das kostenfreie Open-Source-Programm [GIMP](#) verwenden. Darin kann man dann z.B. mit den Parametern *Hue* und *Saturation* spielen, um den gewünschten Effekt zu erreichen.

Das Bild rechts (Abb. 14) wurde in *GIMP* mit den Einstellungen Color - Hue-Saturation (Hue ab -39) versehen, wodurch die Bäume grün-grau und die Misteln rot erscheinen und sich gut vom Rest der Landschaft abheben.



Abb. 14: Mistelbild farblich verändert - Misteln in hellrot (Döring, 2021)

Mit diesen Veränderungen ist auch eine automatisierte Auswertung einfacher zu gestalten. Höhere

Kontraste sind sowohl für die Erstellung von Trainingsflächen zur Bildklassifizierung, als auch ggf. für ein KI besser zu unterscheiden - s. *Teilberichte Steillagen-Monitoring und Moormonitoring*.

Anmerkung: Für andere Fotos mögen aber durchaus andere Werte sinnvoller sein und Ausprobieren bleibt wohl meist unumgänglich!

5.5.4 Waldmonitoring - Fazit

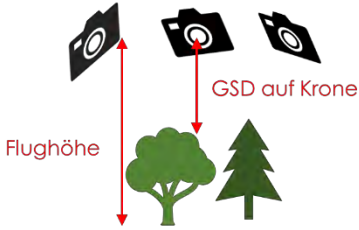
Das Monitoring von Waldflächen kann mit Hilfe von Drohnen vielfältig unterstützt werden und bietet für viele Fragestellungen auch wertvolle ergänzende Einblicke und Möglichkeiten. Allerdings müssen einige Besonderheiten beachtet werden.

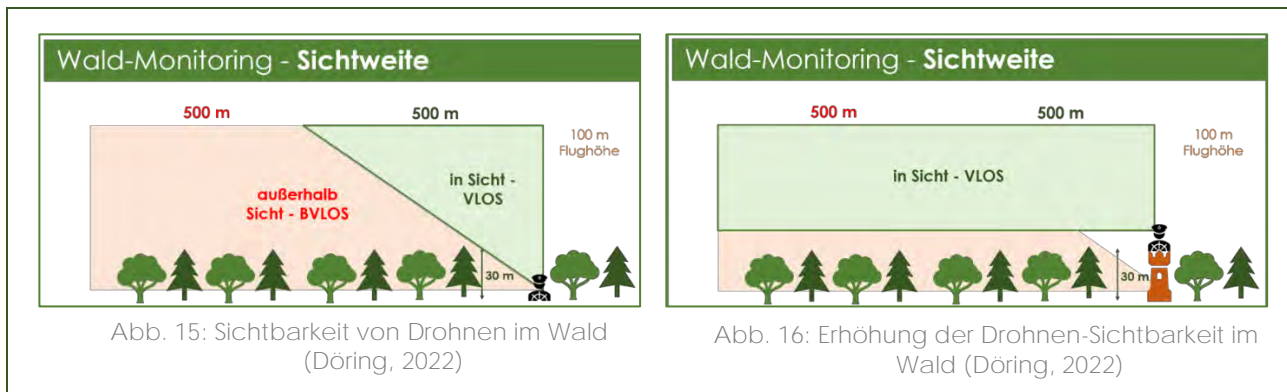
Tab. 1: Waldmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Waldmonitoring		
Schwierigkeit 	Erfahrung 	Nutzen 
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> • Waldzustand • Waldstrukturerfassung • Waldbewertung • Baumartenerkennung • Borkenkäferbefall • Forstinventuren • Baumsaat • Mistelmonitoring 	<ul style="list-style-type: none"> ○ spart Zeit ○ mehr Flächenabdeckung - gegenüber Stichproben bei Inventuren ○ Multispektral-Analysen → Vegetationsindizes ○ Volumen- und Masseberechnungen ○ mit Mehrfrequenz- GNSS - genaue Verortung ○ permanente Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> • Orthofotos • Fotos - RGB, Multispektral, Thermal • Punktwolken • 3D-Modelle • Laserscans

Tab. 2: Waldmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
Unbedingt <i>Tab. 24: Wichtige Regeln für störungsarme Flüge</i> (v.a. Brut- und Mauserzeiten) beachten!	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Das Kapitel <i>3.1.2 Befliegungs-Methodik</i> sollte immer beachtet werden.	
Effektivste Flugweise = programmierte Rasterflüge Waldkronen wirken oft wie einförmigen Strukturen → Überlappung mind. 80 % in beide Richtungen → möglichst kein Wind	Für brauchbare Orthofotos wird immer eine gewisse Überlappung benötigt - s. <i>3.1.2 Befliegungs-Methodik</i> Bäume und dichte Vegetation haben aufgrund ihrer Geometrien (viele Äste, Zweige und Blätter) sehr komplexe Strukturen, weswegen es für Photogrammetrie-

<p>→ auf guten Kontrast in Bildern achten Empfohlene Überlappung = mind. 75 % vorwärts und 60 % seitlich - meist eher mehr!</p>	<p>Programme schwierig ist, Schlüsselpunkte zwischen den einzelnen Bildern zu finden - s. (PIX4D, 2022A)</p>
<p>Es sollte immer so hoch, wie möglich geflogen werden - s. <u>Sensor-Auflösung</u> → Baumhöhen einkalkulieren!</p> 	<p>Die Effizienz ist aufgrund größerer Flächenleistung höher. Bei größerer Flughöhe verringert sich die perspektivische Verzerrung und die Vegetation erscheint weniger komplex. Es ist für die Photogrammetrie-Software dann leichter, Gemeinsamkeiten zwischen den überlappenden Bildern zu erkennen und Schlüsselpunkte zu definieren. Für die Berechnung der <u>Auflösung</u> (GSD) auf dem Kronendach muss die Baumhöhe von der Flughöhe abgezogen werden.</p>
<p>Verschiedene Kamerawinkel → 90° Nadir und → ca. 75° geneigt Bei den professionellen DJI-Modellen (<i>Enterprise</i>) gibt es eigene 3D-Flugpläne.</p>	<p>Schräg-(Oblique)-Aufnahmen können genutzt werden, um Kronenräume oder stärker geneigte Geländeoberflächen besser zu erfassen. Sie eignen sich auch zur besseren Volumenbestimmung und für bessere 3D-Modelle - s. 3.1.2 <i>Befliegungs-Methodik</i>. Ebenso tragen sie zur weiteren Stabilisierung des Bildverbandes und zur Höhengenaugkeit bei (DJI & Krull, 2020).</p>
<p>Beim Waldmonitoring spielt die Sichtweite schnell eine große Rolle. Beim Befliegen von Waldstücken gerät die Drohne nämlich schnell außer Sicht (Abb. 15), was eigentlich verboten ist. Will man mehr Sichtweite, kann man seine Position erhöhen (Abb. 16) - z.B. auf eine Aussichtsplattform eines Baumwipfelpfads wie im Hainich (HESE ET AL., 2019) oder evtl. mit einem Hubsteiger (HERKOMMER & QUANTUM SYSTEMS, 2018). Dann kann man auf jeden Fall ein größeres Gebiet über dem Wald einsehen und die Flächengröße für die Befliegungen erhöhen.</p>	



5.5.5 Wirtschaftlichkeit

Waldmonitoring mit Drohnen lohnt sich v.a. dann, wenn

- es günstiger ist als andere Methoden (z.B. können Satellitenbilder automatisiert heruntergeladen und prozessiert werden, Flugzeugbefliegungen gibt es regelmäßig nur alle 2 bis 3 Jahre oder müssen extra in Auftrag gegeben werden) - s. Vergleiche in ([STRAUB ET AL., 2021](#)), was der Fall ist, wenn
 - ständig wiederkehrende Befliegungen überschaubarer Flächen durchgeführt werden - je nach Fluggerät (Multikopter oder Starrflügler/VTOL.)
 - mit unterschiedlichen Flugparametern geflogen werden muss (Nadir, Schrägaufnahmen, unterschiedliche Höhen).
 - mit unterschiedlichen Sensoren geflogen werden soll.
 - ein flexibler und spontaner Einsatz nötig ist.
 - es gut in einen digitalen Betriebsablauf passt ([FPINNOVATIONS, 2017](#)).

Literaturverzeichnis

- AERIALPRECISION (2020): "AP-LiDAR-One_datasheet". S. 1. https://content.aerial-precision.com/ap-lidar-one/docs/AP-LiDAR-One_datasheet.pdf
- AEROTAS (2022): "DJI Zenmuse L1 Lidar Review | Drone Data Processing". Aerotas: Drone Data Processing for Surveyors. <https://www.aerotas.com/blog/dji-l1-lidar-review> (9.7.2021)
- BÄEZ, M. C. ET AL. (2020): "Comparing High-Resolution Satellite and GatorEye UAV Lidar Data for Trail Mapping in Mixed Pine and Oak Forests in Central Florida Using a Participatory Approach". preprint. BIOLOGY. <https://doi.org/10.20944/preprints202012.0699.v1>
- BEHRENDT, K. (2017): "Die Nadelholzmistel in Bayern - Analyse von Befallssituation, Ursachen und Auswirkungen anhand von Langzeitmonitoringdaten". Freising: Technische Universität München. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1438812/file.pdf>
- CHRISTOFFEL, J. (2018): "Verwendung von Drohnen im Borkenkäfermonitoring des Nationalparks Hunsrück-Hochwald". Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. http://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Christoffel_Jan.pdf
- DEMPEWOLF, J. ET AL. (2017): "Measurement of Within-Season Tree Height Growth in a Mixed Forest Stand Using UAV Imagery". In: Forests 8(7), S. 231. <https://doi.org/10.3390/f8070231>
- DUARTE, A. ET AL. (2022): "Recent Advances in Forest Insect Pests and Diseases Monitoring Using UAV-Based Data: A Systematic Review". In: Forests 13(6), S. 911. <https://doi.org/10.3390/f13060911>

- ECKE, S. (2017): "Aufnahme hochaufgelöster Luftbilder mittels UAV zur Visualisierung und räumlichen Analyse von Kiefernmisteln (*Viscum album ssp. austriacum* (Wiesb.) Vollmann) an Waldkiefern (*Pinus sylvestris* L.)". Bachelorarbeit. HSWT.
- ECKE, S. ET AL. (2022): "UAV-Based Forest Health Monitoring: A Systematic Review". In: Remote Sensing Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 14(13), S. 3205. <https://doi.org/10.3390/rs14133205>
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (FVA) (2019): "Drohnenbasierte Erfassung von Walddynamik". <https://www.fva-bw.de/top-meta-navigation/fachabteilungen/waldnaturschutz/waldschutzgebiete/fernerkundung/erfassung-von-biodiversitaetsrelevanter-waldstrukturen/drohnenbasierte-erfassung-von-walddynamik>
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (FVA) (2020): "Notruf-Drohne - Rettungskette Forst: Notruf ohne Mobilfunknetz". <https://www.fva-bw.de/top-meta-navigation/fachabteilungen/biometrie-informatik/projekt-notrufdrohne> (2.8.2022)
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (FVA) (2022): "5G-FörsterlInnendrohne". <https://www.fva-bw.de/projekte/projekt/1788-5g-foersterlInnendrohne-automatische-befliegung-von-grossen-waldflaechen-mit-drohnen-im-speziell-ueberwachten-unteren-luft-raum-und-datenprozessierung-auf-basis-der-5g-mobilfunktechnologie> (14.10.2022)
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (FVA) (2023): "Die Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpretieren – AFL". <https://www.waldwissen.net/de/technik-und-planung/waldinventur/fernerkundung-im-forst> (1.1.2023)
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (FVA) (2018): "FVA BW - Jahresbericht 2018". <https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/jahrber/jb2018.pdf>
- FPIINNOVATIONS (2017): "Forestry 4.0". <https://www.youtube.com/watch?v=r4vhLQ8OEP0> (1.1.2023)
- GANZ, S. ET AL. (2019): "Waldinventur aus Luftbildern und LiDAR-Daten - Mit welcher Genauigkeit und Präzision lassen sich Baumhöhe, Kronenradius und Kronenansatz von Douglasien ableiten?". In: https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2019/proceedings/proceedings/papers/84_3LT2019_Ganz_et_al.pdf
- GETZIN, S. ET AL. (2014): "Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests". In: Remote Sensing 6(8), S. 6988–7004. <https://doi.org/10.3390/rs6086988>
- HEITER, K. (2020): "Anwendung UAV-gestützter und labortechnischer Methoden zur Analyse des Wachstums von Laubholzmisteln (*Viscum album ssp. album*) an Winterlinden (*Tilia cordata*) im Schlosspark Nymphenburg, München". Bachelorarbeit. HSWT.
- HEITER, K. ET AL. (2020): "Möglichkeiten zum Monitoring von Misteln an Laubbäumen und deren praktischer Einsatz". In: Jahrbuch der Baumpflege 2020: Yearbook of Arboriculture. 1. Auflage. Braunschweig: Haymarket Media. S. 285–290. (= Jahrbuch der Baumpflege 24) <https://deutsche-baumpflegetage.de/neuigkeiten/222-das-jahrbuch-der-baumpflege-2020-erscheint-am-15-mai>
- HERKOMMER, M.; QUANTUM SYSTEMS (2018): "Drohneneinsatz in der Forstwirtschaft – eine kritische Analyse - Quantum Systems". <https://image-factory.media.messe-muenchen.de/asset/415354/Freitag-Martin-Herkommer.pdf>
- HESE, S.; THIEL, C.; HENKEL, A. (2019): "UAV Based Multi Seasonal Deciduous Tree Species Analysis In The Hainich National Park Using Multi Temporal And Point Cloud Curvature Features". In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W13, S. 363–370. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-363-2019>
- KEEP.EU (2014): "BarkBeeDet: Drohnenbasierte Früherkennung von Bäumen mit Borkenkäferbefall | EU projects database | Interreg and ENI CBC projects and partners". <https://www.keep.eu/project/20275/barkbeedet-drohnenbasierte-fr%C3%BCherkennung-von-b%C3%A4umen-mit-borkenk%C3%A4ferbefall> (9.4.2020)
- KITZMANN, B. ET AL. (2021): "NABU-Infopapier zu Misteln in Streuobstbeständen". NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/landnutzung/streu-obst/pflege/21681.html> (16.3.2022)
- KLEINZ, K. (2021): "Retroperspektive Pilotstudie über die räumliche und zeitliche Besiedlung einer Baumkrone durch die Weißbeerige Mistel (*Viscum album* L. ssp. *album*)". Bachelorarbeit.

Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. https://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Kleinz_Karolin.pdf

- KRASYLENKO, Y. (2021): "Druid Drone - a Small Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with Multifunctional Manipulator for Mistletoe Research and Tree Care - Was Patented in Ukraine". International Parasitic Plant Society. <https://www.parasiticplants.org/2021/07/druid-drone-a-small-unmanned-aerial-vehicle-uav-with-multifunctional-manipulator-for-mistletoe-research-and-tree-care-was-patented-in-ukraine/> (22.7.2022)
- KREPELA, F. (2019): "GNSS-gestütztes, digitales Einlegen von Rückegassen in einen Erstdurchforstungsbestand - Eine Machbarkeitsstudie mit der digitalen Planungssoftware NetwakeVision". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. http://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Krepela_Florian.pdf
- LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (2019): "Charakterisierung des Zustandes der oberirdischen Biomasse sowie der Kohlenstoffbindung mit Hilfe von UAV-Technologie in Wäldern am Beispiel des Flachlandes in Südbayern (Projekt D 25)". <https://www.lwf.bayern.de/boden-klima/waldzustandserhebung/224700/index.php> (14.10.2022)
- LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (2020): "WZE-UAV - Erfassung des Zustands der Wälder in Bayern mit Hilfe von UAV-Technologie (Projekt E058)". <https://www.lwf.bayern.de/boden-klima/waldzustandserhebung/267129/index.php> (4.8.2021)
- LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (2023): "Drohnen für den Schutzwald". <https://www.lwf.bayern.de/informationstechnologie/fernerkundung/324536/index.php>
- MEINHOLD, A.; GÖTTLEIN, A. (2022): "Schadflächen im Frankenwald – Herausforderung in neuer Dimension". In: LWF aktuell 137(6). https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbau-bergwald/dateien/a137_s17-19_meinhold.pdf
- MEJIA-ZULUAGA, P. A. ET AL. (2022): "Genetic Programming Approach for the Detection of Mistletoe Based on UAV Multispectral Imagery in the Conservation Area of Mexico City". In: Remote Sensing 14(3), S. 801. <https://doi.org/10.3390/rs14030801>
- MOSAICMILL (2022): "Forest inventory | tree count with UAV | UAS | lidar | point cloud". http://www.mosaicmill.com/forestry/UAV_inventory.html (11.6.2019)
- MUSAHL, L. (2022): "Vitalitätsbeurteilung bei Fichte und Buche verschiedener Höhenklassen und Zeitpunkte anhand von UAV-Erfassten NDVI-Daten". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. https://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Musahl_Luisa.pdf
- NESBIT, P. R.; HUGENHOLTZ, C. H. (2019): "Enhancing UAV-SfM 3D Model Accuracy in High-Relief Landscapes by Incorporating Oblique Images". In: Remote Sensing Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 11(3), S. 239. <https://doi.org/10.3390/rs11030239>
- NATIONALPARK BAYERISCHER WALD (2020): "Forschungsprojekt Bark Beetle Detection im Nationalpark Bayerischer Wald". https://www.nationalpark-bayerischer-wald.bayern.de/forschung/projekte/bark_bee_det.htm (9.4.2020)
- PACZKOWSKI, S. ET AL. (2021): "Evaluation of Early Bark Beetle Infestation Localization by Drone-Based Monoterpane Detection". In: Forests 12(2), S. 228. <https://doi.org/10.3390/f12020228>
- PEGELOW, M. ET AL. (2021): "Drohneinsatz liefert rasch eine Einschätzung von Schäden an Schwarzkiefern". In: LWF aktuell 4. <https://www.lwf.bayern.de/informationstechnologie/fernerkundung/286878/index.php>
- PERROY, R. L. ET AL. (2017): "Assessing the Impacts of Canopy Openness and Flight Parameters on Detecting a Sub-Canopy Tropical Invasive Plant Using a Small Unmanned Aerial System". In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 125, S. 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.018>
- PIX4D (2022): "Pix4D - Image Acquisition - Plan Type". Support. <http://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-a-Selecting-the-Image-Acquisition-Plan-Type> (12.6.2022)

- REDKO, C. (2019): "Druid Drone - A Novel Approach to Mistletoe Control". BioUkraine. <https://bioukraine.org/news/druid-drone-a-novel-approach-to-mistletoe-control/> (16.9.2021)
- SCHIEFER, F. ET AL. (2020): "Mapping Forest Tree Species in High Resolution UAV-Based RGB-Imagery by Means of Convolutional Neural Networks". In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 170, S. 205–215. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.10.015>
- SCHLÖR, A. (2019): "Vergleich drohnenbasierter mit terrestrischer Aufnahme zweier Plenterwald-Versuchsflächen aus dem ehemaligen Adrionshof / Landkreis Freudenstadt". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. http://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Schl%F6r_Anton.pdf
- SCHWEGLER, F. (2017): "Früherkennung von Borkenkäferschäden mittels UAV-Aufnahmen nach dem Verfahren von Festmeter „Schäden erkennen bevor man sie sieht?“". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- SKYLAB (2022): "Precision Forestry Made in Germany". SKYLAB. <https://www.skylabglobal2.com> (22.7.2022)
- STRAUB, C. ET AL. (2021): "BeechSAT – Geschädigte Buchen mit Fernerkundungsdaten kartieren". <https://www.lwf.bayern.de/informationstechnologie/fernerkundung/269436/index.php>
- THIEL, C. ET AL. (2020): "UAS Imagery-Based Mapping of Coarse Wood Debris in a Natural Deciduous Forest in Central Germany (Hainich National Park)". <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3293>
- TORRESAN, C. ET AL. (2020): "Individual Tree Crown Segmentation in Two-Layered Dense Mixed Forests from UAV LiDAR Data". In: Drones 4(2), S. 10. <https://doi.org/10.3390/drones4020010>
- WINGARTZ, M. (2020): "Digitale Aufnahme von Schadholz mittels Drohne und anschließende Datenverarbeitung und -weitergabe mittels Softwarelösung". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg. https://www.hs-rottenburg.de/bibliothek/Bach/Wingartz_Moritz.pdf
- ZIELEWSKA-BÜTTNER, K. ET AL. (2016): "Parameters Influencing Forest Gap Detection Using Canopy Height Models Derived From Stereo Aerial Imagery". Präsentiert auf: Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF, Bd. 25. https://www.researchgate.net/profile/Katarzyna_Zielewska-Buettner/publication/304621892_Parameters_Influencing_Forest_Gap_Detection_Using_Canopy_Height_Models_Derived_From_Stereo_Aerial_Imagery

5.6 Fels-Monitoring

Zusammenfassung

Das naturschutzfachliche Monitoring von Felsen kann, wie hier, bei im Klettermanagement eine Rolle spielen, oder im Wildtiermanagement bezüglich Gämsen und ähnlichen Felsnutzern, und bei der Besucherlenkung in felsigen Tourismusregionen. Dabei werden u.a. Xerothermen und andere meist hoch spezialisierte Arten untersucht.

In unserem Projekt wurden in Absprachen mit den zuständigen Behörden und GebietsbetreuerInnen Felsen im Donautal, auf der Reutlinger Alb und im 'Eselstal' befliegen, um die Nutzung von Drohnen für das Felsmonitoring zu untersuchen und entsprechende Methoden zu erarbeiten. Nach Auswertung der Befliegungen wurden entsprechende Workflows und Empfehlungen ausgearbeitet und hier zusammengefasst.

Inhaltsverzeichnis

10.6 Fels-Monitoring	1
Zusammenfassung	1
Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	2
1.1.1 Einleitung	2
1.1.1.1 Praxisbezug des Teilprojekts	4
1.1.1.2 Fragestellungen	5
Arten mit besonderem Interesse für das Artenschutz-Programm (ASP)	5
1.1.1.3 Methodik	7
1.1.2 Ergebnisse	8
1.1.2.1 Befliegungen mit dem DAV	8
Ziele der Befliegungen durch den DAV	8
Vereinsveröffentlichung DAV BW - Felskartierung im Donautal mit Drohne	8
1.1.2.2 Eigene Befliegungen	9
Donautal 2020	9
Befliegungen im Eselsburger-Tal	12
1.1.2.3 Felsbefliegungen - Fazit	14
10.5.1 Felsmonitoring - Fazit	17
10.5.2 Wirtschaftlichkeit	19
1.1.3 Literaturverzeichnis	19

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Unzugängliche Felswände in China (ZHOU ET AL., 2021)	3
Abb. 2: mögliche Untersuchungsmethode von steilen Felswänden (ZHOU ET AL., 2021)	3
Abb. 3: Felsbild - Blick nach unten (DAV BW, 2020)	7
Abb. 4: DAV-Drohne im Einsatz (DAV/Wiening)	8
Abb. 6: Felsen im Donautal - 3D-Orthoansichten	9
Abb. 7: Unterschiedliche Ansichten von Felsen und Vegetation (Döring, 2021)	10

Abb. 8: Eindruck vom Nägelesfels - Ermstal (Döring, 2021).....	11
Abb. 9: Orthoansicht Pflingstnelken-Fels (Döring, 2021)	12
Abb. 10: Orthoansicht Pflingstnelken-Fels - Zoom auf Pflingstnelken (Döring, 2021)	13
Abb. 11: Orthoansicht Pflingstnelken-Fels - Zoom auf Markierungspunkte (Döring, 2021)	13
Abb. 12: Pflingstnelken und andere Arten im Einzelbild (Döring, 2021)	13
Abb. 13: Zoom auf weitere pot. erkennbare Arten im Einzelbild (Döring, 2021)	13
Abb. 14: Felsmonitoring-Methodik kurz - Grafik aus Schulungsmodul (Döring, 2021)	17

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Einschätzung der Erkennbarkeit von Arten beim Felsmonitoring (Döring, 2022)	5
Tab. 2: Antworten & Empfehlungen Felsmonitoring (Döring, 2022)	14
Tab. 3: Felsmonitoring - Methodik (Döring, 2022)	17

5.6.1 Einleitung

Fels-Monitoring mit Drohnen parallel zum Felsen wurde - im Gegensatz zu 'normalen' Vermessungsflügen über Felsen - bisher hauptsächlich für geologische bzw. geomechanische Fragen wie Oberflächenrauigkeiten von Fels-Diskontinuitäten ([SALVINI ET AL., 2020](#)), zur stabilitätsrelevanten Oberflächenmodellierung komplexer vertikaler Felsoberflächen ([WANG ET AL., 2019](#)) oder sicherheitsrelevante Managementfragen zur Felssicherung angewendet.

Für das Monitoring der Erosion von fast senkrechten bis überhängenden Küsten-Felswänden (*Cliffs*) in der Normandie verglichen Forscher photogrammetrische Analysen von Drohnendaten, von terrestrisch erhaltenen Fotos und von terrestrischen Laserscan-Daten ([LETORTU ET AL., 2018](#)). Mit den Drohnendaten konnten größere Flächen in ähnlicher Genauigkeit und in regelmäßigen Zeit-Abständen schneller, einfacher und mit besserer Einsicht auch in versteckte Ecken, untersucht werden. In einer Folge-Arbeit wurden die Parameter untersucht, mit denen die *Cliffs* mit Drohnen-Unterstützung am besten aufgenommen werden könnten. Die besten Ergebnisse wurden mit Kamerawinkeln von 70°, 60° und 50° (also fast horizontal) erzielt ([JAUD ET AL., 2019](#)).

Zur Volumenbestimmung von abgegangenen Felsbrocken konnten mit den parallel zum *Cliff* (s. [Fazit](#)) erfolgten Aufnahmen einer handelsüblichen *DJI Phantom 4 Pro* sehr genaue und zufriedenstellende 3D-Modelle erstellt werden ([GÓMEZ-GUTIÉRREZ & GONÇALVES, 2020](#)). Überdies konnte die Flugplanung mit Hilfe der im [Kapitel 3.1.6.1 Apps](#) kurz vorgestellten [Drone Harmony](#)-App automatisiert werden.

Die Test-Befliegungen im Rahmen des DroBio-Projekts mit der [Drone Harmony](#)-App wurden in einem Steinbruch durchgeführt. An den ebenfalls relativ gleichmäßigen und 'glatten' Felswänden (wie an den vorher genannten *Cliffs*) war die vertikale Flugplanung und -durchführung möglich. An anderen beflogenen 'echten' Felsen war eine Automatisierung nicht mehr zielführend, da die Frontflächen der meisten Felsen viel zu unregelmäßig sind und oft direkt am Felsen oder/und am Felsfuß Bäume oder Büsche wachsen. Das macht eine automatisierte Flugplanung unmöglich und lässt schlussendlich eigentlich nur manuelles Fliegen zu.

Zum Felsmonitoring mit Drohnen für ökologische Fragestellungen sind nur sehr wenigen Arbeiten gefunden worden. In einer Veröffentlichung wurden 3D-Modelle von Felswänden (*Cliffs*) aus Drohnendaten erstellt, um damit durch visuelle Analysen potenzielle Störungen von Greifvogel-Nistplätzen oder Horststandorten durch Kletterrouten detektieren zu können

([Dwyer et al., 2020](#)). Es konnten im Anschluss Empfehlungen zum Störungsmanagement von Kletterrouten erstellt werden.

Die vorher erwähnten Küsten-Cliffs beheimaten oft eine einzigartige Vielfalt an Pflanzenarten und stehen als Lebensraumtyp 'Atlantik-Felsküsten und Ostsee-Fels- und Steil-Küsten mit Vegetation' (LRT 1230) im Rahmen der FFH-Richtlinie (Anhang I) unter Schutz. Das bedeutet es besteht eine Monitoring- und Berichtspflicht. Diese Monitoringberichte zu erarbeiten, stellt in diesen Lebensräumen eine Herausforderung dar, denn Steilwände sind nur schwer und zeitaufwendig zu untersuchen. Deshalb schauten italienische Wissenschaftler nach alternativen Monitoring-Methoden. Mit Drohnenaufnahmen konnten sie alle Zielarten eines Küsten-Cliffs erfolgreich detektieren und identifizieren ([Strumia et al., 2020](#)). Bei 3 von 5 Arten war die Identifizierung einfach, da sie entweder spezielle und eindeutige Merkmale (wie unverwechselbare Blattformen) aufwiesen oder zum richtigen Zeitpunkt mit phänologisch eindeutigen Merkmalen erfasst werden konnten.

An weitaus größeren und unzugänglicheren Cliffs in einem chinesischen Nationalpark untersuchten Forscher die oft noch wenig bekannte Flora und konnten erfolgreich Bäume, Büsche und Wein-Arten identifizieren (Abb. 1) ([Zhou et al., 2021](#)).

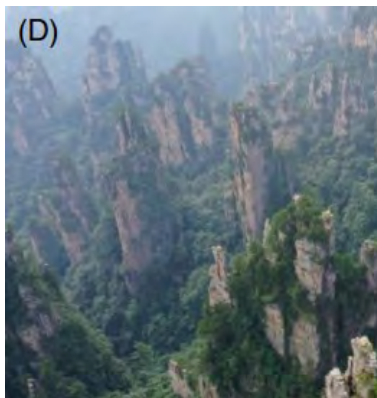


Abb. 1: Unzugängliche Felswände in China ([Zhou et al., 2021](#))

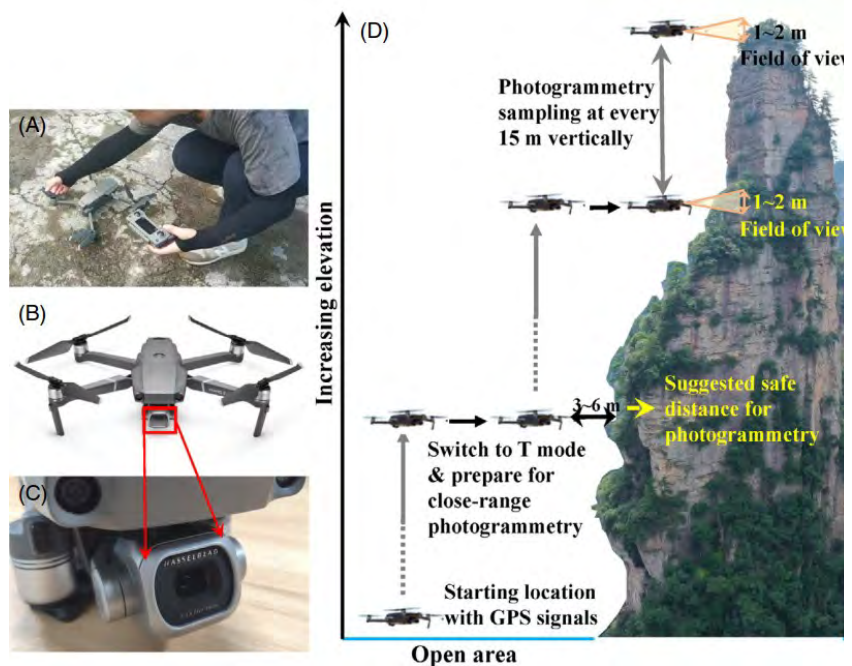


Abb. 2: mögliche Untersuchungsmethode von steilen Felswänden ([Zhou et al., 2021](#))

Dabei flogen sie, mit der gleichen Drohne wie im DroBio-Projekt, so nahe wie sicher möglich an die Felswand heran (3 - 6 m) und schossen an jedem Halt, alle 15 m höher, zwei bis drei Fotos (Abb. 2). So wurde die ganze Felswand von unten bis oben abgescannt und hochauflösende Aufnahmen der vorkommenden Gehölz-Pflanzen gemacht.

Auf ähnliche Art und Weise wurden auch die Aufnahmen im Projekt durchgeführt - allerdings an weniger hohen Felswänden und mit mehreren Flugbahnen vertikal oder horizontal und immer parallel zum Felsen.

Das zeigt eine gewisse logische 'Selbstverständlichkeit' der Methode, denn die zitierte Arbeit war zum Zeitpunkt der eigenen Befliegungen noch nicht bekannt.

Praxisbezug des Teilprojekts

Ausgangspunkt für das Teilprojekt 'Fels-Monitoring' war die aktuelle Anfrage des Deutschen Alpenvereins (DAV) an das RP Tübingen zur Aufhebung der Sperrung verschiedener Felsen in den attraktiven Kletterregionen Donautal und Schwäbische Alb. Diese Anfrage fand im Zuge des Projekts der neuen Kletterkonzeption Baden-Württemberg "[Klettern in Baden-Württemberg](#)" statt ([DAV BW, 2015](#)).

Um die Unbedenklichkeit der Freigabe der Felsen zu belegen, mussten unter anderem die Artengruppen Pflanzen, Moose, Flechten, Schnecken, Tagfalter, andere Insekten, Reptilien, Vögel und Fledermäuse in den Gebieten untersucht werden. Basierend auf den Ergebnissen der resultierenden Gutachten sollten dann Entscheidungen getroffen werden, ob eine klettersportliche Nutzung der jeweiligen Felsen und wenn ja, in welchem Umfang, möglich ist. Es sollten nach den Vorstellungen des DAV naturverträgliche, der Situation angepasste und klettersportlich sinnvolle Lösungen gefunden werden.

Exkurs Klettersport - Naturschutz

([CLARK & HESSL, 2015](#)) beobachteten signifikante Auswirkungen des Sportkletterns v.a. auf die Vegetation an Felsfüßen und der Kletterintensität auf die Artenzusammensetzung und Abundanz von Gefäßpflanzen und mehr noch der Flechten. Aber v.a. die Neigung und Exposition der Felswände spielten eine große Rolle für die Artenvielfalt und Abundanz von Gefäßpflanzen, Moose/Bryophyten und Flechten. Sie schlagen ein für beide Seiten vorteilhafte Zusammenarbeit zwischen Naturschutz und SportklettererInnen vor, da viele der sensiblen Arten in schwierig bekletterbaren Abschnitten liegen und für 'Nicht-ProfiklettererInnen' bzw. KartiererInnen somit nur mit großem Aufwand - deswegen oft selten - zu monitorieren sind.

([BOGGESE ET AL., 2017](#)) proklamieren eine individuelle Untersuchung von Felsen und v.a. Felsköpfen für naturschutzfachliches Management.

Auch ([KUNTZ & LARSON, 2006](#)) untersuchten an bekletterten und an 'jungfräulichen' Felsen die Mikrotopographie und die vorkommenden Vegetationsgemeinschaften.

Denn auch Felsfüße und -köpfe beherbergen oft empfindliche Arten, deren Beeinträchtigungen beim naturschutzfachlichen Management von Kletterfelsen unbedingt mit in Betrachtung gezogen werden müssen.

Der DAV beschaffte für die biologischen Gutachten, zur Kartierung der Vegetation, extra eine Drohne, da die vorhergehenden Untersuchungen durch Abseilen für den bestellten Biologen nicht angenehm waren. Die DAV-Drohne - eine *DJI Mavic Pro* - kam erstmals im Juli 2020 im Oberen Donautal zum Einsatz. Dabei wurden die Felsen Thiergartener Dolomiten, die Schattenwand, der Gaskessel und das Amphitheater manuell befliegen.

Anschließend wurden die erfolgten Fotos - zusammen mit den herkömmlich terrestrisch vom Felsfuß oder, wenn möglich, von einem Gegenhang aus erhobenen Fernglas-Beobachtungen - für die Vegetationsgutachten visuell ausgewertet.

Ein weiterer Drohneneinsatz, für die Einsicht in Felsspalten zur Untersuchung möglicher Fledermausvor-

kommen, erfolgte später durch das beauftragte Fachbüro (DIETZ, MÜNDLICH).

Felskartierungen waren im Rahmen des DroBio-Projekts schon von Anfang an vorgesehen und so wurde diesbezüglich beim RP Tübingen (RPT) mit dem dortigen 'Projekt-Verbindungsmann' Kontakt aufgenommen. Dieser fand die Idee des Felsmonitorings mittels Drohnen sehr interessant und stellte den Kontakt mit den Verantwortlichen des DAV-Projekts her. Diese waren mangels eigener Erfahrungen mit Drohnen gerne zu einer Zusammenarbeit bereit. So konnte der Projektkoordinator beobachtend und beratend an den Befliegungen der oben genannten Felsen teilnehmen und schon erste Eindrücke und Erfahrungen sammeln.

Diese waren für die nachfolgenden eigenen Befliegungen nützlich und erleichterten die Methodenfindung.

Fragestellungen

In Gesprächen mit dem Verantwortlichen beim RPT und drei ASP-Beauftragten für Gefäßpflanzen und Moose/Flechten kristallisierten sich v.a. folgende Fragestellungen heraus:

- Kann man mit Drohnen einfacher und schonender Felsen kartieren?
- Ist es möglich Bilder zur Erkennung bis auf Artenebene zu erhalten? Und für welche relevanten Arten?
- Kann man mit Drohnenbefliegungen die Größe von Vorkommen und entsprechend die Bestandsentwicklung von Arten einschätzen - v.a. in fast unzugänglichen Gebieten bzw. bei nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu erfassenden Arten?
- Sind Drohnenuntersuchungen letztlich zum Beleg der naturschutzfachlichen Wertigkeit von Felsen geeignet?







Arten mit besonderem Interesse für das Artenschutz-Programm (ASP)

Bei der angestrebten Detektion und Erkennung bis auf Artenebene kann als Faustregel für die Drohnenbefliegungen folgende Aussagen getroffen werden:





- Ist eine Art unverwechselbar und auffällig bzw. rel. groß, kann sie gut erkannt werden.
- Je mehr ähnliche Arten in einem Gebiet vorkommen und je kleiner sie sind, desto schwieriger wird die individuelle Erkennung bei positiver Detektion.
- Hat eine Pflanzenart gut sichtbare Blüten mit eindeutigen Merkmalen, ist die Detektion und Erkennung - zumindest in der Blütezeit - möglich.
- Je kleiner und unscheinbarer eine Pflanze ist, desto schwieriger ist ihre Detektion und erst recht die Differenzierung zwischen ähnlichen Arten.

Folgende Arten mit - nach Aussage der Fachleute - besonderem Interesse für das Artenschutz-Programm (ASP) wurden recherchiert und überprüft, ob ihre Detektion und Erkennung plausibel sind:

Tab. 1: Einschätzung der Erkennbarkeit von Arten beim Felsmonitoring (Döring, 2022)

 = gut möglich,  = möglich,  = evtl. möglich			
Art	Habitus	Blüte	Detektion/Erkennung
<u>Rosmarin-Seidelbast</u> (<i>Daphne cneorum</i>)	10 - 40 cm, verholzt, dunkle ledrige Blätter	rel. groß, 4-zählig, lila	Erkennung in Blütezeit eindeutig möglich 
<u>Pfingst-Nelke</u> (<i>Dianthus gratianopolitanus</i>)	10 - 20 cm, linealische Blätter, in lockeren Polstern	rel. groß, 5-zählig, rosa - rot	Erkennung in Blütezeit möglich - selbst nachgewiesen 
<u>Feder- und Pfriemengräser</u> (<i>Stipa sp.</i>)	oft rel. hoch, horstbildend	rel. groß, oft federförmig, grünlich - weißlich	Erkennung in Blütezeit möglich, wenn hoch aufgelöst  evtl. Verwechslungsgefahr

<u>Raugräser</u> (<i>Achnatherum sp.</i>)	oft rel. hoch und horstbildend	borstige Rispen, grünlich - weißlich	recht unscheinbar, Erkennung wenig wahrscheinlich
<u>Graue Löwenzahn</u> (<i>Leontodon incanus</i>)	15 - 40 cm, Laubblätter in grundständiger Rosette ganzrandig bis entfernt gezähnt	Mai/Juni, Korbblütler, 2 - 4 cm, gelb	Erkennung in Blüte- und Fruchtzeit möglich  evtl. Verwechslungsgefahr
<u>Salzburger Augentrost</u> (<i>Euphrasia salisburgensis</i>)	5 - 20 cm, Laubblätter gegenständig, spitz begrannt gezähnt	Juni-Okt., 5-7 mm, weiß bis bläulich oder rötlich	sehr kleine Blüten, Erkennung nur in sehr hoher Auflösung, mit anderem Augentrostarten verwechselbar, Erkennung wenig wahrscheinlich
<u>Scharfkraut</u> (<i>Asperugo procumbens</i>)	bis 90 cm, kletternd bis niederliegend	klein, 5-zählig, blau bis violett, selten weiß	sehr unscheinbar, Erkennung wenig wahrscheinlich
<u>Österreichische Rauke</u> (<i>Sisymbrium austriacum</i>)	15 - 60cm, Laubblätter variabel	Mai/Juni, traubiger Blütenstand mit vielen Blüten rel. groß, gelb	Erkennung in Blütezeit evtl. gut möglich 
<u>zottige, Alpen-Augenwurz</u> (<i>Athamanta cretensis</i>)	10 - 40 cm, Laubblätter dreifach gefiedert	Mai-August, weißer Doldenblütler	Erkennung (in Blütezeit) möglich, wenn keine ähnlichen Doldenblütler vorhanden sind 
<u>Bleiche Schöterich</u> (<i>Erysimum crepidifolium</i>)	20 - 60 cm, rel. fein	1 cm, 4-zählig, gelb	rel. eindeutig, Erkennung in Blütezeit möglich 
<u>Buchs-Kreuzblume</u> (<i>Polygala chamaebuxus</i>)	5 - 30 cm, im unteren Teil verholzte Sprossachsen	April/Mai + evtl. Sept./Okt., 0,5 - 3 cm, weiß o. purpurn	durch auffällige Blüten eindeutige Erkennung in Blütezeit möglich 
<u>Graufilziges Sonnenröschen</u> (<i>Helianthemum canum</i>)	10 - 20 cm, blütentragenden Äste meist aufrecht oder aufsteigend	Mai/Juni, 5-zählig, radiärsymmetrisch, 6 - 16 mm, gelb	Erkennung in Blütezeit unter guten Bedingungen wahrscheinlich möglich 
<u>Niedriges Habichtskraut</u> (<i>Hieracium humile</i>)	5 - 20 cm, Stängel gebogen	Juni-Aug., gelb	in Blütezeit wahrscheinlich möglich, aber ggf. mit anderen Arten zu verwechseln 
<u>Cottet-Habichtskraut</u> (<i>Hieracium cottetii</i>)	15 - 30 cm	Juni/Juli, rel. groß, gelb	in Blütezeit wahrscheinlich möglich, aber ggf. mit anderen Arten zu verwechseln 
<u>Felsen-Kugelschötchen</u> (<i>Kernera saxatilis</i>)	10 - 30 cm, rel. fein	klein, 4-zählig, weiß	bei guter Auflösung Erkennung in Blütezeit evtl. möglich 
Weniger prioritär			
<u>Apfel-Rose</u> (<i>Rosa villosa</i>)	1 - 2 m, Strauch, Hagebutte ist kugelig-	Juni/Juli, bis 5 cm, 5-zählig, karminrot	Erkennung in Blütezeit eindeutig möglich 

	eiförmig, bis 2,5 cm, lebhaft rot, weichstachelig	oder rosafarben	
Hasenohr-Habichtskraut (<i>Hieracium bupleuroides</i>)	20 - 60 cm, oben gabelig verzweigt	Juni-August, rel. groß, gelb	in Blütezeit wahrscheinlich möglich  ggf. mit anderen Arten zu verwechseln
Zwerg-Glockenblume (<i>Campanula cochlearifolia</i>)	5 - 15 cm, oft dichte Rasen	Juni-August, nickend, 1 - 1,5 cm, hellblaues bis blaulila Glöckchen	Erkennung in Blütezeit unter guten Bedingungen wahrscheinlich möglich 
Berg-Kronwicke (<i>Coronilla coronata</i>)	30 - 50 cm, Blätter 5 - 7 cm + gefiedert	Mai-Juli, aus 15 bis 20 zus. ges. Blütenstand, gelb	in Blütezeit wahrscheinlich möglich  ggf. mit anderen Arten zu verwechseln
Felsenkirsche (<i>Prunus mahaleb</i>)	2 - 6 m, Baum/Strauch	Blätter breit eiförmig bis fast kreisrund - oft leicht gefaltet, 3 - 6 cm lang, weiß	Erkennung gut möglich, aber evtl. mit <i>P. padus</i> (glatte, ungefaltete Blätter) verwechselbar 

Methodik

Nach Vorversuchen in einem Steinbruch mit glatten Wänden und automatisierten Flugplannungen (Fassadenbefliegung), die mit einigen Apps (z.B. *Drone Harmony*) möglich sind, wurde an 'reellen' Felsen die Drohne dann doch manuell geflogen. Durch die meist unregelmäßige Struktur der Felsen und die oft v.a. am Felsfuß wachsende Vegetation, sind die Bedingungen für automatisierte Befliegungen ungünstig.

Man kann außerdem zur Planung des Befliegungsabstandes und der Flughöhe weder die Entfernungen zum Felsen, noch die Höhe der Vegetation am Felsfuß genügend sicher einschätzen (Abb. 3).

Nach unbefriedigenden Vorversuchen von unten (Felsfuß) und aus größerer Distanz vom Felsen zu fliegen, wurden die meisten Befliegungen dann vom jeweils (erlaubterweise) begehbaren Felskopf aus durchgeführt.



Abb. 3: Felsbild - Blick nach unten (DAV BW, 2020)

Es wurde immer versucht einen relativ konstanten Abstand vom Felsen und eine regelmäßige Flugrichtung von unten nach oben oder von rechts nach links einzuhalten, um auch in der Vertikalen eine ähnliche Überlappung und Konsistenz wie bei horizontalen Missionen zu erreichen.

Die horizontal nach vorn gerichtete Kamera wurde in möglichst regelmäßigen Abständen manuell ausgelöst. Dabei wurde in *Stop-and-Go* Manier geflogen, also für jedes Bild kurz

gestoppt und auf der Stelle gestanden (*gehovert*), um eine möglichst gute Bildqualität zu erhalten.

Zusätzlich zu den horizontalen Aufnahmen wurden in gleicher Manier auch noch Schrägaufnahmen (leicht nach unten gekippte Kamera) geschossen, um auch in Felsspalten und auf nach hinten gekippten Absätzen gute 'Einsichten' zu gewinnen.

5.6.2 Ergebnisse

Befliegungen mit dem DAV

Im Juli fanden die erwähnten zwei Befliegungstermine mit den beiden Vertretern des DAV und ihrer eigens zu diesem Zweck beschafften Drohne statt. Dabei stand der DroBio-Projekt-koordinator beratend und als Beobachter (Spotter) mit Rat und Tat zur Seite.

Ziele der Befliegungen durch den DAV

- Die Befliegungen dienen als Ergänzung zu den gutachterlichen Vegetationsaufnahmen, die ansonsten mit einem Fernglas von unten, oder, wenn möglich, auch vom Gegenhang aus, getätigt werden.
- Die Befliegungen sollten v.a. dem Blick auf Absätze und in Spalten dienen, die für den Gutachter sonst nicht einsehbar sind.
- Außerdem dienen die Bilder der Fotodokumentation der Felsvegetation.
- Die erfolgten Bilder flossen unterstützend in das Vegetationsgutachten der Felsen ein, genauso wie das 'Spaltenmonitoring' zum Fledermausgutachten.
- Flugmethodik:
 - Start - aus dem Wald am Felsfuß heraus
 - Flug - händisch/manuell
 - Kameraauslösung - manuell in unregelmäßigen Abständen
 - Höhe/Distanz - variierender Abstand vom Felsen
 - Flugrichtung - variierend - von unten nach oben + von rechts nach links

Vereinsveröffentlichung DAV BW - Felskartierung im Donautal mit Drohne

"Zur Unterstützung des beauftragten Gutachters und zur Ergänzung der Vegetationsaufnahmen war im Oberen Donautal erstmal eine DAV-Drohne mit leistungsfähiger Kamera im Einsatz. Beflogen wurden die Felsen Thiergartener Dolomiten, Schattenwand, Gaskessel und Amphitheater im Rahmen des Projekts Klettern in BW. So konnten wertvolle Einblicke in weiter oben gelegenen Felstrukturen gewonnen werden, z.B. höhere Wandbereiche, Felsbänder, Absätze und Felsköpfe. Das Starten, Landen und Fliegen zwischen Felswänden und Bäumen ist anspruchsvoll, aber die Drohne liefert viele Detailaufnahmen aus günstiger Perspektive und stellt eine sehr effiziente Methode für Biotopkartierungen dar.



Abb. 4: DAV-Drohne im Einsatz (DAV/WIENING)

Eine angewandte wissenschaftliche Studie der Hochschule Rottenburg („DroBio“) widmet sich derzeit dem Einsatz von Drohnen in Zusammenhang mit Naturschutzfragen, insbesondere beim Monitoring von Biotopen. Der Projekt-Koordinator traf sich mit den Mitarbeitern

vom DAV-Landesverband bei zwei Befliegungen im Donautal und es kam zu einem regen fachlichen Austausch." (DAV BW, 2020)

Eigene Befliegungen

Donautal 2020

Die ersten eigenen Befliegungen fanden im August und September an 2 Felsen im Donautal statt. Alle Befliegungen waren mit den Behörden und GebietsbetreuerInnen abgesprochen







Abb. 5: Felsen im Donautal - 3D-Orthoansichten (Döring, 2021)

Die Felsen waren genügend frei von Vegetation, um sie gut befiegen zu können. Die prozessierten Orthoansichten (= vertikales Orthofoto) und 3D-Modelle (Abb. 6) hatten eine gute Qualität und erlaubten die visuelle Begutachtung.

Schrägaufnahmen Donautal

Rein visuell ist in den Beispiel-Bildern der Befliegungen zwar kein Unterschied der Kameraeinstellungen zwischen 90° nach unten (*Nadir*) und Schräg- oder Obliqueaufnahmen (meist 75° nach unten) auszumachen (Abb. 7). Der Mehrwert zeigt sich aber bei der photogrammetrischen Bearbeitung und in Summe in der besseren 'Einsicht' auch in nach hinten gekippte Absätze oder in Ritzen.

Horizontalaufnahmen	Oblique-/Schrägaufnahmen
	
	
<p>Abb. 6: Unterschiedliche Ansichten von Felsen und Vegetation (Döring, 2021)</p>	

Ermstal

Auch die Befliegungen der Felsen im Ermstal fanden in Absprache mit den Behörden und GebietsbetreuerInnen und nach persönlicher Einweisung vor Ort durch den Verantwortlichen des RPT statt. Die Felsen konnten gut befliegen werden und brachten ebenfalls Aufnahmen in guter Qualität (Abb. 8).



Abb. 7: Eindruck vom Nägelesfels - Ermstal (Döring, 2021)

Kommentare

RPT: "... wenn es um die Moose und spezielle Pflänzchen geht, wird es knapp. Aber für eine Dokumentation des Erhaltungszustands des Felsens an sich – gerade im Hinblick auf Auswirkungen durch Kletternutzungen z. B. – finde ich die Aufnahmen wertvoll."

ASP-Beauftragter: "In der Form kann ich viele - naturschutzfachlich wichtige - Arten nicht sicher ansprechen. Beim Reinzoomen merkt man, dass die Auflösung und die Tiefenschärfe nicht ausreichen. Gibt es da noch Möglichkeiten oder ist das technisch schon ausgereizt?"

Anmerkung: Nein, die Möglichkeiten sind noch nicht ausgereizt und können unter guten Bedingungen (v.a. kein Wind) verfeinert werden. Je weniger Wind, umso weniger Turbulenzen werden am Felsen verursacht und desto weniger bewegen sich die Pflanzen. Je geübter der Pilot, desto näher kann er an die Felsen heranfliegen und so schärfere Fotos erlangen.

Befliegungen im Eselsburger-Tal

Am 17.06. 2021 wurden weitere Befliegungen von 2 Felsen im Eselsburger-Tal im Beisein des zuständigen ASP-Beauftragten durchgeführt.

Ziel war die Befliegung der Standorte der von der Uni Heidelberg betreuten Populationen von Pfingstnelken (*Dianthus gratianopolitanus* Vill.) an 2 unterschiedlichen Felsen. Dazu wurden manuell elf Flüge nach der oben beschriebenen Methodik mit Horizontal- und Schrägfotos durchgeführt.

Außerdem sollte versucht werden, die Auflösung der Bilder zu verbessern. Allerdings war es sonnig mit ziemlich böigem Wind, was bei der Erfassung der leicht beweglichen Vegetation zu Schärfe Problemen in den Orthofotos führte.

Ergebnis-Fotos

Die bei den Befliegungen erfolgten Fotos erlaubten es Orthoansichten des 3D-Modells zu erstellen (Abb. 9).

In der Orthoansicht aus dem 3D-Modell kann man gut die im Fokus stehende Zielart Pfingstnelke (oberer roter Kreis) und die grünen Markierungspunkte der Standorte der Uni Heidelberg (unterer roter Kreis) gut erkennen.

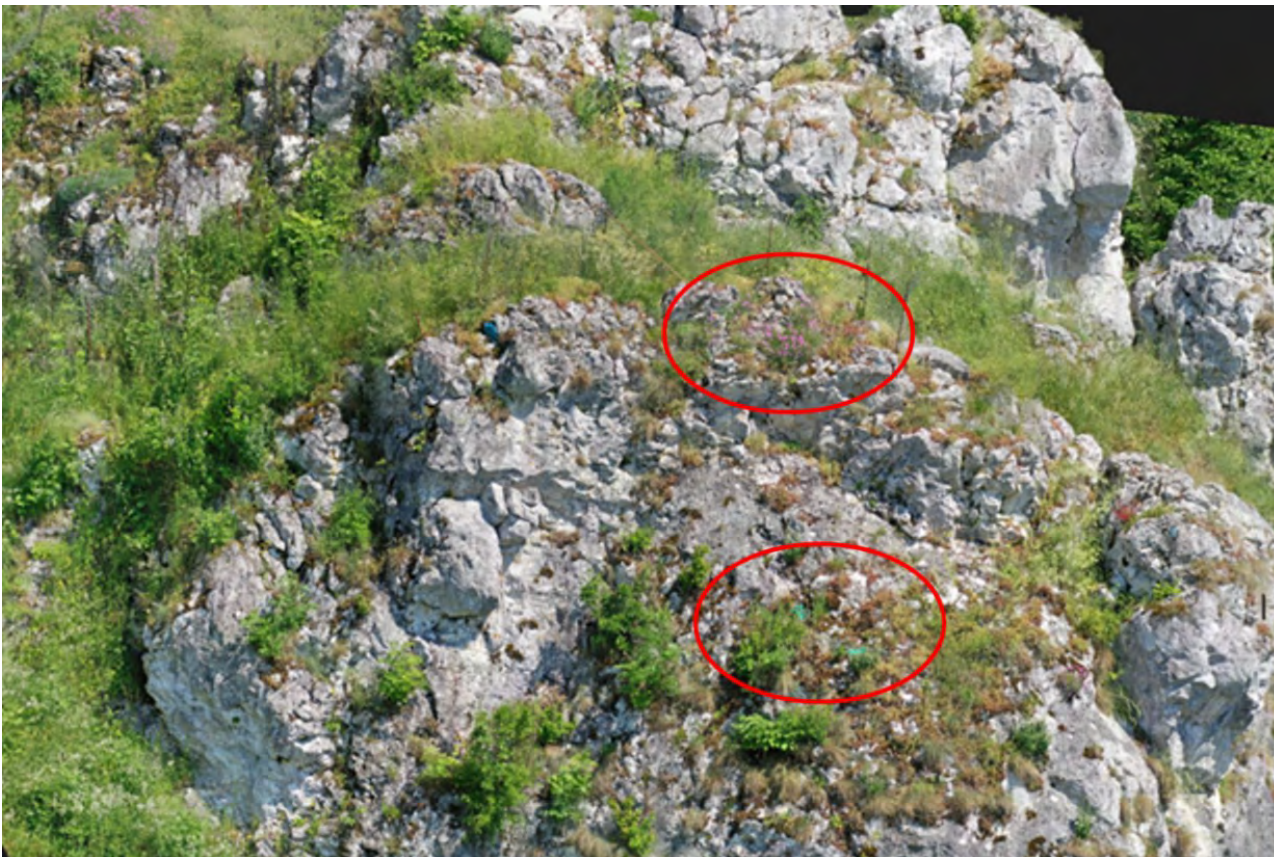


Abb. 8: Orthoansicht Pfingstnelken-Fels (Döring, 2021)

Hier noch einmal im Detail zu sehen (Abb. 10 + 11).



Abb. 9: Orthoansicht Pfingstnelken-Fels - Zoom auf Pfingstnelken (Döring, 2021)

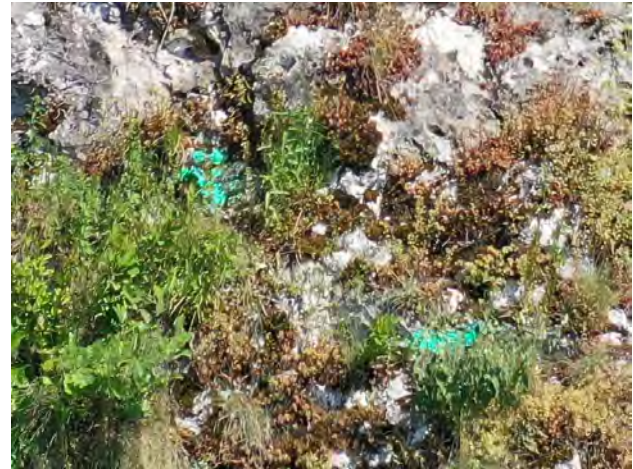


Abb. 10: Orthoansicht Pfingstnelken-Fels - Zoom auf Markierungspunkte (Döring, 2021)

Mit der notwendigen Artenkenntnis und ordentlichem *Ground Truthing* (Überprüfung am Boden) zum Befliegungszeitpunkt ist es auch möglich, auf den Einzelfotos andere Arten anzusprechen (Abb. 13 + 14).



Abb. 11: Pfingstnelken und andere Arten im Einzelbild (Döring, 2021)



Abb. 12: Zoom auf weitere pot. erkennbare Arten im Einzelbild (Döring, 2021)

Die Schwierigkeit bei den Aufnahmen von Felsen besteht darin, möglichst nahe an die Felsen heranzufiegen. Das wird jedoch erschwert durch

- die meist unregelmäßige Struktur der Felsen,
- ihren häufigen Besatz mit herausragender Vegetation, die ein immer wieder erneutes Abstandnehmen erforderlich macht,

- Turbulenzen, die bei sonnigem und windigem Wetter die Drohne nah an den Felsen spürbar unruhig werden lassen und
- die auf Dauer nötige Konzentration mit ständigem Blick auf das Display und über den Felsrand hinweg auf die Drohne.

Felsbefliegungen - Empfehlungen

Tab. 2: Antworten & Empfehlungen Felsmonitoring (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
Können mit Hilfe von Drohnen Felsen einfacher und schonender kartiert werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, v.a. zur Darstellung der Morphologie des Felsens und zur generellen Erfassung der Vegetation. • Ja, v.a. an Felsen, die einigermaßen freistehen und nicht komplett bewachsen sind. • Schonender auf jeden Fall, da die Untersuchung berührungslos stattfindet und durch Beklettern kein Pflanzen losgetreten oder durch das Seil beschädigt werden. • Gleichzeitig ist die Drohnenbefliegung schneller und einfacher als eine systematische Aufnahme durch Beklettern. • Die Fernglaskartierung vom Felsfuß oder Gegenhang aus ermöglicht keine Foto-Dokumentation und kann später nicht mehr überprüft und nachjustiert werden.
Ist es möglich Bilder zur Erkennung bis auf Artenebene zu erhalten? Und für welche relevanten Arten?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, wenn die Arten nicht zu klein sind und sie mit genügend Artenkenntnis und durch fachliches <i>Ground Truthing</i> (Überprüfung am Boden) sicher angesprochen werden können - s. oben. • Für eine sichere Erkennung ist ein Abstand von nur wenigen Metern nötig - speziell mit den kleinen Kameras der handelsüblichen Drohnenmodelle. • Die genannten relevanten Arten finden sich in Tab. 1: Einschätzung der Erkennbarkeit von Arten beim Felsmonitoring (Döring, 2022)
Kann man mit Drohnenbefliegungen die Größe von Vorkommen und infolgedessen die Bestandsentwicklung von Arten - v.a. in fast komplett unzugänglichen Gebieten bzw. von nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu erfassenden Arten - einschätzen?	<ul style="list-style-type: none"> • Ist eine Art sicher im Gebiet nachgewiesen und ist sie eindeutig aus der Luft zu differenzieren, ist die Erfassung ihrer Bestände durchaus möglich und die Bestandsentwicklung mit wiederholten Befliegungen dokumentierbar. • Zu den in Frage kommenden Arten s. Tab. 1: Einschätzung der Erkennbarkeit von Arten beim Felsmonitoring (Döring, 2022)
Sind Drohnenuntersuchungen zum Beleg der naturschutzfachlichen Wertigkeit von Felsen geeignet?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, laut des zuständigen Fachmanns vom RPT seien die Aufnahmen zur Dokumentation des Erhaltungszustands des Felsens an sich und gerade im Hinblick auf die Auswirkungen von Kletternutzungen durchaus brauchbar. • Ja, wenn die Wertigkeit der Felsen anhand einiger Indikatorarten, die eindeutig in Drohnenbildern anzusprechen sind, eingestuft werden kann.

	<ul style="list-style-type: none"> • Befliegungen alleine sind zur einfachen und sicheren Arten(erst)erkennung und zur Erstellung eines vollständigen Arteninventars auf keinen Fall ausreichend.
Wann muss dazu in der Vegetationsperiode geflogen werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Je nachdem, welche Art untersucht werden soll. • Für die Arterkennung und Identifizierung von Vorkommen sollte am besten zum Blühzeitpunkt der Art geflogen werden. • Hat eine Art auch außerhalb ihrer Blütezeit eindeutige und einfach identifizierbare Merkmale (z.B. markante Blattstrukturen), kann sie natürlich auch zu einem anderen Zeitpunkt aus der Luft kartiert werden.
Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst nicht in der Brutzeit von Felsenbrütern fliegen! • Leider kollidiert diese Zeit oft mit der Hauptblütezeit relevanter Arten - deswegen Befliegungen immer mit den Gebietsbetreuern absprechen! • Die artenspezifischen Befliegungszeitpunkte sollten unbedingt mit den zuständigen Vegetations-Fachleuten abgesprochen werden und diese, wenn möglich, auch für das fachgerechte <i>Ground Truthing</i> mitgenommen werden. • Optimal wäre, wenn die Artenexperten die Befliegungen auch selbst durchführen könnten. • Bitte immer die Empfehlungen zur Störungsökologie beachten - s. <i>Kapitel 4.2 Störungsökologie im Hauptteil, den Teilbericht 'Faunamonitoring'</i>, die Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen (DÖRING & MITTERBACHER, 2022) und (LAG VSW, 2023).
Welche Methoden sind für die Flugplanung günstig?	<ul style="list-style-type: none"> • Wie beschrieben ist durch die Unregelmäßigkeit der Felsen und den unregelmäßigen Bewuchs keine reguläre Flugplanung möglich. • Die Flüge sollten manuell durchgeführt werden - so nahe wie möglich seitlich versetzend oder von oben nach unten an der Felsfront entlang fliegend. • Für Orthoansichten auf eine gute Flächenabdeckung bei Fotografieren achten - mit so regelmäßigen Flugbahnen wie möglich und mit genügend Überlappung!
Welche Flugbedingungen sollten angestrebt werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Je feiner und beweglicher die Vegetation, desto weniger Wind sollte zum Flugzeitpunkt herrschen. • Es sollte beim Fliegen möglichst gleichmäßiges Licht herrschen, am besten gleichmäßig bewölkt, oder sonnig ohne (viele) Wolken. • Bei Sonne herrscht jedoch häufig mehr Wind und Turbulenzen am Felsen. • Natürlich darf kein Regen fallen. • s. <i>Kapitel 3.1.2 Befliegungs-Methodik</i>

Ausführliche Erläuterungen

- Die Befliegungen konnten meist nur manuell und mit äußerster Vorsicht durchgeführt werden. Bei Felsen - v.a. im Wald - wird keine automatische vertikale Mission (eine 'Fassadenflug', der ohnehin nur in wenigen spezielleren Apps zur Verfügung steht) empfohlen, da die Flugplanung aus der Distanz und durch perspektivische Beschränkungen nicht sicher möglich ist.
- Die DAV-Befliegungen wurden aus dem Wald am Felsfuß heraus durchgeführt. Dabei stand aber ein zusätzlicher erfahrener Beobachter zur Verfügung. Die eigenen Befliegungen wurden später alleine durchgeführt, wobei sich die Befliegung vom Felskopf aus als die bessere und sicherere Option erwies.
- Bei den eigenen Befliegungen wurde versucht, gleichmäßig entweder von unten nach oben oder von rechts nach links, in mehr oder weniger gleichen Abständen der Flugreihen zueinander, zu fliegen, um Orthoansichten und 3D-Modelle generieren zu können.
- Die Kamera wurde dazu manuell in möglichst regelmäßigen Abständen ausgelöst, um wie bei automatischen Flügen eine möglichst gleichförmige Abdeckung der Felsfläche zu erreichen.
- Die Fotos wurden sowohl in horizontaler als auch in schräg nach unten geneigter (obliquer) Kameralage aufgenommen. So bekommt man besser Einblicke auf nach hinten gekippte und tiefere Absätze und in Spalten, die von unten mit dem Fernglas oft uneinsehbar sind.
- Es wurde immer angestrebt, den Abstand vom Felsen gleichmäßig zu halten, was durch die Abstandssensoren der genutzten Drohne möglich war. Mittlerweile haben immer mehr Drohnenmodelle - auch die meisten der in diesem Bericht empfohlenen (s. Kapitel [3.1.5.1 Flug-Systeme](#)) - solche Abstandssensoren.
- Da am Fuß der Felsen oft baum- oder buschartige Vegetation in unterschiedlichen Höhen anzutreffen ist, wurde für die Einschätzung der Vegetationshöhe immer wieder einmal rückwärts in den Raum hinausgeflogen, um mit mehr Abstand den weiten Öffnungswinkel der Kamera (FOV) zur Begutachtung der Vegetationshöhe zu nutzen. Für den gleichen Zweck wurde die Kamera gelegentlich auch direkt nach unten geschwenkt. So konnte für einen sicheren Flug die Vegetationshöhe besser abgeschätzt werden.

5.6.3 Felsmonitoring - Fazit

Ein generelles Kartieren und Aufnehmen von Felsstrukturen und gut erkennbarer Indikatorarten zur Einschätzung der naturschutzfachlichen Wertigkeit ist möglich.

Monitoring von **Felsen**

- **Manuelle Flüge**
- **parallel zum Felsen fliegen** (von Seite zu Seite und von oben nach unten)
- **Verschiedene Distanzen** zu Felsen 
- **Verschiedene Kamerawinkel** - horizontal und schräg nach unten 
- Viel auf **Display** schauen
- Ab und zu die **Kamera nach unten** richten - wegen Vegetation!
- Automatische Flüge nicht empfohlen!
- Am besten mit **Spotter** fliegen!
- **Äußerste Aufmerksamkeit und Konzentration!!!**
- Nur in wirklich fittem Zustand fliegen!



Abb. 13: Felsmonitoring-Methodik kurz - Grafik aus Schulungsmodul (Döring, 2021)

In den Tab. 3 + 4 findet man noch einmal die wichtigsten Aspekte und Parameter zum Felsmonitoring mit Drohnen.

Tab. 3: Felsmonitoring - Methodik (Döring, 2022)

Schwierigkeit 	Erfahrung 	Nutzen 
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> • Fels-Inspektion • Felsvegetations-Monitoring • Fauna-Monitoring an Felsen (z.B. Fledermausuntersuchungen in Felsspalten) • Entscheidungs-Unterstützung für Kletterregelungen 	<ul style="list-style-type: none"> ○ spart Zeit - Alternative Klettern/Abseilen ○ verringert das Störungspotenzial (weniger Zeit, berührungslos) ○ mögliche Einsicht in Spalten und auf Absätze - unmöglich mit Fernglas-Beobachtungen von unten oder vom Gegenhang ○ permanente Dokumentation 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotos • Videos • vertikale Orthoansichten • 3D-Modelle

Tab. 4: Felsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
Unbedingt Kapitel <i>4.2 Störungsökologie</i> (v.a. Brutzeiten beachten)! Befliegungen immer mit Gebietsbetreuern absprechen!	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Das Kapitel <i>3.1.2 Befliegungs-Methodik</i> sollte immer beachtet werden.	
Es können meist nur manuelle Flüge empfohlen werden. Automatische Flüge werden an unregelmäßigen Felsen absolut nicht empfohlen!	Durch die Unregelmäßigkeit der Felsen und den unregelmäßigen Bewuchs (vor allem am Fels-Fuß) ist keine reguläre und schematische Flugplanung möglich.
Display und Drohne immer mit höchster Aufmerksamkeit im Auge behalten! Am besten mit Spotter fliegen!!!	Es muss sehr nahe an die Felsen herangeflogen werden. Turbulenzen lassen die Drohne bei sonnigem und windigem Wetter nah an den Felsen spürbar unruhig werden.
Bisweilen rückwärts in den Raum hinausfliegen und die Kamera nach unten richten, um ggf. den Abstand zur Vegetation abzuschätzen!	Am (Fuß der) Felsen ist oft baum- oder buschartige Vegetation in unterschiedlichen Höhen anzutreffen. Für die Einschätzung der Vegetation(shöhe) kann man den weiten Öffnungswinkel der Kamera zur Begutachtung nutzen.
→ In möglichst gleichmäßigen Flugbahn-Abständen parallel zum Felsen fliegen (horizontal/von Seite zu Seite und/oder vertikal/von oben nach unten) → viele Fotos für gute 3D-Modelle aufnehmen (automatisch in Intervallen oder durch manuelle Auslösung) → Fotos in unterschiedliche Distanzen zum Felsen aufnehmen. → Stop -Foto-Go-Stop-Foto-Go für schärfere Fotos	Um gute Orthoansichten und 3D-Modelle generieren zu können, benötigt man eine genügende Anzahl an Fotos mit entsprechender Überlappung und Abdeckung der Fläche - s. Kapitel <i>3.1.2 Befliegungs-Methodik</i> . Eine Vielzahl an Aufnahmen mit vielen unterschiedlichen Aspekten der Oberfläche des Felsens und aufgenommen in unterschiedliche Distanzen zum Fels verbessern die 3D-Modelle. Durch Stoppen zur Fotoaufnahme vermeidet man mögliche Verzerrungen in den Bildern - allerdings auf Kosten der Flugzeit.
Aufnahmen mit unterschiedlichen Kamerawinkeln - horizontal und schräg nach unten.	Mit unterschiedlichen Kamerawinkeln bekommt man bessere Einblicke auf nach hinten gekippte und tiefere Absätze und in Spalten, die von unten mit dem Fernglas oft uneinsehbar sind.

5.6.4 Wirtschaftlichkeit

Felsmonitoring mit Drohnen lohnt sich dann, wenn

- es günstiger - also einfacher und schneller - ist als andere Methoden (Beklettern/Abseilen, Fernglasbeobachtung).
- es eine bessere Begutachtung zulässt als die anderen Methoden - v. a. Fels-Absätze.
- es störungsärmer ist - kürzer als Beklettern und berührungslos.
- zusätzlich eine Foto-Dokumentation der Felsen erwünscht ist.
- 3D-Modelle oder Orthoansichten der Felsen benötigt werden - z.B. zur Modellierung von Kletterrouten oder Störungen oder als 'sexy' Anschauungs- und Werbematerial.

Literaturverzeichnis

- DAV BW (2015): "Projekt Klettern in BW". <https://www.alpenverein-bw.de/index.php/klettern/projekt-klettern-in-bw> (27.1.2021)
- DAV BW (2020): "DAV - Rundmail".
- DÖRING, S.; MITTERBACHER, M. (2022): "Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>
- DWYER, J. F. ET AL. (2020): "Unmanned Aircraft Systems Enable Three-Dimensional Viewshed-Based Assessment of Potential Disturbance to Nesting Raptors by Recreational Rock Climbing". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems 8(1), S. 11–18. <https://doi.org/10.1139/juvs-2019-0014>
- GÓMEZ-GUTIÉRREZ, Á.; GONÇALVES, G. R. (2020): "Surveying coastal cliffs using two UAV platforms (multi-rotor and fixed-wing) and three different approaches for the estimation of volumetric changes". In: International Journal of Remote Sensing Taylor & Francis. 41(21), S. 8143–8175. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1752950>
- JAUD, M. ET AL. (2019): "UAV Survey of a Coastal Cliff Face – Selection of the Best Imaging Angle". In: Measurement 139, S. 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.02.024>
- LETORTU, P. ET AL. (2018): "Examining High-Resolution Survey Methods for Monitoring Cliff Erosion at an Operational Scale". In: GIScience & Remote Sensing 55(4), S. 457–476. <https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1408931>
- SALVINI, R. ET AL. (2020): "Evaluation of the Use of UAV Photogrammetry for Rock Discontinuity Roughness Characterization". In: Rock Mechanics and Rock Engineering 53(8), S. 3699–3720. <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02130-2>
- STRUMIA, S. ET AL. (2020): "Monitoring of Plant Species and Communities on Coastal Cliffs: Is the Use of Unmanned Aerial Vehicles Suitable?". In: Diversity Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 12(4), S. 149. <https://doi.org/10.3390/d12040149>
- WANG, S. ET AL. (2019): "Cliff Face Rock Slope Stability Analysis Based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry". In: Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources 5(4), S. 333–344. <https://doi.org/10.1007/s40948-019-00107-2>
- ZHOU, H. ET AL. (2021): "Opening a New Era of Investigating Unreachable Cliff Flora Using Smart UAVs". In: Remote Sensing in Ecology and Conservation 7(4), S. 638–648. <https://doi.org/10.1002/rse2.214>

5.7 Gewässer-Monitoring

Zusammenfassung

In dem Teilprojekt 'Gewässermonitoring' wurde das Potenzial von Drohnenbefliegungen zum Monitoring an Gewässern analysiert und Methoden, Workflows und Empfehlungen dazu zusammengestellt.

Inhaltsverzeichnis

10.7 Gewässer-Monitoring.....	1
Zusammenfassung	1
Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	2
10.7.1 Einleitung.....	3
10.7.1.1 Generelle Themen beim Gewässermonitoring	6
10.7.2 Methodik.....	8
10.7.2.1 Flugplanung	8
10.7.2.2 Korridor Befliegungen.....	8
Parameter für Korridor-Befliegungen	9
10.7.2.3 Flächige Gewässer	9
Exkurs Ground Control Points - GCPs.....	10
10.7.3 Befliegungen & Ergebnisse	10
10.7.3.1 Jagst-Renaturierung	10
Gebiete für die Renaturierungsplanung.....	11
Schutzgebietsparameter	12
Fragestellungen zur Jagstbefliegung.....	12
Ergebnisse	13
10.7.3.2 Landesstudie Gewässerökologie	15
Einleitung.....	15
Fragestellung gewässerökologisches Monitoring	16
Ergebnisse	17
Gewässerökologische Befliegungen - Fazit.....	19
10.7.4 Gewässer- und Lachsmonitoring - Fazit.....	20
10.7.5 Wirtschaftlichkeit.....	23
Literaturverzeichnis	23
10.7.5.1 Weiterführende Literatur	25

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einzelparameter der Strukturkartierungsverfahren der Qualitätskomponente „Morphologie“ (gewaesser-bewertung.de, 2022)	4
Abb. 2: Erstellung eines Korridor-Flugplans (Drones Made Easy, 2021)	8
Abb. 3: Korridor-Mapping - Flugplanung - verändert nach (pix4d, 2022b)	8
Abb. 4: Fluss-Querbefliegung zur bessern Darstellung des Uferbereichs (I am Hydro, 2022) ..	9
Abb. 5: Seeufer (Döring, 2021)	9
Abb. 6: Flussmündung (Döring, 2021)	9
Abb. 7: Kontrollpunkt-Verteilung entlang von Flüssen (verändert nach pix4d)	10
Abb. 8: Renaturierungsfläche bei Stimpfach	11
Abb. 9: Übersicht Befliegung Jagst	11
Abb. 10: Renaturierungsflächen bei Jagstzell	11
Abb. 11: Flugpfade mit den Foto-Auslösepunkten	13
Abb. 12: Orthofoto der Jagst bei Stimpfach	13
Abb. 13: Höhenmodell der Jagst bei Stimpfach	13
Abb. 14: Ausschnitt Orthofoto Jagst N	14
Abb. 15: Ausschnitt Höhenmodell Jagst N	14
Abb. 16: Hexenringe und Maulwurfshügel	14
Abb. 17: Sohlenstruktur Jagst	14
Abb. 18: Ausschnitt Orthofoto Jagst S	15
Abb. 19: Ausschnitt Höhenmodell Jagst S	15
Abb. 20: über Orthofoto flächig kartierte Strukturen (Geschäftsstelle Gewässerökologie, 2022)	17
Abb. 21: Fischökologische Beispielkartierung auf eigenem Orthofoto (Döring, 2022)	18
Abb. 22: Sondenkamera = Teleskopstab + ActionCam (Geschäftsstelle Gewässerökologie, 2022)	18
Abb. 23: Kinzig - Trübwassereinleitung - 70 m	23

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Beschreibung der Schutzgebiete	12
Tab. 2: Flughöhenvergleich für Drohnenaufnahmen im Rahmen der Landesstudie (Döring, 2022)	17
Tab. 3: Bewertung von Gewässerstrukturen für Drohnenbefliegungen (Döring, 2022)	19
Tab. 4: Fließgewässermonitoring - Methodik (Döring, 2022)	20

5.7.1 Einleitung

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) war 2000 die erste ökologisch orientierte Richtlinie im Gewässerschutz, welche einen guten ökologischen und chemischen Zustand der Oberflächengewässer und ein gutes ökologisches Potenzial morphologisch erheblich veränderter oder künstlicher Gewässer ([EU-RL 2000/60/EG](#)) forderte.

In Deutschland werden zur Kontrolle Oberflächengewässer und Grundwasser im Rahmen nationaler und internationaler Überwachungsprogramme regelmäßig untersucht ([UBA, 2017](#)).

Der ökologische Zustand der Oberflächengewässer wird in der WRRL hauptsächlich nach dem Zustand (Vorhandensein, Qualität) der jeweils naturraumtypischen Lebensgemeinschaften, also der biologischen Qualitätskomponenten bewertet. Hydromorphologische und physikalisch-chemische Merkmale werden unterstützend zur Bewertung verwendet. ([UBA, 2022](#))

Folgende Parameter kommen zur Unterstützung des Gewässer-Monitorings durch Drohnenaufnahmen in Frage:

- *Biologische Qualitätskomponenten* (wie [Phytoplankton](#), [Makrophyten / Phytobenthos](#), [Makrozoobenthos](#) und die [Fischfauna](#)) - v.a. die Kartierung von Makrophyten ([UBA & BuLAG WASSER, 2022A](#))
- *hydromorphologische Qualitätskomponenten* ([UBA & BuLAG WASSER, 2022C](#)) - Morphologie, Wasserhaushalt und Durchgängigkeit - v.a. die Breitenvariation (die Tiefenvariation nur begrenzt)
- *Struktur* und Substrat des Flussbetts: Laufentwicklung, Strömungsgeschwindigkeiten, Substratbedingungen
- *Struktur der Uferzone*: Struktur und Bedingungen der Uferbereiche

Diese Parameter sind zwar nicht primär ausschlaggebend für die Bewertung des Fließgewässer-Zustands, doch ihre Qualität muss so beschaffen sein, dass die biologischen Qualitätskomponenten einen guten Zustand erreichen können. Viele Fischarten zeigen z.B. ein ausgeprägtes Wanderverhalten, da sie je nach Lebensabschnitt (Fortpflanzung, Ernährung, Aufwuchs oder Winterruhe) andere Ansprüche an Umweltfaktoren wie Strömung, Temperatur und Substrat haben - s. ([RP TUBINGEN, 2019](#)).

Mit der Gewässerstrukturkartierung wird v.a. der morphologische Zustand eines Gewässers ermittelt. Diese Kartierung kann in vielen Teilen durch Drohnendaten ergänzt und evtl. teilweise sogar ersetzt werden. Bewertet wird schlussendlich die Abweichung der aktuellen von der potenziellen natürlichen Ausprägung der Gewässerstruktur ([UBA, 2017](#)).

Mit Hilfe des "Übersichtsverfahrens" oder des "Vor-Ort-Verfahrens" ([UBA & BuLAG Wasser, 2022c](#)) wird an kleinen bis mittelgroßen Fließgewässern die Höhe der Abweichung des morphologischen Zustands vom potenziell natürlichen Zustand eines Fließgewässers in Strukturklassen eingeteilt. Dazu werden besonders relevante Strukturelemente mit bestimmten Indikatoreigenschaften erfasst ([UBA, 2017](#)).

In der Tabelle sind die Strukturparameter rot markiert, welche gut mit einer Drohne erfasst und bewertet werden können - immer vorausgesetzt, dass die Ufervegetation den Blick von oben zulässt! Deswegen Befliegungen in der laubfreien Zeit planen!

Die Erfassung mit der Drohne hat natürlich wie immer den Vorteil, dass eine permanente und objektiv messbare Datengrundlage geschaffen wird. Für einige der Fragestellungen wurden bereits Methodiken entwickelt, die aber oft nur bedingt einsetzbar sind, da ihre Implementierung wohl eher den Einsatz verkomplizieren und zu einer Verteuerung führen würde.

In einer Anleitung für die hochauflösende Kartierung von Flusslandschaften mittel Drohnenbefliegungen wurde z.B. die Vorgehensweise in fünf Schritten beschrieben ([RUSNÁK ET AL., 2018](#)). Dabei beschreiben die Forscher im Großen und Ganzen die generelle Vorgehensweise für Befliegungen - vgl. Kapitel 3 *Methodik*:

- Erkundung des Geländes am PC zusammen mit der Erfüllung der rechtlichen Anforderungen
- ggf. Feldarbeit vor dem Flug zur hochgenauen Einmessung von Bodenkontrollpunkten zur Georeferenzierung der Drohnenbilder
- die eigentliche Flugmission mit automatisierten und manuellen Flügen in unterschiedlichen Flughöhen und der Kombination von Nadir-, Schräg- und Horizontalaufnahmen (für eine bessere Selbst-Kalibrierung der Kamera und eine höhere Präzision der Ergebnisse - v.a. der Uferbereiche). Diese Vorgehensweise erfordert aber ein Vielfaches an Flugzeit.
- Prozessierung der erfolgten Bilder und anschließender Qualitätscheck
- Analyse der Daten durch Klassifizierung der Punktwolken und der semi-automatischen Bildklassifikation anhand eines Trainingsdatensatzes, die auch für Nicht-Spezialisten einen viel zu großen Aufwand bedeuten (s. [Automatisierte](#)

Komponenten Anhang V, Art 1.1.1 WRRL	Kriterien Anhang V, Art. 1.2.1 WRRL	Einzelparameter der LAWA-Strukturkartierung kleine bis mittelgroße FG (LAWA 2019)
Struktur des Flussbetts	Laufentwicklung	Laufkrümmung Krümmungserosion Bes. Laufstrukturen
	Strömungsgeschwindigkeit	Strömungsdiversität Rückstau Querbänke
Substrat des Flussbetts	Substratbedingungen	Substratdiversität Längsbänke Bes. Sohlstruktur
Breitenvariation	Variation von Breite	Uferstreifen Profiltyp Breitenvarianz
Tiefenvariation	Variation von Tiefe	Profiltiefe Tiefenvarianz
		Breitenerosion
Struktur der Uferzone	Struktur und Bedingungen der Uferbereiche	Uferbewuchs
		Uferverbau
		Bes. Uferstrukturen

Abb. 1: Einzelparameter der Strukturkartierungsverfahren der Qualitätskomponente „Morphologie“ ([UBA & BuLAG Wasser, 2022c](#)) - rot umrandet die Parameter zur möglichen Erfassung durch Drohnen

Auswertungswerkzeuge in Kapitel 3.3.2.2 *OGIS* und Teilberichte '*Moormonitoring*' und '*Steillagenmonitoring*'

Mit der erarbeiteten Methodik konnten sowohl morphologische Strukturen, Veränderungen, die Uferbereiche und rel. kleines Totholz in den vegetationsärmeren Bereichen des Flusses erfolgreich erfasst und teilweise automatisiert klassifiziert werden.

Englische WissenschaftlerInnen befassten sich 2016 mit der Auflösung von Drohnendaten (Orthofotos, Höhenmodellen und Punktwolken) bezüglich ihrer Nutzung in einem automatisierten Klassifikationsmodell für hydromorphologische Daten (speziell zum Einsatz in den oben angesprochenen offiziellen ökologischen Gewässeruntersuchungen). Dabei hatte die Auflösung sowohl eine signifikante Auswirkung auf die Anzahl der detektierten Strukturen und Objekte, als auch auf die Genauigkeit ihrer Identifikation ([RIVAS CASADO ET AL., 2016](#)).

Folgende Strukturen und Objekte konnten erfolgreich detektiert und klassifiziert werden: Uferbänke, Erosionsbereiche, Rauschen/Schnellen/Riffles, gut durchströmte Fließbinnen, Gumpen/Kolke, Stille/Pools, Flachwasserzonen, Vegetation und Schatten. Ausführliche Definitionen der Strukturen mit erklärenden Bildern findet man hier ([GESCHÄFTSSTELLE GEWÄSSERÖKOLOGIE, 2022](#)) oder hier ([POTTGIESSER & MÜLLER, 2012](#)).

Anmerkung: Mit der oben beschriebenen kleinen faltbaren *Mavic 2 Pro* kann man durchaus die in dieser Veröffentlichung beschriebene Auflösung von < 5 cm leicht erreichen bzw. sogar unterschreiten (meist eher < 3 cm) und somit die beschriebenen Strukturen und Objekte eher noch besser detektieren.

Wiederum mit einer kleinen Drohne konnten in einem italienischen Projekt hochauflösende Daten generiert werden (Höhenmodell, Orthofotos und 3D-Modelle). Diese erlaubten es an einem italienischen Fluss, erfolgreich, günstig und minimalinvasiv geomorphologische Veränderungen, hervorgerufen durch die Fließgewässerdynamik und Vegetationsveränderungen, zu erfassen ([GRACCHI ET AL., 2021](#)).

Nach einer Damm-Beseitigung, im Rahmen einer Flussrenaturierung, konnten mit Hilfe von Bildern einer handelsüblichen Drohne mit einfacher RGB-Kamera (einer älteren *DJI Phantom 3*) verlässlicher die Veränderungen im Landschaftsmaßstab dargestellt werden, als dies alleine durch die terrestrischen und darüber hinaus beschwerlicheren Stichproben-Erfassungen auf Transekten möglich gewesen wäre ([EVANS ET AL., 2022](#)). Es wurden sogar Veränderungen erfasst, die aufgrund des Stichprobencharakters und der damit begrenzten Flächenabdeckung der terrestrischen Erhebungen gar nicht erfasst worden wären. Das zeigt die Bedeutung von flexibleren und neuen Methoden im Monitoring auch auf anderen Maßstabsebenen.

In einer weiteren Studie zu hydromorphologischen Fragestellungen konnte ebenfalls gezeigt werden, dass auch für weniger erfahrene Leute und mit handelsüblichen Drohnen eine kontinuierliche und hochauflösende Datenaufnahme von Flüssen relativ einfach und kostengünstig möglich ist ([WOODGET ET AL., 2017](#)). Es finden sich darin etliche Ratschläge bezüglich der Datenaufnahme und -prozessierung speziell für die Gewässerfernerkundung und viele weitere Quellen zum Thema.

Die Biologischen Qualitätskomponenten sind wie oben beschrieben das Haupt-Bewertungselement für den ökologischen Zustand von Oberflächengewässern. Dafür wird der Lebensraum von Wirbellosen, Fischen, Makrophyten und Phytobenthos sowie der des Phytoplanktons bewertet.

Die Erfassung von Makrophyten und Algen konnte mit einer handelsüblichen *DJI Phantom 4 Pro*, sogar Unterwasser und in nicht-watbaren Gewässern erfolgreich durchgeführt werden - in klarem Wasser bis in Tiefen > 1 m ([KISLIK ET AL., 2020](#)). Die Daten konnten zudem

automatisiert ausgewertet werden. Allerdings konnten dazu nur die Einzelbilder herangezogen werden, da die Orthofotoerstellung aufgrund der großen Wasserflächen problematisch war - s. [Fazit](#).

Auch ([BIGGS ET AL., 2018](#)) konnten erfolgreich Makrophyten erfassen, die weltweit oft ein Schlüsselement in Flusssystemen darstellen. Ihre Ausdehnung, ihre Blockadewirkung und die Pflanzengröße sind wichtig für das Fluss-Management bezüglich von Habitatausformungen, Wasserwiderstand, Sedimentierung und dem Monitoring von Renaturierungsmaßnahmen. Die terrestrischen Erfassungsmethoden sind zeitintensiv und deswegen oft räumlich stark begrenzt. Außerdem haben sie oft eine geringere räumliche und Detail-Auflösung, was zu einer unbefriedigenden Datenlage der Makrophyten-Verteilung führt. Alle genannten Parameter können jedoch durch Drohnenaufnahmen effizient aufgenommen werden.

In einer amerikanischen Masterarbeit konnte gezeigt werden, dass die Erfassung von submersen Makrophyten kleiner Bäche in Siedlungen und die Klassifikation der anliegenden Landnutzung mit Hilfe von Multispektraldaten aus Drohnenbefliegungen, Bildbearbeitungsmethoden und maschinelles Lernen möglich ist ([SESSANNA, 2019](#)).

Die Frage der Erfassung von Feuchtegradienten in der Landschaft wurde ebenfalls von einigen Veröffentlichungen thematisiert. In einer Arbeit wurde natürliches Grasland mit einer Drohne + Multispektralkamera befliegen, um hochauflösende RGB-Bilder aufzunehmen ([ARAYA ET AL., 2020](#)). Daraus wurde ein Zentimeter-genaues Höhenmodell gerechnet und verschiedene Geländevariablen davon abgeleitet. Gleichzeitig wurde die Bodenfeuchtigkeit der ersten 4 cm an einigen Kontrollpunkten gemessen. Anschließend wurden diese Messungen, die Multispektralaufnahmen, die Geländedaten und meteorologische Daten wie Niederschlag und potenzielle Evapotranspiration (PET) zusammengefasst, um ein *Machine Learning*-Modell zu programmieren. Dieses soll schließlich die Bodenfeuchtigkeit aus den Variablen - natürlich OHNE die Messungen - vorhersagen können. Die hydrologischen Variablen Niederschlag und PET erwiesen sich als die wichtigsten Parameter zur Vorhersage der Bodenfeuchtigkeit. Doch hängt nach Meinung der Autoren die Verteilung der Feuchtigkeit wohl eher von den topografischen Variablen aus dem Höhenmodell ab. Der Ansatz ist vielversprechend, doch sind weitere Forschungen nötig.

Die Nutzung von Drohnen mit Multispektral- oder auch Thermalkameras sind wie man sieht im Gewässermonitoring vielversprechend, doch sind die Auswertungen dieser Daten nicht trivial und können ohne Expertenwissen kaum nachvollzogen werden.

Generelle Themen beim Gewässermonitoring

Zusätzlich zu den hydromorphologischen Qualitätskomponenten der WRRL - Morphologie, Wasserhaushalt und Durchgängigkeit ([UBA, 2017](#)) - sind im Laufe der Recherche und in Kontakt mit unterschiedlichen Akteuren folgende weitere Themen aufgetaucht:

- die Dokumentation & Monitoring von Renaturierungen - s. [Jagst-Renaturierung](#) unten
- Habitatkartierungen von Flora + Fauna (z.B. Biber, Fische - v.a. Fischhabitatkartierung und die Suche nach Laichplätzen)
- die Kartierung des Verlaufs der Uferlinien
- die Erfassung von Treib- und Totholz im Gewässerbett

Beim Landesfischereiverband Baden-Württemberg werden in der Gewässer-Inspektion bereits Drohnen u.a. zu folgenden Zwecken eingesetzt:

- Abschätzung des Deckungsgrads submerser und auch emerser Makrophyten
- Strukturelle Erkundung stehender und fließender Gewässer
- Dokumentation des Gewässerverlaufs stark mäandrierender Gewässer und in schwer zugänglichen Gebieten
- Suche nach Laichplätzen von Lachs, Meerforelle und Bachforelle - vorwiegend im Dezember
- Dokumentation von Renaturierungen an und in Gewässern

5.7.2 Methodik

Flugplanung

Die Flugplanung von Gewässerbefliegungen hängt stark von der Art des Gewässers ab. Außerdem spielt das Wetter eine große Rolle - bei gleichmäßig bewölktem Himmel, ist die Qualität der Daten generell besser, da diese eine homogene Belichtung mit wenig Schatteneinfluss aufweisen. Deswegen sollte starker Sonnenschein mit starker Reflexion der Wasserflächen, Schattenschlag der Rand-Vegetation und der oft auch mit ungünstig viel Wind einhergeht, vermieden werden. Genauso aber auch ständig wechselnde Bewölkung mit variierendem Schattenwurf. Natürlich sollte auch viel Wind und Regen gänzlich vermieden werden.

Alle diese Bedingungen haben einen negativen Einfluss auf die Datenqualität. Siehe auch Kapitel [3.1.2 Befliegungs-Methodik](#).

Korridor Befliegungen

Zur Flugplanung für die Fluss-Befliegungen wurde die [Linear Flight Planning](#) Funktion von [Map Pilot](#) genutzt (Abb. 2). Diese Funktion erlaubt es, Befliegungen von linienartigen Flächen wie Flüssen, Straßen, Freileitungen oder Pipelines einfach und effektiv, mit möglichst geringer Flugzeit, zu planen. Da im Gegensatz zu einer flächigen Flugplanung nicht mehrere Flächen befliegen und anschließend zusammengesetzt werden müssen, um das ganze Gebiet abzudecken, wird die Befliegung dieser Strukturen wesentlich ökonomischer und effizienter. Es werden nur noch die wirklich relevanten Flächen (Flussbett, Leitungskorridor etc.) befliegen.



Abb. 2: Erstellung eines Korridor-Flugplans ([DRONES MADE EASY, 2021](#))

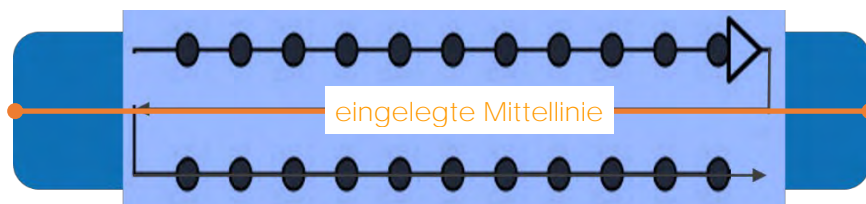


Abb. 3: Korridor-Mapping - Flugplanung - verändert nach ([PIX4D, 2022b](#))

Durch Tippen auf die Hintergrundkarte in der App können in der Mitte des Flusses Punkte gesetzt werden, die sich zu einer Linie verbinden (orange in Abb. 2 + 3).

Anschließend wird die Anzahl der parallel dazu zu fliegenden Bahnen als Parameter angegeben - es sollten mindestens 3 Flugbahnen sein, um die Randbereiche abzudecken und so ein stabiles Orthofoto erstellen zu können. Die Bahnen werden dann symmetrisch parallel zur Mittellinie angelegt. Wie üblich können im Anschluss auch die Überlappung der Flugbahnen, die Höhe und andere Parameter eingestellt werden.

Parameter für Korridor-Befliegungen

- mindestens 3 Flugbahnen - links - Mitte - rechts
- mindestens 75 % Vorwärts- und Seitwärts-Überlappung
- Die Flughöhe sollte entsprechend der benötigten Auflösung zur Detektion des kleinsten zu untersuchenden Objekts gewählt werden.
- Die Fluglinien sollten entlang der linienhaften Struktur, z.B. eines Flusses, verlaufen.
- Wenn man noch Schrägaufnahmen für die Uferbereiche/die Uferlinie unter der Vegetation benötigt, muss man zusätzlich auch Flüge quer oder schräg zum Fluss durchführen (Abb. 4).

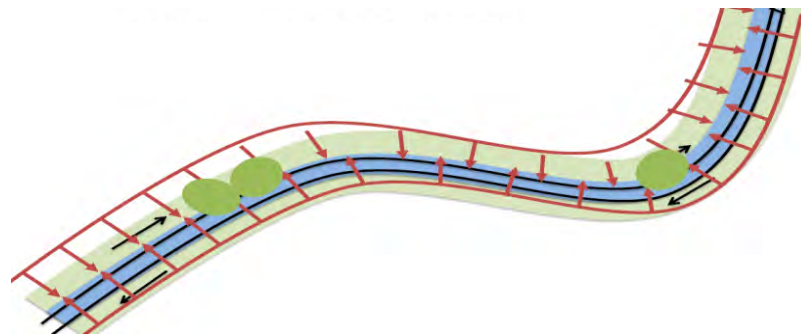


Abb. 4: Fluss-Querbefliegung zur besseren Darstellung des Uferbereichs ([Lam Hydro, 2022](#))

- Man muss mit den Einstellungen von Flughöhe und Überlappung ggf. etwas herumprobieren, da die Software automatisch nachregelt und diese die Breite der Flugbahnen und damit die Größe des Fluggebietes bestimmen. Wenn die seitliche Überlappung automatisch zu gering nachgeregelt wird, kann man durch etwas mehr Vorwärts-Überlappung kompensieren ([DRONES MADE EASY, 2022](#)).

Flächige Gewässer

Seen, v.a. deren Ufer, kann man mit 'normalen' Rasterbefliegungen gut erfassen (Abb. 5). Selbst auf 100 m sind die Strukturen im Wasser gut zu sehen. In Abb. 6 sieht man z.B. deutlich Algen- oder Makrophytenbewuchs am Gewässergrund.

Die Aufnahmen wurden zusammen mit einem Mitarbeiter des Seenforschungsinstituts (LUBW) durchgeführt. Seitdem besteht ein reger Austausch mit dieser und anderen

Abteilungen der LUBW, in denen immer mehr mit Drohnen geforscht und gearbeitet wird.



Abb. 5: Seeufer (Döring, 2021)

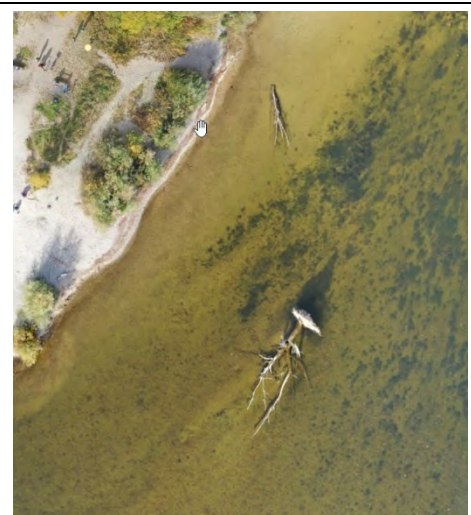


Abb. 6: Flussmündung (Döring, 2021)

Anmerkung: Bei Gewässerbefliegungen muss man gut darauf achten, dass möglichst Uferstrukturen oder Inseln, Totholz o.ä. als Strukturgeber in den Fotos auftauchen, da Photogrammetrie-Software meist Schwierigkeiten mit dem Verarbeiten von reinen Wasserflächen hat - s. *Kapitel Methodik - Befliegungen* im Hauptteil.

Wenn möglich, können evtl. auch zusätzliche in größerer Flughöhe aufgenommene Bilder, mit potenziell mehr Rand-Strukturen, zu einem Prozessierungserfolg beitragen.

Exkurs Ground Control Points - GCPs

Ground Control Points (GCPs = Bodenkontrollpunkte) dienen zur hochgenauen Georeferenzierung der Drohnen-Fotos und werden mit einem vermessungstauglichen GPS-System eingemessen. Damit kann eine Lagegenauigkeit von bis zu 3 cm des resultierenden Orthofotos, die auch in der geodätischen Vermessung als Genauigkeit gefordert werden, erreicht werden.

Für eine gute Georeferenzierung des Fluggebiets sollten je nach Gelände mindestens 5 besser 10 oder mehr Punkte eingemessen werden - speziell, wenn das Gelände wellig ist. Entlang linearer Strukturen sollten sie, ähnlich wie in Abb. 7 gezeigt, verteilt werden. Auf jeden Fall sollte auch mögliche Höhenunterschiede der Oberfläche(nstruktur) des Fluggebiets gut repräsentiert sein ([PIX4D, 2022A](#)). Da dieses Vorgehen aber die Effizienz stark herabsetzt, wird empfohlen, mit einer RTK-Drohne zu fliegen und nur ein paar Kontrollpunkte zur Qualitätskontrolle zu vermessen.

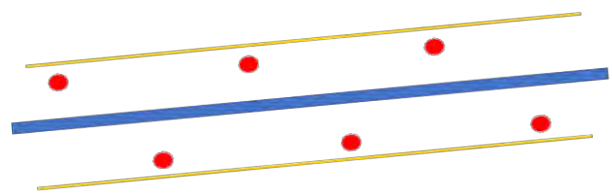


Abb. 7: Kontrollpunkt-Verteilung entlang von Flüssen (verändert nach [pix4d](#))

5.7.3 Befliegungen & Ergebnisse

Jagst-Renaturierung

Ein Beispiel für das Monitoring bzw. Drohneneinsätze bei der Planung von Maßnahmen an Gewässern ist das Teilprojekt 'Renaturierung von Teilen der Jagst'.

2018 wurde vom RP Stuttgart die "Planungsleistung GÖ Jagstzell-Stimpfach, Renaturierung der Jagst mit Aue" zur Renaturierung des Gewässers I. Ordnung Jagst und den angrenzenden Auenbereichen auf rund 3,6 km Länge, in Auftrag gegeben. Der Zeitraum der Leistungserbringung sollte sich ursprünglich von 02/2021 bis 2024 erstrecken ([UM BW, 2018](#)).

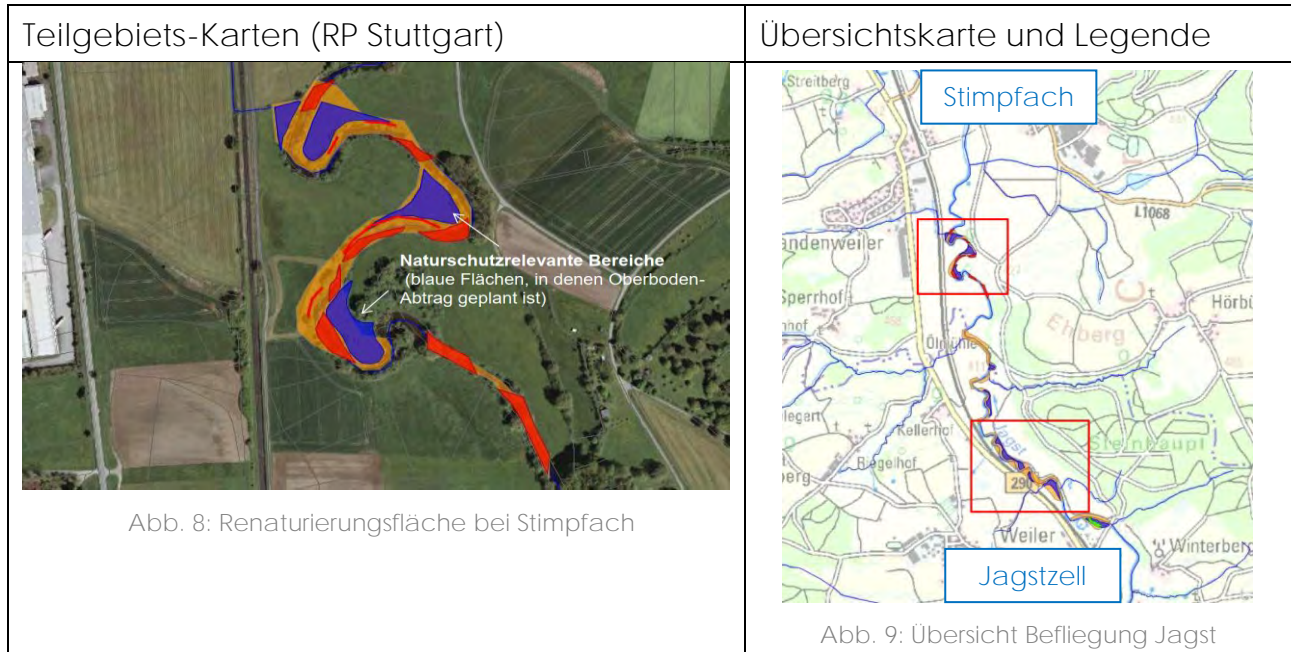
Zur Vorbereitung waren seitens des Auftragnehmers bereits Drohnenbilder angedacht

- für eine Übersichtskarte zur Planung,
- vor Projektbeginn zur Dokumentation des Status-Quo der Interaktion von Fluss und Aue und zur Identifikation der eingriffsrelevanten Bereiche,
- für das laufende Monitoring der durchgeführten Maßnahmen und
- nach Projektende zur Untersuchung der neuen Interaktion von Fluss und Aue.

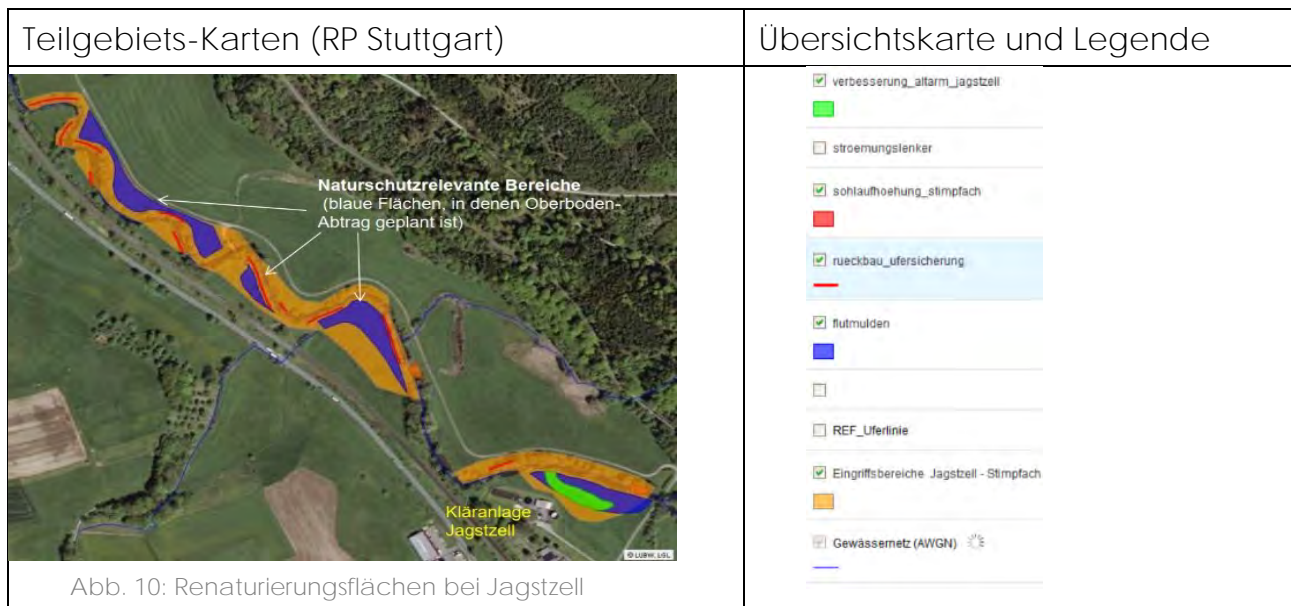
Als DroBio-Projektpartner nach möglichen Themen gefragt, schlug das RP Stuttgart eine Befliegung im Rahmen des Projekts zur Vorbereitung der Planungen vor.

Gebiete für die Renaturierungsplanung

Zur Vorbereitung der Befliegung wurden folgende Kartenausschnitte und Luftbilder vom RP Stuttgart (RPS) zur Verfügung gestellt (Abb. 8 + 9 + 10).



Beide markierten Bereiche (rote Vierecke) bzw. der ganze gezeigte Flussabschnitt liegt in Natura 2000-Gebieten. Zum einen dem FFH-Gebiet 'Crailsheimer Hart und Reusenberg' und zu anderen dem SPA-Gebiet 'Jagst mit Seitentälern'.



Innerhalb des EU-Vogelschutzgebiets befinden sich darüber hinaus Vorranggebiete für den vorbeugenden Hochwasserschutz. Diese liegen in der Jagstau, die dafür weiter dynamisiert werden soll. Die natürlichen Überflutungsbereiche und Flächen für technische Hochwasserrückhalteinrichtungen werden von Bebauung und anderen beeinträchtigenden

Nutzungen freigehalten. Es wurden Vorbehaltsgebiete und Vorranggebiete für Naturschutz und Landschaftspflege um "Erhalt der Funktions- und Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts" sowie zur "Sicherung und Verbesserung der biologischen Vielfalt" ausgewiesen. ([LUBW & RP STUTTGART, 2015](#))

Schutzgebietsparameter

Tab. 1: Beschreibung der Schutzgebiete

Art des Schutzgebietes	FFH-Gebiet	SPA-Gebiet
Schutzgebiets-Nr.	6926341	6624401
Name	Crailsheimer Hart und Reusenberg	Jagst mit Seitentälern
Fläche (ha)	713,7	852,2
Naturraum	Schwäbisch-Fränkische Waldberge Frankenhöhe Hohenloher-Haller-Ebene	Stimpfach Jagstzell ...
Kurzbeschreibung	Wacholderheiden, Magerrasen sowie artenreiche Wiesen und feuchte Wiesentäler, Dolinenlandschaft im Gipskeuper mit zum Teil wassergefüllten Dolinen, naturnahe Auwälder entlang der Jagst, naturnaher Flusslauf der Jagst	Zum Teil tief in den Muschelkalk eingeschnittenes Flusstal mit naturnahen Hangwäldern, Steinriegellandschaft, die breiteren Talabschnitte mit Grünland und Äckern, Uferbegleitende Gehölze, kleine Auwaldreste, Kiesbänke, Altwässer, Quellen, Tümpel
FFH-Gebiet - 6926-341 Crailsheimer Hart und Reusenberg (LUBW, 2012)		

Fragestellungen zur Jagstbefliegung

Laut Aussage des RP Stuttgart ist das Ziel der Renaturierung, die Aue zu dynamisieren, so dass sich im Gegensatz zur derzeitigen Situation, räumlich differenzierte Feuchtegradienten entwickeln können. Deswegen wären eigentlich folgende Punkte interessant:

- Untersuchung der Interaktion von Fluss und Aue, am besten vor Projektbeginn und nach Projektende
- Dokumentation der Entwicklung und Auswertung der Maßnahmen über die komplette Maßnahmenlänge hinweg?
- Wären zur Erfassung des Vegetationszustands und der Wasserversorgung bzw. des Feuchtegradienten in der Aue auch multispektrale Aufnahmen nützlich?

Nach Wechsel des für die geplanten Renaturierungsmaßnahmen beauftragten Auftragnehmers wurde das Projekt quasi 'resetted' und der Beginn hat sich verzögert.

Deshalb und aufgrund des Fehlens eines Sensors für Multispektral-Aufnahmen, hat sich die Möglichkeit der Erfüllung der obigen Punkte im Rahmen dieses Forschungsprojekt stark verringert, nämlich auf

- die Dokumentation des Ist-Zustands.

Es wurde jedoch darüber hinaus versucht, durch gründliche Recherchen die Frage zum Einsatz von Multispektralaufnahmen für die Erfassung des Feuchtegradienten von Gebieten zu beantworten - s. [Einleitung](#).

Ergebnisse

Für die Jagst wurden alle in den Geodaten oben markierten Flächen am 24.03.2021 befliegen. Technische Bedingung für den Test war die Befliegung vor Laubaustrieb, um möglichst viel Sicht auf das Gewässerbett zu haben. Es herrschte sonniges Wetter mit wenig Wind.

Eine weitere Bedingung für die Genehmigung der Befliegung seitens des RP Stuttgarts war die Erledigung der Flüge bis Ende März vor Beginn der Bodenbrütersaison.

Befliegungen bei Stimpfach

Die Befliegung des nördlichen Flussabschnitts erfolgte auf 100 m Höhe, die ausreichten, um sowohl das Gebiet in etwa 30 Minuten zu befliegen, als auch um die Strukturen gut erkennen zu können. Im Abb. 11 sieht man die Möglichkeit der Darstellung der Flugpfade und Fotopunkte des Fluges in der Software [droneDB](#), die näher in Kapitel [3.2.3.2 WebODM](#) beschrieben ist. Diese Software ist sehr praktisch zur Verwaltung und zum Durchsuchen der Flugdaten.



Abb. 11: Flugpfade mit den Foto-Auslösepunkten

Alle folgenden Bilder und Darstellungen sind von (Döring, 2021) als Quelle. Aus Platzgründen wird die Quelle deswegen nicht mehr bei allen Abbildungen angegeben.

Man kann in dem Orthofoto (Abb. 12) und dem Höhenmodell in der Mitte (Abb. 13) gut die unterschiedlichen Strukturen erkennen.

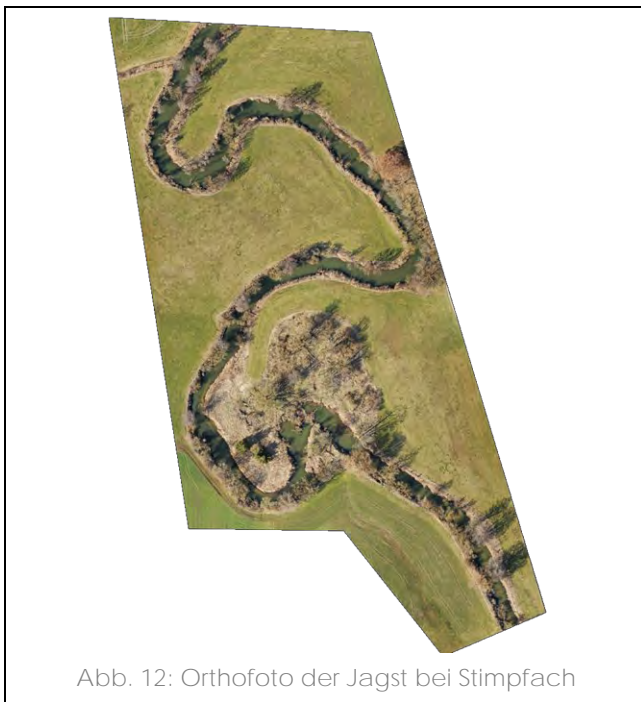


Abb. 12: Orthofoto der Jagst bei Stimpfach

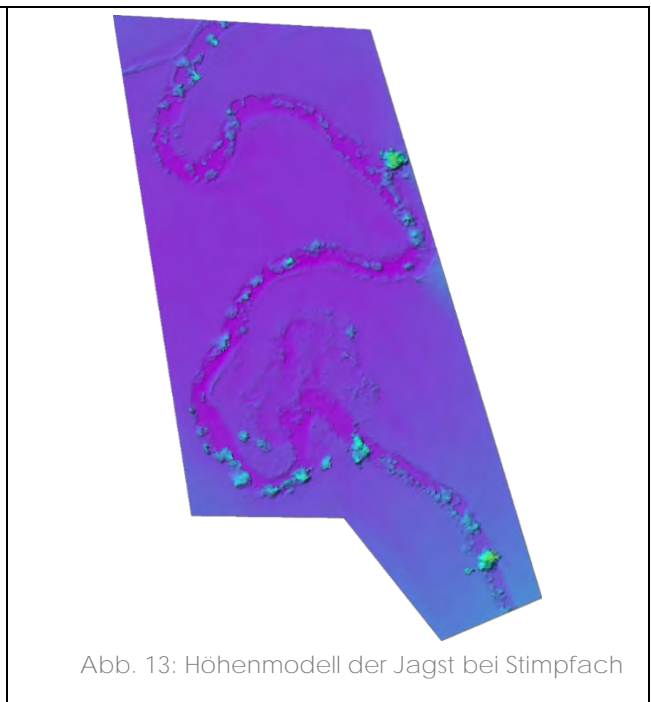


Abb. 13: Höhenmodell der Jagst bei Stimpfach

Das Höhenmodell ermöglicht es, selbst in diesem recht flachen Gebiet noch feine Höhenunterschiede zu erkennen, wie man in den hineingezoomten Ausschnitten unten (Abb. 14 + 15) sehen kann. Das ermöglicht die Analyse der Höhenunterschiede im Gelände, welche für die Planung der Dynamisierung der Aue durchaus nützlich sein können.



Abb. 14: Ausschnitt Orthofoto Jagst N

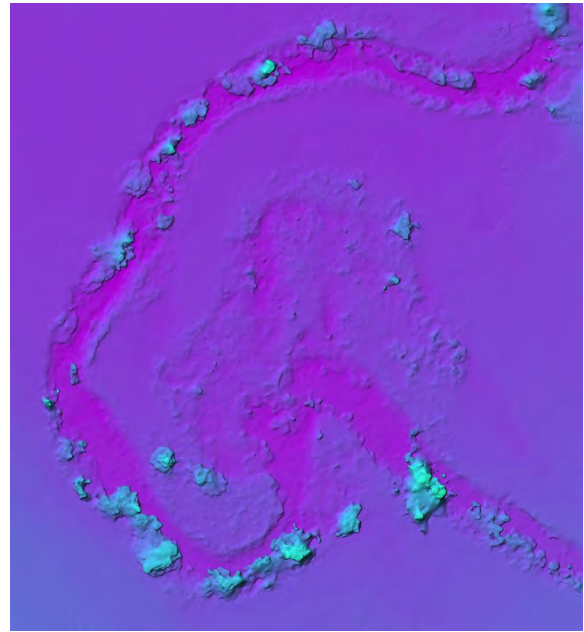


Abb. 15: Ausschnitt Höhenmodell Jagst N

Im linken Bild unten (Abb. 16) sind selbst auf 100 m Höhe sowohl dunkelgrüne Hexenringe, als auch Maulwurfshäufchen noch deutlich zu erkennen. Das legt nahe, dass auch Bereiche mit größerer Bodenfeuchte, die sich ja oft durch dunklere grüne Vegetation (Binsen o.ä.) auszeichnen, leicht detektiert und im Luftbild abgegrenzt werden können.



Abb. 16: Hexenringe und Maulwurfshügel



Abb. 17: Sohlenstruktur Jagst

Im Abb. 17 kann man ebenfalls verschiedene Zonen im Gewässerbett noch gut erkennen. Allerdings war der Wasserstand ziemlich hoch und der Fluss etwas eingetrübt. Für Kartierungen der Gewässersohle und ihrer Bereiche müsste man günstigere Bedingungen für den Befliegungszeitpunkt anstreben - s. [Fischökologische Kartierungen](#).

Befliegungen bei Jagstzell



Abb. 18: Ausschnitt Orthofoto Jagst S

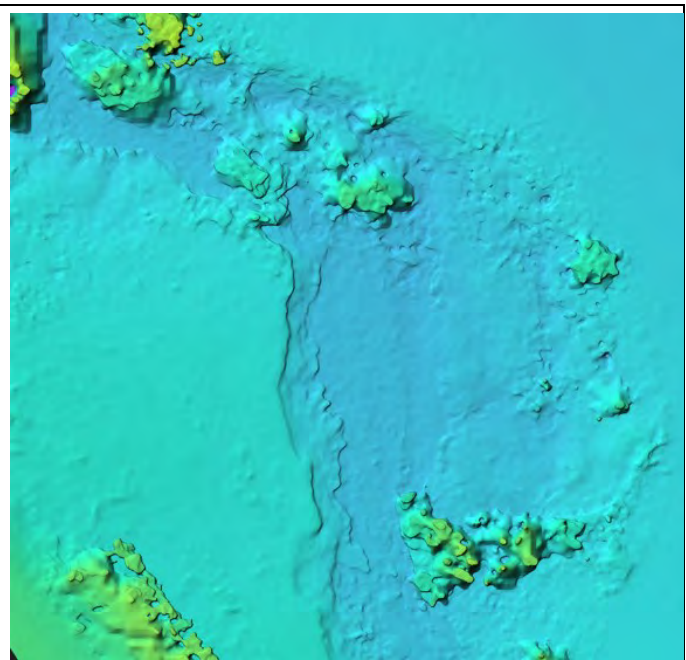


Abb. 19: Ausschnitt Höhenmodell Jagst S

Die Befliegungen in den beiden südlichen Flussabschnitten wurden zum Vergleich auf 50 m und 75 m Höhe durchgeführt. Anschließend wurde jeweils wieder ein Orthofoto (Abb. 18) und ein Höhenmodell (Abb. 19) erstellt, die alle gut und detailliert die Strukturen und Zonen der Jagst darstellen - man sieht wieder deutlich die Zonen im Gewässerbett und den gut abgestuften Uferbereich im Höhenmodell.

Die niedrigeren Flughöhen brachten aber keine nennenswerten Verbesserungen bezüglich der Erkennbarkeit der relevanten Strukturen.

Somit kann für ähnliche Fragestellungen bei Gewässerbefliegungen auf der störungsärmeren, effektiveren und günstigeren Flughöhe von 100 m geflogen werden. Das spart Zeit und Kosten bei der Befliegung selbst und bei der Prozessierung der Daten. Außerdem ist die Datenmenge geringer und benötigt weniger Speicherplatz.

Landesstudie Gewässerökologie

Um weitere Aspekte des Flussmonitorings auszuloten, wurden die günstige Gelegenheit und neue Kontakte genutzt und zum einen Vorstudien zur *Landesstudie Gewässerökologie* und zum anderen Befliegungen zur Detektion von Lachs-Laichbetten an der Kinzig durchgeführt. Bei diesen Befliegungen wurden verschiedene Aspekte zur Methodik des ökologischen Gewässermonitorings ausprobiert, analysiert, mit Fachleuten (z.B. der LUBW) abgeglichen und in die abschließende Handlungsmatrix eingebracht.

Einleitung

"Das Land hat mit der Landesstudie Gewässerökologie (LS GÖ) ein Verfahren zur zielgerichteten Planung von Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur entwickelt und wendet dieses bereits auf die [Gewässer I. Ordnung](#) (G.I.O.) an.

Im nächsten Schritt übernimmt das Land im Rahmen der Landesstudie Gewässerökologie auch für die [Gewässer II. Ordnung](#) eine weitergehende landesweite Auswertung der Daten, so dass für alle Gewässer II. Ordnung innerhalb des WRRL-Teilnetzes, für die ein strukturelles Defizit nach Landesstudie Gewässerökologie errechnet wurde, zukünftig landesweit einheitliche Maßnahmenkonzeptionen für eine zielorientierte Planung von wirksamen Strukturmaßnahmen vorliegen. Die Ergebnisse dieser Maßnahmenkonzeption sollen den Kommunen als Planungsgrundlage zur Verfügung gestellt werden und sie bei der Planung und Durchführung von Revitalisierungen bestmöglich unterstützen. Mit dieser Vorgehensweise können Maßnahmen zielgerichtet durchgeführt und so die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie langfristig erreicht werden." ([RP BADEN-WÜRTTEMBERG, 2022](#))

Ziel der Landesstudie war es, die strukturellen Voraussetzungen für das Erreichen eines guten ökologischen Zustands gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie zu schaffen. Mindestens die Hälfte der Gewässerabschnitte eines Wasserkörpers sollen demnach in die Gewässerstrukturklasse 3 (mäßig verändert) oder besser überführt werden.

Es sollten aktuelle Erkenntnisse der Zusammenhänge zwischen Gewässerstruktur und Qualität biologischer Komponenten (Makrozoobenthos und Fische) aus dem Monitoring der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) aufgegriffen und für die Planung und Umsetzung gewässerökologischer Maßnahmen durch die Landesbetriebe Gewässer gezielt aufbereitet werden.

"Die Erkenntnisse fließen in alle Arbeitsschritte zur Erstellung von Rahmenplanungen zur Verbesserung der Gewässerstruktur ein. Dies reicht von der Ermittlung des notwendigen Umfangs und die Anordnung und Ausgestaltung der Maßnahmen bis hin zu ihrer Priorisierung im Hinblick auf die landesweite Mittelverteilung." ([RP BADEN-WÜRTTEMBERG, 2022](#))

In der Kartieranleitung zur Aufnahme von Fischhabitaten werden Drohnen als ein Werkzeug besonders zum Einsatz an nicht wadbaren Gewässerabschnitten genannt. Dort müssen Strukturen dann mit anderen Herangehensweisen erfasst und kartiert werden.

"Mit Drohnenbefliegungen lassen sich bei geeigneten Bedingungen (Witterung, Abfluss, Jahreszeit) aussagekräftige, hochaufgelöste Luftaufnahmen erstellen ..., mit deren Hilfe die Kartierungsarbeiten erheblich erleichtert werden. Aus diesem Grunde werden die im Zuge der LS GÖ zu überplanenden G.I.O. ab 2021 immer vollständig durch Drohnen befliegen und die erzeugten hochaufgelösten Luftbilder den Auftragnehmern der Rahmenplanungen zur Verfügung gestellt." ([GESCHÄFTSSTELLE GEWÄSSERÖKOLOGIE, 2022](#))

Fragestellung gewässerökologisches Monitoring

In dem Dokument "Fischökologisch funktionsfähige Strukturen in Fließgewässern - Kartieranleitung für wattend begehbbare Fließgewässer" ([GESCHÄFTSSTELLE GEWÄSSERÖKOLOGIE, 2022](#)) werden die relevanten Strukturen zur Kartierung in Gewässern genannt und werden hier bezüglich ihrer Eignung zur Detektion mit Drohnen bewertet.

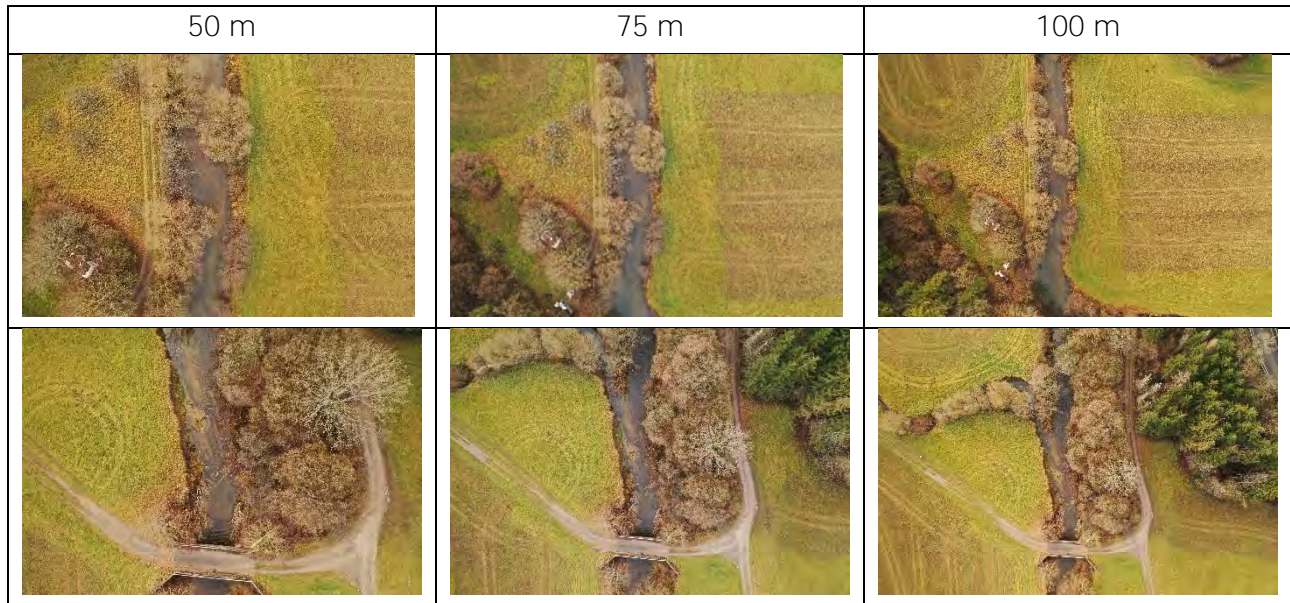
- Wie und auf welcher Höhe (Auflösung) müssen Befliegungen stattfinden, um Fischhabitats (mit den folgenden Strukturen) erfassen und vor den Drohnen-Orthofotos als Hintergrund digitalisieren zu können?
- Mit welcher Methodik sollten die gewünschten Gewässerstrukturen (Fischhabitats) befliegen werden?
- Wie ändert sich diese Methodik (Flugstreifen/Flugrichtung, Kamerawinkel, Overlap) in Abhängigkeit zur Flussbreite?

Ergebnisse

Fischökologische Kartierungen

An einem nahen Gewässer wurden mit Genehmigung der Naturschutzbehörden Voruntersuchungen zu einer adäquaten Flughöhe für die Befliegungs-Beauftragung der Landesstudie getätigt (Tab. 3). Diese wurden dem RP Tübingen und den bei der Auftragsplanung Beteiligten zur Verfügung gestellt. Alle Fotos (Döring, 2021).

Tab. 2: Flughöhenvergleich für Drohnenaufnahmen im Rahmen der Landesstudie (Döring, 2022)



Natürlich wurden kleine Details immer unschärfer, je höher die Flughöhe war, jedoch waren auch in 100 m Höhe alle für die Studie relevanten Details gut zu erkennen. Deswegen wurde in der ersten Ausschreibung zur Gewässerbefliegung eine Auflösung von 3 cm gefordert, was mit den meisten Drohnen leicht zu erreichen ist - unsere Projektdrohne erreicht z.B. bei 100 m Flughöhe eine Auflösung von 2.3 cm.

Mit Hilfe von Drohnen-Orthofotos im Hintergrund können in einem GIS bereits am Schreibtisch folgende fischökologisch relevanten Strukturen in Lage und Ausdehnung digitalisiert werden ([Geschäftsstelle Gewässerökologie, 2022](#) - Abb. 20):

- überströmte Kiesflächen
- flach abfallende, angeströmte Bereiche (v.a. an Gleitufern)
- Rauschen
- flache, strömungsarme Bereiche (bspw. Uferbuchten)
- Fließbrinnen
- Deckungsstrukturen wie Totholz oder Makrophytenfelder

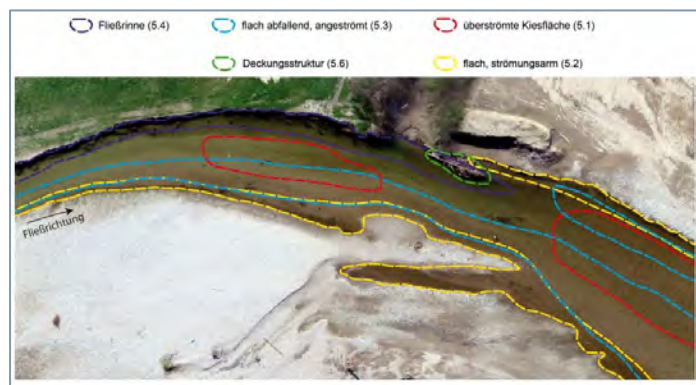


Abb. 20: über Orthofoto flächig kartierte Strukturen ([GESCHÄFTSSTELLE GEWÄSSERÖKOLOGIE, 2022](#))

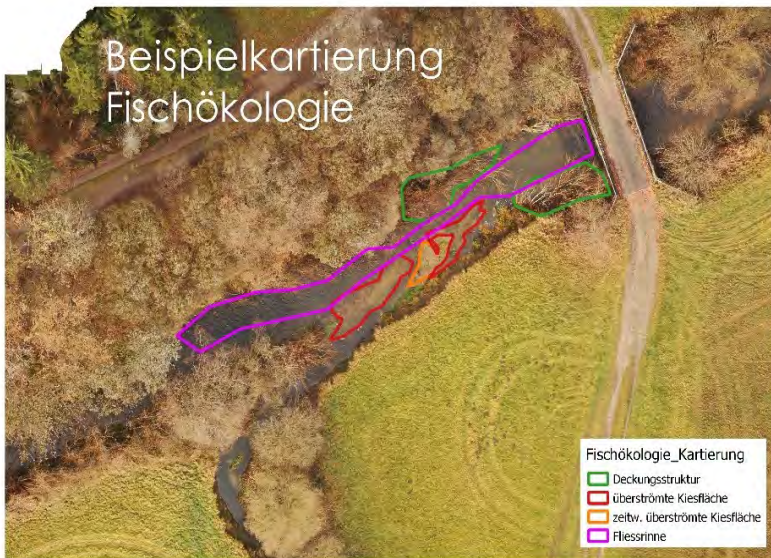


Abb. 21: Fischökologische Beispielkartierung auf eigenem Orthofoto (Döring, 2022)

Wenn das Gewässer 'tunnelartig' überwachsen ist und dennoch Fotos zur Dokumentation benötigt werden, kann man z.B. einen Teleskopstab mit einer wasserfesten Action-Cam an der Spitze nutzen. So eine Kamera kann verwendet werden, um zwischen der Vegetation von oben Aufnahmen des Gewässerbetts zu machen oder als 'Sondenkamera' wie in Abb. 22, um Unterwasserstrukturen visuell zu erkunden und zu dokumentieren.



Abb. 22: Sondenkamera = Teleskopstab + ActionCam ([GESCHÄFTSSTELLE GEWÄSSERÖKOLOGIE, 2022](#))

Auf den vorher gezeigten Fotos wurde vom DroBio-Projekt-kordinator in [QGIS](#) eine beispielhafte Digitalisierung durchgeführt (Abb. 21).

Die Möglichkeit der Kartierung am Schreibtisch endet dann, wenn zu viel Ufervegetation vorhanden ist und nicht mehr alle relevanten Strukturen im Gewässerbett zu erkennen sind. Spätestens dann muss vor Ort weiterkartiert werden.

Gewässerökologische Befliegungen - Fazit

Tabelle 1: Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
Wie und auf welcher Höhe (Auflösung) müssen Befliegungen stattfinden, um Fischhabitats (mit den oben aufgezählten Strukturen) erfassen und vor den Drohnen-Orthofotos als Hintergrund digitalisieren zu können?	Die oben aufgezählten Gewässerstrukturen konnten mit der Projektdrohne auf 100 m Höhe noch mit etwa 2,3 cm Bodenauflösung gut detektiert werden - vorausgesetzt, das Gewässer ist von oben gut einzusehen. Die Detektierbarkeit in der folgenden Tabelle setzt voraus, dass das Gewässer von oben gut einzusehen ist.

Tab. 3: Bewertung von Gewässerstrukturen für Drohnenbefliegungen (Döring, 2022)

Strukturen	Detektierbarkeit in Luftbildern
Kiesbetten	gut zu sehen
Flache, strömungsarme Bereiche	zu sehen
Flach abfallende, angeströmte Bereiche	gut zu sehen
Fließrinnen	zu sehen
Rauschen	gut zu sehen
Unterstände - Kolke, Blöcke, Totholz, überhängende Äste, Wasserpflanzenpolster, Biberdämme	gut zu sehen
Feinsedimentbänke	zu sehen
Ausgebaute Fließstrecken mit geringer Habitatqualität	einfach zu erkennen


Mit welcher Methodik sollten die gewünschten Gewässerstrukturen (Fischhabitats) befliegen werden?

- Um effiziente Befliegungen durchzuführen, empfiehlt es sich, mit Korridor-Flugplanungen zu arbeiten - s. [oben](#).
- Um z.B. die Uferlinie besser abzubilden oder 3D-Modelle zu erstellen, müssen evtl. noch Rasterflüge quer zum Fluss und mit schräg gestellter Kamera hinzugefügt werden.
- An schmalen Flüssen muss eher manuell und tief - ggf. sogar zwischen der Ufervegetation - geflogen werden, wenn dies überhaupt sinnvoll und möglich ist.
- Zur besseren Detektion der Strukturen sollte in der laublosen Zeit geflogen werden.
- Zusätzlich können auch noch andere Parameter eine Rolle spielen - z.B. Pegelstände, die Wassertrübung oder Umgebungsbedingungen wie Schneebedeckung.
- Alle Befliegungsparameter müssen klar definiert sein und den Piloten kommuniziert werden.

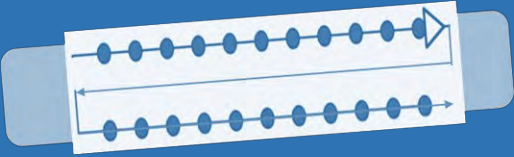
<p>Wie ändert sich diese Methodik (Flugstreifen/Flugrichtung, Kamerawinkel, Overlap) in Abhängigkeit zur Flussbreite?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bei breiten Flüssen muss man ggf. zusätzlich niedriger und quer zum Gewässer mit schräg angestellter Kamera fliegen, um unter der Ufervegetation die Uferlinie erfassen zu können - s. (RUSNÁK ET AL., 2018) • Ist das Gewässer schmal, behindert oft die Vegetation eine Draufsicht v.a. auf die Randbereiche. Evtl. kann man manuell zwischen den Uferbäumen fliegen und Einzelaufnahmen machen oder terrestrisch eine Kamera an einem Stab nutzen. • Die Überlappung sollte mindestens 75 % in beide Richtungen betragen. Sie stellt sich bei Map Pilot aber selbst ein, wenn die Flughöhe und die Anzahl der Flugstreifen parallel zur Mittellinie angegeben wurde.
<p>Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst nicht in der Brutzeit fliegen. • Die Befliegungen immer mit der zuständigen Naturschutzverwaltung und GebietsbetreuerInnen absprechen! • Bitte immer die Empfehlungen zur Störungsökologie beachten - s. <i>Kapitel 4.2 Störungsökologie, Teilbericht 'Faunamonitoring', die Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen</i> (DÖRING & MITTERBACHER, 2022) und (LAG VSW, 2023).

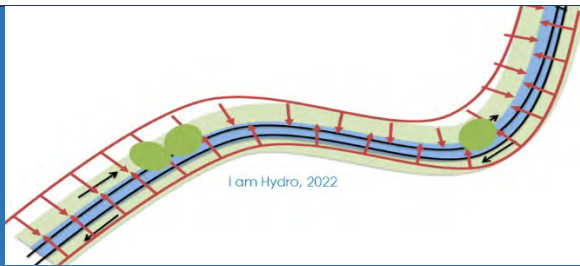
5.7.4 Gewässer- und Lachsmonitoring - Fazit

Tab. 4: Gewässer- und Lachsmonitoring - Methodik (Döring, 2022)

Fließgewässer- und Lachsmonitoring		
Schwierigkeit 	Erfahrung 	Nutzen 
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> • Flussinspektion • Veränderungen monitoren • Renaturierungen monitoren • Fisch-Habitat-Monitoring • ... 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ spart Zeit gegenüber terrestrischen Aufnahmen ◦ besserer Überblick von oben ◦ dauerhafte Daten zur Dokumentation und späteren Analyse ◦ Daten können in einem GIS quantitativ ausgewertet werden ◦ höhere Auflösung als DOPs der Länder 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotos - RGB, Thermal • Orthofotos • Videos • Höhenmodelle • LiDaR-Punktwolken

Tab. 5: Gewässer/Lachsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
Unbedingt Kapitel 4.2 <i>Störungsökologie</i> (v.a. Brut- und Mauserzeiten beachten)!	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Kapitel 3.1.2 <i>Befliegungs-Methodik</i> sollte immer beachtet werden.	
<p>Für linienhafte Strukturen</p> <ul style="list-style-type: none"> → automatische Korridor-Flugplanungen - s. (PIX4D, 2022A) → Die Überlappung sollte mind. 80 % vorwärts und 60 % seitlich betragen. → Es sind mindestens 2 Bahnen, aber besser ≥ 3 für gute Orthofotos nötig. 	<p>Die lineare <i>Korridor-Flugplanung</i> erlaubt es, Befliegungen von linienartigen Flächen wie Flüssen, Straßen, Freileitungen oder Pipelines einfach und effektiv, mit möglichst geringer Flugzeit, zu planen. Da im Gegensatz zu einer flächigen Befliegung nicht mehr Flächen als nötig beflogen und zusammengesetzt werden müssen, wird die Befliegung wesentlich ökonomischer und effizienter. Es werden nur die wirklich relevanten Flächen (Flussbett, Leitungskorridor etc.) beflogen.</p>
<p>Es sollte immer so hoch, wie möglich geflogen werden -</p> <ul style="list-style-type: none"> → aber ≤ 120 m! → niedriger fliegen, nur wenn nötig (kleinere Untersuchungsobjekte) 	<p>Die Effektivität erhöht sich mit größerer Flughöhe, da die Flächenleistung höher wird - s. Kapitel 3.1.5.1 Flug-Systeme - Sensoren.</p>
<p>Bei einförmigen Strukturen wie Seen, Sand und Schnee sollte</p> <ul style="list-style-type: none"> → die Überlappung auf mind. 85 % vorwärts und 70 % seitlich erhöht werden. → auf guten Kontrast in Bildern geachtet werden. 	<p>Photogrammetrie-Programmen haben oft Probleme, da bei sehr gleichförmigen Strukturen keine eindeutigen Verknüpfungspunkte zwischen den einzelnen Bildern gefunden werden können.</p> <p>Deshalb möglichst viel 'Struktur' wie Büsche oder Bäume am Rand der Fläche mit aufnehmen - s. (PIX4D, 2022A).</p> <p>Bei guten Wetterbedingungen fliegen - s. 3.1.2 <i>Befliegungs-Methodik</i></p>
<p>Bei Flüssen und Seen sollte möglichst immer (ein Stück) der Uferbereiche mit aufgenommen werden.</p>	<p>Reine Wasserflächen sind zu gleichförmig, reflektieren zu stark und/oder haben Wellengang und lassen meist keine Orthofoto-Erstellung zu - s. (PIX4D, 2022A)</p>
<p>Zusätzliche Schrägaufnahmen z.B. für Böschungsaufnahmen - ggf. quer zum Fluss erfliegen.</p>	<p>Schräg- (oder <i>Oblique</i>-)Aufnahmen können genutzt werden, um besser unter die Ufervegetation zu blicken.</p> <p>Weiterhin tragen sie auch zur weiteren Stabilisierung des Bildverbandes und zur</p>



Höhengenaugigkeit bei - s. 3.1.2 Befliegungs-Methodik - Schrägaufnahmen

Gerade für den Uferbereich sollte man möglichst in der laubfreien Zeit fliegen.

Ohne Laub an den Bäumen bekommt man meist eine bessere 'Durchsicht' auf den Uferbereich und kann ggf. sogar die Böschungskanten detektieren.

Unter Umständen sind zusätzliche Bedingungen zu beachten z.B.

- Pegelstände,
- ausschließlich gleichmäßige Bewölkung wegen möglicher Reflexionen - zusätzlich ggf. Nutzung eines Polfilters für die Kameralinse,
- ein schneefreies Flussumfeld.

Für gewisse Befliegungsmissionen sind u.U. bestimmte Anforderungen zu erfüllen, die erst die gewünschten Daten ermöglichen.

Wenn alle Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein müssen, verkürzt sich der Zeitkorridor für die Befliegungen erheblich. Das erfordert eine ganz besonders gute Planung der Flugmissionen.

Zur Aufnahme der Gewässersohle kann evtl. ein grüner Laser eingesetzt werden ([Szafarczyk & Toś, 2022](#)).

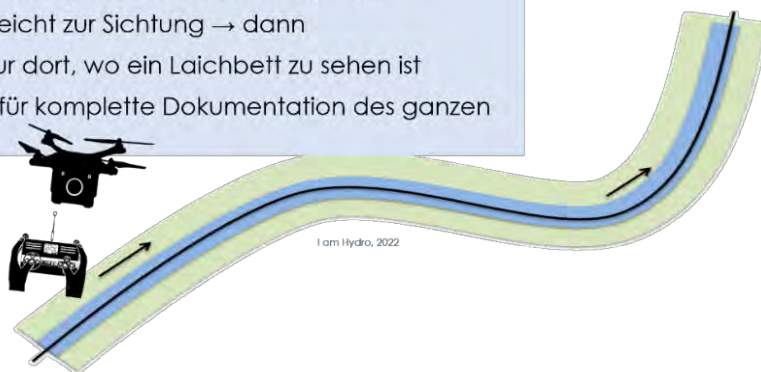
Ein grüner Laser dringt einfacher bis auf den Gewässergrund durch und ermöglicht dessen Aufnahme.

Allerdings erfordert sein Einsatz wesentlich teureres Equipment und kann nur durch spezialisierte Personen erfolgen. Die Technik ist auch noch nicht weit verbreitet.

Lachsmonitoring

manuelle Flüge

- **so hoch**, dass **ganzes Flussbett im Monitor**
- **visuell** - reicht zur Sichtung → dann
- **Fotos** - nur dort, wo ein Laichbett zu sehen ist
- **Videos** - für komplette Dokumentation des ganzen Flusses



5.7.5 Wirtschaftlichkeit

Fließgewässermonitoring mit Drohnen lohnt sich dann, wenn

- es günstiger ist als andere Methoden (Satelliten, Flugzeugbefliegungen), was der Fall ist, wenn
 - es kleine und überschaubare Flussabschnitte - v.a. mit unregelmäßigen Geometrien - sind.
 - mit sehr hoher Auflösung geflogen werden soll.
 - wiederholt oder ad hoc befliegen werden soll - zur Kontrolle oder zum regelmäßigen Monitoring (z.B. Makrophyten) über die Vegetationsperiode hinweg.
 - in tiefen Tälern, wo Flugzeuge keine genügend hohe Auflösung erzielen oder gar nicht fliegen können.
 - Schrägaufnahmen z.B. zur Aufnahme der Böschungskanten von Flüssen benötigt werden.
 - Voruntersuchungen zur Methodenfindung nötig sind.
- Einleitungen oder andere temporäre Gewässermerkmale (Abb. 23) überprüft werden sollen.

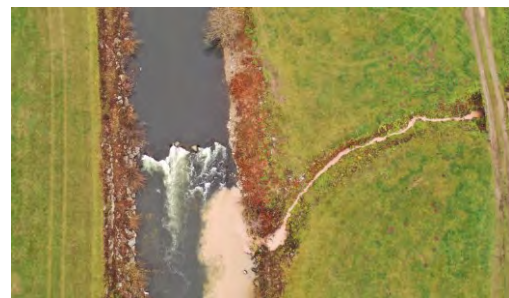


Abb. 23: Kinzig - Trübwassereinleitung - 70 m (Döring, 2020)

Literaturverzeichnis

- ARAYA, S. N. ET AL. (2020): "Advances in Soil Moisture Retrieval from Multispectral Remote Sensing Using Unmanned Aircraft Systems and Machine Learning Techniques". In: Hydrology and Earth System Sciences 25(5), S. 2739–2758. <https://doi.org/10.5194/hess-2020-271>
- BIGGS, H. J. ET AL. (2018): "Coupling UAV and Hydraulic Surveys to Study the Geometry and Spatial Distribution of Aquatic Macrophytes". https://www.researchgate.net/publication/328345537_Coupling_Unmanned_Aerial_Vehicle_UAV_and_hydraulic_surveys_to_study_the_geometry_and_spatial_distribution_of_aquatic_macrophytes
- DÖRING, S.; MITTERBACHER, M. (2022): "Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>
- DRONES MADE EASY (2021): "Map Pilot Pro - Mission Parameters Advanced Part 3". https://www.youtube.com/watch?v=ThrGXsc_4G4 (6.8.2022)
- DRONES MADE EASY (2022): "Linear Flight Planning". Drones Made Easy. <https://support.dronesmadeeasy.com/hc/en-us/articles/115000167986-Linear-Flight-Planning> (6.8.2022)
- EVANS, A. D. ET AL. (2022): "UAV and Structure-From-Motion Photogrammetry Enhance River Restoration Monitoring: A Dam Removal Study". In: Drones 6(5), S. 100. <https://doi.org/10.3390/drones6050100>
- GESCHÄFTSSTELLE GEWÄSSERÖKOLOGIE (2022): "Downloadbereich - Landesstudie Gewässerökologie". <https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/wasserboden/gsgoe-download/> (5.8.2022)
- GRACCHI, T. ET AL. (2021): "Tracking the Evolution of Riverbed Morphology on the Basis of UAV Photogrammetry". In: Remote Sensing 13(4), S. 829. <https://doi.org/10.3390/rs13040829>
- KISLIK, C. ET AL. (2020): "Application of UAV Imagery to Detect and Quantify Submerged Filamentous Algae and Rooted Macrophytes in a Non-Wadeable River". https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3332?type=check_update&version=2

- LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW) (2012): "Jagst - MAP für das FFH-Gebiet 6926-341 Crailsheimer Hart und Reusenberg". S. 176. https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/309807/6926_341_text_managementplan_end.pdf/3d06d1d8-dbca-44ca-aca2-69e2cf6f6275?version=1.0&download=true
- LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW) (2015): "Managementplan für das Vogelschutzgebiet 6624-401 Jagst mit Seitentälern". https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/documents/10184/312120/6624401_02_Text_Managementplan.pdf/543f3a6c-b79c-4ae8-bca6-48f5f8f30851?version=1.0&download=true
- PIX4D (2022a): "Number and Distribution of Ground Control Points (GCPs) in Corridor Mapping". Support. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559299-Number-and-distribution-of-ground-control-points-GCPs-in-corridor-mapping> (16.10.2022)
- PIX4D (2022b): "Pix4D - Image Acquisition - Plan Type". Support. <http://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557459-Step-1-Before-Starting-a-Project-1-Designing-the-Image-Acquisition-Plan-a-Selecting-the-Image-Acquisition-Plan-Type> (12.6.2022)
- POTTGIESSER, T.; MÜLLER, A. (2012): "Gewässerstruktur in NRW - Kartieranleitung - LANUV-Arbeitsblatt 18". https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/40018.pdf
- RIVAS CASADO, M. ET AL. (2016): "Quantifying the Effect of Aerial Imagery Resolution in Automated Hydromorphological River Characterisation". In: Remote Sensing 8(8), S. 650. <https://doi.org/10.3390/rs8080650>
- RP BADEN-WÜRTTEMBERG, R. (2022): "Die Landesstudie Gewässerökologie in Baden-Württemberg - Regierungspräsidien Baden-Württemberg". <https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/wasserboden/landesstudie-gewaesser/> (15.10.2022)
- RP TÜBINGEN (2019): "Landesstudie Gewässerökologie". <https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/wasserboden/landesstudie-gewaesser/>
- RUSNÁK, M. ET AL. (2018): "Template for High-Resolution River Landscape Mapping Using UAV Technology". In: Measurement 115, S. 139–151. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.10.023>
- SESSANNA, R. (2019): "Capturing and Analyzing Multispectral UAV Imagery to Delineate Submerged Aquatic Vegetation on a Small Urban Stream". <https://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1355&context=thesis>
- SZAFARCZYK, A.; TOŚ, C. (2022): "The Use of Green Laser in LiDAR Bathymetry: State of the Art and Recent Advancements". In: Sensors 23 (1), S. 292. <https://doi.org/10.3390/s23010292>
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2017): "Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung". https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/170829_uba_fachbroschure_wasse_rwirtschaft_mit_anderung_bf.pdf
- UMWELTBUNDESAMT (UBA) (2022): "Ökologischer Zustand der Fließgewässer". Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/flie%C3%9Fgewaesser/oekologischer-zustand-der-flie%C3%9Fgewaesser> (8.6.2023)
- UMWELTBUNDESAMT UND BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (UBA, BuLAG WASSER) (2022a): "Biologische Qualitätskomponenten - Gewässerbewertung gemäß WRRL". https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=9&clang=0 (7.8.2022)
- UMWELTBUNDESAMT UND BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (UBA, BuLAG WASSER) (2022b): "Gewässerbewertung gemäß WRRL". <https://www.gewaesser-bewertung.de> (3.8.2022)
- UMWELTBUNDESAMT UND BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (UBA, BuLAG WASSER) (2022c): "Gewässerstrukturkartierung - Gewässerbewertung gemäß WRRL". https://www.gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=138&clang=0 (7.8.2022)
- UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (2018): "Aktionsprogramm Jagst". Baden-Württemberg.de. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/wasser-und-boden/jagst/> (22.2.2021)

WOODGET, A. S. ET AL. (2017): "Drones and Digital Photogrammetry: From Classifications to Continuums for Monitoring River Habitat and Hydromorphology". In: WIREs Water 4(4), S. e1222. <https://doi.org/10.1002/wat2.1222>

Weiterführende Literatur

- AGUADRONE (2019): "AguaDrone Waterproof Drone Soars over Obstacles in Fishing and Fish Monitoring". Environmental Monitor. <https://www.fondriest.com/news/aguadrone-waterproof-drone-soars-over-obstacles-in-fishing-and-fish-monitoring.htm> (23.6.2020)
- COGHLAN, B. (2018): "Another Perspective — Exploring the Application of Drones in Fisheries Research". <https://www.fisheriesireland.ie/documents/1536-research-newsletter-no-7-2-54-mb/file.html>
- FISHBIO (2019): "Flying High: Drone Use in Fisheries Research - FISHBIO Fisheries Research, Monitoring, and Conservation". <https://fishbio.com/field-notes/the-fish-report/flying-high-drone-use-fisheries-research> (20.6.2020)
- FISHBIO (2020): "Spotting Salmon Spawning by Drone: Advancements in Redd Mapping - FISHBIO Fisheries Research, Monitoring, and Conservation". <https://fishbio.com/field-notes/the-fish-report/spotting-salmon-spawning-drone-advancements-redd-mapping> (7.12.2020)
- FISHERIESIRELAND (2018): "Aerial & fish stock survey of the River Crana catchment, Co. Donegal". Preliminary Report. <https://www.fisheriesireland.ie/extranet/fisheries-research-1/1551-aerial-fish-stock-survey-of-the-river-crana-catchment-co-donegal/file.html>
- GROVES, P. A. ET AL. (2017): "Testing Unmanned Aircraft Systems for Salmon Spawning Surveys". In: FACETS 1(1), S. 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>
- HARRISON, L. R. ET AL. (2020): "Assessing the Potential for Spectrally Based Remote Sensing of Salmon Spawning Locations". In: River Research and Applications 36(8), S. 1618–1632. <https://doi.org/10.1002/rra.3690>
- IDAHO POWER (2016): "Counting Salmon with Drones". https://www.youtube.com/watch?v=xji8A0TrvdA&ab_channel=IdahoPower (7.12.2020)
- JOHNSON, D. H. (2007): "Salmonid Field Protocols Handbook Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations". American Fisheries Society - State of the Salmon. https://www.researchgate.net/publication/242129373_The_Salmonid_Field_Protocol_Handbook_Techniques_For_Assessing_Status_and_Trends_in_Salmon_and_Trout_Populations
- RP TÜBINGEN (2019): "Landesstudie Gewässerökologie". https://rp.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/RP-Internet/Themenportal/Wasser_und_Boden/Geschaeftsstelle_Gewaesseroekologie/Landesstudie_Gewaesseroekologie_G.1.O/DocumentLibraries/Documents/Fischoekologisch_funktionsfaehige_Strukturen.pdf
- WDFW.WA.GOV (2020): "WDFW to use drone to count spawning salmon nests | Washington Department of Fish & Wildlife". <https://wdfw.wa.gov/news/wdfw-use-drone-count-spawning-salmon-nests-0> (4.1.2021)
- WHITEHEAD, K. ET AL. (2014): "Remote Sensing of the Environment with Small Unmanned Aircraft Systems (UASs), Part 2: Scientific and Commercial Applications". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems 02(03), S. 12. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0007>



5.8 Lachs-/Biber-Monitoring

Zum Monitoring von Lachsen und Bibers kann man sich im Großen und Ganzen der gleichen Methodik bedienen, weswegen die beiden Themen zusammengelegt wurden.

Inhaltsverzeichnis

5.8 Lachs-/Biber-Monitoring	1
Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	2
5.8.1 Lachsmonitoring an der Kinzig	2
Zusammenfassung	2
Einleitung	2
Das Lachsprogramm in Baden-Württemberg	4
Lachsmonitoring seit 2018	4
Fragestellungen	5
Methodik der Flugplanung	5
Ergebnisse	6
Lachsmonitoring - Fazit	8
5.8.2 Bibermonitoring	9
Zusammenfassung	9
Einleitung	9
Methodik der Flugplanung	11
Bibermonitoring - Fazit	11
5.8.3 Fazit Lachs- und Bibermonitoring	13
5.8.4 Wirtschaftlichkeit	14
Literaturverzeichnis	15
Weiterführende Literatur	16

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lachs-Laichbetten - Redds (GROVES ET AL., 2017)	3
Abb. 2: 'Zweifarbiger' Kiesel (Harrison et al., 2020)	3
Abb. 3: Kinzig - Befliegungstrecke 2020 (Döring, 2022)	5
Abb. 4: Flussbett aus 100 m Höhe (Döring, 2021)	7
Abb. 5: Flussbett aus 50 m Höhe (Döring, 2021)	7
Abb. 6: Kiesbank aus 20 m Höhe (Döring, 2021)	7
Abb. 7: Einmündung und Fließverhalten von trübem Wasser (Döring, 2021)	7
Abb. 8: Bibermonitoring im Moor (Döring, 2022)	9
Abb. 9: Filmaufnahmen eines großen Biberreviers an der Rohrach (Döring, 2021)	11

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Lachsmonitoring - Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022)	8
Tab. 2: Bibermonitoring - Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022)	11
Tab. 3: Lachs- und Bibermonitoring - Methodik (Döring, 2022)	13
Tab. 4: Lachs-/Bibermonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)	13

5.8.1 Lachsmonitoring an der Kinzig

Zusammenfassung

Lachse werden schon seit 2002 in Baden-Württemberg in einem eigenen Programm gefördert. Der Geschäftsführer vom Landesfischereiverband Baden-Württemberg, der das Aufzuchtprogramm von Junglachsen betreut, wurde auf das Projekt 'Drohnen im Biomonitoring' aufmerksam und hatte daraufhin den Kontakt zu unserem Projekt gesucht, da sie im Verband schon selbst seit einiger Zeit Drohnen einsetzen. Zusammen mit dem damaligen Lachsbeauftragten des Landes wurde die Idee zum Monitoring von Lachsen am Beispiel der Kinzig konkretisiert.

Die Kinzig wurde daraufhin in Teilen befliegen, um eine effektive Methodik zur Detektion von Lachs-Laichplätzen zu erarbeiten. Die Laichplätze sollen damit auch künftig effektiv aufgefunden und ihre Umgebung kartiert werden können.

Einleitung

Der Atlantische Lachs ist laut der Weltnaturschutzunion IUCN auf der Roten Liste der bedrohten Arten mit „Gefährdung anzunehmen“ eingestuft.

Die Art ist zudem im Anhang II der FFH-Richtlinie gelistet, womit eine Berichtspflicht zu deren Erhaltungszustand besteht ([SACHTELEBEN & BEHRENS, 2010](#)). Dazu sollen einmal im Berichtszeitraum die besiedelten Gewässer zur Habitatkartierung und Erfassung von Beeinträchtigungen anhand struktureller, morphologischer, physikalischer und chemischer Merkmale charakterisiert werden ([BFN, 2011](#)). Aufgrund des Verschlechterungsverbotes bedeutet das gleichzeitig den Schutz von Lebensräumen, da die Anhang-II-Arten auch als Kriterien bei der Auswahl von geeigneten Schutzgebieten herangezogen werden ([WWF, 2007](#)).

Fast alle Lachsarten sind weltweit durch den Einfluss des Menschen (durch Ausbau, Aufstau, Verbauung, Verschmutzung und Erwärmung durch Kraftwerke vieler Flüsse) auf ihre Laich-Habitate gefährdet und werden als schützenswerte Arten gelistet ([CONNOR ET AL., 2019](#)).

Zu ihrem Schutz werden sie bzw. ihre Habitate und Laichgruben (*Redds*) vielerorts regelmäßig gezählt. In Abb. 1 erscheinen diese *Redds* als weißliche Ovale. Das kommt daher, dass der Rogner (weiblicher laichbereiter Lachs) mit seiner Schwanzflosse eine etwa 3 m × 1 m breite und 0,5 m tiefe Laichgrube in das kiesige Substrat des Flussbetts schlägt.

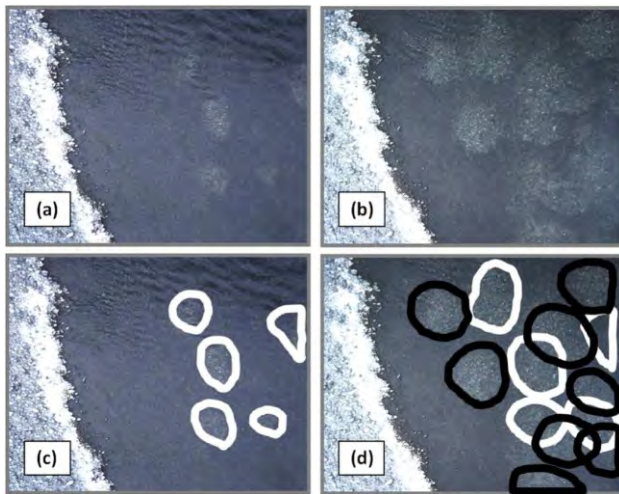


Abb. 1: Lachs-Laichbetten - Redds (GROVES ET AL., 2017)

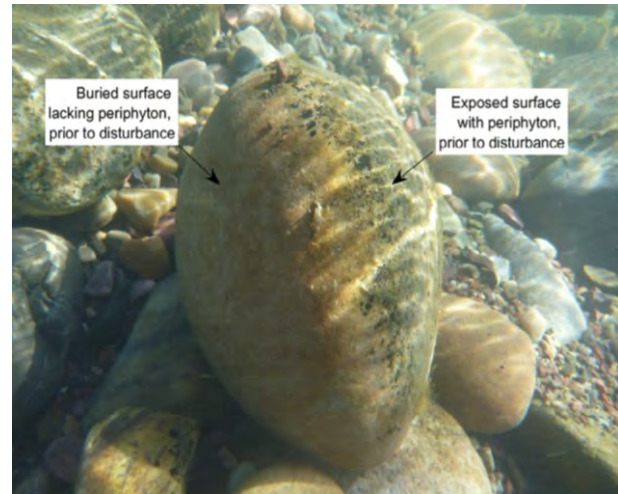


Abb. 2: 'Zweifarbiger' Kiesel (Harrison et al., 2020)

Dabei werden viele oberflächlich dunkel mit Algen bewachsene Kiesel umgedreht und ihr weißer 'Bauch' in der Grube sichtbar (Abb. 2).

Die Laichgruben sind gut aus der Luft zu sehen und werden v.a. in den USA und Kanada oft vom Helikopter aus gezählt. Doch Helikopterflüge sind nicht ungefährlich und waren zudem in einer Studie im Vergleich weniger genau wie die Zählungen mit Drohnen (GROVES ET AL., 2017).

Schon 2012 verglichen japanische Wissenschaftler den Einsatz von einem ferngesteuerten Helikopter (auch eine Drohne) mit den herkömmlichen bemannten Befliegungen (KUDO ET AL., 2012). Die Flächen-Abdeckung ist zwar geringer, dafür sind es aber auch die Kosten, bei gleichzeitigem Gewinn an Flexibilität und Genauigkeit. Sie postulierten, dass gute Stichproben-Aufnahmen oft genügen könnten und manchmal ungenaueren Vollzählungen, vorzuziehen sind.

2014 konnten Forscher in Kanada mit Drohnen ganze Lachs-Schwärme in ihren Laichgründen und selbst einzelne Lachse bei ihren Laichbetten beobachten und in einem Orthofoto zählen (WHITEHEAD ET AL., 2014).

In Kodiak (Alaska) nutzte die Fischbehörde das Vorgängermodell der im Projekt benutzten Drohne (DJI Mavic) mit einem, der Kamera vorgesetzten Polfilter, um erst Lachse für das Markieren zu finden und dann die farbige markierten Lachse zu zählen (ALASKA FISH & GAME, 2018).

Über eine Objekt-basierte Image Analyse (OBIA) wurde von Harrison et al. eine Redd-Zählung sowohl in RGB-Bildern als auch in viel teureren Hyperspektralbildern, beide aus Drohnenbefliegungen, automatisiert durchgeführt. Dabei wiesen beide Sensordaten Vorteile und Nachteile auf (HARRISON ET AL., 2020).

Die RGB-Daten waren schneller zu prozessieren und erreichten eine höhere Lagegenauigkeit, geeignet für schnellere und oft wiederholbare Datenaufnahmen.

Die Hyperspektral-Daten ermöglichten eine genauere automatisierte Detektion und Zählung der Redds, eine Tiefenmessung des Flussbetts und weiterer Habitat-Parameter - aber bei viel höheren Kosten des Sensors und der benötigten Flugplattform.

Generell ist aber nach Meinung der Forscher die Fernerkundung mit Drohnen in vielen Punkten wesentlich günstiger, effektiver und ungefährlicher als andere Monitoringmethoden für

den Lachs. Diese umfassten bisher v.a. Boot-/Kajakfahren, Waten, und manchmal sogar Tauchen/Schnorcheln.

Alle diese Methoden sind ziemlich zeitaufwendig und damit teuer, räumlich meist begrenzt und oft, wie zuvor erwähnt, nicht ungefährlich ([HARRISON ET AL., 2020](#)).

Das Lachsprogramm in Baden-Württemberg

Noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts war der Rhein der größte Lachsfluss Europas (WWF, 2022). Jährlich wanderten in ihm mehrere hunderttausend Lachse zusammen mit anderen Wanderfischen (wie z.B. die Meerforelle) hinauf - auf ihrem Weg zu ihren Laichgründen im Oberrhein, Hochrhein und seinen Zuflüssen aus dem Schwarzwald. Diese Flüsse boten damals diesen Fernwanderern besonders gute Lebensbedingungen. Diese Lebensräume gingen jedoch durch den fortschreitenden Ausbau der Gewässer und die damit verbundene Errichtung von Wanderhindernissen, die Zerstörung von Laichgebieten und die zunehmende Wasserverschmutzung weitgehendst verloren ([LACHSPROJEKT.DE, 2022](#)). Einige dieser Veränderungen könnten und müssen eigentlich laut Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wieder rückgängig gemacht oder verbessert werden. ([WFBW, 2022](#))

Das Lachsprogramm in Baden-Württemberg besteht bereits seit 2001 und wird aus Landesmitteln gefördert. Es wurden Zielgewässer ausgewiesen, in denen der [Landesfischereiverband Baden-Württemberg](#) unter der fachlichen Begleitung durch die Fischereibehörden versucht, wieder Bestände des anspruchsvollen Lachses aufzubauen. Dies geschieht durch Neu-Besatz mit Jungfischen, die mittlerweile von zur Zucht an Rheinfischpässen entnommenen Wildlachsen abstammen. 2020 sind wieder über 200 Lachse in Baden-Württemberg in die Programmgewässer aufgestiegen ([LAND BW, 2020](#)). Allerdings konnten damals in der Kinzig, die zusammen mit Hr. Pardela und Hr. Kramer als Projektfluss für das Drohnen-Monitoring festgelegt wurde, dennoch keine Lachse gesichtet werden - weder von den Anglern, noch bei den Projekt-Befliegungen.

"Ursprünglich zählte die Kinzig mit ihren Zuflüssen zu den wichtigsten Lachsgewässern im Rheinsystem. Die Fangstatistiken des Fürstlich Fürstenbergischen Rentamtes Wolfach belegen einen historischen Lachsaufstieg bis Schenkenzell, ca. 75 km oberhalb der Mündung. Auch für andere Fische hatte das Gewässersystem eine sehr große Bedeutung. Insgesamt ist dort das regelmäßige Vorkommen von 35 heimischen Arten bekannt. Hierzu zählen Meerforelle, Maifisch sowie Fluss- und Meerneunauge." ([WFBW, 2021](#))

Noch im Jahr 1935 wurden im Kinzigssystem 500 Lachse und wenige Jahre zuvor noch ca. 1.800 aufsteigende Fische gemeldet. Die letzten historischen Lachsnachweise sind aus dem Jahr 1958 bekannt.

Seit einigen Jahren steigen nun aber wieder Lachse und Meerforellen in das Gewässersystem auf und pflanzen sich dort fort. Schon im November 2011 konnten im Ortskern von Willstätt bereits mehrere Lachse beim Laichen beobachtet werden. 2020 war das bisher beste Jahr mit 200 in Iffzheim in der Videoschleuse gesichteten Tieren, die den Rhein bis dorthin aufgestiegen waren.

Lachsmonitoring seit 2018

Zur Überprüfung des Lachsprogramms findet seit 2018 im gesamten Rheingebiet ein genetisches Lachsmonitoring der aufgezogenen Lachse statt. Jeder einzelne Lachs, der in die Gewässer eingesetzt wird, ist gentypisiert und kann so als erwachsener 'Rheinrückkehrer' wieder identifiziert werden. Allerdings findet bis dato kein gezieltes Habitatmonitoring statt.

Deswegen ist noch nicht viel darüber bekannt, wo genau die Lachse ablaichen und was zur Verbesserung dieser Laich-Habitats getan werden könnte, um die Reproduktionserfolge zu unterstützen.

Mit den beiden oben genannten Lachsfachleuten wurden folgende Fragestellungen und Flussabschnitte zur Untersuchung festgelegt:

Fragestellungen

- Ist es möglich Lachs-Laichbetten (Redds) mit Hilfe von Drohnen einfach und effizient aufzuspüren und zu dokumentieren?
- Welche Methodik empfiehlt sich dafür?
- Welche Besonderheiten müssen dabei beachtet werden?
- Folgende Teilstrecken sollten dabei untersucht werden (✓ wurden inspiziert):
 - Stadtstrecke Wolfach ✓
 - Kinzigbrücke/Realschule Wolfach - Höhe Tankstelle ✓
 - naturnähere Bereich der Kinzig unterhalb von Wolfach am Sachtlebenwehr = Obergrenze bis nach Steinach ✓
 - Laichgruben von Lachsen gab es in den Vorjahren in der Kinzig im Bereich oberhalb des Tunnels bei Wolfach ✓
 - Gutach-Mündung in die Kinzig ✓
 - flussaufwärts hinter Gengenbach ✓
 - renaturierte Mündung des Erlenbachs bei Biberach/Baden - Erlenbach ✓

Methodik der Flugplanung

Zur Vorbereitung wurden in [OGIS](#) auf einer Google Earth-Hintergrundkarte die gut sichtbaren *Rauschen* oder *Riffel* kartiert. Im Bild unten ist die gesamte Befliegungsstrecke von Wolfach bis nach Biberach zu sehen. Ausgespart wurden nur gänzlich ungeeignete Bereiche.

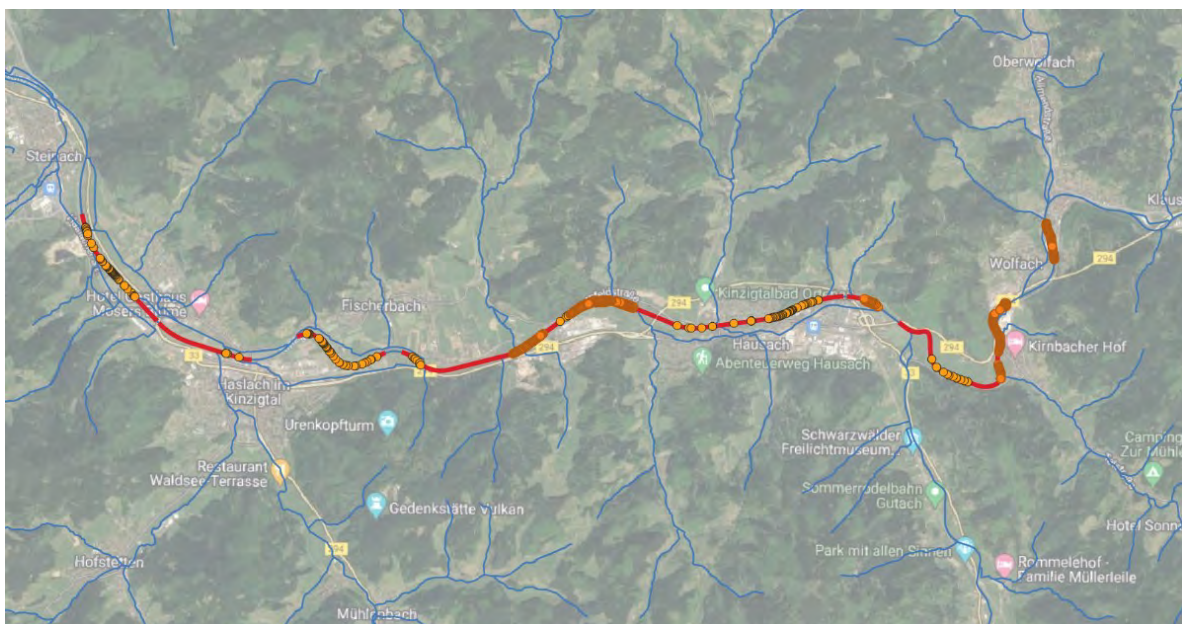


Abb. 3: Kinzig - Befliegungsstrecke 2020 - orange = Fotopunkt, rot = digitalisierte Riffelstrecke (Döring, 2022)

Die Laichplätze finden sich schwerpunktmäßig in der Äschenregion und unteren Forellenregion, oft an der oberen Kante einer Strecke mit zunehmendem Gefälle (*Riffel* und *Rauschen*). In diesem Bereich wird das *Interstitial* (Kieslückensystem) besonders gut durchströmt, was zusätzlich zum Schutz zwischen den Kiesel eine gute Sauerstoffversorgung für die Eier und Larven (*Alevin*) gewährleistet ([LACHSPROJEKT.DE, 2022](http://LACHSPROJEKT.DE)).

Die Befliegungen zur Suche nach Laichplätzen von Lachs und evtl. Meer- und Bachforelle fanden im Dezember (normalerweise die Hauptlaichzeit) statt.

Mit der manuellen Befliegung und Aufnahme von Einzelfotos - mit manueller Kameraauslösung - oder Videoaufnahmen ließ sich der Fluss relativ schnell abfliegen. Dazu wurde an strategisch guten Punkten gestartet und der Fluss jeweils flussauf- und flussabwärts, soweit die Drohne sichtbar war, abgeflogen.

Dabei wurde die Flughöhe so gewählt, dass möglichst die gesamte Flussbreite im Monitor und ggf. in den Fotos/Videos zu sehen war. Das hätte zur Identifikation der rel. großen Redds (ca. 3 × 4 m) ausgereicht.

Die Ufervegetation musste natürlich mit Vorsicht und genügend Sicherheitsabstand überflogen werden. Wenn sie zu hoch war, wurde der Fluss in mehreren Bahnen (z.B. Hin- und Rückflug) inspiziert.

Korridor-Missionen sollten nur dann geflogen werden, wenn eine flächige Flussabbildung mit Gewässerrand als Karte benötigt wird. Dazu sollten mindestens 3 Flugbahnen programmiert werden (s. Kapitel [3.1.2 Befliegungs-Methodik - Korridor-Befliegungen](#)). Eine flächige Befliegung fand nur exemplarisch statt, da sie sich für den angestrebten Zweck als nicht zielführend erwiesen hat - zu viel Akkuverbrauch und kein Mehrgewinn.

Ergebnisse

Leider konnten bei den Befliegungen keine Lachs-Laichbetten (*Redds*) oder adulte Lachse gesichtet werden. Aber auch von den ansässigen Anglern waren in diesem Jahr keine Lachse gesichtet worden waren.

Dennoch konnte aber gut dargestellt werden, wie Drohnenbilder helfen, einen Fluss einfach und effektiv zu untersuchen, um wichtige Strukturmerkmale zu erkennen (Abb. 4 - 6). Wie man in den Bildern sehen kann, ist die Auflösung selbst auf 100 m schon so gut, dass man die Rinne seitlich der Einmündung und die Kiesbank gegenüber, sogar mit einzelnen Kiesel, erkennen kann. Die mit etwa 3 × 4 m doch recht großen Redds würde man also ebenfalls erkennen können.

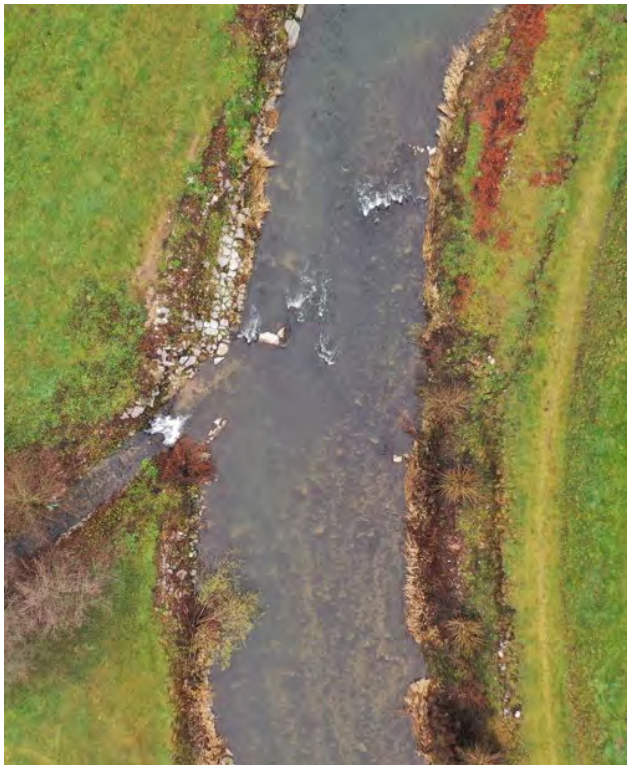


Abb. 4: Flussbett aus 100 m Höhe (Döring, 2021)



Abb. 5: Flussbett aus 50 m Höhe (Döring, 2021)



Abb. 6: Kiesbank aus 20 m Höhe (Döring, 2021)

Quasi als 'Beifang' konnte noch eine andere Anwendungsmöglichkeit für Drohnenflüge aufgenommen werden - nämlich die Darstellung von Einleitungen und des Fließverhaltens des eingeleiteten trüberen Wassers (Abb. 7).



Abb. 7: Einmündung und Fließverhalten von trübem Wasser (Döring, 2021)

Lachsmonitoring - Fazit

Tab. 1: Lachsmonitoring - Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
Ist es möglich Laichbetten/-gruben (Redds) des Lachses oder der Bachforelle mit Hilfe von handelsüblichen Drohnen einfach und effizient aufzuspüren und zu dokumentieren?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, es ist möglich - laut (GROVES ET AL., 2017) sogar mit einer Action-Cam, die qualitativ nicht an die Kameras der hier vorgeschlagenen Drohnen-Modelle heranreicht. • Es muss natürlich immer vor Ort überprüft werden, um welche Art es sich im jeweiligen Falle konkret handelt.
Welche Methodik empfiehlt sich dafür?	<ul style="list-style-type: none"> • Es empfehlen sich manuelle Flüge in einer Höhe, die das gesamte Flussbett auf dem Bildschirm erscheinen lässt. Bei kleineren Flüssen wie an der Kinzig waren das 20 m bis 30 m Höhe. • Bei größeren Flüssen muss dann entsprechend höher geflogen werden - so, dass die gewünschten Objekte noch zu detektieren sind, aber max. die legalen 120 m. Mit etwa 3 cm Bodenauflösung auf dieser Höhe ist das aber durchaus noch möglich. • Man sollte möglichst im laubfreien Zustand fliegen, mit wenig belaubten Ästen über dem Flussbett, die die Sicht behindern. • Zur Dokumentation und Geolokalisation der Redds können manuell Bilder aufgenommen werden, da diese die Koordinaten des Aufnahmepunktes in ihren Metadaten enthalten.
Welche Besonderheiten müssen dabei beachtet werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Es müssen die gelten Regeln der LuftVO beachtet werden - v.a. die Geozonen (Naturschutzgebiete etc.). ACHTUNG bei Ufervegetation besonders vorsichtig fliegen!
Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst nicht in der Brutzeit fliegen. • Die Befliegungen immer mit der zuständigen Naturschutzverwaltung absprechen! • Bitte immer die Empfehlungen zur Störungsökologie beachten - s. Kapitel 4.2 <i>Störungsökologie</i>, Teilbericht 'Faunamonitoring', die <i>Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen</i> (Döring & Mitterbacher, 2022) und (LAG VSW, 2023).

5.8.2 Bibermonitoring

Zusammenfassung

Biber sind in unserer Landschaft mittlerweile keine seltenen Gäste mehr. Sie sind als 'Anhang-Art' der europäischen FFH-Richtlinie geschützt, weswegen ihre Bestände regelmäßig kontrolliert werden müssen, um ihren Erhaltungszustand zu dokumentieren.

Überdies gibt es v.a. in landwirtschaftlichen und dicht besiedelten Gebieten häufig Probleme des Zusammenlebens von Biber und Mensch, die ein Management erforderlich machen.



Abb. 8: Bibermonitoring im Moor (Döring, 2022)

In Abb. 8 sieht man als Beispiel die Biberbefliegung im Pfrunger Ried, bei der eine weitläufige Gebiete abgeflogen und dabei ein Video aufgenommen wurde. In den kleinen Fotos sieht man einen Damm und eine Biberburg, die während der Befliegung durch einfaches Absenken der Drohne näher inspiziert wurden. Die Bilder sind Ausschnitte aus dem Video.

Die ganze Aktion dauerte etwa 25 Minuten, was in etwa einer Akkuladung entspricht, und sparte der Gebietsbetreuerin für die regelmäßige notwendige Inspektion Stunden- bis Tagelanges Waten oder Bootfahren durch den Kanal - s. auch Teilbericht '[Moormonitoring](#)'.

Einleitung

Aufgrund einer Debatte über die Wiedereinführung des Bibers in England wollten englische Forscher 2015 in einer Machbarkeitsstudie zeigen, dass es möglich ist, Biber-Aktivitäten und ihre Auswirkungen auf das Ökosystem mit einer Drohne effektiv nachzuweisen ([PUTOCK ET AL., 2015](#)). Mit Hilfe einer einfachen Digitalkamera an einem Hexacopter (6 Rotoren-Plattform) und systematischen Rasterflügen im Winter (im laubfreien Zustand für bessere 'Einsichten') konnten in den hochauflösenden Bildern und Höhenmodellen alle durch den Biber geschaffenen Strukturveränderungen gut erkannt werden. Sie empfehlen Drohnen als kosteneffektive Instrumente für das Monitoring von Biberaktivitäten.

Anmerkung: Die Kameras der in diesem Bericht empfohlenen Drohnen, sind für mittlerweile viel leistungsfähiger und einfacher zu handhaben.

Um den Schwermetall-Transport in Biber-Kanälen mit der 'normalen' Schwermetallverbreitung in Biber-freien Gegenden zu vergleichen, nutzten amerikanische Wissenschaftler eine Drohne, um Überflutungsgebiete und Verbindungskanäle von Biberaktivitäten zu kartieren ([BRIGGS ET AL., 2019](#)). Dabei stellten sie eine erhöhte Schwermetall-Verteilung in Biber-beeinflussten Gebieten fest. Das sollte ihrer Meinung nach speziell in Bergbaugebieten bei Abwägungen und Konsequenzen für notwendige Management-Entscheidungen berücksichtigt werden.

Eine Gemeinde in Niederösterreich hat 2022 das für die Berichtspflicht der FFH- Richtlinie nötige Monitoring für den streng geschützten Biber erstmals mit Drohnen durchgeführt ([GROBDIETMANN, 2022](#)). "Die mittels Drohnen aufgenommenen Bilder werden anschließend auf Biberzeichen hin ausgewertet und so die aktuelle Verbreitung und Populationsgröße ermittelt." Nachdem die Methode erfolgreich angewendet worden war, sollen die Befliegungen regelmäßig wiederholt werden.

Um in Niederösterreich zu bleiben - dort befasste sich 2019 eine Studentin für ihre Masterarbeit mit Fernerkundungsmethoden zur Ableitung der Habitatqualität von Biber-Revieren durch Analyse der Landbedeckung ([SCHLEGEL, 2019](#)). Sie testete dabei verschiedene Fernerkundungs-Datensätze - u.a. Drohnen-Orthofotos - und Methoden auf ihre Eignung an einem reich strukturierten Gewässerabschnitt. Mit den hochauflösenden Drohnen-Orthofotos mit 3 cm Auflösung wurden bessere automatisierte Klassifikationsergebnisse erreicht als mit dem niedriger aufgelösten Luftbild der Landesvermessung (mit der auch in Deutschland üblichen Auflösung von 20 cm).

Im ukrainischen Slobzhanskyi Nationalpark werden schon seit 2018 Drohnen zur Kartierung der Biberaktivitäten eingesetzt ([BRUSENTOVA, 2018](#)).

Der Nachweis der Präsenz von Bibern wurde im südlichen Feuerland mit Hilfe öffentlicher Satellitendaten großflächig untersucht ([HUERTAS HERRERA ET AL., 2019](#)). Die Anstrengungen mündeten in einer Präsenzdicke-Karte zur Verteilung der Biberpopulationen.

Zur Verifikation der Satellitendaten (eine Art *Ground Truthing* durch höher aufgelöste Drohnen-daten) wurde ebenfalls eine handelsübliche Drohne eingesetzt.

Drohnenaufnahmen oder Videos von Biberaktivitäten sind auch für Informations- und Dokumentationszwecke bei Tagungen oder andere Veranstaltungen gut einzusetzen. Schon 2019 hat der DroBio-Projekt Koordinator mit dem Biberbeauftragten des BUND in Mittelfranken mehrere Biberreviere befliegen (Abb. 10) und zu dem normalen Raster-Bildflug auch ein paar Videos gedreht. Aus letzteren entstand dann ein kleiner Film über eines der größten Biberreviere an dem Flüsschen Rohrach, der anschließend bei Infoveranstaltungen und auf Tagungen gezeigt werden konnte.



Abb. 9: Filmaufnahmen eines großen Biberreviers an der Rohrach (Döring, 2021)

Methodik der Flugplanung

Die Methodik der Befliegungen für das Bibermonitoring entspricht weitgehendst der des Lachsmonitorings - s. [Methodik der Flugplanung](#).

Bibermonitoring - Fazit

Tab. 2: Bibermonitoring - Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022)









Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
Ist es möglich Biberstrukturen mit Hilfe von handelsüblichen Drohnen einfach und effizient aufzuspüren und zu dokumentieren?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, das ist möglich.
Welche Methodik empfiehlt sich dafür?	<ul style="list-style-type: none"> • Für das Biber-Monitoring müssen v.a. die Uferbereiche beflogen werden, um die Burgen, Rutschen etc. zu detektieren. • Deshalb sollte möglichst im laubfreien Zustand geflogen werden, um möglichst viele dieser Strukturen gut detektieren zu können. • Dabei muss man mit noch mehr Vorsicht fliegen, da bei Anfliegen von 'Biberinfrastruktur-Elementen' ggf. Vegetation im Weg sein kann. • Wenn sogar zwischen der Ufervegetation geflogen werden muss, um Strukturelemente des Biberhabitats gut inspizieren zu können, empfiehlt sich das nur für geübte und sichere Piloten und mit Rücksicht auf die Tierwelt! • Zur Dokumentation und Geolokalisation der Strukturen empfiehlt es sich Bilder aufzunehmen, da diese die

	Koordinaten des Aufnahmepunktes in ihren Metadaten enthalten.
Welche Besonderheiten müssen dabei beachtet werden?	<ul style="list-style-type: none"> • Es müssen die gelten Regeln der LuftVO beachtet werden - v.a. die Geozonen (Naturschutzgebiete etc.). ACHTUNG bei Ufervegetation besonders vorsichtig fliegen!
Welche störungsökologischen Bedingungen sind bei den Befliegungen zu beachten?	<ul style="list-style-type: none"> • Möglichst nicht in der Brutzeit fliegen. • Die Befliegungen immer mit der zuständigen Naturschutzverwaltung absprechen! • Bitte immer die Empfehlungen zur Störungsökologie beachten - s. Kapitel 4.2 Störungsökologie, Teilbericht 'Faunamonitoring', die Handreichung zur Störungsökologie bei Drohnenflügen (Döring & Mitterbacher, 2022) und (LAG VSW, 2023).

5.8.3 Fazit Lachs- und Bibermonitoring

Weitere Hinweise finden sich auch im *Teilbericht Gewässermonitoring*.

Tab. 3: Lachs- und Bibermonitoring - Methodik (Döring, 2022)

Lachs-/Biber-Monitoring		
Schwierigkeit  	Erfahrung   	Nutzen   
Ziele	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> • Laichgruben-Monitoring von Lachs/Forelle • Fisch-Habitatkartierung 	<ul style="list-style-type: none"> o zeitsparend - ein Stück Fluss kann von einem Punkt aus inspiziert werden ↔ Ablaufen o besserer Überblick (bes. an unzugänglichen Flussabschnitten) o permanente Dokumentation mit Bildern 	<ul style="list-style-type: none"> • visuelle Inspektion + Zählung über Display • Fotos - automatisierte Aufnahmen oder manuell • Videos
<ul style="list-style-type: none"> • Bibermonitoring <ul style="list-style-type: none"> o Habitat-Inspektion o Bauwerke/Spuren erfassen o evtl. Biberzählung (mit Thermal-Kamera) 		

Tab. 4: Lachs-/Bibermonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
Unbedingt Kapitel 4.2 <i>Störungsökologie</i> (v.a. Brut- und Mauserzeiten beachten)!	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Manueller Flug - mit Displayunterstützung oder automatischer Flug für flächige Kartierung mit <i>Korridor-Flugplanung</i> - s. Kapitel 3.1.2 <i>Befliegungs-Methodik</i>	Oft reicht ein manueller Flug, ggf. mit manuell ausgelösten Fotos oder Videoaufnahme zur Dokumentation. Für brauchbare Orthofotos wird wie immer eine gewisse Überlappung benötigt - s. 3.1.2 <i>Befliegungs-Methodik</i> und <i>Gewässermonitoring-Fazit</i>
Man kann an kleineren Flüssen so hoch fliegen, dass das gesamte Flussbett auf dem Bildschirm zu sehen ist. Für das Biber-Monitoring müssen v.a. die Uferbereiche beflogen werden.	Damit fliegt man am effizientesten, da nur eine Flugbahn nötig ist - s. 3.1.2 <i>Befliegungs-Methodik</i> . Rutschen und Burgen befinden sich oft am Ufer.
Man sollte möglichst im laubfreien Zustand fliegen, damit die Lachslaichbetten (Redds) und Biberburgen , -dämme und -rutschen besser detektiert werden können.	Ohne Laub ist es generell einfacher Lachsbetten und Biberspuren zu detektieren. Wenn nötig kann man zur Untersuchung kleinerer Objekte die Drohne absenken.

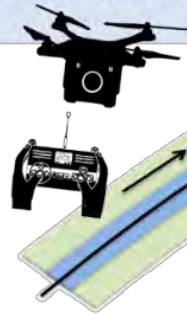
Mit sehr viel Vorsicht fliegen, da bei Anfliegen der 'Biberinfrastruktur-Elemente' Ufer-Vegetation im Weg sein kann.

Das Fliegen zwischen der Ufervegetation, um Strukturelemente des Biberhabitats besser inspizieren zu können, empfiehlt sich nur für geübte und sehr sichere Piloten.

manuelle Flüge

- **so hoch**, dass **ganzes Flussbett im Monitor**
- **visuell** - reicht zur Sichtung → dann
- **Fotos** - nur dort, wo ein Laichbett zu sehen ist
- **Videos** - für komplette Dokumentation des ganzen Flusses

oder Biber Spuren



I am Hydro, 2022

5.8.4 Wirtschaftlichkeit

Lachs- und Bibermonitoring mit Drohnen lohnt sich dann, wenn

- es günstiger ist als andere Methoden (Begang, Waten, Bootfahren), was der Fall ist, wenn
 - längere Abschnitte untersucht werden müssen.
 - häufiger gemonitort werden soll.
 - an unbegehbaren Uferabschnitten, an denen kein Zugang zum Wasser besteht, Aufnahmen gemacht werden müssen.
 - Bilder zur Dokumentation (von oben) benötigt werden.

Literaturverzeichnis

- ALASKA FISH & GAME (2018): "Using a Drone to 'Recover' Tagged Coho Salmon, Alaska Department of Fish and Game". http://www.adfg.alaska.gov/index.cfm?adfg=wildlifeneews.view_article&articles_id=877 (18.7.2022)
- BRIGGS, M. A. ET AL. (2019): "Return Flows from Beaver Ponds Enhance Floodplain-to-River Metals Exchange in Alluvial Mountain Catchments". In: Science of The Total Environment 685, S. 357–369. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.371>
- BRUSENTOVA, N. (2018): "Modern approaches in beaver studies". 50northspatial.org. <http://www.50northspatial.org/modern-approaches-beaver-studies> (10.4.2022)
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2011): "Erfassung der Wanderfische im Rahmen des bundesweiten FFH-Monitorings". <https://docplayer.org/43609706-Erfassung-der-wanderfische-im-rahmen-des-bundesweiten-ffh-monitorings-inhalt.html> (12.8.2022)
- CONNOR, W. P. ET AL. (2019): "Upstream Migration and Spawning Success of Chinook Salmon in a Highly Developed, Seasonally Warm River System". In: Reviews in Fisheries Science & Aquaculture Taylor & Francis. 27(1), S. 1–50. <https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1477736>
- DÖRING, S.; MITTERBACHER, M. (2022): "Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>
- GEMEINDE GROBDIETMANN (2022): "Der Biberbestand wird mittels Drohnenflug im Rahmen der Biberkartierung 2023 erhoben. Marktgemeinde Grossdietmanns". <https://www.grossdietmanns.gv.at/der-biberbestand-wird-mittels-drohnenflug-im-rahmen-der-biberkartierung-2023-erhoben> (10.4.2022)
- GROVES, P. A. ET AL. (2017): "Testing Unmanned Aircraft Systems for Salmon Spawning Surveys". In: FACETS 1(1), S. 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>
- HARRISON, L. R. ET AL. (2020): "Assessing the Potential for Spectrally Based Remote Sensing of Salmon Spawning Locations". In: River Research and Applications 36(8), S. 1618–1632. <https://doi.org/10.1002/rra.3690>
- HUERTAS HERRERA, A. ET AL. (2019): "Densidad de diques de castor (*Castor canadensis*) en el archipiélago de Tierra del Fuego". IV Jornadas Forestales De Patagonia Sur, IC Congreso Internacional Agroforestal Patagónico. https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Huertas-Herrera/publication/340549905_Densidad_de_diques_de_castor_Castor_canadensis_en_el_archipiélago_de_Tierra_del_Fuego
- KUDO, H. ET AL. (2012): "Cost-Effective Accurate Estimates of Adult Chum Salmon, *Oncorhynchus keta*, Abundance in a Japanese River Using a Radio-Controlled Helicopter". In: Fisheries Research 119–120, S. 94–98. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2011.12.010>
- LACHSPROJEKT.DE (2022): "Beschreibung des Lachses, Vorkommen und Historie". <http://www.lachsprojekt.de/main/Rheinlachs.html> (12.8.2022)
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN (LAG VSW) (2023): "Position der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten zu Drohnen und Vogelschutz". Positionspapier. http://www.vogelschutzwarten.de/downloads/2023lagavsw23-1_drohnen.pdf (10.06.2023)
- LAND BW (2020): "Lachsprogramm des Landes erfolgreich". Baden-Württemberg.de. <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/lachsprogramm-des-landes-erfolgreich/> (7.12.2020)
- PUTTOCK, A.K. ET AL. (2015): "Aerial Photography Collected with a Multirotor Drone Reveals Impact of Eurasian Beaver Reintroduction on Ecosystem Structure". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems 3 (3), S. 123–130. <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0005>
- SACHTELEBEN, J.; BEHRENS, M. (2010): "Konzept zum Monitoring des Erhaltungszustandes von Lebensraumtypen und Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland". BfN. https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/skript_278.pdf

- SCHLEGEL, A. (2019): "Erfassung von relevanten Vegetationsstrukturen für Biber (*Castor fiber*) - Methoden der Fernerkundung im Vergleich". BO KU Wien, Masterarbeit. https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset_id=19211&property_id=107
- WANDERFISCHE BADEN-WÜRTTEMBERG (WFBW) (2021): "Wanderfische BW". <https://wfbw.de/unsere-arbeit/programmgewaesser?F=1%27A%3D0&cHash=8db31eb540ee9d09a25d171abf377fd3>
- WANDERFISCHE BADEN-WÜRTTEMBERG (WFBW) (2022): "WFBW Wanderfische Baden-Württemberg gemeinnützige GmbH: Atlantischer Lachs". <https://wfbw.de/unsere-arbeit/fischartenschutz/atlantischer-lachs?F=818&cHash=31b1116227ad45b411bbef5847f405ea> (11.8.2022)
- WHITEHEAD, K. ET AL. (2014): "Remote Sensing of the Environment with Small Unmanned Aircraft Systems (UASs), Part 2: Scientific and Commercial Applications". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems 02(03), S. 86–102. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0007>
- WWF (2007): "Atlantischer Lachs (*Salmo salar*)". <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Arten-Portraet-Atlantischer-Lachs.pdf>
- WWF (2022): "Lachs Comeback – die Rückkehr des Atlantischen Lachses in die Schweiz | WWF Schweiz". <https://www.wwf.ch/de/projekte/lachs-comeback-die-rueckkehr-des-atlantischen-lachses-in-die-schweiz> (11.8.2022)

Weiterführende Literatur

- AGUADRONE (2019): "AguaDrone Waterproof Drone Soars over Obstacles in Fishing and Fish Monitoring". Environmental Monitor. <https://www.fondriest.com/news/agua-drone-waterproof-drone-soars-over-obstacles-in-fishing-and-fish-monitoring.htm> (23.6.2020)
- COGHLAN, B. (2018): "Another Perspective — Exploring the Application of Drones in Fisheries Research". <https://www.fisheriesireland.ie/documents/1536-research-newsletter-no-7-2-54-mb/file.html>
- FISHBIO (2019): "Flying High: Drone Use in Fisheries Research - FISHBIO Fisheries Research, Monitoring, and Conservation". <https://fishbio.com/field-notes/the-fish-report/flying-high-drone-use-fisheries-research> (20.6.2020)
- FISHBIO (2020): "Spotting Salmon Spawning by Drone: Advancements in Redd Mapping - FISHBIO Fisheries Research, Monitoring, and Conservation". <https://fishbio.com/field-notes/the-fish-report/spotting-salmon-spawning-drone-advancements-redd-mapping> (7.12.2020)
- FISHERIESIRELAND (2018): "Aerial & fish stock survey of the River Crana catchment, Co. Donegal". Preliminary Report. <https://www.fisheriesireland.ie/extranet/fisheries-research-1/1551-aerial-fish-stock-survey-of-the-river-crana-catchment-co-donegal/file.html>
- GROVES, P. A. ET AL. (2017): "Testing Unmanned Aircraft Systems for Salmon Spawning Surveys". In: FACETS 1(1), S. 187–204. <https://doi.org/10.1139/facets-2016-0019>
- HARRISON, L. R. ET AL. (2020): "Assessing the Potential for Spectrally Based Remote Sensing of Salmon Spawning Locations". In: River Research and Applications 36(8), S. 1618–1632. <https://doi.org/10.1002/rra.3690>
- IDAHO POWER (2016): "Counting Salmon with Drones". https://www.youtube.com/watch?v=xji8A0TrvdA&ab_channel=IdahoPower (7.12.2020)
- JOHNSON, D. H. (2007): "Salmonid Field Protocols Handbook Techniques for Assessing Status and Trends in Salmon and Trout Populations". American Fisheries Society - State of the Salmon.

https://www.researchgate.net/publication/242129373_The_Salmonid_Field_Protocol_Handbook_Techniques_For_Assessing_Status_and_Trends_in_Salmon_and_Trout_Populations

- RP TÜBINGEN (2019): "Landesstudie Gewässerökologie". https://rp.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/RP-Internet/Themenportal/Wasser_und_Boden/Geschaeftsstelle_Gewaesseroekologie/Landesstudie_Gewaesseroekologie_G._I._O/_DocumentLibraries/Documents/Fischoekologisch_funktionsfaehige_Strukturen.pdf
- WDFW.WA.GOV (2020): "WDFW to use drone to count spawning salmon nests | Washington Department of Fish & Wildlife". <https://wdfw.wa.gov/news/wdfw-use-drone-count-spawning-salmon-nests-0> (4.1.2021)
- WHITEHEAD, K. ET AL. (2014): "Remote Sensing of the Environment with Small Unmanned Aircraft Systems (UASs), Part 2: Scientific and Commercial Applications". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems 02(03), S. 12. <https://doi.org/10.1139/juvs-2014-0007>

5.9 Fauna-Monitoring

Zusammenfassung

Das Thema Tiermonitoring und Wildtierrettung wurden anhand von eigenen Erfahrungen, Informationen aus Partnerprojekten und Kontakten aus dem Netzwerk 'Drohnen im Biomonitoring' zusammengetragen, da für das DroBio-Projekt keine eigene Thermaldrohne zur Verfügung stand.

Das wichtigste Ergebnis dieses Teilprojekts ist das Informationspapier zur Störungsökologie von Drohnenflügen (DÖRING & MITTERBACHER, 2022), das hier <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm> heruntergeladen werden kann und Grundlage für das neue Positionspapier der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten war (LAG VSW, 2023).

Inhaltsverzeichnis

10.9 Fauna-Monitoring.....	1
Zusammenfassung	1
Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis.....	2
10.9.1 Einleitung	2
10.9.2 Vogel-/Wiesenbrüterschutz	3
10.9.2.1 Rebhuhnmonitoring.....	4
Einleitung	4
Rebhuhn-Projekt Tübingen.....	4
Fragestellungen	5
Methodik - Thermalbefliegungen.....	6
Ergebnisse	7
Rebhuhn - Fazit	13
10.9.2.2 Großtrappen	14
10.9.3 Wildtierrettung	15
10.9.4 Weitere Beispiele zum Fauna-Monitoring	16
10.9.4.1 Aspispiper-Monitoring	16
Einleitung	16
Aspispiper in Baden-Württemberg	16
Methodik	17
Fazit Aspispiper	18
10.9.4.2 Feldhamster-Monitoring	19
10.9.5 Grundregeln zur Störungsökologie bei Drohnenflügen.....	20
10.9.6 Faunamonitoring - Fazit	22
Literaturverzeichnis	25

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Grafik zum Rückgang der Rebhuhnbestände (PECBMS, 2019)	4
Abb. 2: Rasterflüge zum Wildtiermonitoring - Schulungsfolie (Döring, 2022)	6
Abb. 3: manuelle Befliegung zum Wildtiermonitoring - Schulungsfolie (Döring, 2022)	6
Abb. 4: Rebhuhn perfekt getarnt in Ackerfurche - grüner Kreis (LFU, 2021)	9
Abb. 5: Rebhuhn-Paar im RGB-Bild (links) und im Thermalbild (rechts) (LFU, 2021)	10
Abb. 6: Aspispiper (Laufer - http://www.amphibienschutz.de/reptil/aspvip.htm)	16
Abb. 7: Ausschnitt aus einem Orthophoto der 'Aspis-Befliegung' (Döring, 2021)	17
Abb. 8: Feldhamster-Wohnanlage (Kim Runge)	19
Abb. 9: Feldhamster-Bau (Szelag, 2010)	19
Abb. 10: Feldhamsterbau aus 30 m Höhe (Smart Drone Services, 2021)	20
Abb. 11: Feldhamster im Loch (Szelag, 2010)	20

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Tier-Klassen und Drohnenmonitoring - Veröffentlichungen (Döring, 2021)	3
Tab. 2: Ergebnisse der Rebhuhn-Befliegungen aus Bayern - Zusammenfassung	10
Tab. 3: Rebhuhnmonitoring - Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022)	13
Tab. 4: Reduktion von Störungen bei Drohnenflügen (DÖRING & MITTERBACHER, 2022)	20
Tab. 5: Faunamonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)	22
Tab. 6: Faunamonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)	22

5.9.1 Einleitung

Seit Beginn der Verwendung von Drohnen für Arten- und Naturschutz- und für wissenschaftliche Zwecke Anfang der 2000er-Jahre ([GIONES & BREM, 2017](#)) zählen Drohneneinsätze für Tierbeobachtungen, -zählungen und -rettung mit zu ihren Haupteinsatzgebieten. Sie sind eine gute Alternative zu den oft gefährlichen bemannten Flügen zur Wildtierbeobachtung. Diese stellen in den USA mit das höchste Gefährdungsrisiko für *Wildlife-Worker* dar ([SASSE, 2003](#)). Außerdem sind sie meist weniger invasiv als herkömmliche Methoden - bes. verglichen mit terrestrischen Zählungen bei denen der Mensch meist eine extreme Störung bedeutet ([JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019, S. 8](#)).

In letztzitiert Arbeit und in denen von ([DUFFY ET AL., 2020](#)) und ([BARNAS ET AL., 2020](#)) werden viele weiterführende Veröffentlichungen zum Thema Drohnen und *Wildlife* genannt. Damit können Interessierte sich einen guten Überblick über die Vielzahl an möglichen Anwendungen verschaffen.

Auch die Internet-Seite <https://conservationdrones.org> informiert ausführlich zum Thema.

In Tab. 1 sind viele Tier-Klassen und Arten mit beispielhaften Veröffentlichungen aufgelistet, die bereits mit Hilfe von Drohnen erforscht werden.

Tab. 1: Tier-Klassen und Drohnenmonitoring - Veröffentlichungen (Döring, 2021)

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

In Deutschland sind tierbezogene Drohnen-Einsätze momentan hauptsächlich auf die Rehkitzrettung und Forschungsprojekte oder Naturschutzverbandsaktivitäten (z.B. www.abu-naturschutz.de) beschränkt.

Die Veröffentlichung zur Störungsökologie (DÖRING & MITTERBACHER, 2022) nennt ebenfalls etliche nationale und internationale Beispiele zum Einsatz von Drohnen im Tiermonitoring und der Wildtierrettung, die hier nicht alle wiederholt werden sollen.

Einige Beispiele aus Deutschland jedoch, und dabei besonders die Themen Vogel-/Wiesenbrüterschutz und Wildtierrettung, sollen etwas genauer beleuchtet werden.

5.9.2 Vogel-/Wiesenbrüterschutz

Im Vogel- und da v.a. dem Wiesenbrüterschutz sind deutschlandweit schon einige Anwendungen operational, v.a. in Bayern. In Baden-Württemberg nimmt diese Thematik langsam an Fahrt auf, wozu dieses Projekt beigetragen hat.

In allen Webinaren, bes. bei Schulungen für Rehkitzretter zum 'Drohnefliegen im Naturschutz', wurde immer auf die möglichen Synergien von Rehkitz- und Bodenbrüterrettung hingewiesen. Den Teilnehmern wurden immer v.a. die Themen Wiesenbrüterschutz, Störungsökologie und rechtliche Aspekte nähergebracht. Während des Drohnenkongresses zur Wildtierrettung, genauso wie bei der Herbsttagung der Naturschutzverwaltung 2021 und dem Experten-Workshop zu Genehmigungsfragen bei der Wildtierrettung, wurde das Thema angesprochen und die Naturschutzverwaltungen und -verbände zur Zusammenarbeit mit den Kitzrettungsteams zum Wohle der oft ebenso gefährdeten Wiesenbrüter aufgerufen.

Obwohl keine eigene Wärmebilddrohne im Projekt zur Verfügung stand, konnten und durften die Erkenntnisse eines parallelen Forschungsprojekts am Landesamt für Umwelt (LfU) in Bayern, mit Schwerpunkt auf den Drohneneinsatz zum Artenschutz und der Wildtierrettung, herangezogen werden. Der Projektkoordinator stand seit Beginn des Projekts in engem Kontakt und fachlichen Austausch mit dem dortigen Projektkoordinator. In Rahmen des LfU-Projekts wurden 2021 gezielte Befliegungen auf unterschiedliche Zielarten (Rebhuhn, Kiebitz und Wiesenweihe) in Auftrag gegeben (LFU, 2021). Die Zusammenarbeit brachte bereits 2021 ein Infoblatt 'Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring' hervor (DÖRING & MITTERBACHER, 2022), das auf der Internet-Seite des Landesamts für Umwelt <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm> zu finden ist - s. auch Kapitel 4.2 Störungsökologie.

Rebhuhnmonitoring

Einleitung

Das Rebhuhn (*Perdix perdix*) war bis vor ein paar Jahrzehnten einer der häufigsten Vögel unserer Agrarlandschaft. Dramatische Bestandseinbrüche führten dazu, dass viele Regionen Deutschlands und Europas heute nicht mehr von Rebhühnern besiedelt sind. Schon 2004 wurde das wohl bekannteste Rebhuhnschutzprojekt ([REBUHNSCHUTZPROJEKT.DE, 2020](#)) in Göttingen ins Leben gerufen und viele andere Projekte in ganz Deutschland folgten aufgrund der Dringlichkeit zum Erhalt.

Rebhühner gelten als Indikatoren einer artenreichen Feldflur und zeigen mit ihrer

Präsenz günstige Bedingungen für die Lebensgemeinschaften in der landwirtschaftlichen Flur an ([NABU, 2019](#)). Das Rebhuhn ist auch eine Indikator-Spezies für den europäischen 'Farmland Bird Index' ([PECBMS, 2022A](#)). Das Hauptziel des *Pan-European Common Bird Monitoring Scheme* (PECBMS) ist es, europaweit verbreitete Vogelarten als Indikatoren für den generellen Status der Natur in Europa zu nutzen. Dazu werden die Daten des Langzeit-Monitorings von Veränderungen in Brutpopulationen über ganz Europa hinweg ausgewertet ([PECBMS, 2022B](#)). Deutschland nimmt an dem 'Monitoring europäischer Vogelarten und ihrer Lebensräume' durch die Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten (LAG VSW), das Bundesamt für Naturschutz (BfN) und den Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) daran teil ([BfN, 2022](#)) und ([LAG VOGELSCHUTZWARTEN, 2022](#)).

Von Lebensraumaufwertungen und Schutzbemühungen für die Zielart Rebhuhn profitieren viele weitere Arten, wie die ebenfalls vom Aussterben bedrohte Grauammer und andere Feldvogelarten wie die Feldlerche - aber auch Heckenvögel wie Neuntöter, Schwarzkehlchen oder die Goldammer bis zum Feldhasen.

Oft angelegte mehrjährigen Blühbrachen z.B. leisten außerdem auch einen wichtigen Beitrag gegen das Insektensterben. Viele Arten von Wildbienen, Schmetterlingen, Käfern, Heuschrecken oder Schwebfliegen finden dort Nahrung in Form von Nektar oder Pollen und Lebensraum zur Entwicklung ihrer verschiedenen Phasen oder zum Überwintern ([NABU, 2019](#)).

Rebhuhn-Projekt Tübingen

Heute ist das Rebhuhn auch in Baden-Württemberg vom Aussterben. Im Landkreis Tübingen z.B. hat der Rebhuhnbestand in den vergangenen Jahrzehnten von etwa 250 Revieren 1980 bis auf nur noch 30 Reviere 2015 abgenommen. Da ohne gezielte bestandsstützende Maßnahmen die Restvorkommen nicht überlebensfähig sind, wurde 2017 mit Unterstützung von PLENUM Tübingen ein Kooperationsprojekt des NABU-Vogelschutzzentrums, von VIELFALT e.V., dem Landratsamt Tübingen und der Initiative Artenvielfalt Neckartal auf den Weg gebracht ([NABU, 2019](#)).

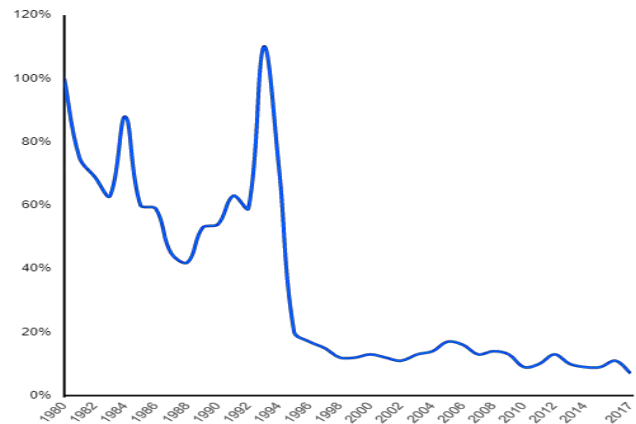


Abb. 1: Grafik zum Rückgang der Rebhuhnbestände (PECBMS, 2019)

Im Projekt selbst stand keine Thermaldrohne zur Verfügung, weswegen angedacht gewesen war, Befliegungen in Kooperation mit der KJV Tübingen in dem oben zitierten Rebhuhnprojekt im Landkreis Tübingen durchzuführen. Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Terminfindung war nur eine einzige Befliegung (ohne Sichtungen) möglich.

Die unten aufgeführten Erkenntnisse zur Befliegung des Rebhuhns durften dankenswerterweise nachrichtlich von dem bayerischen Partner-Projekt übernommen werden. Dort wurden gezielt Befliegungen zum Artenschutz in Auftrag gegeben und systematisch über die Vegetationsperiode hinweg für einige Arten (Rebhuhn, Kiebitz, Wiesenweihe) durchgeführt.

Fragestellungen

- Ist es mit Drohnen-getragenen Thermalkameras möglich, Rebhühner oder andere Wiesenbrüter und v.a. ihre Nester sicher und effektiv zu detektieren und diese anschließend durch geeignete Maßnahmen zu schützen?
- Auf welchen Mindesthöhen muss geflogen werden, um eine möglichst schonende Erfassung zu erreichen (so hoch wie möglich, so niedrig wie nötig)?
- Welche Vorbedingungen sind zu erfüllen, um ein möglichst effektive und ressourcenschonende Befliegungskampagne zu erreichen?

Methodik - Thermalbefliegungen

Für Befliegungen zur Suche von Bodenbrütern und/oder deren Nester werden überwiegend zwei Methoden angewendet.

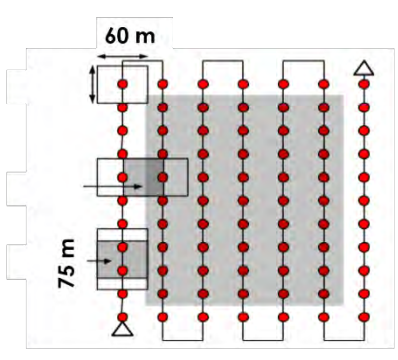
- Es können Rasterflüge mit geringer Überlappung durchgeführt werden (Abb. 2), da ja keine Orthophotos erstellt werden müssen. Die Flugplanung erfolgt dazu mit der einschlägigen App des jeweiligen Drohnenmodells - s. 3.1.2 *Befliegungs-Methodik - Raster-Flüge*.

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 Hovers (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 (Arbes, 2017)



© Steffen Döring - dronesformature@posteo.de - 2022

Abb. 2: Rasterflüge zum Wildtiermonitoring - Schulungsfolie (Döring, 2022)

- Oder die Flüge werden manuell ausgeführt (Abb. 3) - mit den im Bild beschriebenen Einschränkungen.

Monitoring - Vögel oder Wildtierrettung

manuelle Flüge zur

- **Horstkontrolle**
- ggf. **Wildtierrettung** mit Einweisung der Helfer durch Hovers (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 Geländebedingungen möglich.
 - Das Fehlerpotential ist hoch.

abgeändert nach (Arbes, 2017)



© Steffen Döring - dronesformature@posteo.de - 2022

Abb. 3: manuelle Befliegung zum Wildtiermonitoring - Schulungsfolie (Döring, 2022)

Die Auswertung/Suche nach Nestern oder Rehkitzen erfolgt während der Flüge visuell am Monitor der Fernsteuerung oder ggf. nach der Befliegung in den aufgenommenen Bildern.

Da die Bilder Koordinaten in ihren Metadaten stehen haben, kann eine Auswertung auch zeitversetzt erfolgen und der ungefähre Ort des Nestes an die Helfer gesendet werden. Diese können dann mit einem GPS-Gerät den Ort aufsuchen und das Nest ausstecken, um es für den Landwirt zu markieren. Die Landwirte müssen natürlich darüber informiert und einverstanden sein. In einigen Projekten in Bayern und Ostfriesland bekommen die Landwirte eine Prämie für ihre Mithilfe beim Bodenbrüterschutz für Kiebitz, Gr. Brachvogel & Co. Wenn möglich, sollte die Drohnen mit einer Thermal und einer zusätzlichen RGB-Zoom-Kamera ausgestattet sein, um die Wärmesignaturen auf den Thermalbildern durch Hineinzoomen auf dem Echtfarbenbild verifizieren bzw. erhärten zu können.

Die Befliegungen sollten - speziell an sonnigen Tagen - möglichst früh am Morgen stattfinden, da bei Sonnenschein gegen 10 Uhr schon keine Detektion mehr möglich sein kann. Trockene Vegetation (Halme), Erdhaufen oder Steine haben sich dann evtl. schon stark erhitzt und es werden zu viele falsche 'Hotspots' angezeigt. Das macht eine sichere und v.a. effiziente Detektion unmöglich.

Bei Befliegungen auf 30 m Höhe sind Rebhühner auf jeden Fall noch gut detektierbar. Bei den neuen hochwertigen Kameras sind auch größere Flughöhen bis 50 m und mehr durchaus noch möglich.

Die individuelle Flughöhe kann z.B. mit Hilfe von Wärmeattrappen, wie Flaschen mit heißem Wasser oder kleinen Handwärmern, vorab getestet werden ([THURNER ET AL., 2020](#)). Damit kann man sicherstellen, dass auf möglichst großer Höhe geflogen und das Fluggebiet so schnell wie möglich abgesucht werden kann. Oft müssen ja vor der Mahd in kurzer Zeit mehrere Gebiete abgesucht werden. Außerdem können auf größerer Höhe Störungen minimiert werden.

Da das Rebhuhn rel. ortstreu ist, sind dessen Stand-Flächen oft grob bekannt und können evtl. vorab durch die Jagdpächter oder interessierte Ornithologen beobachtet werden. Kann man die Flächen eingrenzen, verringert sich die Gefahr von unnötigen Flügen und die mögliche Frustration durch mangelnde Sucherfolge.

Ergebnisse

Bachelorarbeit - Möglichkeiten und Grenzen von Faunamonitoring mit Thermalkamera ausgestatteten Drohnen

Schon 2019 war im Vorfeld des Projekts eine Bachelorarbeit an der HFR ausgeschrieben und betreut worden, die das Thema 'Möglichkeiten und Grenzen von Wildtiermonitoring mit Thermalkamera-ausgestatteten Drohnen' behandelt hat und ursprünglich auch in Zusammenarbeit mit dem Rebhuhnprojekt Tübingen entstand. Bei den Befliegungen konnten aber 'mangels Masse' keine Rebhühner detektiert werden, jedoch konnten die Methodik und der Nutzen von Thermalbefliegungen an den stattdessen detektierten Hasen und Rehen überprüft und für effizient befunden werden (GERKAMP, 2019).

Eine zweite Bachelorarbeit zum Thema Wildtiermonitoring, nämlich die 'Hasentaxation mit Hilfe von Thermaldrohnen', wurde im Rahmen des DroBio-Projekts 2021 durchgeführt. Dabei konnte die grundsätzliche Möglichkeit von Drohneneinsätzen zur Hasentaxation aufgezeigt und erfolgreich angewendet werden. Jedoch war das Verhältnis der Zähl-Ergebnisse im Verhältnis zum Aufwand damals nicht so effizient wie die parallel am Boden durchgeführte klassische Scheinwerfer-Zählung. Mittlerweile kann die Effektivität durch den Einsatz

weiterentwickelter Technik aber wesentlich erhöht werden, wie im Ausblick der Arbeit auch anklingt (KECK, 2021).

Der Bearbeiter der zweiten BA ist mittlerweile beim Landesjagdverband (LJV) angestellt und dort für das Thema Drohnen mitverantwortlich. Es bestand weiterhin ein enger Kontakt und so wurde gemeinsam der Drohnenkongress an der HFR konzipiert und durchgeführt - s. [un-ten](#).

Meetings/Webinare

Im März 2021 fanden zum Thema Wiesenbrüterschutz zwei informative Online-Meetings einmal mit bayerischen KiebitzschützerInnen und einmal mit bayerischen RebhuhnschützerInnen/-befliegerInnen plus jeweils der Projektkoordinatorin des Rebhuhnprojekts Tübingen und dem Projektkoordinator des LfU Bayern statt.

„Rebhuhn-Meeting“

Am 03.02.2021 fand ein Online-Meeting statt zum Informations-Austausch zu Rebhuhnzählungen und den Möglichkeiten des diesbezüglichen Drohneneinsatzes statt. Die Projektkoordinatoren der beiden kongenialen Projekte - *DroBio* und das bereits erwähnte Drohnen-Artenschutzprojekt am LfU in Bayern hatten im Laufe ihrer Projektarbeit verschiedene Akteure zum Thema kennengelernt und zu diesem Anlass zusammengebracht. Das Treffen diente in Teilen zur Vorbereitung der weiter unten zitierten Befliegungen in Bayern und brachte viele der oben beschriebenen Methoden hervor.

Ergebnisse

- Früh im Jahr sind Rebhühner aufgrund der niedrigen Vegetation gut zu detektieren, doch findet dann noch lange keine Eiablage statt - d.h. es können zwar Individuen erfasst werden, die aber noch so mobil sind, dass sich keine sichere Bestandesschätzung erreichen lässt.
- Im Juni hingegen, sind Kleegras oder Grünroggen schon oft kniehoch und lassen meist keine sichere Detektion mehr von Individuen und erst recht nicht von Nestern zu, da die Vegetation sie vollständig verbirgt.
- Rebhühner sind auf 30 m gut detektierbar - mit einer Zoom-Kamera zum ‚nicht-thermalen‘ Bildvergleich ist die Verifikation besser. Die DJI Mavic 2 Enterprise Advanced hat beispielsweise eine 32-fache Zoommöglichkeit in ihrer RGB-Kamera eingebaut.
- Die Rebhühner lassen sich leider nicht von Brutten auf ungünstiger Fläche abhalten und in extra angelegte Blühstreifen umsiedeln.
- Eine Frage, die immer bleibt: Was tun, wenn ein Nest gefunden wurde? Die meisten bisher versuchten Schutzmaßnahmen für das Nest (speziell gegen Prädation) greifen nicht wirklich, oder haben andere 'Nebenwirkungen'.

Bericht zum Rebhuhn - Erfahrungen aus Bayern

In Bayern wurden 2021 vom Landesamt für Umwelt im Rahmen des dort an der Vogelschutz-warte ansässigen Partner-Projekts gezielte Befliegungen zur Detektion von Wiesen- und Feldvögeln in Auftrag gegeben, die hier nun für weitere Ausführungen herangezogen werden ([LfU, 2021](#)).

Es sei aber schon vorweggenommen, dass die Schwierigkeiten - gerade bei der Detektion von Rebhühnern - noch keine abschließenden Empfehlungen für den gezielten Einsatz von Drohnen zum Rebhuhn-Monitoring zulassen.

Methodik

Die Befliegungen fanden in Zusammenarbeit mit der Ökologischen Bildungsstätte Oberfranken (ÖBO) statt, die über jahrelange Erfahrung in der Kartierung von Rebhühnern verfügt. Rebhühner sind in der Feldflur oft nur mit einiger Mühe und hohem Zeitaufwand mittels Drohne und Thermalkamera zu detektieren (Abb. 4).



Abb. 4: Rebhuhn perfekt getarnt in Ackerfurche - grüner Kreis (LFU, 2021)

Doch konnte die Effizienz der Befliegungen gesteigert werden, in dem die Gebiete, in denen sich die Hühner bevorzugt aufhalten, durch vorausgehende Feldbeobachtungen der Jäger oder des Projektpartners ÖBO eingegrenzt wurden. Die Rebhuhn-Dichten waren sehr gering und Befliegungen zur ungezielten Erstsuche wenig zielführend.

Zur Vorauswahl der Befliegungs-Gebiete bot sich die Zusammenarbeit mit den Jagdpächtern an, da diese die kontinuierlichste Flächenpräsenz aufweisen und ihr Revier kennen. Der Austausch funktionierte überwiegend sehr gut.

Die Flüge wurden systematisch in Rastern geplant. Sie wurden zumeist auf einer Höhe von 40 bis 70 m auf gleichbleibender Höhe und in gleichmäßigen Bahnen durchgeführt, um Störungen zu minimieren.

Um potenzielle Störungen zu beurteilen, wurden besondere Verhaltensweisen der Tiere wie gesteigerte Aufmerksamkeit, Flucht oder evtl. sogar Angriffe der Drohne zusammen mit der jeweiligen Flughöhe während der Drohnenflüge festgehalten.

Selbst wenn ein thermischer Hotspot mittels Wärmebildkamera entdeckt wurde, war eine sichere Identifizierung nicht immer eindeutig möglich - vor allem, wenn ein Rebhuhn sich ruhig und perfekt getarnt in Ackerfurchen duckte (Abb. 4). Deswegen wurde zusätzlich eine DJI Zenmuse Z30-Zoomkamera verwendet (Abb. 5 links). Diese hat dazu beigetragen, die Hühner auch aus größerer Höhe mit einer deutlich besseren Bildqualität erkennen zu

können, ohne die Drohne dafür absenken zu müssen. Sogar das Geschlecht der Rebhühner konnte damit bestimmt werden.

Für die effiziente Arbeit ist eine hochauflösende Wärmebildkamera und die Option eines Temperaturalarms (roter Punkt in Abb. 5 rechts) äußerst förderlich. Die verwendete DJI Zenmuse XT2 (640 × 512 Pixel, 19 mm Brennweite) bringt diese Voraussetzungen mit und macht effiziente Befliegungen möglich.

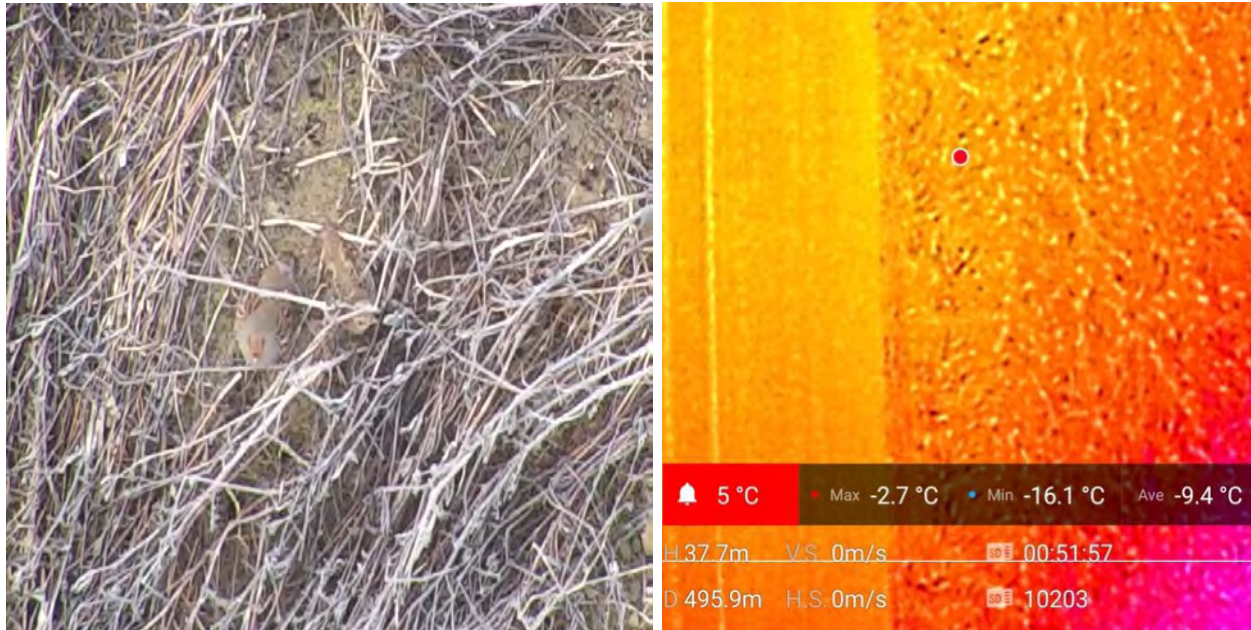


Abb. 5: Rebhuhn-Paar im RGB-Bild (links) und im Thermalbild (rechts) (LFU, 2021)

Ergebnisse der Befliegungen

Tab. 2: Ergebnisse der Rebhuhn-Befliegungen aus Bayern (Zusammenfassung Döring, 2022)

Zeitpunkt	beflogene Flächen	Beobachtungen
Januar	Beflogen wurden verschiedene Vorjahresblühflächen - mehrere ähnliche, für Rebhühner geeignete Strukturen - Zwischenfrucht-Kulturen von Senf, Luzerne, Sonnenblumen, Mais-Wildacker, Koppeln und Viehfütterung in Sträuchern, Altgrasstreifen und auch Hecken.	<ul style="list-style-type: none"> • Flughöhen zwischen 30 m bis maximal 120 m über Grund • Feldhase, Fasanen und auch Rehe gefunden • Hühner bei diesen Bedingungen vermutlich in Rapsfeldern unter der geschlossenen Schneedecke versteckt
März	Wieder wurden die fünf Vorjahresblühflächen + zusätzlich zwei Herbstblühflächen mit Öllein von 2020 und ähnlich geeignete Strukturen - Zwischenfrüchte wie Senf, Phacelia, oder Sonnenblumen, Maiswildacker, Koppeln und Fütterungen in Sträuchern sowie vereinzelt Hecken befliegen.	<ul style="list-style-type: none"> • Flughöhe zwischen 30 m und 100 m • sechs Rebhühner auf den Vorjahresblühflächen detektiert = drei von sechs bekannten Paaren • Rebhühner verweilten ruhig nahrungssuchend auf den Brachflächen • ein Feldhase, Fasanen und Rehe gefunden

<p>Mai</p>	<p>Die bekannten Blühflächen wurden befliegen.</p> <p>Die Rapsfelder wiesen bereits eine geschlossener Blütendecke = gute Deckung auf.</p> <p>Die Vegetation in den Wintergetreidefeldern, den Wiesen und Hecken wuchs zügig, die umgeackerten Zwischenfruchtflächen waren schon neu eingesät.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • auf einer Blühfläche ein Rebhuhnpaar aus rund 40 m Höhe beobachtet • Rebhuhnpaar reagierte nicht auf Drohne • Gelege waren nicht zu finden • Rebhühner halten sich wohl nicht lange genug an einem Ort auf + die Vegetation zu dicht • wieder Feldhase, Fasanen und Rehe gefunden • ein Kiebitzpaar und ein einzelner Kiebitz wurden auf einer Blühfläche entdeckt • in einer Wiese ein Rehkitz gefunden • Kiebitze, Fasane, Hasen und Rehe im Unterschied zu den Rebhühnern gut in den dichteren Blühflächen zu detektieren
<p>Juni</p>	<p>Es wurden die bekannten Blühflächen mit angrenzendem Gras- und Krautsäumen, sowie die angrenzenden Hecken mit Übergangsbereichen zu Rapsflächen, Raps- und Wintergetreidefeldern und mittlerweile vollständig belaubten Hecken und Feldgehölzen befliegen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • nach regenreichem Mai war die Vegetation im Juni 2021 Jahr ungewohnt üppig entwickelt und bot auf allen Flächen beste Deckung • aufgrund der üppigen Vegetation kein Rebhuhnnest bzw. keine nistende Henne detektiert • zwei Rebhuhnpaare bei Futtersuche auf einem noch spärlich bewachsenen Maisacker entdeckt • zum ersten Mal eine Reaktion auf die Drohne - Rebhühner liefen, ohne aufzufliegen, zügig von dem deckungsarmen Maisacker zum angrenzenden deckungsreichen Ackerrandstreifen • nach rund zwei Stunden Befliegungszeit lag die Vegetationstemperatur stellenweise bereits im zweistelligen Bereich • diesmal weniger Hasen, Fasane und Rehe als bisher auf den Blühflächen entdeckt
<p>Juli</p>	<p>Wieder wurden die bekannten Blühflächen mit angrenzenden Feldwegen und Säumen, sowie naheliegende Hecken mit deren Übergangsbereichen zu Stoppelfeldern und frisch gemähte Wiesen abgeflogen.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • bereits einige Felder und Wiesen abgeerntet → Anteil offener Flächen erhöht → die für Rebhühner bevorzugten Übergangsbereiche von hoher zu niedriger Vegetation deutlich erhöht • in der Blühfläche, in der auch erstmals Kiebitze gebrütet hatten, zwei Fasanenhennen detektiert bei einer Henne zwei Küken deutlich erkannt

		<ul style="list-style-type: none"> • ein Rehkitz entdeckt • wieder deutlich mehr Feldhasen, Rehe und Fasanen in den Blühflächen entdeckt • keine erfolgreiche Detektion von Rebhühnern
September	Es wurden die bereits bekannten Blühflächen abgeflogen.	<ul style="list-style-type: none"> • Flughöhe zwischen 30 m und 50 m • keine Rebhühner gefunden • Rehe, Feldhasen, Fasane und zwei Hauskatzen detektiert

Detektierbarkeit

Bei einer Flughöhe von 30 bis 40 m Höhe war die Wärmesignatur der Rebhühner in mäßig dichter Vegetation deutlich zu erkennen und hob sich signifikant um 5 - 11 °C (abhängig von der jeweiligen Tagestemperatur) von der durchschnittlichen Bodentemperatur ab. Dennoch machten der teilweise sehr hohe und dichte Bewuchs (Klee gras, Grünroggen) und die damit verbundene gute Deckung (= Wärmeabschirmung) es später im Jahr - etwa ab Mai, Juni - meist schwer, Rebhühner zu entdecken. Es wurden dann nur Einzelvögel oder Paare auf nicht allzu stark bewachsenen Flächen entdeckt. Brütend konnte lediglich eine Fasanenhenne auf einem Gelege detektiert werden, aber keine Rebhühner.

In den befliegenen Gebieten wurden deutlich weniger Rebhuhn-Paare mit der Drohne detektiert, als balzende Hähne und somit besetzte Reviere mit der herkömmlichen Methode (Verhören rufender Hähne mit Hilfe von Klangatrapen) erhoben werden konnten. Deswegen konnte als Fazit nur festgestellt werden, dass das Verhören zur Dämmerungszeit wohl zuverlässiger und effizienter ist, als die Suche mittels Drohne.

Auch die Detektion von Rebhuhn-Gelegen - anders als die von anderen Bodenbrütern, wie Kiebitz oder Großer Brachvogel - funktionierte nicht zuverlässig, da die Nester zum Brutzeitpunkt im Juni schon vollständig in der kniehohen Vegetation versteckt waren und sich ihre Wärmesignaturen nicht mehr detektieren ließ. Ähnlich verhält es sich auch mit der Detektion von Nestern anderer versteckt brütender Feldvögel wie z.B. dem Braunkehlchen (MITTERBACHER MÜNDLICH, 2021).

Generell gilt, je kleiner die Art ist und je versteckter sie brütet (Nest nicht offen gegen den Himmel hin, sondern versteckt unter Gras), desto schwieriger bis unmöglich ist die Detektion und effektive Suche mit Drohnen.

Störungsökologie

Die Störwirkung der Drohne auf Rebhühner ist nach den Erfahrungen in Bayern sehr gering und die Reaktionen der Rebhühner waren ganz unterschiedlich. Auch bei geringer Deckung reagierten die Hühner meist nicht mehr sichtbar auf die überfliegende Drohne.

Nur einmal wurde leichtes Fluchtverhalten bei der 'normalen' Einsatz-Flughöhe von etwa 40 m Höhe beobachtet. 2 Rebhuhnpaare liefen, ohne aufzufliegen, zügig von einem noch spärlich bewachsenen Maisacker zu einem deckungsreichen, angrenzenden Ackerrandstreifen.

Nur bei weitaus geringerer Flughöhe, oder bei einer teilweise gezielt provozierten Störung, reagierten einige Rebhühner, aber auch nur auf deckungsarmen Ackerflächen, mit

Fluchtverhalten durch kurzes Davonlaufen. Nur sehr vereinzelt reagierten einige Tiere mit Flucht durch Auffliegen.

Das legt die Vermutung nahe, dass der entscheidende Faktor für die Reaktion der Hühner die Verfügbarkeit an Deckung ist und vermutlich auch das Verhalten des Flugobjektes, das langsam und gleichmäßig flog, wodurch es wie in einigen Veröffentlichungen belegt, auch wenig Störung hervorruft.

Die Reaktionen der untersuchten Arten auf einen Drohnenflug können sowohl zwischen- als auch innerartlich variieren und können zudem auch von Jahreszeit und Lebensphase des Individuums abhängig sein.

Diese Beobachtungen lassen sich auch bei anderen Vogel- und Tierarten machen - s. die zitierten Veröffentlichungen bei ([DÖRING & MITTERBACHER, 2022](#)).

Rebhuhn - Fazit

Tab. 3: Rebhuhnmonitoring - Antworten & Empfehlungen (Döring, 2022)

Fragestellung	Antworten & Empfehlungen
Ist es möglich, mit Drohnen-ge-tragenen Thermalkameras Wie-senbrüter und v.a. ihre Nester si-cher und effektiv zu detektieren, um diese anschließend durch geeignete Maßnahmen zu schützen?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, bei allen 'offen' brütenden Vögeln, bei denen das Nest nach oben hin offen/unbedeckt ist, wie z.B. beim Großen Brachvogel, oder das Nest, wie beim Kiebitz, auf rel. baren Boden ohne viel Vegetation drumherum gebaut wird. Wei-tere Beispiele sind in (DÖRING & MITTERBACHER, 2022) zu finden. • Mit einer Drohne können Nester in Wiesen oder Feldern ef-fektiv, berührungslos (kein Zertrampeln des Grases) und ohne viel Aufwand regelmäßig kontrolliert werden. • Ein großer Vorteil der Befliegungen mit Drohnen ist die 'spur-lose' Auffindung und Kontrolle der Nester. Bei terrestrischen Nestsuchen und -kontrollen wird immer eine Spur zum Nest gelegt, die Kleinprädatoren durch Geruch und die Spur an sich direkt zum Nest führen können. • Beim Ausstecken bzw. Markieren der Nester, zum Aussparen der Nestfläche bei der Mahd, kann das Nest etwas weiträu-miger umgangen werden und ein (genügend weiträumiger = ca. 50 x 50 m) Elektrozaun zum Schutz vor Kleinprädatoren aufgestellt werden. • Nein, bei 'versteckt' brütenden Vögeln, wie z.B. dem Braun-kehlchen, ist es weitestgehend unmöglich, die Nester gezielt mit einer Drohne suchen zu wollen. Die Nester müssen von oben irgendwie sichtbar sein.
Ist es möglich, mit Drohnen-ge-tragenen Thermalkameras Reb-hühner und v.a. ihre Nester si-cher und effektiv zu detektieren, um diese anschließend durch geeignete Maßnahmen zu schützen?	<ul style="list-style-type: none"> • Ja, wenn die Standflächen der Rebhühner, die einigerma-ßen ortstreu sind, bekannt sind und die Vegetation im Früh-jahr nicht zu hoch ist, können Rebhühner mit Drohnen eini-germaßen effektiv detektiert werden. • Nein, wenn ab Mai/Juni die Vegetation höher wird, da die Rebhühner gerne in solch höheren Klee grasäckern brüten und dort weder die brütenden Hennen, noch die Nester/Ei-ern sicher und effektiv detektiert werden können.
Auf welchen Mindesthöhen muss geflogen werden, um eine	<ul style="list-style-type: none"> • Nach den Erfahrungen in Bayern und aus dem deutsch-landweiten Netzwerk sind mit den aktuell gebräuchlichen Kameras (640 × 512 Pixel Auflösung) Flughöhen ≥ 40 bis etwa

<p>möglichst schonende Erfassung zu erreichen?</p>	<p>70 m durchaus für eine erfolgreiche Detektion möglich - bei minimaler und vernachlässigbarer Störung - s. (Döring & Mitterbacher, 2022).</p>
<p>Welche Bedingungen sind zu erfüllen, um ein möglichst effektive und ressourcenschonende Befliegungskampagne zu erreichen?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • So hoch fliegen, wie es die jeweilige Kamera für eine sichere Detektion zulässt. Damit wird die Effizienz gesteigert und zudem Störungen minimiert. • Automatische Rasterbefliegungen mit ruhigen und regelmäßigen Flugbahnen empfehlen sich zur möglichst effektiven Batterienutzung und auch wieder zur Minimierung der Störung. • Gute Vorbereitung - inklusive der Abfrage wahrscheinlicher Standorte der Vögel bei Jägern und Ornithologen zur Eingrenzung der zu befliegenden Gebiete. Das vermeidet unnötige Befliegungen und Frust durch geringe Detektionserfolge.
<p>Welche Flugbedingungen sollten angestrebt werden - in technischer und störungsökologischer Hinsicht?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Befliegungen in den frühen Morgenstunden, um einen guten Temperaturkontrast zwischen Umgebung und Tieren zu erreichen. • Kein Regen und nicht zu viel Wind. • Der Start sollte wie bei allen Befliegungen zur Tierbeobachtung/-Rettung möglichst etwas (idealerweise > 100 m) entfernt von den eigentlichen Zielflächen stattfinden. • Wichtige Regeln und Empfehlungen finden sich am Ende dieses Berichts, da diese für alle Tierbefliegungen mit Drohnen gelten - s. auch (DÖRING & MITTERBACHER, 2022) und (LAG VSW, 2023).

Großtrappen

Bei der Rückreise von einer Tagung in Potsdam wurde vom Projektkoordinator das Großtrappen-Projekt im 'Fiener Bruch' in Sachsen-Anhalt besucht. Dort wurde er von der dortigen Projektbetreuerin und 'Großtrappen-Mama' herumgeführt und über den erst kürzlich erstmals erprobten Einsatz von Drohnen zur Detektion von Großtrappen und deren Nestern vor der Mahd informiert. Der Projektkoordinator des LfU-Projekts hat die dortigen ProjektmitarbeiterInnen zum Drohneneinsatz beraten und u.a. selbst erfolgreich erste Befliegungen durchgeführt.

Aufgrund ihrer Größe sind die Großtrappen gut zu detektieren und reagieren auch nicht bedenklich auf die Drohnen. Die Durchführung und Logistik der Befliegungen wird allerdings durch die sehr großen Schläge, die jeweils zur Mahd anstehen, vor große Herausforderungen gestellt.

Doch die zuständigen Landwirte wurden durch die sympathische Art der 'Trappen-Mama' schon so weit zur Mitarbeit und Rücksichtnahme animiert, dass die Zusammenarbeit von beiden Seiten her sehr engagiert betrieben wird. Die Landwirte geben rechtzeitig vor der Feldbearbeitung Bescheid und halten, neben den GebietsbetreuerInnen, auch selbst immer intensiv nach 'ihren' Groß-Trappen Ausschau. Ein schönes Beispiel für gute Zusammenarbeit auf ein gemeinsames Ziel (Schutz der allseits beliebten Trappen) hin.

5.9.3 Wildtierrettung

Die Beschäftigung mit dem Thema 'Rehkitzrettung' kam einher mit der Beschäftigung zu Fragen der Störungsökologie und des Bodenbrüterschutzes. Zum einen, da sich die Themen natürlich überschneiden und zum anderen, da es viel mehr Rehkitzrettungsteams mit Drohnen gibt als (freiwillige) Drohnenpiloten für den Wiesenbrüterschutz, der eine spezifische Aufgabe des Naturschutzes ist.

2021 gab es eine 3,7 Mio. € Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) für die Anschaffung von bis zu zwei Drohnen pro Verein ([BMEL, 2021](#)). Diese wurde spontan im Juni 2022 und auch 2023 erneut aufgelegt.

Diese Förderungen haben zur Folge, dass v.a. Kitzrettungsvereine teilweise flächendeckend mit Drohnen ausgestattet sind. Naturschützer hingegen haben oft nicht einmal ein Handy oder Tablet für den Außeneinsatz zur Verfügung.

Viele Kitzretter kümmern sich bereits freiwillig um die Bodenbrüter, denen sie bei ihren Flügen begegnen und werden so zu Wildtierrettern.

Das warf schnell beim Projektkoordinator die Frage auf, ob solche Synergien nicht gezielt zur Wildtierrettung freigesetzt werden können.

Um die Bedenken des Naturschutzes zu minimieren und die Zusammenarbeit zwischen Naturschutz, Wildtierrettung und oder Jägern zu unterstützen, konzipierte der Projektkoordinator, in Absprache mit einer unteren Naturschutzbehörde, ein Drohnen-Webinar zur Sensibilisierung von Drohnenpiloten für Fragen des Naturschutzes und hielt dieses bereits dreimal für verschiedene Kitzrettungsteams ab.

Aus diesen Aktivitäten entwickelte sich eine zusätzliche Spezialisierung des Projektkoordinators auf dem Gebiet des Drohnenrechts mit Schwerpunkt Naturschutz und Genehmigungen. Zu diesem Thema wurde dann im Laufe des Projektes auch ein erster Workshop mit Naturschutzbehörden und -verbänden abgehalten und erste Annäherungen erreicht.

Eine weitere Aktivität zur Promotion der Wildtierrettung und der Nutzung von Synergien war der Drohnenkongress 2021 - initiiert und durchgeführt vom Projektkoordinator zusammen mit dem Landesjagdverband Baden-Württemberg (LJV).

Es sind weitere Aktivitäten geplant - u.a. ein Projekt für ein Schulungskonzept zur Wildtierrettung, das u.a. Themen wie fachgerechtes Kitzhandling und Naturschutz- und Drohnen-Recht auf dem Plan hat und zur Qualitätssteigerung der Wildtierrettung beitragen soll.

5.9.4 Weitere Beispiele zum Fauna-Monitoring

Weitere Beispiele sind das Amphibien-Monitoring im *Teilbericht 'Taubergießen'* und das Biber- und Lachsmonitoring, das in den Teilberichten *'Moor'* und *'Lachs-/Bibermonitoring'* mitabgehandelt werden.

Zum Reptilienmonitoring wurden ausführliche Recherchen durchgeführt und eigene Test-Befliegungen zum Monitoring der Aspispiper im Verbreitungsgebiet Südschwarzwald durchgeführt.

Aspispiper-Monitoring

Einleitung

Für [Reptilien](#) oder [Amphibien](#) wurden nur relativ wenige Untersuchungen zur Detektion mit Hilfe von Drohnen gefunden - darunter die Detektion und Zählung von Echsen auf den Galapagos-Inseln ([MDR.DE, 2020](#)), der Auswertung der Luftbilder durch Freiwillige ([ZOOVERSE, 2022](#)), eine Zählung von Seeschildkröten ([REPTILESMAGAZINE, 2018](#)) und zur Untersuchung des Verhaltens von Seeschildkröten und Krokodilen gegenüber Befliegungen mit Drohnen ([BEVAN ET AL., 2018](#)).

Eine Studie von ([HUERTA ET AL., 2020](#)) beschäftigte sich mit den Schwierigkeiten bei der Detektion verschiedener Reptilienmodelle in Drohnen-Videos. Eine gängige Technik ist das Zählen der verschiedenen Reptilienarten beim Kreuzen von Straßen. Es wurde versucht, diese Methode durch Drohnenbefliegungen zu vereinfachen. Doch hing der Erfolg der positiven Erkennung stark von der freien Sicht und Eindeutigkeit der Artenmerkmale ab. Außerdem waren die Videoqualität, die Flughöhe, und der Trainingsstand der Auswerter entscheidend.

Eine Studie in Baden-Württemberg beschäftigte sich mit der automatischen Detektion und Identifikation von Zauneidechsen in Drohnenbildern mittels KI ([SAHU & INTECHOPEN, 2019](#)). Das Projekt entstand in einer Kooperation der Deutschen Bahn mit einem jungen amerikanischen Start-up, das sich mit optischen Bilderkennungsalgorithmen und KI beschäftigt. Die Eidechsen waren im Zuge von Stuttgart 21 umgesiedelt worden und müssen nun regelmäßig gemonitort werden, um die Effektivität der Maßnahme nachzuweisen. Aus dem Projekt entstand ein käuflich erwerbbares Modell zur Eidechsenerkennung mittels KI ([STRAYOS, 2021](#)).

Momentan wird das Projekt im Rahmen einer Doktorarbeit weiterentwickelt. Dabei sollen speziell die Drohnenbefliegungen optimiert werden. Kontakte zu den ProjektmitarbeiterInnen bestehen und ein Informationsaustausch findet statt.

Aspispiper in Baden-Württemberg

Da die Wälder im Schwarzwald zunehmend zu verdunkeln drohen, wurde ein Schwerpunkt der Gesamtkonzeption Waldnaturschutz von ForstBW der Förderung von Lichtwaldarten, wie der Aspispiper (*Vipera aspis*), gewidmet, die in Deutschland nur noch als Relikt im südlichen Schwarzwald vorkommt.

Die Aspispiper (Abb. 7) besiedelt wärmebegünstigte, lichte Wälder mit felsigen Bereichen und Geröllhalden an trockenwarmen Hängen. Sie bevorzugt dort



Abb. 6: Aspispiper (Laufer - <http://www.amphibienschutz.de/reptil/aspvip.htm>)

offene, sonnenexponierte Standorte mit kraut- und strauchreichen Säumen, Waldrandbereiche und Uferböschungen sowie Steinbrüche. ([FVA, 2021](#))

Für die Bestandsaufnahmen und Schutzmaßnahmen der Aspispiper werden jährlich unter der Koordination des Vereins "Amphibien/Reptilien-Biotop-Schutz Baden-Württemberg e.V." (ABS) die Bestände durch eine Gruppe von Herpetologen erfasst ([HERPETOFAUNA-BW, 2021](#)).

Methodik

Am 09.04.2021 wurden, zusammen mit einem renommierten Amphibien- und Reptilienspezialisten und Vorstand der ABS, Befliegungen in einem Apispiper-Gebiet im Südschwarzwald durchgeführt. Da es immer wieder zu illegalen Wildfängen in diesem Gebiet kommt, wird der genaue Standort nicht genannt.

Da die Befliegungen nicht zu einer erfolgversprechenden Methodik führte, soll nur ganz kurz das Vorgehen beschrieben werden.

Das Gelände besteht aus bewaldeten Hängen, die mit Geröllfeldern überzogen sind. Es wurden einige Raster-Befliegungen durchgeführt und Orthofotos erstellt. Da die Hänge mit höheren Bäumen bewachsen sind, wurde vorsichtshalber auf mindestens 50 m und höhenangepasst (immer im gleichen Abstand von der Erdoberfläche) geflogen.

Die 50 m Flughöhe sind aber zur Detektion von Schlangen generell und dazu noch durch Bäume hindurch und zwischen Geröllbrocken, viel zu hoch. Da jedoch an diesem Tag auch am Boden keine Aspispipern entdeckt werden konnten, war die Möglichkeit einer Detektion in keinem Fall gegeben.



Abb. 7: Ausschnitt aus einem Orthophoto der 'Aspis-Befliegung' (Döring, 2021)

Abb. 8 zeigt, wie wenig wahrscheinlich die Detektion der Schlangen aus Luftbildern - speziell aus > 50 m Höhe - ist. Unter all den kleinen Ästen am Boden und den schier unendlichen Versteckmöglichkeiten können die Schlangen, bzw. oft sogar nur Teilansichten, unmöglich eindeutig bzw. überhaupt erkannt werden.

Um gut geeignete und möglichst einfache Erfassungsmethoden aus der Luft konzipieren zu können, ist noch viel Forschung und Innovation nötig. Bis dahin werden die terrestrischen Zufalls- oder Ad-Hoc-Sichtungen bei Begehungen oder die herkömmlichen Zählmethoden (v.a. Fang) weiterhin Genüge tun müssen.

Fazit Aspispiper

Es lässt sich deshalb schlussfolgern, dass in so steilem bewaldeten Geröllfeldern die Detektion und Zählung von Schlangen, und erst recht der gut getarnten Aspispiper, mit Drohnen wohl unmöglich sein dürfte - erst recht mit Flügen über Baumhöhe.

Feldhamster-Monitoring

Ein sicheres Indiz für die Anwesenheit des Feldhamsters sind die sogenannten Fallröhren des Hamsterbaus. Ihr Eingang besteht aus einem kreisrunden Loch, dessen Wände festpresst sind und an das sich senkrecht nach unten führender Gang anschließt. Ist der Gang eher schräg handelt es sich um Schlupfröhre. Die Röhren haben Durchmesser zwischen 6 und 8 cm und häufig befinden sich mehrere Röhren in einem Umkreis von 2 Metern ([SNU RLP & Schröer, 2022](#)).

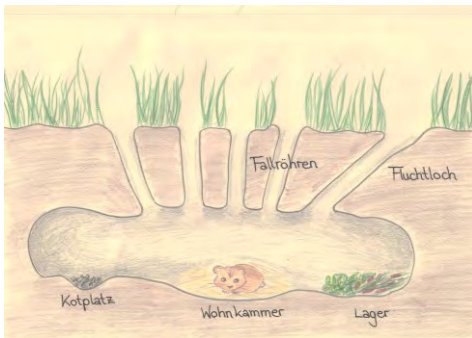


Abb. 8: Feldhamster-Wohnanlage (Kim Runge)

Den Bereich um das Loch frisst der Hamster frei, um freiere Sicht zu haben.

Bei Gefahr lässt sich der Feldhamster blitzschnell durch das nächstliegende Bauloch in die Tiefe fallen.



Abb. 9: Feldhamster-Bau ([Szelag, 2010](#))

In dem Interreg-Projekt für den Erhalt des Feldhamsters am Oberrhein CRICETUS geht es um den Schutz des Feldhamsters und der Biodiversität in den Agrarlandschaften des Oberrheins ([SNU RHEINLAND-PFALZ, 2021](#)). Im Rahmen des Projekts wird der Zustand wildlebender Hamsterpopulationen erfasst, Bedrohungen werden identifiziert und Lösungen für die Erhaltung der Hamsterpopulationen erarbeitet. Im Mai 2021 wurden die erste Drohnenflüge durchgeführt, mit dem Ziel, Feldhamster mit einer Starrflügler-Drohne + Thermalkamera und künstlicher Intelligenz (KI) aus der Luft zu identifizieren ([SMARTDRONESERVICES, 2022](#)). Dazu wurden im Elsass Flächen mit Hamsterbauten überflogen und die aufgenommenen Bilder zum Trainieren der KI genutzt. Die Ergebnisse zeigten, dass Feldhamsterbaue auf Drohnenaufnahmen erkannt und automatisiert gezählt werden können. Dabei hängt die Genauigkeit vom Zeitpunkt der Aufnahme und der Höhe der Vegetation ab. Es zeichnete sich ab, dass solche automatisierten Bauzählungen effektiv für den Schutz des Feldhamsters eingesetzt werden könnten ([SNU Rheinland-Pfalz, 2021](#)).

Bei Untersuchungen zum Nachweis von Feldhamsterbauten bei Wulfersdorf (Stadt Helmstedt, Niedersachsen) wurden durch das Gutachterbüro ([LEWATANA, 2021](#)) auch Drohnen mit systematischen Rasterflügen eingesetzt. ([SCHRÖER, 2022](#))

Im Vergleich zu der herkömmlichen Methode (dem Begang der Ackerflächen - meist mit zahlreichen Helfern) bieten Befliegungen den Vorteil, dass das Gebiet aus der Vogelperspektive durch eine Person 'beschaut' werden kann.

Die Untersuchungsgebiete werden, wie bei anderen Landschaftsbefliegungen, systematisch in Rastern abgeflogen. So kann eine 100%ige Abdeckung des Untersuchungsraums gewährleistet werden. Außerdem wird möglicher Bewuchs nicht durch eine großflächige Begehung mit einer Menschenkette beeinträchtigt.

So kann Zeit- und Personal gespart werden. Das macht diese Methode sehr effizient und ermöglicht dadurch evtl. mehr Feldhamsterschutz.

Dass das Ganze aber doch nicht ganz so einfach ist, zeigt Abb. 10 rechts. Die Bauten erscheinen nur als kleine Punkte inmitten eines Getreidefelds und sind auf den ersten Blick gar nicht so leicht zu erkennen.



Abb. 11: Feldhamster im Loch ([Szelag, 2010](#))

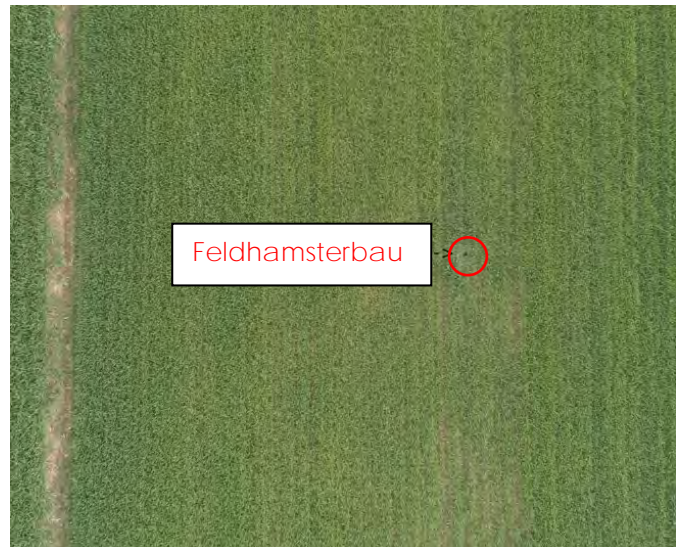


Abb. 10: Feldhamsterbau aus 30 m Höhe ([Smart Drone Services, 2021](#))

5.9.5 Grundregeln zur Störungsökologie bei Drohnenflügen

Folgende Regeln und Empfehlungen zur Reduktion von Störungen bei Drohnenflügen, die aber auch zur Effektivitätssteigerung der Befliegungen beitragen, sollten **IMMER** befolgt werden:

Tab. 4: Regeln zur Reduktion von Störungen bei Drohnenflügen ([DÖRING & MITTERBACHER, 2022](#))

<p>Brut- und v.a. Mauserzeiten beachten!</p>
<p>Die Drohne wird in Schutzgebieten ausschließlich zum Zweck des naturschutzfachlichen Monitorings oder der Rettung von Rehkitzten, Niederwild und Bodenbrütern eingesetzt. Nester von Bodenbrütern NICHT berühren, sondern nur durch Ausstecken mit Signalstangen markieren!</p>
<p>Drohnenflüge sind in Schutzgebieten und zur Artendetektion räumlich und zeitlich auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken.</p> <p>→ Möglichst die zu befliegenden Flächen durch Abfrage nach Artenvorkommen oder Sichtungen bei Jägern oder anderen kundigen Personen eingrenzen. Das dient der Vermeidung unnötiger Flüge und reduziert möglichen Frust durch fehlende Detektionserfolge.</p> <p>→ Die Drohne wird möglichst nur auf den zu überprüfenden Flächen eingesetzt.</p> <p>→ Bereiche, die zur Aufzuchtzeit ohnehin vom Mähen o. Ä. ausgenommen sind, wie Wiesen im Vertragsnaturschutz-Programm VNP (mit Maßnahmen wie spätere Mahd usw.) oder Streuwiesen, sollen nicht unnötig befliegen werden.</p>
<p>Es sollen möglichst kleine, leise und nur elektrisch betriebene Drohnen verwendet werden.</p>

Eine ruhige Flugweise mit Flugbahnen auf möglichst gleichbleibender Höhe ist am wenigsten störend. → Dazu empfehlen sich vorprogrammierte Rasterflüge.

Plötzliche Richtungswechsel und rasante Flugmanöver im Nahbereich von Tieren sind zu vermeiden. → Ein direktes Anfliegen von Tieren ist unbedingt zu unterlassen!

Die Drohnenflüge sollten in der jeweils maximal möglichen Flughöhe durchgeführt werden, in der noch sicher und effektiv die Zielarten detektiert werden können.

→ Aus störungsökologischer und technischer Sicht sind bisher ≥ 40 m Flughöhe zu empfehlen.

→ Muss aus methodischen Gründen (z.B. Detektion von Pflanzen auf Artenniveau) wesentlich tiefer geflogen werden, sollten diese Flüge möglichst nicht in kritischen Zeiten wie Mauser- oder Brutzeiten stattfinden und/oder gut mit den Gebietsbetreuern abgesprochen werden.

Bei sichtbaren Reaktionen von Tieren (Nervosität, Flucht, Angriff etc.) muss sofort Abstand gesucht und der Drohnenflug ggf. abgebrochen werden.

→ **Bei Angriffen** (z.B. durch Greifvögel) wird die Drohne zügig nach oben und weg vom Vogel gesteuert und der Rückzug angetreten; in diesem Fall wird der Drohnenflug in diesem Gebiet ggf. abgebrochen.

→ Greifvögel jagen oft im Sturzflug, sind also sehr schnell) nach unten, können aber nach oben nicht schnell folgen.

Start und Landung der Drohne sollen möglichst nur in Bereichen erfolgen, die bereits regelmäßig von Menschen frequentiert werden (Straßen, Wege, Parkplätze etc.).

Es wird, wenn möglich, ein großer Abstand zu Tieren bzw. naturnahen Lebensräumen eingehalten.

→ Bei der Wildtierrettung vor der Mahd erübrigt sich dies natürlich, da kurze Zeit später eine wesentlich größere und v.a. letale Störung durch die Mahd erfolgt.

→ Flüge zum Artenschutz und Naturschutzmonitoring sind natürlich ebenfalls davon ausgenommen.

Flüge zum Landschaftsmonitoring o. Ä., die auch werktags getätigt werden können, sollen in Gebieten mit hoher Besucherfrequenz möglichst nicht an Wochenenden, Feiertagen oder in der Ferienzeit durchgeführt werden, um das Risiko der unerlaubten Nachahmung zu reduzieren.

→ **Zur Wildtierrettung ist aber nur der Mähzeitpunkt entscheidend** - wenn dieser wetterbedingt auf ein Wochenende fällt, muss natürlich auch dann geflogen werden.

Interessierte Passanten sollen aktiv über den besonderen Sinn und Zweck des Drohnenfluges zur Wildtierrettung oder -Monitoring informiert und darauf hingewiesen werden, dass Drohnenflüge in Schutzgebieten zu Freizeit Zwecken absolut verboten sind bzw. zu anderen Zwecken unbedingt einer Genehmigung bedürfen.

Eine Zusammenarbeit des Naturschutzes mit Wildtierrettern, die Drohnen einsetzen, ist wärmstens zu empfehlen.

5.9.6 Faunamonitoring - Fazit

Tab. 5: Faunamonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Tiermonitoring & Wildtierrettung		
Schwierigkeit 🚁🚁🚁 Erfahrung 🚁🚁🚁🚁 Nutzen 🚁🚁🚁		
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> • Nest-Suche (z.B. Kiebitz, Gr. Brachvogel, etc.) • Rehkitzsuche/Wildtierrettung • Horst-Kontrollen (z.B. Steinadler) • Vogelzählung - bes. Kolonien • Bibermonitoring • Feldhamstermonitoring • ... 	<ul style="list-style-type: none"> ◦ schnelle und spurlose Nestsuche ◦ effektive und effiziente Tier-Suche über Wärmebilder ◦ weniger Störung ◦ effektivere Zählung von Nestern/Kolonien aus der Luft - bis zu 300 % mehr Nester gezählt ◦ schneller als Baumkletterer zur Horstkontrolle ◦ permanente Dokumentation zur nachträglichen sichereren Zählung 	<ul style="list-style-type: none"> • Live-Monitorbild zur rein visuellen Ad-Hoc-Auswertung • Fotos - RGB, Thermal • ggf. Orthophotos zur Analyse • Videos

Tab. 6: Faunamonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
<ul style="list-style-type: none"> • Immer so hoch wie möglich fliegen. • Nicht in unmittelbarer Nähe der Vögel/Tiere und von Nist- oder Mauergeräten starten und landen. • Sehr vorsichtig und gleichmäßig fliegen. 	<p>Grundregeln zur Minimierung von Störungen und zur erfolgreichen Detektion und Beobachtung - s. Störungsökologische Grundregeln.</p>
<p>Die effektivste Wildtiersuche ist mit Hilfe von <u>programmierten Rasterflügen</u> (KAUFMANN; HOLLIGER & SON, 2022).</p> <p>Flugplanung: z.B. (FLUGMODUS E.V., 2021)</p> <p>→ Zur Detektion von Tieren benötigt man nur eine geringe Überlappung der Flugbahnen.</p> <p>→ Suchgebiete durch Erfahrung oder Beobachtungen von Jägern oder anderen Flächenkennern auf <i>Hot-Spot</i>-Gebiete mit Tiervorkommen eingrenzen.</p>	<p>Wenn Gebiete zur Tiersuche befliegen werden sollen, möchte man sicher gehen, dass auch die ganze Fläche befliegen wird.</p> <p>Da man meist keine Orthofotos erstellen will, sind ggf. nur Kontrollfotos oder Videos sinnvoll oder nötig.</p> <p>Die Eingrenzung der Suchgebiete empfiehlt sich, um Ressourcen zu schonen und Frust zu minimieren. Ein Suchen auf Verdacht ist oft wenig</p>

	erfolgsversprechend - s. Störungsökologische Grundregeln .
<p><u>Manuelle Flüge</u></p> <p>→ z.B. zur Kontrolle von Vogelhorsten, -kolonien oder zur gezielten Tier-Suche an Felsen, Bächen o. Ä.</p> <p>→ Für die Wildtierrettung sind sie ineffektiver und fehleranfälliger, da meist ein Gebiet flächendeckend abgeflogen werden soll.</p>	<p>Manuelle Flüge empfehlen sich hauptsächlich zur gezielten Kontrolle von Objekten.</p> <p>Sie haben zwar nur eine kurze Vorbereitungs- und Rüstzeit, doch steht und fällt die Genauigkeit mit dem Piloten.</p> <p>Die sichere Abdeckung des Suchgebiets ist nur bei idealen Geländebedingungen Kenntnissen des Gebiets und genügend Erfahrung des Piloten möglich. Das Fehlerpotential ist oft hoch.</p>
<p>Thermalkameras sind zur Tier-, Nestsuche und Wildtierrettung zu empfehlen/notwendig.</p> <p>→ Besonders im Sommer oder an warmen/sonnigen Tagen sollte möglichst in den frühen Morgenstunden geflogen werden.</p>	<p>Viele Tierarten sind gut getarnt und können leichter bzw. ausschließlich durch Thermalkameras detektiert werden - s. Sensoren als Payload</p> <p>Je höher der Temperaturunterschied zwischen Tierkörper und Umgebung ist, desto leichter ist die Detektion des Tieres.</p> <p>Ausführliche Infos in "Thermal Imaging Techniques to Survey and Monitor Animals in the Wild: A Methodology" (Havens & Sharp, 2015)</p>
<p>Nach neuem Recht darf eine Drohne jetzt auch ohne besondere Genehmigung in der Nacht oder Dämmerung geflogen werden.</p> <p>Allerdings muss diese dazu seit 07/2022 mit einem grünen Blinklicht ausgestattet sein - https://www.lba.de/DE/Drohnen/FAQ/01_FAQ_Allgemein/FAQ_node.html</p>	
<p>Nester von Bodenbrütern auf keinen Fall berühren!</p> <p>→ Nur für den Landwirt markieren - z.B. durch Abstecken mit Bambusstäben.</p>	<p>Viele Bodenbrüter sind v.a. durch das Bundesnaturschutzgesetz bes. § 44 streng geschützt. Ihre Manipulation kann strafrechtliche Konsequenzen nach sich ziehen (§§ 69 - 71)!</p> <p>→ z.B. https://kitzrettung-hilfe.de/helfer-infos/wenn-gelege-gefunden-werden/</p>
<p>Synergieeffekte nutzen!</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rehkitzretter achten auch auf Bodenbrüter = Wildtierretter • Wildtierretter können auch für Naturschutzaufgaben im Gegenzug für einfachere Genehmigungen und eine Unkostenerstattung fliegen.

Wildtierrettung als Wertschöpfung - Unkosten-Kompensation für Drohnen-Wildtierretter

- Es werden Förder-Kulissen für Gebiete mit einem hohen Aufkommen an Wildtieren (Rehe, Bodenbrüter etc.) definiert, in denen Landwirte, benachteiligt durch zeitaufwendiges Absuchen der Wiesen, eine Kompensationsförderung bekommen. Diese wird, zumindest in Teilen, an die ehrenamtlich helfenden Wildtierretter zu deren Unkostenerstattung weitergegeben.
- Für Jäger, die mit Drohnen Wildtiere vor der Mahd suchen, könnten die Unkosten mit der jagdgenossenschaftlichen Pacht oder möglichen anfallenden Wildschäden gegengerechnet werden.
- Ziel sollte es sein, die Wildtierrettung als Wertschöpfung (Verstetigung) zu etablieren. Landwirte sparen Kosten für gesetzlich vorgeschriebenen Verhütungsmaßnahmen durch Hilfe der Wildtierretter. Diese gesparten Ausgaben sollten aber (zumindest in Teilen) zur Vergütung der Unkosten weitergegeben werden.

Literaturverzeichnis

- ARBES, S. (2017): "Wildtiersuche mit Drohnen". <https://doi.org/10.5281/zenodo.8064695> (21.5.2020)
- BARNAS, A. F. ET AL. (2020): "A Standardized Protocol for Reporting Methods When Using Drones for Wildlife Research". In: Journal of Unmanned Vehicle Systems S. 1–10. <https://doi.org/10.1139/juvs-2019-0011>
- BEVAN, E. ET AL. (2018): "Measuring Behavioral Responses of Sea Turtles, Saltwater Crocodiles, and Crested Terns to Drone Disturbance to Define Ethical Operating Thresholds". In: PLOS ONE Public Library of Science. 13(3), S. e0194460. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194460>
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2022): "Vogelmonitoring | BFN". <https://www.bfn.de/vogelmonitoring> (30.6.2022)
- BUNDESMINISTERIUMS FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (2021): "Klößner - Moderne Technik hilft beim Schutz der Tiere". <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/168-reh-kitze-drohnen.html> (8.3.2022)
- DÖRING, S.; MITTERBACHER, M. (2022): "Einsatz von Drohnen im Artenschutz, der Wildtierrettung und im Biodiversitäts-Monitoring". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/stoerwirkung/index.htm>
- DUFFY, J. P. ET AL. (2020): "Drone Technologies for Conservation". In: WWF Conservation Technology Series 1(5). https://space-science.wwf.de/drones/WWF_CT_Drones_2020_web.pdf
- FÖRSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG, F. (2021): "Es werde Licht! ASPISvipern im Südschwarzwald". waldwissen.net. <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/natur-schutz/artenschutz/lichtwaldarten-foerderung> (12.4.2021)
- GERKAMP, V. (2019): "Möglichkeiten und Grenzen von Faunamonitoring mit Thermalkamera ausgestatteten Drohnen". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- GIONES, F.; BREM, A. (2017): "From Toys to Tools: The Co-Evolution of Technological and Entrepreneurial Developments in the Drone Industry". In: Business Horizons 60(6), S. 875–884. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.08.001>
- HERPETOFAUNA-BW (2021): "Monitoring der Aspispiper | Amphibien/Reptilien-Biotop-Schutz Baden-Württemberg e. V. (ABS)". <http://www.herpetofauna-bw.de/monitoring-der-aspispiper/> (12.10.2022)
- HUERTA, J. O. ET AL. (2020): "Ability of Observers to Detect Herpetofaunal Models Using Video from Unmanned Aerial Vehicles". In: Herpetological Review 51(1), S. 11–17. https://www.researchgate.net/publication/339722409_Ability_of_Observers_to_Detect_Herpetofaunal_Models_Using_Video_from_Unmanned_Aerial_Vehicles
- JIMÉNEZ LÓPEZ, J.; MULERO-PÁZMÁNY, M. (2019): "Drones for Conservation in Protected Areas: Present and Future". In: Drones Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 3(1), S. 10. <https://doi.org/10.3390/drones3010010>
- KECK, S. (2021): "Handlungsempfehlung zum Hasenmonitoring mit Hilfe von Drohnen". Bachelorarbeit. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN (LAG VSW) (2022): "Monitoring europäischer Vogelarten und ihrer Lebensräume - SPA". http://www.vogelschutzwarten.de/spa_moni.htm
- LEWATANA (2021): "Feldhamster - Drohneinsatz - LEWATANA". LEWATANA - Consulting Biologists. <https://lewatana.de/leistungsspektrum/artengruppen/kleinsaeuger/feldhamster/drohneinsatz/> (15.12.2021)
- LANDESAMT FÜR UMWELT BAYERN (LFU) (2021): "Artspezifische Untersuchungen - LfU Bayern". <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/artspezifisch/index.htm> (30.6.2022)
- LUFTFAHRT BUNDESAMT (LBA) (2022): "Allgemeine Informationen - FAQ - Luftfahrt Bundesamt". https://www.lba.de/DE/Drohnen/FAQ/01_FAQ_Allgemein/FAQ_node.html (21.12.2022)
- MDR.DE (2020): "Wie Leipziger Forscher die Galápagos-Meerechsen retten wollen | MDR.DE". <https://www.mdr.de/wissen/reptilien-meerechsen-galapagos-ecuador-100.html> (18.11.2021)

- NABU (2019): "Lebensraum gemeinsam gestalten – Rebhuhnschutz im Landkreis Tübingen - Ergebnisse und Handlungsempfehlungen aus dem Rebhuhnschutzprojekt 2017–2019". Mössingen. https://www.nabu-vogelschutzzentrum.de/app/download/12616120249/Ansicht_RebhuhnBro-sch_190612.pdf?t=1604338866
- PECBMS (2019): "Species Trends - Perdix Perdix". PECBMS. <https://pecbms.info/trends-and-indicators/species-trends/> (30.6.2022)
- PECBMS (2022A): "European Indicators". PECBMS. <https://pecbms.info/trends-and-indicators/indicators/> (10.10.2022)
- PECBMS (2022B): "PECBMS - About Us". PECBMS. <https://pecbms.info/about-us/> (10.10.2022)
- REBHUHNSCHUTZPROJEKT.DE (2020): "Das Rebhuhnschutzprojekt im Landkreis Göttingen". Rebhuhnschutzprojekt im Landkreis Göttingen. <http://rebhuhnschutzprojekt.de/index.html> (11.2.2021)
- REPTILESMAGAZINE (2018): "Scientists Use Drones To Count Olive Ridley Sea Turtles At Costa Rica's Ostial National Wildlife Refuge". Reptiles Magazine. <https://www.reptilesmagazine.com/scientists-use-drones-to-count-olive-ridley-sea-turtles-at-costa-ricas-ostional-national-wildlife-refuge/>
- SAHU, R.; INTECHOPEN (2019): "Detecting and Counting Small Animal Species Using Drone Imagery by Applying Deep Learning". In: Visual Object Tracking with Deep Neural Networks. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88437>
- SASSE, D. B. (2003): "Job-Related Mortality of Wildlife Workers in the United States, 1937-2000". In: Wildlife Society Bulletin 31(4), S. 1015–1020. <http://profile.iaa.org/sites/default/files/images/Ob-its/Sasse-2000-WSB.pdf>
- SCHRÖER, A. (2022): "Projekt CRICETUS". snu.rlp.de. <https://snu.rlp.de/de/projekte/bfn-projekt-feld-hamsterland-0/feldhamster-gesucht/tipps-fuer-die-meldung/> (16.8.2022)
- SMARTDRONESERVICES (2022): "Smart Drone Services – Specialist in data capture and analysis". <https://smartdroneservices.fr/> (25.8.2022)
- STIFTUNG NATUR RHEINLAND-PFALZ (SNU) (2021): "Interreg-Projekt CRICETUS - Feldhamster - Berichte aus dem Projekt". snu.rlp.de. <https://snu.rlp.de/de/projekte/feldhamster/interreg-cricetus/berichte-aus-dem-projekt/> (5.7.2022)
- STRAYOS (2021): "Environmental AI". <https://www.strayos.com/environmental-ai.html> (10.10.2021)
- THURNER, S. ET AL. (2020): "Methoden zur Reduktion von Mähtod bei Wildtieren am Beispiel von Rehkittzen – Erfahrungsaustausch mit beteiligten Gruppen und Erarbeitung des Optimierungsbedarfs". Projektendbericht. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF). https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/ilt1_schlussbericht_wildtierret-tung_i_a18_19.pdf
- ZOONIVERSE (2022): "Zooniverse". <https://www.zooniverse.org/projects/andreavarela89/iguanas-from-above> (12.10.2022)