



# Handbuch Drohnen im Biomonitoring

Vom Kauf bis zur Datenanalyse

Steffen Döring  
Rainer Luick



# IMPRESSUM

Das Handbuch entstand als ein Ergebnis im Rahmen des [Forschungsprojekts 'Drohnen im Biomonitoring'](#) (DRONES FOR NATURE) - Projektlaufzeit 2020 – 2022.

Durchgeführt wurde das Projekt an der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg mit dankenswerter Unterstützung der Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg, die das Projekt aus zweckgebundenen Erträgen der Glücksspirale gefördert hat.



## Herausgeber

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

Steffen Döring  
Telefon: +49 151 5354 9529  
E-Mail: [dronesfornature@posteo.de](mailto:dronesfornature@posteo.de)  
[www.drones-for-nature.de](http://www.drones-for-nature.de)

## Zitiervorschlag

Döring, S. & Luick R. (2023): "Handbuch Drohnen im Biomonitoring".  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7998648>

Idee/Layout/Text - © Steffen Döring



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 des Autors. Eine rechtliche Prüfung ist im Rahmen des Projekts nicht erfolgt.

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

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.

# INHALTSVERZEICHNIS

Impressum.....	1
Inhaltsverzeichnis .....	2
Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis .....	5
Glossar und Abkürzungsverzeichnis .....	6
Persönliche Danksagung .....	8
Motivation .....	8
Notwendigkeit von MONITORING.....	9
Monitoring-Möglichkeiten mit Drohnen .....	9
Monitoring-Kalender .....	10
Überblick.....	11
01 KAUF.....	12
Bedarfsanalyse .....	13
Drohntechnik .....	17
Faltbare Multikopter-Modelle .....	19
Modelle mit anderen Sensoren.....	20
Sensoren als Payload.....	24
Sensor-Auflösung .....	24
Exkurs DJI-Fernsteuerung.....	27
Nützliche Zusatz-Hardware .....	28
02 VORBEREITUNG.....	29
Vorbereitungen zum Fliegen.....	30
Checkliste generelle Voraussetzungen .....	31
Vorbereitung einer Flugmission .....	33
Checkliste Missionsvorbereitung .....	33
Flugplanung am PC .....	35
Fluggebiet Definieren .....	35
Geozonen prüfen .....	37
Checkliste - Direkte Flugvorbereitung.....	40
Flugbuch.....	41
Wetterbericht.....	41
Checkliste - Flugvorbereitung vor Ort .....	42
Checkliste - Während des Fluges.....	42
Checkliste nach dem Flug .....	43
03 Methodik.....	44
Methodische Vorüberlegungen .....	45

Parameter für gute Bilder.....	46
Schrägaufnahmen - Oblique-Fotos .....	48
Apps zur Flugplanung .....	49
04 PRAXIS .....	50
Monitoring mit Drohnen - Störungsökologie .....	51
Störungsökologie - Grundregeln.....	52
Vorbemerkung.....	54
Offene Landschaften .....	54
Einleitung .....	54
Fazit.....	54
Moormonitoring .....	56
Einleitung .....	56
Fazit.....	59
Waldmonitoring .....	61
Einleitung .....	61
Fazit.....	63
Gewässermonitoring .....	66
Einleitung .....	66
Generelle Themen beim Gewässermonitoring .....	70
Fazit.....	70
Felsmonitoring.....	73
Einleitung .....	73
Fazit.....	75
Vegetationsmonitoring .....	77
Einleitung .....	77
Heide .....	78
Fazit.....	80
Faunamonitoring .....	82
Einleitung .....	82
Wildtierrettung .....	83
Lachs- & Bibermonitoring.....	88
05 AUSWERTUNG .....	93
Bearbeitung der erfliegenen Bilder .....	94
Bild-/Videobearbeitung.....	94
Bildbearbeitung mit GIMP.....	94
Videobearbeitung .....	95
Photogrammetrie-Programme.....	95
Maps Made Easy .....	95



WebODM .....	96
droneDB - Fotoauswahl .....	97
Agisoft Metashape .....	97
Vergleich der verwendeten Photogrammetrie-Software .....	98
Analysen von Einzelbildern und Orthofotos .....	100
Einzelbild/Video-Auswertung .....	100
GIS-Auswertung von Orthofotos .....	100
NACHWORT .....	104
LITERATUR .....	105
Checklisten kurz zum Ausdrucken .....	116

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Monitoring-Kalender .....	10
Abb. 2: Workflow beim Drohnenmonitoring .....	11
Abb. 3: Entscheidungshilfe zur Trägerplattform .....	14
Abb. 4 Projektdrohne .....	17
Abb. 5: Projektdrohne.....	17
Abb. 6: Starrflügler .....	17
Abb. 7: VTOL .....	18
Abb. 8: Zusammenhänge verschiedener Faktoren mit der Modell-Klasse .....	18
Abb. 9: Zusammenhang von Flughöhe und GSD .....	25
Abb. 10: GNSS-System .....	28
Abb. 11: Praktisches Flugtraining .....	32
Abb. 12: Screenshots aus Google Earth .....	36
Abb. 13: QGIS - Export als KML .....	36
Abb. 14: dipul - Kartenwerkzeug für Geozonen .....	38
Abb. 15: Planungs-Methoden in der Phantom 4 RTK App .....	48
Abb. 16: Entscheidungsbaum für Drohnenflüge in Schutzgebieten .....	51
Abb. 17: Sichtweite beim Waldmonitoring mit Drohnen .....	65
Abb. 18: Einzelparameter der Strukturkartierungsverfahren der Qualitätskomponente „Morphologie“ .....	67
Abb. 19: Unzugängliche Felswände in China .....	74
Abb. 20: Untersuchung von steilen Felswänden .....	74
Abb. 21: Felsmonitoring - Zusammenfassung .....	76
Abb. 22: Auflösung - Vergleich bei Blühstreifen .....	78
Abb. 23: Wildtierrettung - automatisierter Flug.....	86
Abb. 24: Wildtierrettung - manueller Flug.....	87
Abb. 25: Lachs-Laichbetten - Redds .....	88
Abb. 26: Zweifarbiger' Kiesel.....	88
Abb. 27: Bibermonitoring im Moor.....	90
Abb. 28: Manuelles Drohnen-Flussmonitoring.....	92
Abb. 29: farblich verändertes Mistelbild - Misteln in hellrot .....	94

Abb. 30: Outputs in MapsMadeEasy .....	96
Abb. 31: WebODM Presets .....	96
Abb. 32: droneDB- Fotoauswahl.....	97
Abb. 33: Import und Bearbeitung - Drohnendaten in Google Earth .....	101
Abb. 34: Katzenstein - Digitalisierung mit Import Photos .....	102

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Einteilung von Unbemannten Fluggeräten .....	17
Tab. 2: Spezifikationen dreier faltbarer Drohnenmodelle .....	19
Tab. 3: DJI Phantom 4 RTK im Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3E .....	21
Tab. 4: DJI Phantom 4 Multispektral im Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3M .....	22
Tab. 5: DJI Mavic 2 Enterprise Advanced - Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3T ..	23
Tab. 6: Sensoren, Preishorizonte und Einsatzgebiete .....	24
Tab. 7: Auflösung verschiedener Drohnensensoren nach Flughöhen .....	26
Tab. 8: Flughöhe, Auflösung, Flächenleistung, Genauigkeit der Phantom 4 RTK ...	26
Tab. 9: Drohnenhersteller und Marktanteile .....	27
Tab. 10: Neue LuftVO - Kurzübersicht .....	30
Tab. 11: Liste der deutschen Geoportale .....	37
Tab. 12: Apps für Geozonen .....	38
Tab. 13: Liste der Landesluftfahrtbehörden der Länder .....	39
Tab. 14: Methodische Bedingungen.....	45
Tab. 15: Parameter für gute Bilder .....	46
Tab. 16: Einsatzszenarien Schrägaufnahmen .....	48
Tab. 17: Flugsoftware-Apps .....	49
Tab. 18: Wichtige Regeln für störungsarme Flüge .....	52
Tab. 19: Offenlandmonitoring - Zusammenfassung .....	54
Tab. 20: Offenlandmonitoring - Empfehlungen .....	55
Tab. 21: Moormonitoring - Zusammenfassung .....	59
Tab. 22: Moormonitoring - Empfehlungen .....	59
Tab. 23: Waldmonitoring - Zusammenfassung .....	63
Tab. 24: Waldmonitoring - Empfehlungen .....	64
Tab. 25: Gewässer - Zusammenfassung .....	70
Tab. 26: Gewässer/Lachsmonitoring - Empfehlungen .....	71
Tab. 27: Felsmonitoring - Zusammenfassung .....	75
Tab. 28: Felsmonitoring - Empfehlungen.....	75
Tab. 29: Vegetationsmonitoring - Zusammenfassung.....	80
Tab. 30: Vegetationsmonitoring - Empfehlungen .....	80
Tab. 31: Tier-Klassen und Drohnenmonitoring - Veröffentlichungen.....	82
Tab. 32: Faunamonitoring - Zusammenfassung .....	84
Tab. 33: Faunamonitoring - Empfehlungen.....	84
Tab. 34: Lachs- und Bibermonitoring - Zusammenfassung.....	91
Tab. 35: Lachs-/Bibermonitoring - Empfehlungen.....	92
Tab. 36: Vergleich der verwendeten Photogrammetrie-Software .....	98
Tab. 37: Vergleich von Photogrammetrie-Programmen hinsichtlich ihres Preises und ihrer Prozessierungsmöglichkeiten .....	99

## 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

Der Einfachheit halber wurde stellvertretend für die Begriffe **UAV/UAS** (*Unmanned/Uncrewed/Unoccupied Aerial Vehicle/System*), **RPAS** (*Remotely Piloted Aircraft System*) o. Ä. der weithin benutzte Terminus **Drohne** verwendet. Gemeint ist immer ein ziviles Fluggerät meist mit angebautem Sensor - oft eine Kamera.

## PERSÖNLICHE DANKSAGUNG

Ich möchte dieses Handbuch meinem Vater und meiner lieben Familie widmen, die mich immer unterstützt haben - besonders aber meiner Lebensgefährtin, die mir die (viele) Zeit zugestand, die es brauchte, dieses Handbuch zu schreiben.

Danke auch einigen DrohnenkollegInnen, die das Handbuch vorab kritisch durchgeschaut haben - besonders Tamara Wiesel für das besonders akribische Korrekturlesen.

Herzlichen Dank!  
Steffen

## MOTIVATION

„Man liebt nur, was man kennt und  
man schützt nur, was man liebt.“

(Konrad Lorenz)

In einer sich ständig wandelnden Welt, in der Veränderungen rasch voranschreiten, ist es von großer Bedeutung, dass wir innovativ sind, um unseren Planeten und insbesondere unsere Lebensbedingungen erhalten zu können.

Der Einsatz von Drohnen kann in vielerlei Hinsicht dazu beitragen, die Effektivität des Monitorings von Umweltzuständen und -veränderungen zu steigern, Kosten zu senken und Störungen zu minimieren. Nur durch den Einsatz effektiver und kostengünstiger Methoden zur Datenerhebung und -auswertung können wir den steigenden Anforderungen an die Vielfalt, Qualität und Evidenz der Monitoring-Daten gerecht werden.

Aus diesem Grund haben wir dieses Handbuch entwickelt, um den Naturschutz zu unterstützen und die Aufgaben

des Monitorings für Behörden, Planungsbüros und Feldökologen zu erleichtern. Unser Ziel ist es, Ihnen praktische Informationen und Anleitungen bereitzustellen, wie Drohnen für ihre Aufgaben effektiv eingesetzt werden können.

Wir wollen dabei helfen, die Potenziale der Drohnentechnologie voll auszuschöpfen, indem wir Tipps zur Beantwortung etlicher Fragestellungen mit Drohnen, der Planung von Flügen, zur Auswahl der richtigen Sensoren und zur Datenverarbeitung usw. geben.

Unser Handbuch zeigt praktische Schritte und gibt Empfehlungen zu Drohneneinsätzen im Biomonitoring, um dazu beizutragen, dass Drohnenprojekte von Anfang an effizient und erfolgreich durchgeführt werden können.

## NOTWENDIGKEIT VON MONITORING

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 Erfassung und anschließendes regelmäßiges Monitoring von Zuständen, Populationen und Habitaten.

Zusätzlich hat der "Bedarf nach verlässlichen Daten" für Verträglichkeitsprüfun-

gen, Landschaftspflegerische Begleitpläne, Strategische Umweltprüfungen, Umweltverträglichkeitsstudien etc. und speziell für die Monitoringverpflichtungen nach Artikel 17 der FFH-Richtlinie erheblich zugenommen ([PRÖBSTL-HAIDER, 2013](#)).

Um sicherzustellen, dass die in aller Regel limitierten finanziellen und personellen Ressourcen für das Monitoring effizient und gezielt, entsprechend der Bedürfnisse und Anforderungen eingesetzt werden, ist es unabdingbar, die angewandten Methoden zu optimieren (methodisch und finanziell) und zu standardisieren ([SCHMELLER ET AL., 2009](#)).

Der Einsatz von Drohnen kann in vielfältiger Weise dazu beitragen, die Effektivität von Monitoring zu steigern, Kosten zu senken und Störungen zu minimieren.

## 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](#)).

Im Laufe des Forschungs-Projekts *DroBio* wurden etliche dieser Einsatz-Möglichkeiten näher beleuchtet.

Diese Beispiele werden weiter unten näher beschrieben.

Zu jeder dargestellten Aufgabe wurden einfache Workflows erarbeitet und es werden Empfehlungen für die erfolgreiche Durchführung gegeben.



## MONITORING-KALENDER

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

Je nach Jahreszeit und phänologischem Zustand fallen andere Aufgaben an oder/und es sollen die jeweils aktuell herrschenden Bedingungen eingefangen werden.

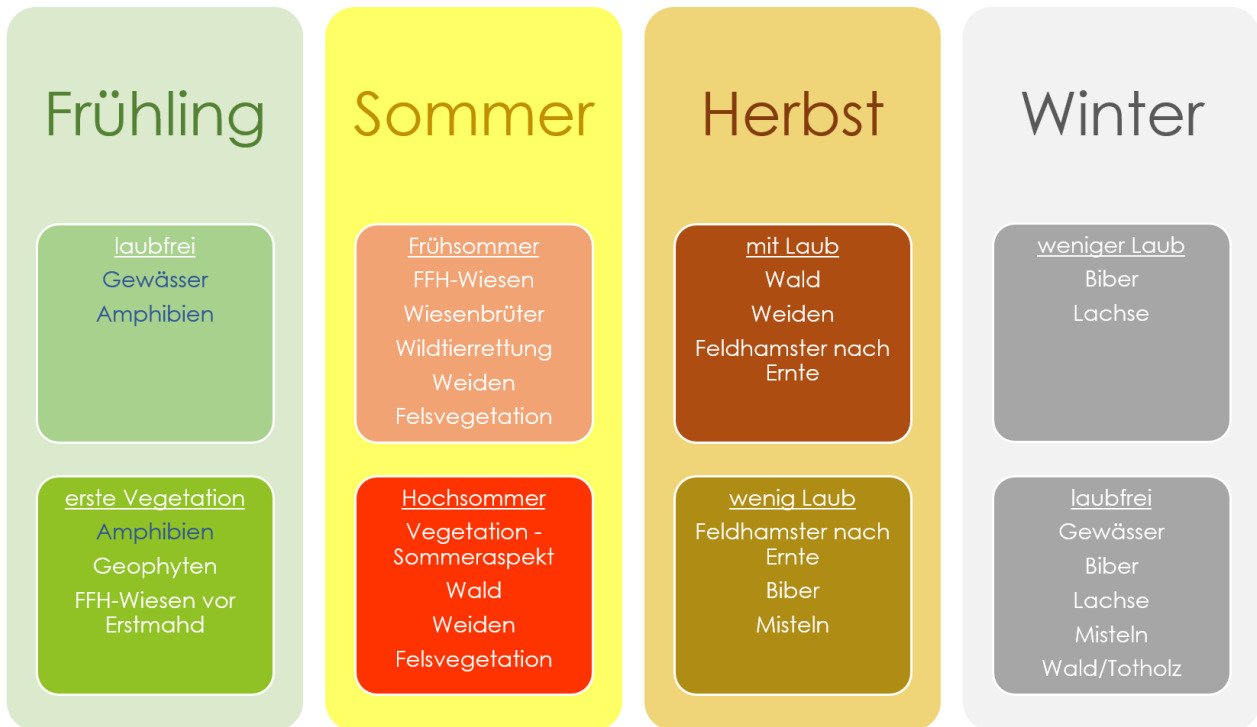


Abb. 1: Monitoring-Kalender (Döring, 2022)

## ÜBERBLICK

Dieses Handbuch soll eine ausführliche und doch möglichst einfache Darstellung notwendiger Schritte zur erfolgreichen Integration von Drohnen in unterschiedliche Anwendungsbereiche des Biomonitorings bieten.

Im umfassenderen [öffentlichen Endbericht](#) werden die Informationen zu vielen Aspekten noch mit etlichen weiter-

führenden Informationen, Erläuterungen, Beispielen und Diskussionen (auch einiger Probleme) vertieft und erweitert.

Die Abfolge einer Datenerhebung mit Drohnen zeigt Abb. 2.

Das Handbuch ist weitgehendst anhand dieser Schritte aufgebaut.

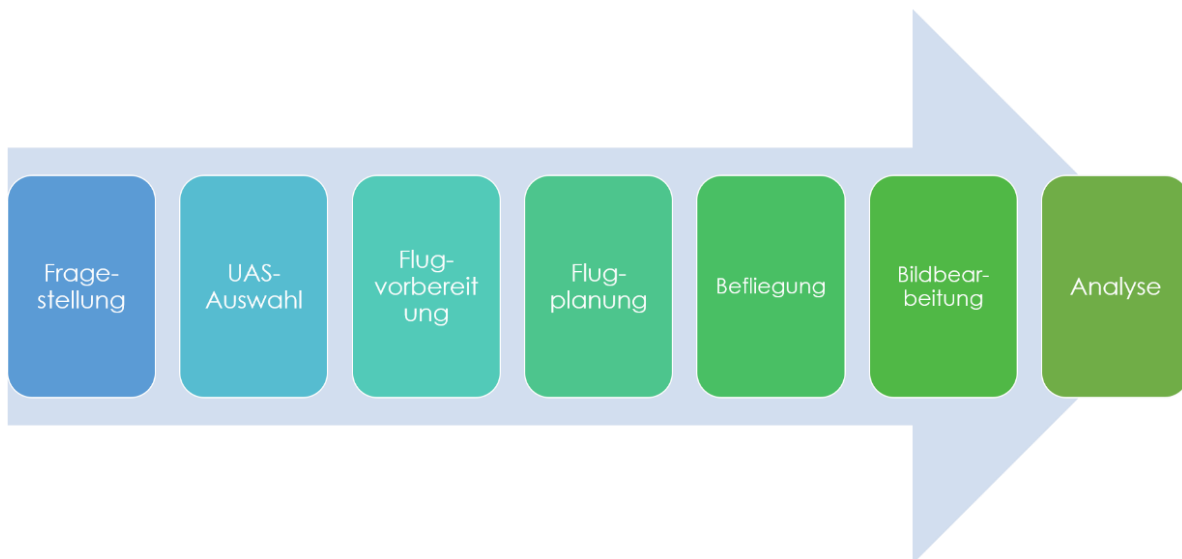


Abb. 2: Workflow beim Drohnenmonitoring (Döring, 2021)



# 01 KAUF



Bevor man mit dem Drohnen-Monitoring starten kann, ist es wichtig, das passende Equipment zu erwerben.

Dazu sollte man als erstes überlegen, wo und wofür man eine Drohne einsetzen möchte, wie viel Geld man investieren kann und welche Sensoren benötigt werden. Diese Faktoren sind entscheidend bei der Wahl des Drohnenmodells und der zugehörigen Ausstattung.

Folgendes Kapitel gibt eine kurze Einführung in die wichtigsten Punkte, die man beachten sollte, um eine Drohne mit passendem Equipment zu erwerben, die den gesteckten Anforderungen bestmöglich entspricht.

## BEDARFSANALYSE

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.

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

### Wie groß ist das durchschnittlich zu untersuchende/befliegende Gebiet?

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 = Vertical Take-Off and Landing) und hoher Flächenleistung durch lange Flugzeiten entscheiden.

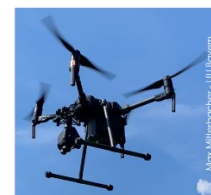
#### Multikopter



(Döring, 2021)

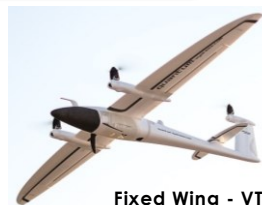


(Döring, 2019)



Max. Mitterbacher - 1010 Bomm  
(Maximilian Mitterbacher, 2021)

#### Starrflügler/VTOL



Fixed Wing - VTOL  
([Skyscrab](#), 2023)



Tailsitter - VTOL  
(Dempewolf, 2023)

Wie groß sind normalerweise die kleinsten zu untersuchenden Objekte? Welche Auflösungen der Kamera(s) werden dazu benötigt und auf welcher Höhe kann geflogen werden?

Für das Monitoring von sehr großen Gebieten empfiehlt sich die Kombination von Drohnen- mit 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- mit den niedriger aufgelösten Satelliten- aufnahmen genutzt werden ([HORN, 2021](#)), ([FASSNACHT ET AL., 2021](#)), ([KIT, 2020](#)).

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.

Kann man auch niedriger fliegen, um die Auflösung zu verbessern, reicht oft eine kleine Drohne 'von der Stange'.

Drohne/Multikopter oder Drohne/Starrflügler bzw. bemannte Befliegung?








<b>Skalierung/Größe</b>	das kleinste zu untersuchenden Objekt bedingt die Auflösung (Fläche/Pixel) und damit mögliche Flughöhe und Flächenleistung	
<b>Flächengröße</b>	je größer →	
<b>Auflösung</b>	je höher →	
<b>Flächen-Geometrie</b>	je verzwickter - z.B. enge Täler →	
	lange Strecken (z.B. Flüsse) & gleichförmig über große Flächen → oft günstiger (10 bis 12 €/km² bei 22.000 km² Auftragsvolumen)	
<b>Zeithorizont</b>	je schneller →	
<b>Flug-Bedingungen</b>	je gleichförmigere Bedingungen nötig sind (Zeit, Belichtung, Wasserstand, andere zeitkritische Faktoren) →	
<b>Ausschreibung</b> oder <b>eigene Befliegung</b>	→ <b>das ist hier die Frage!</b>	

Abb. 3: 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 Multi-sensor-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?**

Offt 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 Bio-monitoring, Vermessung, Bau) eine potenzielle Klientel mit den nötigen Aufträgen?

Verdienstmöglichkeiten, Amortisierungspotenzial (durch Weitergabe der Kosten an die Kunden) und expandierende Märkte für Drohnendienstleister 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.**

## DROHNENTECHNIK

Hat man sich letztendlich zum Kauf und Einsatz einer Drohne entschlossen, muss man sich klar werden, welche Art von Drohne aus technischer Sicht für die angedachten Zwecke am sinnvollsten wäre. Ausführliche Erklärungen dazu findet man bei ([Eltner et al., 2022, S. 37 ff.](#)).

Tab. 1: Einteilung von Unbemannten Fluggeräten - angelehnt an ([Tmušić et al., 2020](#))

Plattform	Vor- und Nachteile	Flugzeit/Flächenleistung
<b>Multikopter (elektrisch) - klassische Drohne mit 3 bis 12 Rotoren (s. oben)</b>		
einfach zu handeln, von der Stange	hohe Flexibilität, schnell einsetzbar	Flugzeit zw. 20 bis 40 Minuten Flächenleistung <b>mehrere Hektar</b> - 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. <b>500 - 6.000 €</b>		 Abb. 4 Projektdrohne (Döring, 2020)
mehrere Sensoren möglich, bis 25 kg	Zuladung bis 10 kg	
	vielseitig durch wechselbare Sensoren	
	schwerer und sperriger - Auto zum Transport nötig	
	Genehmigungen aufwendig	
	gute Planung nötig	
Kosten: ca. <b>10.000 - 40.000 €</b>		 Abb. 5: Projektdrohne (Mitterbacher & LfU Bayern, 2021)
<b>Starrflügler (elektrisch)</b>		
je nach Modell auch mehrere Sensoren parallel möglich	in Anlehnung an Modellflugzeuge mit mind. 1 Propeller zum Vorwärtstrieb	Flugzeiten > 1 bis mehrere Stunden Flächenleistung <b>einige km²</b> - abhängig v.a. von Flughöhe
	gute Flächenleistung	
	Handstart möglich	
	+ - höhere Fluggeschwindigkeit	
	genügend Landeplatz nötig	
	Planung aufwendiger	
erfahrener Pilot nötig		 Abb. 6: Starrflügler ( <a href="#">M. Paetzold</a> )



	Kosten: ca. <b>10.000 - 30.000 €</b>	
<b>Hybrid VTOL</b> (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 <b>mehrere km<sup>2</sup></b> - abhängig v.a. von Flughöhe
	Senkrechtstart und -landung	
	hohe Flächenleistung	
	Planung aufwendiger	
	erfahrener Pilot nötig	
	mechanisch komplexe Systeme	
	Kosten: ca. <b>20.000 - 50.000 €</b>	



Abb. 7: VTOL (Skyscrab, 2020)

Verschiedene Eigenschaften und Elemente einer Drohne hängen zusammen und bedingen sowohl den Preis als auch die Einordnung in unterschiedliche Drohnenklassen. Mit der Auflösung, der

Qualität und der Art des *Payloads*, also des Zusatzgewichts der Sensoren, steigt der Aufwand für Transport und Genehmigungen, als auch das Gewicht und der Preis (Abb. 8).

	250 gr	900 gr	5 kg - 25 kg
Sensorgroße			
Auflösung			
div. Payloads			
Flughöhe			
Transportaufwand			
Gewicht			
Rechtlicher Aufwand			
Preis			

Abb. 8: Zusammenhänge verschiedener Faktoren mit der Modell-Klasse (Döring, 2021)



## FALTBARE MULTIKOPTER-MODELLE

Das Forschungsprojekt *DroBio*, hatte zum Ziel, den Einsatz möglichst einfach zu bedienender, leichter und rechtlich weniger anspruchsvoller und gut transportabler Drohnenmodelle zu untersuchen. Dazu wurde eine faltbare *DJI Mavic 2 Pro* gemietet. Sie 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.

### Vorteile von faltbaren Modellen

<b>klein + einfach transportierbar</b> (klappbar, passen in kleine Tragetasche wie ein Fernglas)
einfaches <b>Handling</b>
<b>Sensoren</b> - sind für die meisten hier angedachten Zwecke ausreichend (die Sensorgröße und damit das jeweilige Modell muss gemäß der Anwendung gewählt werden)
<b>rechtlich unproblematischer</b> durch geringes Gewicht und Größe - s. <a href="#">hier</a>

In Tab. 2 ist eine Auswahl an faltbaren Koptermodellen mit ihren wichtigsten Spezifikationen vorgestellt. Die Webseiten mit den kompletten Spezifikationen sind in den Überschriften verlinkt.

Tab. 2: Spezifikationen dreier faltbarer Drohnenmodelle (Döring, 2022)

	<a href="#">DJI Mavic 2 Pro</a>	<a href="#">DJI Air 2S</a>	<a href="#">DJI Mini 3 Pro</a>
Gewicht	907 gr.	595 gr.	249 gr.
Kamera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1" CMOS</li> <li>• Auflösung: 20 MP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1" CMOS</li> <li>• Auflösung: 20 MP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/1,3" CMOS</li> <li>• 48 MP effektiv</li> </ul>
Fotoformate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• JPEG</li> <li>• DNG (RAW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• JPEG</li> <li>• DNG (RAW)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• JPEG</li> <li>• DNG (RAW)</li> </ul>
<b>Recht</b>	<a href="#">EU Drohnenverordnung für DJI Mavic 2 PRO / Zoom</a>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>unter 250 gr.</b> → rechtlich am 'unkompliziertesten' (<a href="#">drohnen.de, 2022b</a>)</li> <li>• z.B. für Gebietskontrollen und Besucherlenkung</li> </ul>
<b>Besonderheiten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nicht mehr im Handel erhältlich</li> <li>• das Nachfolgemodell <b>Mavic 3</b> ist auf dem Markt und wurde als erstes Drohnenmodell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• evtl. als Ersatz der Mavic 2 Pro</li> <li>• Hinderniserkennung in vier Richtungen zur Verfügung – nach oben, nach unten, nach vorn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gute, aber kleinere Kamera</li> <li>• viele Abstandssensoren etc. (<a href="#">drohnen.de, 2022d</a>)</li> <li>• wurde von einer Vermessungsfirma getestet (<a href="#">Dannenbauer, 2022</a>) und aufgrund ihrer guten Performance für Vermessungs- und damit auch</li> </ul>

	überhaupt <b>LuftVO-konform zertifiziert.</b>	und nach hinten → evtl. besser ge- eigneter für Fels- befliegungen	Monitoringaufgaben als gut nutzbar eingestuft
<b>Alternative Modelle an- derer Mar- ken</b>	Alternativen zu den DJI-Modellen sind v.a. <a href="#">Autel</a> (EVO Modelle), <a href="#">Parrot (Anafi Modelle)</a> - diesen begegnet man vereinzelt in wissenschaftlichen Veröffentlichungen. <a href="https://drohnen-lexikon.de/marken/dji-alternative/">https://drohnen-lexikon.de/marken/dji-alternative/</a> - zu diesen Modellen konnte weder etwas in wissenschaftlichen Veröffentlichungen recherchiert werden, noch liegen Erfahrungsberichte von Kollegen vor.		

## MODELLE MIT ANDEREN SENSOREN

Folgende Drohnen-Modelle, eignen sich ebenfalls gut für Monitoringaufgaben im Naturschutz, da sie einfach zu bedienen, leicht, transportabel und noch vergleichsweise preiswert (< 10.000 €) sind. Einige ermöglichen außerdem, das Spektrum an Untersuchungsmöglichkeiten durch andere angebaute Sensoren mit verschiedenen Wellenlängen zu erweitern.

### DJI Phantom 4 RTK

Die DJI Phantom 4 RTK (P4 RTK) ist mit ihrem hochgenauen Satelliten-Positionssystem (GNSS-System) und einer 1" RGB-Kamera als Vermessungsdrohne konzipiert worden. Sie ermöglicht es, Fotos mit einer Lagegenauigkeit von  $\leq 5$  cm horizontal und vertikal aufzunehmen, was meist den Ansprüchen an die Genauigkeit von Vermessungsdaten genügt.

Die Positions-Koordinaten werden im RTK-Modus (*Real Time Kinematic*) schon während des Fluges in Echtzeit korrigiert, können aber auch im Nachgang, im sogenannten *Post-Processing (PPK)*, mit den aufgezeichneten Satellitendaten korrigiert werden.

Wer mehr dazu wissen möchte, kann sich z.B. in der Abhandlung von [Eltner et](#)

Die preisgünstigeren Modelle unter 3.000 € sind alle meist nur mit RGB-Kameras ausgerüstet.

Bei den Modellen bis circa 6.000 € sind oft Thermal- oder Multispektral-Kameras plus eine zusätzliche RGB-Kamera für den visuellen Abgleich fest installiert.

Erst ab ca. 10.000 € gibt es Trägermodelle, bei denen Sensoren und anderes Payload gewechselt werden können - s. [Sensoren als Payload](#).

[al., 2022, S. 87 ff.](#)) ausführlich darüber informieren.

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

Es wird aber dennoch empfohlen, zur Qualitäts-Prüfung immer ein paar *Checkpoints* geodätisch einzumessen.

In Tab. 3 wird die P4 RTK im Vergleich mit ihrer Nachfolgerin der DJI Mavic 3E betrachtet.

Tab. 3: 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	<a href="https://www.dji.com/de/phantom-4-rtk?site=brandsite&amp;from=nav">https://www.dji.com/de/phantom-4-rtk?site=brandsite&amp;from=nav</a>	<a href="#">DJI Mavic 3 Enterprise Serie - Technische Daten - DJI</a>
Alternative	Yuneec: <a href="#">H520 RTK</a>	

Die P4 RTK war der Vorläufer für die folgende DJI Phantom Multispektral.

### DJI Phantom Multispektral RTK

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

Sie ist auch für unerfahrene Nutzer relativ einfach zu bedienen und liefert durch ihr integriertes RTK-System noch dazu hochgenau verortete Bilder ([DI GENNARO ET AL., 2022](#)). Mit ihrem durch sechs Einzel-

sensoren (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.).

In Tab. 4 wird die *P4 Multispektral* ebenfalls mit ihrer Nachfolgerin der DJI Mavic 3M verglichen.

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

Parameter	Phantom Multispectral	Mavic 3M
Sensoren	<b>Sensoren:</b> 6 × 1/2,9-Zoll-CMOS Pro Sensor: 2.08 MP (2.12 MP gesamt)	<b>RGB:</b> 4/3 CMOS, 20 MP <b>Multispektral:</b> 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 + Bei- Dou alle Dualband L1 + L2
Bodenauflö- sung (GSD)	(H/18,9) cm/Pixel, H steht für die Flughöhe in Bezug auf den kar- tierten Bereich (Einheit: m)	
alle Spezifikati- onen	<a href="https://www.dji.com/de/p4-multispectral/specs">https://www.dji.com/de/p4-multispectral/specs</a>	<a href="https://aq.dji.com/de/mavic-3m/specs">https://aq.dji.com/de/mavic-3m/specs</a>
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) war bis vor kurzem DIE Drohne für Wildtierbefliegungen und Thermalinspektionen. Sie hatte erst unlängst die Lücke zwischen den damals auch recht kostenintensiven Systemen mit gering auflösender Thermalkamera (2.500 bis 5.000 €) und den High-End-Systemen, die noch das Doppelte und Dreifache gekostet haben (10.000 € bis 15.000 € und mehr), geschlossen.

Mit ca. 6.000 € ohne Zubehör hatte sie sich als beliebte Drohne für die Wild-

tierrettung etabliert, u.a. da sie nicht schwer zu bedienen ist und die höchste frei erwerbbar Auflösung (640 × 512) mit einer hohen Bildwiederholungsfrequenz von 30 Hz besitzt. Sie hat geringe Ausmaße, ist klappbar und leicht zu transportieren.

Sie wurde Ende 2022 von der neuen Mavic 3T abgelöst.

In Tab. 5 wird die M2EA ihrer Nachfolgerin der DJI Mavic 3T gegenübergestellt.

Tab. 5: DJI Mavic 2 Enterprise Advanced im Vergleich mit Nachfolgerin Mavic 3T (nach [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: 8x (56x 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 <a href="#">FlightHub 2</a> - Echtzeit-Online-Übertragung der Daten (z.B. auf Smartphone der Helfer bei der Wildtierrettung) - schnelles Eingreifen möglich
alle Spezifikationen	<a href="https://www.dji.com/de/mavic-2-enterprise-advanced/specs">https://www.dji.com/de/mavic-2-enterprise-advanced/specs</a>	<a href="https://www.dji.com/de/mavic-3-enterprise/specs">https://www.dji.com/de/mavic-3-enterprise/specs</a>
Alternativen	DJI: <a href="#">Matrice 30</a> , Autel: <a href="#">EVO II Dual 640T</a> , <a href="#">EVO Max 4T</a>	

## SENSOREN ALS PAYLOAD

Entscheidet man sich aber für ein höherpreisiges Drohnenmodell mit wechselbaren Sensoren - z.B. [DJI Inspire 2](#), [DJI Matrice 300 RTK](#), [Yuneec H850 RTK](#) oder in Deutschland gefertigte Modelle wie von den Firmen [Microdrones](#), [Copting](#), [Cadmic](#), [Multikopter](#), [Vectorbirds](#) oder [Exabotix](#), kommt jetzt die Qual der Wahl der einzusetzenden Sensoren.

In einer ausführlichen Metaanalyse zweier Forschenden wurden die ge-

bräuchlichsten Sensoren mit ihren spezifischen Eigenschaften zusammengestellt ([JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019](#)).

Jeder Sensor hat seine individuelle Auflösung, Bandbreite usw., die man kennen muss, um ihn richtig einsetzen zu können.

Die meisten Sensoren sind passive Kameras mit unterschiedlichen spektralen Erfassungsbereichen (Tab. 6).

Tab. 6: Sensoren, Preishorizonte und Einsatzgebiete (Döring, 2022), verändert nach (JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019)

Spektrum	Typ	Kosten	mögliche Verwendung
<b>RGB</b> (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), Erdbebenkartierung, Einzelbaum, Videos ...
<b>Thermal</b> (Kamera) Mittel- bis Langwelliges Thermisches Infrarot (MWIR, LWIR)	passiv	3.000 - 6.000 €	Tiermonitoring/-suche, Nestsuche, Waldbranddetektion, Inspektion, Bodentemperatur, Vulkanologie, Überwachung/Schutz von Objekten oder Gebieten
<b>Multispektral</b> (Kamera) nahes Infrarot (NIR) 3 - 12 Bänder	passiv	3.000 - 6.000 €	Pflanzenvitalität, Vegetations-Indizes, Wasserqualität, geologische Untersuchungen
<b>Hyperspektral</b> (Kamera) viele Spektren - bis 100 Bänder	passiv	mehrere 10.000 €	Vegetationsmonitoring, biophysikalische Untersuchungen, ökologische Prozesse, Waldgesundheit, Chlorophyll-Gehalt, Insekten-Befall
<b>Laserscanning</b> (LiDAR-Scanner) 1 - 2 Spektren	aktiv	12.000 - 250.000 €	3D-Modelle, topografische Höhenmodelle, Waldinventur (Struktur, Biomasse, Baumvolumen, Kronenhöhe ...)
s. auch - <a href="#">Drone technologies for conservation</a> - (DUFFY ET AL., 2020, S. 24 FF.)			

## SENSOR-AUFLÖSUNG

Besonders beim Mapping mit RGB-Sensoren kommt es oft auf eine hohe Detailtiefe an. Die **Bodenauflösung** (Ground

*Solution Distance* = **GSD**) gibt an, wie viele Zentimeter Kantenlänge eine Rasterzelle in dem resultierenden Bild hat.





Abb. 9: Zusammenhang von Flughöhe und GSD (abgeändert nach [pix4d, 2019](#))

Die Auflösung wirkt sich auf die Darstellung einzelner Objekte und generell auf die 'Schärfe' des Bildes aus.

In Abb. 9 wird die Maschine, mit 5 cm GSD aufgenommen, noch mit deutlichen Details gezeigt.

Mit einer GSD von 30 cm sind diese jedoch nur noch verwaschen zu sehen.

Daraus ergeben sich bei gleichem Sensor folgende Schlussfolgerungen:

niedrigere Flughöhe	höhere Bodenauflösung
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ geringere Effizienz durch längere Flugzeiten pro Fläche →               <ul style="list-style-type: none"> <li>• weniger Flächenabdeckung/Akku</li> </ul> </li> </ul>	
größere Flughöhe	geringere Bodenauflösung
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ höhere Effizienz durch geringere Flugzeiten pro Fläche →               <ul style="list-style-type: none"> <li>• mehr Flächenabdeckung/Akku</li> </ul> </li> </ul>	
<p><b>Objekte, die kleiner sind als die Bodenauflösung (GSD), werden nur mit/in einem Pixel dargestellt, sind also nicht mehr als einzelne Objekte erkennbar.</b> Das spielt z.B. dann eine Rolle, wenn man Pflanzen mit der Drohne auf Artenniveau identifizieren will.</p>	

In Tab. 7 werden die Auflösungen der Kameras der oben beschriebenen faltbaren Drohnen mit der momentan populären [Zenmuse P1](#) von DJI, als höher auflösendem RGB-Sensor, auf bestimmten Flughöhen verglichen.

Dies ermöglicht eine Abschätzung der für die angestrebte Untersuchung sinnvollen Flughöhe und nötigen Kameraauflösung.

Tab. 7: Auflösung verschiedener Drohnensensoren nach Flughöhen (Döring, 2021)

Drohne / Sensor	Sensorgröße	25 m	50 m	75 m	100 m
DJI Zenmuse P1 Abdeckung	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 Abdeckung	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

Wie man sehen kann, lösen auch die kleineren Kameras bereits rel. hoch auf und ermöglichen auch schon die Aufnahme hochwertiger Daten.

Ein großer Vorteil hochwertigerer Kameras liegt in der Größe ihres Sensors. Je größer dieser ist, umso lichtempfindlicher ist die Kamera.

Unter adäquaten Bedingungen mit gutem Licht (s. [Parameter für gute Bilder](#)) reichen jedoch die kleineren Sensoren für die meisten Fragestellungen aus.

Man sollte zudem beachten, dass ein größerer Sensor normalerweise die Da-

tenmenge der aufgenommenen Bilder um einen erheblichen Faktor anwachsen lässt. Das wiederum wirkt sich auf den vorzuhaltenden Speicherplatz und die Prozessierung (Zeit und PC-Power) der Bilder aus.

Zu Schluss des Themas Sensoren noch ein Beispiel, das die Zusammenhänge zwischen Sensor (Kamera) und seiner Auflösung, der Flughöhe und der möglichen Flächenleistung aufzeigt (Tab. 8). Der beschriebene Sensor ist ein Zoll groß, ebenso wie bei der *Mavic 2 Pro*.

Tab. 8: Flughöhe, Auflösung, Flächenleistung und Genauigkeit der DJI Phantom 4 RTK (abgeändert nach [Aerotas, 2022a](#))

Flughöhe [m]	Auflösung (GSD) [cm Pixelgröße]	Flächenleistung [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

Wenn hier die Informationen zu Modellen der Firma DJI (*Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd.*) überwiegen, soll das keine Werbung sein. Man kommt jedoch um diese Firma nicht herum, wenn man kostengünstige, verlässliche und einfach zu bedienende Drohnenmodelle sucht.

Im Laufe der letzten Jahre hat sich der Markt für semi-professionelle Drohnen (Prosumer-Drohnen) mit guter Qualität und brauchbaren Kameras auf den chinesischen Hersteller DJI hin zugespitzt - mit 76 % Marktanteil an den kommerziellen Drohnenverkäufen und 94 % am Privatkunden-Sektor ([SIMMIE, 2021](#)).

Das Angebot an verschiedenen Modellen ist groß ([KOPTER-PROFI, 2022C](#)) und im Preis-Leistungs-Verhältnis weitestgehend

unschlagbar ([BENOWITZ, 2021](#)). DJI ist Weltmarktführer, gefolgt von vier anderen Firmen im nennenswerten niedrigen einstelligen Prozentbereich ([STATISTA, 2022](#)). Viele weitere kleinere Anbieter machen zusammen die restlichen 11.2 % aus (Tab. 9).

Tab. 9: Drohnenhersteller und Marktanteile (nach [statista, 2022](#))

Hersteller	Marktanteil 2021
DJI	76 %
Intel	4.1 %
Yuneec	3.6 %
3D Robotics	2.6 %
Parrot	2.5 %
Andere	11.2 %

## EXKURS DJI-FERNSTEUERUNG

Für automatisierte Kartieraufgaben sollte man für die 'normalen' DJI-Drohnenmodelle unbedingt eine einfache **Fernsteuerung für die Nutzung in Verbindung mit einem Smartphone oder Tablet kaufen** → nur darauf laufen Apps von Drittanbietern für einfach planbare Rasterflüge!!!

**Nur** bei den **Enterprise Modellen** ist auf den Smart-Fernsteuerungen/Controllern die DJI-eigene App (**DJI Pilot**) mit der Möglichkeit für Rasterflüge (*Mapping*) freigeschaltet.

Die Installation 'über Umwege' und Nutzung von **externen Apps** (auch *Litchi*) auf einem 'normalen' **DJI Smart-Controller** führt zum Verlust der Gewährleistung und wahrscheinlich auch der Versicherungshaftung!

## NÜTZLICHE ZUSATZ-HARDWARE

Das Fluggerät mit seinem direkten Zubehör reicht meist nicht aus, um alle Befliegungsaufgaben effektiv und bequem erledigen zu können.

Folgende Ausrüstungsgegenstände haben sich im Laufe der letzten Jahre in der privaten wie beruflichen Nutzung bewährt und können uneingeschränkt weiterempfohlen werden:

**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. Diese beiden Modelle haben sich im Dauergebrauch bewährt: der [Aviator Drohnen Rucksack D1](#) (MANFROTTO, 2022) und der [Drone-Guard 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 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 'Bastelversion' des ursprünglichen Grundsystems - 'angeklettet' an ein Smartphone.

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



Abb. 10: GNSS-System (Döring, 2021)

- 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.

# 02 VORBEREITUNG

## VORBEREITUNGEN ZUM FLIEGEN

Im Juni 2021 wurden die Regeln für Drohnen europaweit vereinheitlicht und die LuftVO in Deutschland entsprechend erneuert. Da sie Teil des für alle Drohnenmodelle, die zum Monitoring geeignet sind, notwendigen Kenntnissnachweises ist, wird sie als bekannt vorausgesetzt.

Die Kurzanleitung "[Schnell in die Luft](#)" der neuen **digitalen Plattform** für die **unbe-**

mannte **Luftfahrt (DIPUL)** des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr ([BMDV, 2022](#)) soll dem Nutzer einen einfachen Einstieg in die Bedingungen des Drohnefliegens ermöglichen.

Deswegen hier nur ein kurzer Überblick über die wichtigsten Regeln (Tab. 10):

Tab. 10: Neue LuftVO - Kurzübersicht (Döring, 2022)

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

Für die wichtigsten Etappen hin zu einer erfolgreichen Flug-Mission wurden Checklisten erstellt, die an die wichtigsten Punkte erinnern sollen. Sie können ausgedruckt und sukzessive abgearbeitet und abgehakt werden.

Alle Checklisten wurden zur Weiterverwendung erstellt und dürfen mit kor-

rekter Autoren-Angabe ohne Einschränkungen verwendet werden. Die Kurzversionen zum Ausdrucken sind hinten angehängt.

Die erste der Checklisten, gibt Hilfestellungen und Empfehlungen zu den generellen Voraussetzungen für Drohneinsätze.



## CHECKLISTE GENERELLE VORAUSSETZUNGEN

Checkliste - Generelle Voraussetzungen	OK
<p>Der <b>EU-Kompetenznachweis A1/A3</b> ist grundsätzlich für Drohnen &gt; 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 - <a href="https://lba-openuav.de">https://lba-openuav.de</a> - absolviert werden -</p>	
<p>Das <b>EU-Fernpilotenzeugnis A2</b> kann bei allen zertifizierten Prüfstellen in Präsenz, bei einigen auch Online absolviert werden - siehe z.B. <a href="#">Neuer Drohnenführerschein nach EU-Drohnenverordnung 2021</a> (DROHNEN.DE, 2022C)</p> <p>Das A2-Fernpilotenzeugnis baut auf dem A1/A3 Schein auf und man kann ihn ambitionierteren und professionellen Piloten nur <b>wärmstens empfehlen, da er in puncto Flugmöglichkeiten einiges erleichtern kann!</b></p>	
<p>Die <b>Registrierung des Piloten/Betreibers</b> (+ Betreiber-ID auf Drohne) erfolgt hier - <a href="https://uas-registration.lba-openuav.de/#/registration/uasOperator">https://uas-registration.lba-openuav.de/#/registration/uasOperator</a></p>	
<p>Für alle zum Monitoring geeigneten Drohnen ist eine <b>Haftpflichtversicherung</b> gesetzlich vorgeschrieben. Eine Drohnenversicherung gibt es bereits ab wenigen Euro pro Jahr. Vergleiche und Angebote sind im Internet zu finden - z.B. hier <a href="#">Drohnen Versicherung / Haftpflicht im Vergleich</a> (DROHNEN.DE, 2022A) oder <a href="#">Drohnenversicherung - Drohnen-Haftpflicht</a> (KOPTERPROFI.DE).</p> <p><b>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</b> - s. (<a href="#">VERSICHERTEDROHNE MAGAZIN, 2022</a>).</p>	
<p>Das <b>eigene Training</b> zur sicheren Beherrschung der Drohne ist selbstverständlich immer nötig! Dazu ist es vorgeschrieben, dass der Pilot sich <b>gut mit dem Handbuch und den Steuer-Befehlen für die Drohne vertraut</b> macht, um im Falle unvorhergesehener Zwischenfälle die Drohne manuell übernehmen und landen zu können.</p> <p>Für das A2-Fernpilotenzeugnis ist aber <b>verpflichtend</b> ein praktisches Selbst-Training (<a href="#">KOPTER-PROFI, 2021</a>) durchzuführen und dies schriftlich zu bestätigen (<a href="#">DROHNEN.DE, 2022D</a>).</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>	

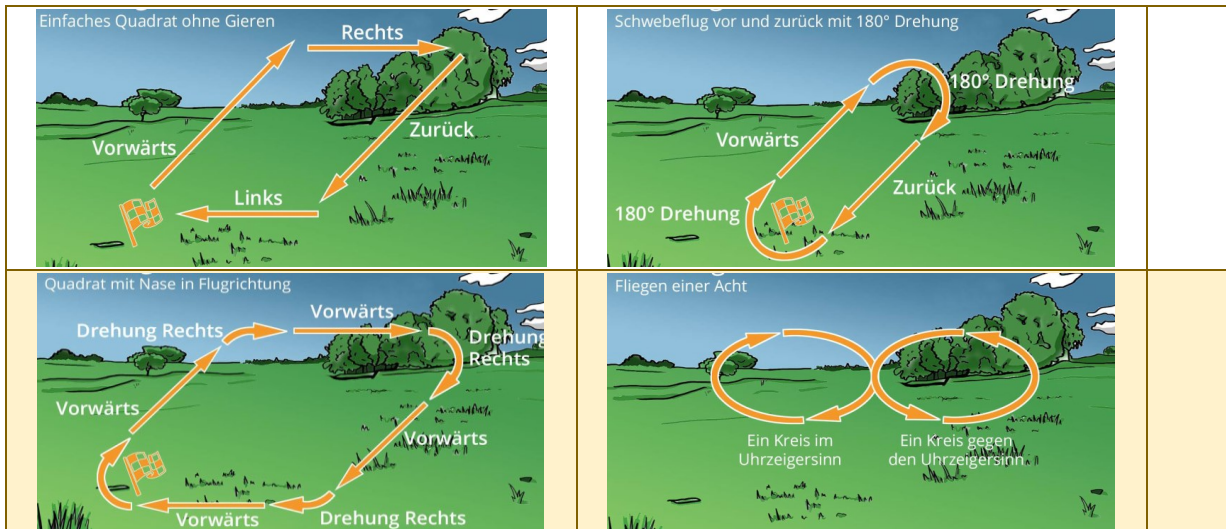


Abb. 11: Praktisches Flugtraining (mit Erlaubnis von [kopter-profi, 2021](#))

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).

## VORBEREITUNG EINER FLUGMISSION

Insbesondere bei gezielten Fragestellungen, die durch Drohnenbefliegungen beantwortet werden sollen, ist eine sorgfältige Planung der Missionen von großer Bedeutung. Die folgende Checkliste enthält relevante Aspekte und Maßnahmen, die bei der professionellen Vorbereitung eines Drohnenflugs berücksichtigt werden sollten.

### CHECKLISTE MISSIONSVORBEREITUNG

Checkliste - Missionsvorbereitung	OK
<p><b>Einsatz-Gebiet definieren</b> (lassen) – z.B. als <b>KML-Datei</b> aus <b>Google Earth!</b> Nutzbar</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zur Beantragung einer <b>Genehmigung</b>.</li> <li>• zur <b>Flugplanung</b> - kann in die meisten Drohnen-Flugcomputer geladen werden.</li> <li>• 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. <a href="#">Kapitel Wildtierrettung</a>.</li> </ul>	
<p><b>Geo-Zonen</b> überprüfen! <b>am PC</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die <b>Geoportale der Länder</b> sind die sicherste Quelle für Informationen zu Schutzgebieten - s. Tabelle <a href="#">Geoportale der Bundesländer</a> .</li> <li>• Die neue <b>Webseite vom Bundesministerium</b> für Digitales und Verkehr (BMDV) + der Deutschen Flugsicherung (DFS) <a href="#">Dipul</a> bietet u.a. ein <i>Map-tool</i> und ist nach Aussage des BMDV rechtssicher bezüglich der Lage und Anzahl der Geozonen.</li> <li>• <a href="#">FlyNex</a> 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 - <a href="#">Map2Fly</a> - verwendet werden.</li> </ul> <p><b>in Apps auf dem Smartphone</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwei weitere Apps für das Smartphone sind die <a href="#">Droniq App</a> und die <a href="#">Kopter-Profi App</a></li> </ul>	
<p><b>Genehmigungspflichten</b> abprüfen!</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Für <b>BW</b> findet man die nötigen Informationen hier - <a href="https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/verkehr/luft/seiten/drohnen">https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/verkehr/luft/seiten/drohnen</a>. Einige Bundesländer haben die Genehmigungsbefugnis an das Luftfahrtbundesamt (LBA) abgegeben. Welche das sind, kann man in der Tabelle <a href="#">Liste der Landesluftfahrtbehörden der Länder</a> (in weißen Feldern) herauslesen.</li> <li>• <b>Genehmigungen rechtzeitig beantragen!</b></li> </ul>	

<p>Folgende Stellen müssen ggf. um Genehmigung ersucht werden (seit 07/2022 auch durch andere <a href="#">Behörden</a> - außer BOS im Einsatzfall):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• die zuständigen <b>Naturschutzbehörden</b> für <b>Flüge in Schutzgebieten unter 100 m</b></li> <li>• die <b>Betreiber der Stromnetze</b> nahe <b>Hochspannungsleitungen</b></li> <li>• die <b>Verwaltung der DB</b> in Nähe des <b>Eisenbahn-Streckennetzes</b> oder</li> <li>• die <b>BAB-Verwaltung</b> nahe <b>Autobahnen</b> und</li> <li>• <b>für andere geschützte Lufträume die jeweils zuständigen Stellen</b> - s. z.B. (<a href="#">drohnen.de, 2021</a>)</li> </ul>	
<p><b>Kontakt mit Gebietsbetreuern bzw. Naturschutzverbänden</b> vor Ort aufnehmen!</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Für Befliegungen in Schutzgebieten sollte man die zuständigen Gebietsbetreuer einbinden, <ul style="list-style-type: none"> <li>○ um die Akzeptanz zu fördern und wichtige Informationen zum Gebiet zu erhalten und</li> <li>○ um ggf. notwendige Daten zu bekommen und um die gängige Erhebungs-Methodik zu erfahren und daran anknüpfen zu können.</li> </ul> </li> </ul>	
<p><b>Methodische Absprachen mit Auftraggebern</b> treffen!</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wenn möglich an vorhandene Methodik anknüpfen.</li> <li>• Weitere notwendige Informationen recherchieren.</li> <li>• Das <b>Ground-Truthing</b> (Überprüfung am Boden der in der Luft gesehenen Elemente - wie Pflanzen- und Tierarten oder andere Objekte) <b>vorbereiten</b>.</li> </ul>	
<p><b>Fragestellungen gut definieren!</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Größe des kleinsten zu erfassenden Objekts definieren <ul style="list-style-type: none"> <li>→ bedingt die nötige Bodenauflösung (<b>GSD</b>) - <a href="#">Pix4Dcalculator</a> (Empfehlung für Flughöhen)</li> <li>→ bedingt Abwägung zu Kameraauflösung und Flughöhe</li> </ul> </li> <li>• <b>Output</b> definieren <ul style="list-style-type: none"> <li>○ nur 2D oder auch</li> <li>○ 3D-Objekte - dann ggf. <i>Schräg- oder Obliqueaufnahmen</i> (mit schräg nach vorn gestellter Kamera) einkalkulieren</li> </ul> </li> </ul>	
<p><b>Sensor je nach Fragestellung definieren</b> - RGB, Multispektral, Thermal, Auflösung usw.</p>	
<p>(<a href="#">Baxter &amp; Hamilton, 2018</a>) haben etliche dieser Vorüberlegungen zusammengefasst und auch Wirtschaftlichkeitserwägungen hinzugezogen.</p>	

## FLUGPLANUNG AM PC

Ein erheblicher Anteil der Vorbereitung von Flugmissionen kann am heimischen Computer oder im Büro durchgeführt werden. Folgende Schritte sind hierbei

erforderlich für die ein paar nützliche Programme und Websites kurz vorgestellt werden, die oft selbst bei der Vorbereitung verwendet werden.

### FLUGGEBIET DEFINIEREN

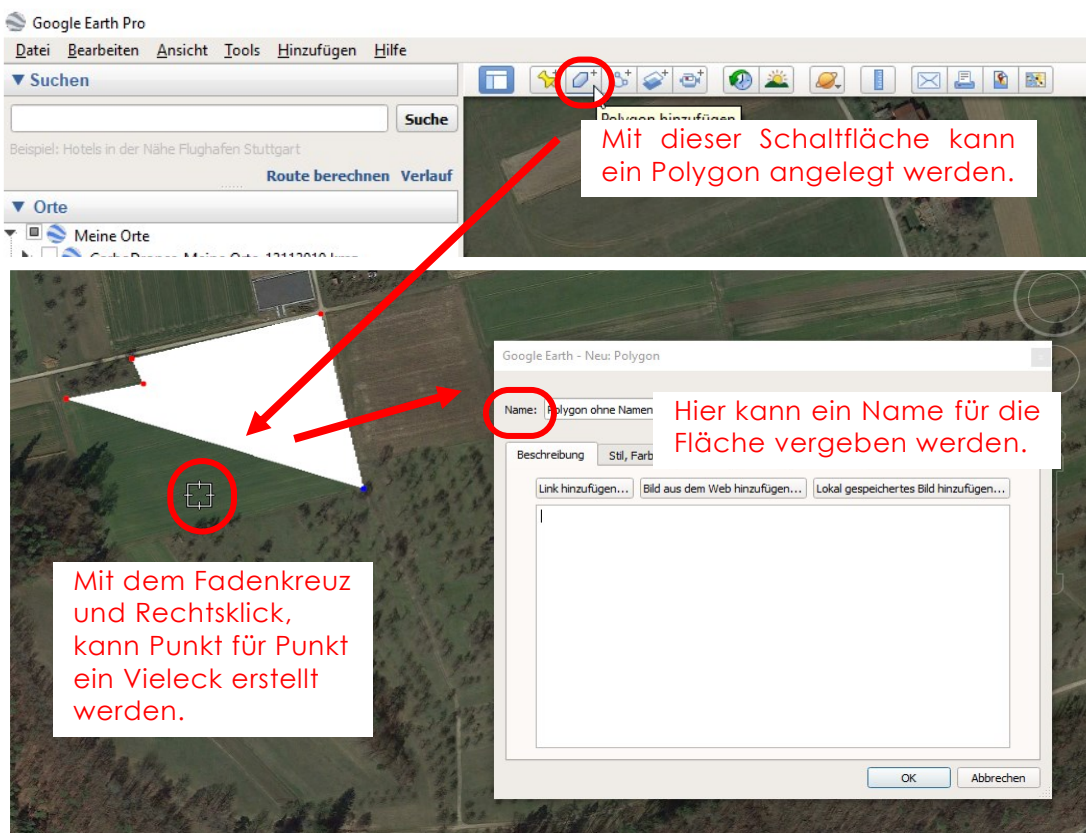
Es gibt zwei einfache Möglichkeiten, um mittels Digitalisierung die Fläche des Untersuchungsgebietes zu erstellen und im KML-Format zu exportieren.

Ein so generiertes KML kann in etliche Flugplanungs-Apps importiert und als Basis zur Flugplanung verwendet werden.

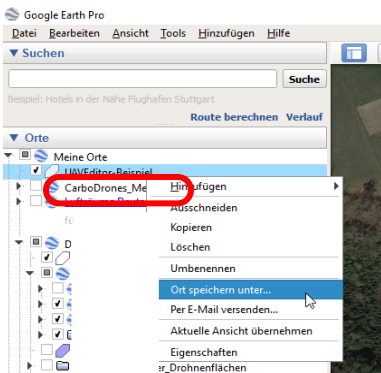
### Google Earth

Mit dem kostenfreien [Google Earth](#) z.B. können Flächen der Untersuchungsgebiete recht einfach *Online* erstellt werden (Abb.12). Diese Flächen können

dann zur Weiterverwendung in der Flugplanung als KML-Format exportiert werden - s. auch ausführliche Anleitung im [LBA-Leitfaden zur Dimensionierung](#).







Mit **Rechtsklick** auf das gewünschte Objekt unter **Meine Orte** (in Abb.12 rot umrandet) kann die Fläche als KML exportiert werden.

**Rechtsklick**

- Ort speichern unter ...
- KML-Format auswählen
- gewünschten Ordner auswählen
- *Speichern*

Abb. 12: Screenshots aus Google Earth (Döring, 2023)

**QGIS**

Die kostenfrei *Open Source Software* **QGIS** kann ebenfalls zur Erstellung von Flächen zur Flugplanung genutzt werden. Die Flächen lassen sich anschließend auch als KMLs exportieren.

Dazu wird ein **Flächenpolygon** erstellt und anschließend der Layer mit **Rechtsklick - Export - Save vector layer as KML** exportiert.

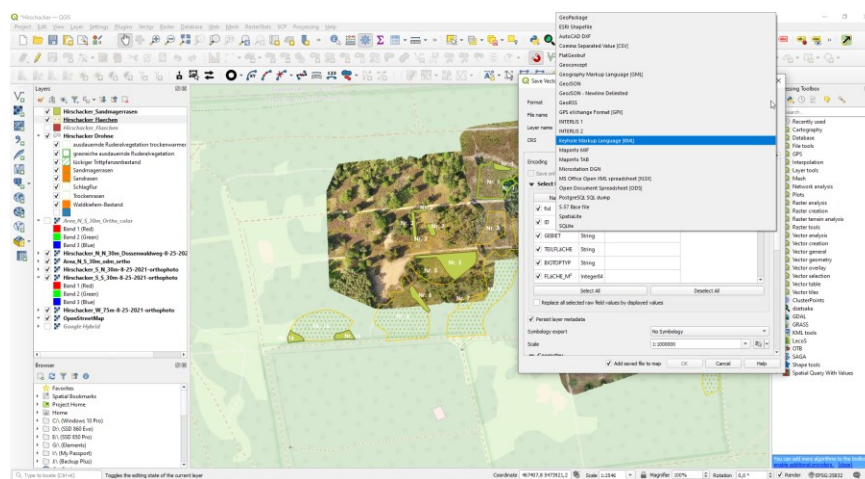


Abb. 13: QGIS - Export als KML (Döring, 2021)



## GEOZONEN PRÜFEN

Als Nächstes muss überprüft werden, ob das Fluggebiet in einer Geozone liegt und damit rechtlichen Einschränkungen unterworfen ist.

Es gibt mehrere Portale/Webseiten, um die Überprüfung am PC durchzuführen. Nicht alle Informationen werden in allen Portalen auf gleiche Weise angezeigt (z.B. sind in manchen Portalen oder

Apps weniger Hochspannungsleitungen zu sehen als reell vorhanden).

Da die Übertragung von Informationen aus offiziellen oder amtlichen Quellen in private Portale unterschiedlich lange dauern kann, variiert die Aktualität der Daten in diesen Portalen.

Um sicherzugehen empfiehlt es sich daher, immer mehrere Portale oder Webseiten zu konsultieren.

### Geoportale der Bundesländer bzw. der Landesumweltämter

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 (Tab. 11) soll den Zugang zu den Geoportalen erleichtern.

Tab. 11: Liste der deutschen Geoportale (Döring, 2021)

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

## dipul

Die **digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt** - <https://dipul.de> - ist das neue 'Drohnen-Portal' des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr. In ihm sollen alle relevanten Informationen rund um das Thema Unbemannte Luftfahrt - also Drohnen - gebündelt werden.

Die Seite stellt ein *Map Tool* (eine Kartenseite) zur Verfügung, auf der die jeweiligen Flugorte gesucht und alle für sie relevanten Geozonen nach [§ 21 h](#) der neuen LuftVO abgefragt werden können (Abb. 14).

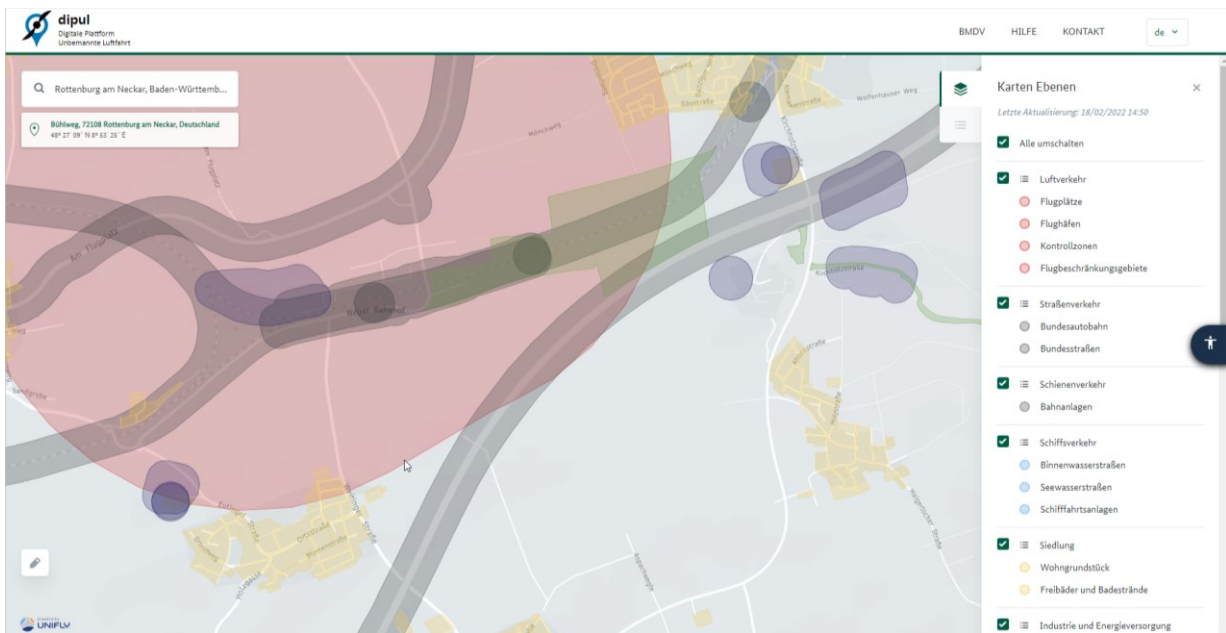


Abb. 14: dipul - Kartenwerkzeug für Geozonen (Döring, 2021)

## flynex

Die private Plattform [map2fly.flynex](https://map2fly.flynex) stellt eine ähnliche Kartenseite zur Verfügung, auf der die jeweiligen Flugorte

gesucht und dann die relevanten Geozonen dafür abgefragt werden können.

## Smartphone-Apps für Geozonen

Vor Ort können die Geozonen, um sicher zu gehen, beispielsweise mit folgenden

Apps (Tab.12) noch einmal auf dem Smartphone überprüft werden:

Tab. 12: Apps für Geozonen (Döring, 2022)

**Map2Fly** (App zum Online-Portal flynex) - [Map2Fly – Google Play](#)

**Droniq** - [Droniq App – Google Play](#)

**Kopterprofi** - [Kopter-Profi App – Google Play](#)

## Liste der Landesluftfahrtbehörden der Länder

Weitere Informationen, z.B. über Anträge für Aufstiegs genehmigungen, können auf den jeweiligen Webseiten der Landesluftfahrtbehörden der Bundesländer eingesehen und gestellt werden.

Tab. 13: Liste der Landesluftfahrtbehörden der Länder (Döring, 2021)

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

Für die Bundesländer in weißen Kästchen ist das Luftfahrt-Bundesamt direkt für die Antragstellung zuständig.

"Die örtliche Zuständigkeit richtet sich bei natürlichen Personen nach dem

Hauptwohnsitz des Antragstellers, bei juristischen Personen nach dem Sitz des Antragstellers." ([LBA, 2023](#))

## CHECKLISTE - DIREKTE FLUGVORBEREITUNG

Checkliste - Flugvorbereitung im Büro/Zuhause	OK
<b>Kopter checken.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software und Firmware sind aktuell und übereinstimmend? Technisch ok?</li> <li>• <b>Nach Updates</b> 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.</li> </ul>	
<b>Batterien</b> laden und einpacken	
<b>KML des Fluggebiets</b> vorbereiten und ggf. auf SD-Karte übertragen	
<b>Hintergrundkarte der FlugApp</b> - 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.	
<b>SD-Karte(n) einlegen und Ersatz mitnehmen</b> - SD-Karte in Drohne und ggf. in Fernsteuerung (z.B. <i>Smart Controller</i> ) einlegen.	
<b>Flugtagebuch</b> einstecken/vorbereiten - physisch auf Papier oder über Apps ( <a href="#">Kopter-Profi</a> , <a href="#">DroneLogbook</a> , <a href="#">AirData</a> ...)	
<b>Führerschein, Versicherungskarte</b> und <b>Genehmigungen</b> einstecken	
<b>Wetter</b> abrufen - am PC oder über Apps <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">UAV Forecast</a> - Winddaten, Sonnenwinde (KP-Index) - PC/App</li> <li>• <a href="#">kachelmannwetter.com</a> - u.a. Winddaten - PC</li> <li>• <a href="#">wetteronline.de</a> - 'einfache' Winddaten - PC</li> <li>• <a href="#">Kopter Profi App</a> - u.a. Geozonen, Sonnenwinde (KP-Index) - App</li> </ul>	
<b>NOTAMs</b> (aktuelle Meldungen über eventuelle Lauftraum-Aktivitäten) für das Fluggebiet prüfen - z.B. <a href="http://www.dfs-ais.de">www.dfs-ais.de</a> oder in <a href="#">Droniq-App</a>	
<b>Zubehör</b> einpacken (Landepads, Absperrband o. Ä.)	
<b>Ground-Truthing-Zubehör</b> und ggf. <b>Vermessungsequipment</b> einpacken	
Ggf. bei der <b>Naturschutzbehörde, die eine Genehmigung erteilt hat</b> , 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.	

## FLUGBUCH



## WETTERBERICHT

**Flugwetter-Empfehlungen** - s. *Parameter für gute Bilder*

- am besten gleichmäßig bewölkt (= gleichmäßige Belichtung, Sonne = auch Schatten)
- nur wenig bis kein Wind
- NICHT fliegen bei starkem Wind, tiefen Temperaturen, Regen oder starken Sonnenwinden (können Elektronik stören - KP-Index beachten)
- möglichst nicht bei stark wechselnder Bewölkung

**Nützliche Webseiten bzw. Apps**

- [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, Sonnenwindaktivität (KP-Index) - **App**

## CHECKLISTE - FLUGVORBEREITUNG VOR ORT

Checkliste - Flugvorbereitung vor Ort	OK
<b>Geo-Zonen</b> vor Ort nochmals über Apps: z.B. <a href="#">Map2Fly</a> , <a href="#">Kopter Profi App</a> , <a href="#">Droniq App</a> überprüfen.	
<b>Überblick über Gelände verschaffen</b> - über Freileitungen, Hindernisse (z.B. Bäume, Gebäude) etc. - alles, was aus Karten und (Online-)Daten nicht herauslesbar ist - und einprägen. <b>Geländeverlauf</b> (Hügel etc.) in <b>Höheneinstellungen</b> einkalkulieren.	
<b>Startplatz</b> auswählen und sichern. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Möglichst vom höchsten Punkt aus starten, so dass die eingestellte Flughöhe immer ausreichend ist!</b></li> <li>• Bei Bedarf selbst absichern oder notwendige Sperrungen veranlassen!</li> </ul>	
<b>Helfer</b> einweisen und <b>beiwohnende Personen zu Beteiligten erklären!</b>	
Wenn ein <b>Flugplatz in der Nähe</b> ist telefonisch Kontakt aufnehmen und, wenn gefordert, bei jedem Flug an- und abmelden.	
<b>Drohne startklar machen.</b> <b>Einstellungen nochmals checken</b> - 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 <b>Hände IMMER am Kontrollgerät</b> (Fernsteuerung, Tablet, Smartphone)!	
Behalte die <b>Drohne</b> und den umgebenden <b>Luftraum IMMER im Auge!</b>	
Ständige <b>Kontrolle der Flugparameter</b> auf Bildschirm (Batterie, Höhe etc.)!	
Bei Gefahr sofort <b>manuelle Kontrolle</b> übernehmen und die Drohne runter (z.B. auf Baumwipfelhöhe bei nahendem Heli) oder ggf. auch zurückbringen!	
Bei <b>attackierendem Greifvogel</b> die Drohne nach oben und vom Vogel weg steuern und entfernen, ggf. landen!	
Die <b>manuelle Kontrolle</b> kann bei DJI <b>durch Abort</b> , das <b>kurze Hin- und Herbewegen des Flugmodus-Hebels</b> (an der Seite) <b>der Fernsteuerung</b> 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.	

# 03 METHODIK

## METHODISCHE VORÜBERLEGUNGEN

Während den Vorbereitungen sollten methodische Überlegungen angestellt und ggf. Absprachen mit den Auftraggebern getroffen werden. Wenn möglich sollten die bereits etablierten Methoden für das jeweilige Monitoringziel übernommen bzw. daran angeknüpft werden.

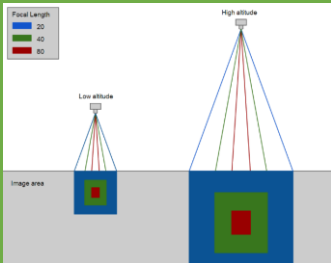
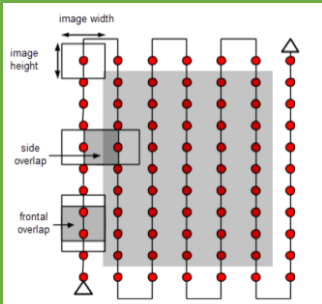

Folgende Punkte (Tab. 14) sollen dabei helfen, die generelle Bedingungen für die geplante Befliegungen festzulegen.



Tab. 14: Methodische Bedingungen (Döring, 2022)

Bedingungen	konkrete Parameter
<b>Jahreszeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welche phänologischen Bedingungen sollen erfasst werden?</li> <li>• Spielt die Blütezeit bestimmter Pflanzen eine Rolle?</li> <li>• Werden die Daten besser im belaubten oder im unbelaubten Zustand aufgenommen?</li> </ul>
<b>Tageszeit &amp; Sonnenstand</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Für <b>Landschaften</b> etc. fliegt man <b>am besten um die Mittagszeit</b>, wenn die Sonne am höchsten steht = weniger Schlagschatten (z.B. Schattenwurf von Bäumen auf Objekte).</li> <li>• Sonnenstand je nach Jahres- und Tageszeit beachten!</li> <li>• Für <b>Thermalbefliegungen</b> empfiehlt sich eine möglichst hohe Temperaturdifferenz zwischen Umgebung und Objekten → <b>v.a. in den frühen Morgenstunden!</b></li> </ul>
<b>Größe des Fluggebiets</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wie viele Akkus benötigt man für den Einsatz?</li> <li>• Sollte man das Fluggebiet unterteilen, oder merkt sich die Flug-App den letzten Punkt vor dem Rückflug zum Akkuwechsel und kehrt danach dorthin zurück?</li> <li>• Den <b>Startpunkt</b> sollte man <b>je nach Gelände wählen. Wenn möglich</b> sollte man <b>vom höchsten Punkt aus starten</b>, um beim Rückflug nicht in Schwierigkeiten zu geraten. → Wenn man aber nicht automatisch höhenangepasst fliegen kann, gehen unterschiedliche Flughöhen über Grund zu Lasten der gleichmäßigen Auflösung des Orthofotos!</li> <li>• Um die Drohne ständig in Sichtweite zu halten, ist evtl. ein Umsetzen des Startpunkts nötig.</li> </ul>
<b>Geozonen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sind im Einsatzgebiet <b>Genehmigungen</b> nötig?</li> <li>• Ist ein <b>Flugplatz</b> in der Nähe?</li> </ul>
<b>Equipment</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ist extra Equipment z.B. für das Ground Truthing oder für das Einmessen von GCPs nötig?</li> </ul>

# PARAMETER FÜR GUTE BILDER

Tab. 15: Parameter für gute Bilder (Döring, 2022)

Parameter	Empfehlungen
<p><b>Höhe</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Für <b>höchstmögliche Effizienz, so hoch wie möglich und so niedrig wie nötig</b> fliegen!</li> <li>Über <b>Wald</b> und <b>dichter Vegetation</b> 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.</li> <li>Die Flughöhe muss v.a. an <b>das kleinste zu untersuchende Objekt</b> angepasst werden - s. <a href="#">Sensor-Auflösung</a>.</li> </ul>
<p><b>Überlappung</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Für <b>Mapping-Missionen</b> immer <b>mind. 75 %</b> vorwärts und <b>60 %</b> seitliche Überlappung kalkulieren.</li> <li>Über <b>Wald</b> und <b>dichter Vegetation</b> <b>mehr Überlappung</b> (<math>\geq 80</math> bis <math>85 \%</math>) einstellen, um die komplexen Geometrien der vielen kleinen Strukturen (Äste, Blätter etc.) besser einzufangen = bessere photogrammetrische Ergebnisse.</li> <li>Bei der Befliegung von rel. <b>einförmigen Strukturen</b> wie Gras(land), Maisfelder, Seen, Sand, Schnee <b>&gt; 80 % Überlappung wählen</b> = bessere bzw. überhaupt mögliche photogrammetrische Ergebnisse.</li> <li>Bei <b>Flüssen</b> und <b>Seen</b> 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.</li> </ul>
<p><b>Fluggeschwindigkeit</b></p>  <p>angegeben meist in m/s <math>(4 \times \text{m/s}) - 10 \% \approx</math> km/h</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die <b>Fluggeschwindigkeit</b> spielt v.a. bei Kameras mit einem <b>elektronischen Verschluss</b> mit zeilen- oder spaltenweiser Belichtung (<a href="#">Rolling-Shutter</a> - wie bei den meisten der hier vorgestellten Drohnen) eine größere Rolle. Durch die Bewegung der Drohne kann es damit zu <b>Verzeichnungen</b> (Dehnungen der Objekte oder Schmiereffekten) in den Bildern kommen. <b>Je schneller die Drohne fliegt und je schlechter die Lichtverhältnisse oder der Wind sind, desto stärker sind die Verzeichnungen.</b></li> <li>Besonders <b>bei ungünstigen Bedingungen</b> (wenig Licht, Wind etc.) <b>langsamer fliegen!</b></li> <li>Bei optimalen Bedingungen kann die Geschwindigkeit ggf. wieder heraufgesetzt werden.</li> </ul>

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

## SCHRÄGAUFNAHMEN - OBLIQUE-FOTOS

Schrägaufnahmen bieten vielfältige Möglichkeiten, um die photogrammetrischen Ergebnisse zu verbessern.

Bei den hochpreisigen Drohnenmodellen sind Schrägaufnahmen Teil optionaler Flugmissionen, z.B. die *3D Photogrammetry Mission* der *DJI Phantom RTK* (Abb. 15).

Für diese Mission werden automatisch je ein Rasterflug mit 90° nach unten gerichteter Kamera (*Nadir*) und vier weitere Flüge mit schräggestellter Kamera (*oblique*) durchgeführt. Diese gewährleisten eine möglichst vielseitige Ansicht des gleichen Objekts und damit dessen möglichst genaue 3D-Rekonstruktion. Schräg- (oder *Oblique*-)Aufnahmen können genutzt werden, um stark geneigte Geländeoberflächen, Kronenräume im Wald oder auch vertikale

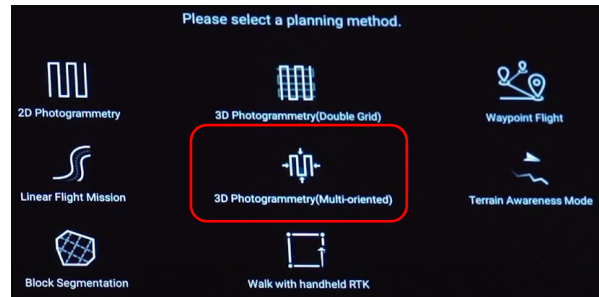


Abb. 15: Planungs-Methoden in der Phantom 4 RTK App (Döring, 2022)

Flächen wie Felswände oder die Fassaden von Gebäuden besser zu erfassen. Überdies können sie auch zur weiteren Stabilisierung des Bildverbandes ([PRZYBYLLA, 2020](#)) und zur Höhengenaugigkeit ([DJI & KRULL, 2020](#)) beitragen.

In Tab. 16 sind etliche mögliche Einsatzszenarien für Schrägaufnahmen zusammengestellt.

Tab. 16: Einsatzszenarien Schrägaufnahmen (Döring, 2022)

Einsatzszenarien	Vorteile
Waldbefliegungen, hohe Vegetation	<ul style="list-style-type: none"> <li>bessere Strukturerkennung, Volumen- und Höhenschätzung durch mehr 'Einsicht' in den Kronenraum (<a href="#">REDER; WABERMANN &amp; MUND., 2019</a>)</li> <li>Erfassung unterständiger Vegetation (<a href="#">PERROY; SULLIVAN &amp; STEPHENSON., 2017</a>)</li> </ul>
Felsbefliegungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Einsicht in Nischen, Winkel und nach hinten gekippte Absätze (<a href="#">STRUMIA ET AL., 2020</a>)</li> </ul>
Flussbefliegungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>bessere Uferansicht unter Vegetation (<a href="#">RUSNÁK ET AL., 2018</a>)</li> </ul>
3D-Modelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>mehr Sichtwinkel und v.a. Seiten-Ansichten komplexer Strukturen wie z.B. Fassaden oder Felswände (<a href="#">NESBIT &amp; HUGENHOLTZ, 2019</a>), (<a href="#">DRONEDEPLOY, 2022</a>)</li> </ul>
Befliegungen generell	<ul style="list-style-type: none"> <li>Für <b>stabilere/genauere Höhen</b> (<a href="#">DJI &amp; KRULL, 2020</a>) reichen oft wenige Schrägaufnahmen. Zum Beispiel nennt sich eine Option bei der <i>DJI Phantom 4 RTK</i> <b>Altitude Optimization</b>. Dabei fliegt die Drohne vom Endpunkt der Mission in noch einmal die Mitte des Fluggebiets hinein und nimmt dabei einige Fotos in einem Winkel von 75° auf. Diese reichen, um stabilere und genauere Höhen zu erreichen.</li> </ul>



## APPS ZUR FLUGPLANUNG

Apps werden für jede automatisierte Flugplanung benötigt und unterscheiden sich oft erheblich in ihrem Leistungsumfang. Die meisten der folgenden Apps wurden selbst getestet, wobei jedoch meist [Map Pilot](#) bei den durchgeführten Befliegungen zum Einsatz kam (Tab. 17).

Diese App besitzt im Vergleich das beste Preis-Leistungs-Verhältnis mit den meisten professionellen Einstellungsmöglichkeiten.

Unter den kostenfreien Angeboten ist *Pix4Dcapture* in der iOS-Version die am professionellsten einsetzbare App.

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

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



# 04 PRAXIS

## MONITORING MIT DROHNEN - STÖRUNGSÖKOLOGIE

Nach allen den Vorbereitungen können nun endlich die ersten Missionen geflogen werden.

Um den Einstieg in die Verwendung von Drohnen für Monitoringaufgaben zu erleichtern sind in diesem Kapitel praktische Erfahrungen zu unterschiedlichen Fragestellungen aus eigenen Befliegungen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen zusammengestellt. Im Fazit jedes Beispiels finden sich Empfehlungen, die die Durchführung ähnlicher Befliegungen vereinfachen sollen.

Alle Befliegungen im Projekt wurden mit den zuständigen Naturschutzbehörden und Gebietsbetreuern abgesprochen. Dabei wurden die Entscheidungen aufgrund des Diagramms in Abb. 16 und in Absprache mit der jeweils zuständigen Gebietsverwaltung getroffen.

Speziell bei niedrigeren Flughöhen für bestimmte Einsatzszenarien muss gut abgewogen werden

- zu welcher Zeit diese stattfinden - in Brut-, Mauser- oder anderen Schonzeiten sollten möglichst die in den störungsökologischen Grundregeln empfohlenen Höhen eingehalten werden.
- Drohnenflüge können aber sogar zur Verminderung von Störungen gegenüber terrestrischen Erfassungsmethoden beitragen und werden von der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten befürwortet. "Positive Aspekte der Drohnentechnik sollten vom Naturschutz unter Einhaltung naturschutzrechtlicher Regelungen aktiv genutzt bzw. befürwortet werden." ([LAG VSW, 2023](#)).

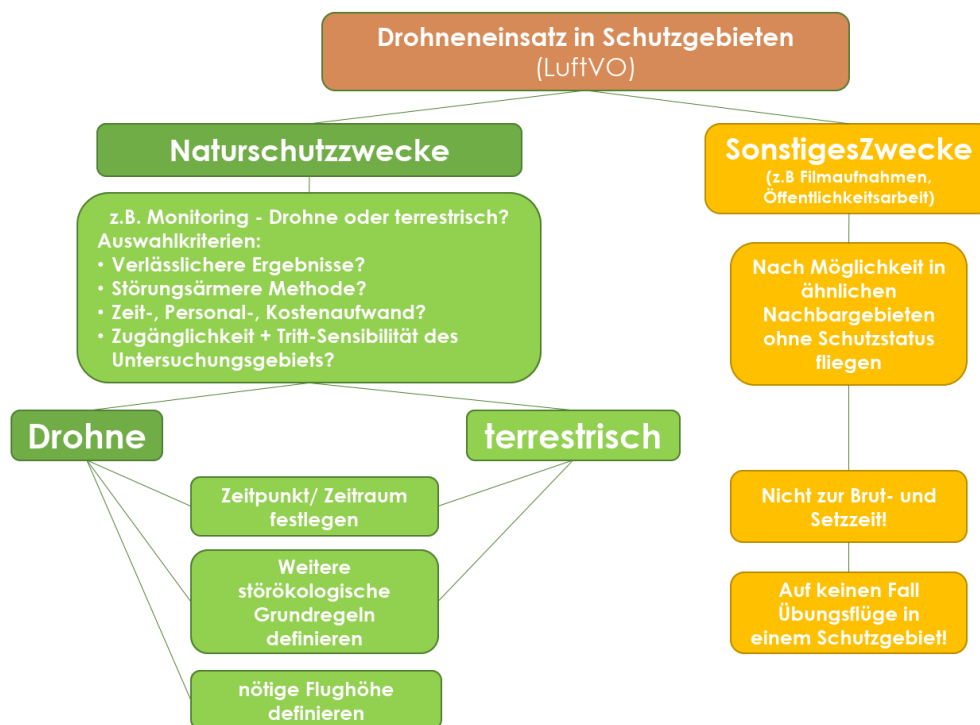


Abb. 16: Entscheidungsbaum für Drohnenflüge in Schutzgebieten (Döring & Mitterbacher - Version für Naturschutzverwaltungen, 2022)

## STÖRUNGSÖKOLOGIE - GRUNDREGELN

Besonders in Schutzgebieten sollten IMMER auch die folgenden störungsökologischen Grundregeln beachtet werden. Diese störungsökologischen Regeln wurden in Zusammenarbeit mit einem Kollegen der bayerischen Vogelschutzwarte und externer Quellen zusammengestellt. Sie sind zusammen mit Beispielen und weiteren Informationen in einem Informationspapier auf der Homepage des bayerischen Landesamts für Umwelt veröffentlicht ([DÖRING & MITTERBACHER, 2022](#)). Das darauf fußende neue Positionspapier der Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten gibt Hinweise und

Empfehlungen für den schonenden Einsatz von Drohnen besonders für den Vogelschutz ([LAG VSW, 2023](#)).

Alle Befliegungen in Schutzgebieten, oder auch generell für Naturschutzzwecke, sollten immer mit den jeweiligen Naturschutzbehörden und Gebietsbetreuern abgesprochen werden.

Dadurch können Methoden abgeglichen, vereinheitlicht und das kooperative Miteinander gefördert werden.

Das trägt am Ende zu einer wachsenden Akzeptanz gegenüber professionellen Drohneinsätzen für den Natur- und Artenschutz bei.

Tab. 18: Wichtige Regeln für störungsarme Flüge (nach [DÖRING & MITTERBACHER, 2022](#))

<p><b>Brut- und v.a. Mauserzeiten beachten!</b></p>
<p>Die <b>Drohne</b> wird <b>in Schutzgebieten ausschließlich zum Zweck des naturschutzfachlichen Monitorings oder der Rettung</b> von Rehkitzen, Niederwild und Bodenbrütern eingesetzt.</p> <p><b>Nester von Bodenbrütern NICHT berühren</b>, sondern nur durch Ausstecken mit Signalstangen markieren!</p>
<p><b>Drohnenflüge sind in Schutzgebieten und zur Artendetektion räumlich und zeitlich auf das unbedingt notwendige Maß zu beschränken.</b></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 <b>kleine, leise und nur elektrisch betriebene Drohnen</b> verwendet werden.</p>
<p>Eine <b>ruhige Flugweise mit Flugbahnen auf möglichst gleichbleibender Höhe</b> ist am wenigsten störend. → Dazu empfehlen sich vorprogrammierte Rasterflüge.</p>
<p><b>Plötzliche Richtungswechsel und rasante Flugmanöver im Nahbereich von Tieren sind zu vermeiden.</b> → <b>Ein direktes Anfliegen von Tieren ist unbedingt zu unterlassen!</b></p>

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  $\geq 40$  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.

## VORBEMERKUNG

Zu allen der folgenden Beispiele stehen im öffentlichen Endbericht des zugehörigen Forschungsprojekts [Drohnen im](#)

[Biomonitoring](#) noch weitere und ausführlichere Informationen zur Verfügung.

## OFFENE LANDSCHAFTEN

### EINLEITUNG

Das Erfassen von Landschaften anhand von Drohnenbildern ist wohl einer der weit verbreitetsten Einsatzbereiche von Drohnen im Biomonitoring.

Die folgende Auswahl an Themen für Drohneneinsätze im Landschaftsmonitoring bildet die große Bandbreite an Nutzungsmöglichkeiten ab:

[Küsten \(Mangroven\)](#) und marine [Habitats](#), [Grasland](#), [Savannen](#), [Feuchtgebiete](#), [Moore](#), [Fluss-/Bachökosysteme](#), [Gletscher](#), [Polarregionen](#), [Müllkartierung](#) der Meere.

Die meisten Themen stammen aus der Metaanalyse 'Drones for Conservation in

*Protected Areas: Present and Future'* ([JIMÉNEZ LÓPEZ & MULERO-PÁZMÁNY, 2019](#)).

In unserem Projekt 'Drohnen im Biomonitoring' (DroBio) wurden unterschiedliche Landschaftstypen wie Agrar- oder halboffenen Weidelandschaften, Felswände, Feuchtgebiete und Moore, Gewässer und Wald befliegen. Sie wurden mit Hilfe der Drohnenaufnahmen hinsichtlich ihres Status quo, der Strukturveränderungen in ihnen und einiger weiterer Ziele untersucht. Alle Befliegungen im Projekt wurden mit den zuständigen Naturschutzbehörden und Gebietsbetreuern abgesprochen.

### FAZIT

Tab. 19: Offenlandmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

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



Tab. 20: Offenlandmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
Unbedingt die <a href="#">Störungsökologischen Grundregeln</a> (v.a. Brut- und Mauserzeiten) <b>beachten!</b>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Die <a href="#">Parameter für gute Bilder</a> sollten immer beachtet werden.	
Effektivste Flugweise = <b>programmierte Rasterflüge</b> → <b>Überlappung = mind. 75 % vorwärts und 60 % seitlich</b>	Für brauchbare Orthofotos wird immer eine gewisse Überlappung benötigt - s. <a href="#">Parameter für gute Bilder</a>
Immer <b>so hoch, wie möglich fliegen</b> , um Störungen weitgehendst zu vermeiden. → Zusätzlich <b>niedrig geflogene Fotos können genutzt werden</b> , um in Orthofotos aus größerer und effektiverer Flughöhe <b>Arten sicherer zu detektieren und anzusprechen</b> (Verifikation der Arten). → 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.	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. Die Effizienz erhöht sich mit größerer Flughöhe, da dadurch die Flächenleistung höher wird - s. <a href="#">Sensor-Auflösung</a> .  Die Minimierung von Störungen sollte prioritär sein. Doch können Drohnflüge sogar zur Verminderung von Störungen gegenüber terrestrischen Erfassungsmethoden beitragen (z.B. in Feuchtgebieten) - s. <a href="#">Monitoring mit Drohnen</a> .
<b>Bei einförmigen Strukturen</b> wie hohes Gras(land) - z.B. Blütenwiese mit vielen oberständigen Gräsern oder Maisfeldern, Seen, Sand und Schnee <b>sollte</b> → die <b>Überlappung auf mind. 85 % vorwärts und 70 % seitlich</b> erhöht werden. → auf <b>guten Kontrast in Bildern</b> geachtet werden.	Photogrammetrie-Programmen haben oft Probleme, da sie bei sehr gleichförmigen Strukturen keine eindeutigen Verknüpfungspunkte zwischen den einzelnen Bildern finden - s. ( <a href="#">PIX4D, 2022A</a> ) Deshalb möglichst viel ' <b>Struktur</b> ' wie Büsche oder Bäume am Rand der Fläche <b>mit aufnehmen</b> . Bei guten Wetterbedingungen fliegen - s. <a href="#">Parameter für gute Bilder</a>
Bei <b>Flüssen und Seen</b> sollte möglichst immer ein Stück Uferbereich mit aufgenommen werden.	Reine Wasserflächen sind zu gleichförmig, reflektieren zu stark und/oder haben Wellengang und lassen meist keine Orthofoto-Erstellung zu.

## MOORMONITORING

### 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 nutzbar zu machen. Heute sind die verbliebenen Moore stark gefährdet und zusammen mit ihnen die Lebensräume vieler typischer und hochspezialisierter 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](#))

Der Einsatz von Drohnen bietet sich hier als ergänzende Monitoring-Methode an. Mit ihnen ist eine berührungslose und damit störungsarme Erkundung und bildliche Erfassung eines gesamten Gebietes möglich. Gut erkennbare Vegetationseinheiten können aufgenommen, differenziert, digitalisiert und in weiterführenden Analysen untersucht werden. Zur Verifikation der luftbildlich erfassten Objekte muss aber immer eine begleitende stichprobenartige terrestrische

Überprüfung durch Experten, das sogenannte *Ground Truthing*, erfolgen. Am wirtschaftlichsten ist es, wenn die Fachleute die Befliegungen gleich auch selbst durchführen.

Durch die Nutzung einer selbst-konfigurierten Drohne konnten Forscher ([HECKE ET AL., 2018](#)) eine detaillierte **Anleitung zur Erkennung, Beschreibung und Analyse von Vegetationsmustern in Drohnen-Bildern für vegetationsökologische Fragestellungen** erarbeiten. Bei Befliegungen des Hörfeld-Moors wurden 2016 unterschiedliche Vegetationsmuster erkannt und klassifiziert. Sie differenzierten

- intrinsische oder Art-immanente Muster ausgewählter Vegetationstypen anhand ihrer Wuchsform (z.B. Horstbildung), aus intraspezifischer Konkurrenz oder der spezifischen Verbreitungsstrategie einer Art.
- Weiterhin waren durch die zeitlich unterschiedliche Entwicklung von Vegetationseinheiten und Arten im jahreszeitlichen Verlauf auch phänologiebedingte Muster zu erkennen.
- Weitere standortbedingte Muster konnten durch Zonierungen an ökologischen Gradienten wie der Feuchtigkeit, durch abiotische Umweltfaktoren wie Wind, Wasserströmungen, (Sonnen-)Einstrahlung oder mechanische Störung z.B. durch Lawinen erkannt werden.
- Des Weiteren waren Muster aufgrund extrinsischer Faktoren wie Tierfraß und -lagerspuren oder Exkrement-Eintrag und damit einhergehender Nährstoffverlagerung erkennbar. Natürlich spielen auch anthropogene Nutzungen der Landschaft wie z.B.

die Mahd von Wiesen, Aufforstungen und bewusste (Düngung, Trockenlegung etc.) oder in Kauf genommene Veränderungen (z.B. Nährstoffeinträge) der ökologischen Standortsfaktoren eine Rolle.

Schon seit 2012 nutzt ein Verein in England **Drohnen zum Moorschutz** und zur Untersuchung und Kartierung von Bergmooren in Yorkshire ([IUCN UK, 2020](#)). Sie erzeugen dabei **mit hochauflösenden Drohnen-Daten präzise Höhenmodelle zur Analyse von Oberflächen und Erosionsprozessen, zur hydrologischen Modellierung von Abflüssen und Querprofilen und zur Planung von Wiedervernässungsmaßnahmen**. Der Erfolg dieser Maßnahmen wird nach ihrer Durchführung - wiederum mit Hilfe von Drohnen-Daten - kontrolliert.

Hochauflösende 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 Bezug auf 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. **Nach Aussage des Vereins hat der Drohneneinsatz seine Art und Weise der Wiederherstellung von Hoch-Mooren revolutioniert**.

**Grundwasseranschluss** ist das Ziel vieler Renaturierungsmaßnahmen von Feuchtgebieten. Wissenschaftler in den USA nutzten eine **Drohne mit Thermalkamera**

zur Kontrolle von Renaturierungsmaßnahmen, speziell um den nötigen **Austritt von Grundwasser** zu detektieren ([HARVEY ET AL., 2019](#)). Die Befliegungen wurden im Winter durchgeführt, 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 (Thermal InfraRed)**-Kartierungen gelang es ihnen die Verteilung der Grundwasser-Einsickerungen, deren Verlauf und Einfluss auf schon wiederhergestellte Kanäle nachzuweisen. Sie empfehlen diese Technik zur Planung und Erfolgskontrolle von Renaturierungsmaßnahmen.

In Australien wurde 2018 eine serienmäßige **DJI Phantom 4 Pro** genutzt, um verlässliche **Höhenmodelle zur Erstellung von Hydrologische Oberflächenmodellen** zu generieren ([DE ROOS ET AL., 2018](#)). Diese dienten zur Planung des **Schutzes und der Regeneration von geschädigten Torfmoos-Beständen** (*Sphagnum*). Diese leisten nämlich einen entscheidenden Beitrag für die Resilienz von Mooren. Ebenfalls 2018 konnten Forscher die **Objekt-basierte Bildklassifikation zur Analyse der Landbedeckung in Feuchtgebieten auf Basis hochauflösender Drohnen-Bilder** verbessern und erzielten dadurch genauere Ergebnisse ([LIU & ABD-ELRAHMAN, 2018](#)).

**Hochaufgelöste multisensoriale Drohnen-Daten** machten es - ebenfalls 2018 - in **Deutschland** möglich, die **Vegetation eines Moores** unter Verwendung moderner Klassifikatoren präzise zu klassifizieren. Der multisensoriale Datensatz, bestand aus 14 einzelnen Datensätzen - nämlich RGB- und Multispektral-, Thermal-Bilder, einem digitalen Oberflächenmodell (DOM) und mehreren Vegetation-Indizes. Mit einem automatisierten **Random Forest**-Klassifikationsansatz konnte eine

Gesamtgenauigkeit von ca. 89 % erreicht werden. Die Untersuchung zeigte, dass Drohnen "auf der Skalenebene zwischen Blatt- und Bestandsebene neue Daten ermöglichen, die herkömmlichen Satelliten- und Flugzeug-basierten Untersuchungen überlegen sind" ([BEYER & GRENZDÖRFFER, 2018](#)).

Mit einem **automatisierten Bildklassifizierungsansatz** und **hochauflösende Drohnen-Daten** konnte 2017 von Wissenschaftlern in den USA **die Vegetation von Feuchtgebieten** erfolgreich analysiert werden ([PANDE-CHHETRI ET AL., 2017](#)). Allerdings waren die Untersuchungen sehr zeitaufwendig und benötigten Expertenwissen zur Kalibrierung der Ergebnisse.

2013 bereits konnten mit den hochauflösenden Bild-Daten aus Befliegungen von **Feuchtgebieten** mit einer **Starflügler-Drohne - zum Schutz der Amerikanischen Zwergdommel (*Ixobrychus exilis*) - relevante Vegetationsstrukturen** sowohl rein visuell als auch automatisiert erkannt und analysiert werden ([CHABOT & BIRD, 2013](#)). Daraufhin **empfohlen sie den Gebrauch von Drohnen zum Feuchtgebieten-Monitoring**.

Da die Drohnentechnik und mit ihr die Regularien und Anwendungen schnell fortschreiten, ist es schwierig einfache und endgültige praktische Anleitungen

und Handlungsempfehlungen zur Anwendung von Drohnen für Kartierungen und zum Monitoring von Feuchtgebieten zu geben. Daher hat die Wissenschaftlerin Justyna Jeziorska eine Übersicht zusammengestellt, in der sie über **Drohnen-Hardware und Software, Regularien, wissenschaftliche Anwendungen und Vorgehensweisen zur Datenaufnahme und Prozessierung im Kontext von Feuchtgebieten-Monitoring und hydrologischer Modellierung** berichtet ([JEZIORSKA, 2019](#)).

In einer weiteren sehr ausführlichen Untersuchung wurde der **Status-Quo und die sich eröffnenden Möglichkeiten für Drohneneinsätze bei Feuchtgebietenuntersuchungen** ([DRONOVA ET AL., 2021](#)) herausgearbeitet.

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 Drohnen-Technologie** untersucht.


Auch die verwendeten **Analyse-Workflows** für die Drohnen-Daten wurden analysiert und systematisch geordnet.

## FAZIT

Tab. 21: Moormonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Schwierigkeit  Erfahrung  Nutzen 		
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Gebietsmanagement</b></li> <li>○ Dokumentation von <b>Veränderungen</b></li> <li>○ <b>Vegetationskartierung</b></li> <li>○ <b>Vegetationsklassifizierung</b></li> <li>○ <b>Renaturierungs-, Gewässer-, Kanal-Kontrollen</b></li> <li>○ Bibermonitoring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>spart Zeit</b> - gegenüber Waten und (<a href="#">Belly-</a>)Boot</li> <li>● <b>effektivere und effizientere Inspektion</b> von oben</li> <li>● <b>besserer Überblick</b> - über komplettes Gebiet, v.a. über <b>nicht begehbare Bereiche</b></li> <li>● <b>weniger + kürzere Störung</b> als bei terrestrischer Inspektion</li> <li>● permanente Dokumentation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fotos - RGB, Multispektral, Thermal</li> <li>○ Videos</li> <li>○ evtl. Orthofotos</li> </ul>

Tab. 22: Moormonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
<b>Unbedingt die <a href="#">Störungsökologischen Grundregeln</a> (v.a. Brut- und Mauserzeiten) beachten!</b>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Die <a href="#">Parameter für gute Bilder</a> sollten immer beachtet werden.	
Effektivste Flugweise = <b>programmierte Rasterflüge</b> → <b>Überlappung = mind. 75 % vorwärts und 60 % seitlich</b>	Für brauchbare Orthofotos wird immer eine gewisse Überlappung benötigt - s. <a href="#">Parameter für gute Bilder</a>
<b>Zur reinen Inspektion</b> von Dämmen oder anderer Infrastruktur empfehlen sich <b>manuelle Flüge</b> - ggf. mit Videoaufnahme oder Einzelfotos. 	Manuelle Flüge erlauben eine raschere Inspektion, da nicht mehrere Flugbahnen für genügend Überlappung benötigt werden und nur visuell - ggf. mit 'Beweisfoto' begutachtet wird. Einzelne Objekte können zur näheren Untersuchung flexibler angeflogen werden.
<b>Es sollte immer so hoch, wie möglich geflogen werden.</b>	Die Effizienz erhöht sich mit größerer Flughöhe, da dadurch die Flächenleistung höher wird - s. <a href="#">Parameter für gute Bilder</a> .

<p>→ Ggf. kann zur näheren Inspektion oder für kleinere Untersuchungsobjekte niedriger geflogen werden.</p> <p>→ Muss aus methodischen Gründen (z.B. Detektion von Pflanzen auf Artenniveau oder Biberbauwerken) sehr tief geflogen werden, sollten diese Flüge möglichst nicht in kritischen Zeiten wie Mauser- oder Brutzeiten stattfinden und/oder <b>gut mit den Gebietsbetreuern abgesprochen</b> werden.</p>	<p>Die Höhe muss sich natürlich nach dem kleinsten zu untersuchenden Objekt richten, das durch mindestens 3 Pixel repräsentiert werden sollte - s. <u>Sensor-Auflösung</u>.</p> <p><b>Die Minimierung von Störungen sollte prioritär sein.</b> Doch können Drohnenflüge sogar zur Verminderung von Störungen gegenüber terrestrischen Erfassungsmethoden beitragen - z.B. in Feuchtgebieten (<u>McKellar et al., 2021</u>) oder auch allgemein (<u>LAG VSW, 2023</u>).</p>
<p>Für bestimmte Fragestellungen kann die <b>Verwendung mehrerer Sensoren</b> nötig sein.</p>	<p>Wie in einigen der beschriebenen Veröffentlichungen gezeigt, können zusätzliche Thermal- oder Multispektralaufnahmen bessere Analysen und Klassifikationsmodelle erzeugen helfen.</p>
<p><b>Verschiedene Kamerawinkel</b></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><u>Schrägaufnahmen - Oblique-Fotos</u> können genutzt werden, um <b>Volumina</b> von Strukturen besser zu bestimmen und um bessere <b>3D-Modelle</b> zu erstellen.</p> <p>Überdies tragen sie zur besseren Stabilisierung des Bildverbandes und zu einer größeren <b>Höhengenaugigkeit</b> bei - wichtig, um <b>Dämme, Füllstände</b> o. Ä. im Moor genau zu erfassen.</p>



# WALDMONITORING

## 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](#)).

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.

Der **Baumhöhenzuwachs während der Vegetationszeit** konnte 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 ([DEMPE-WOLF ET AL., 2017](#)).

Bisher stellte die **Erkennung von Baumarten** aus hochauflösenden Drohnen-Fotos eine große Herausforderung dar. Mittels **künstlicher Intelligenz** wie z.B. bei ([SCHIEFER ET AL., 2020](#)) wird diese Methode ständig verfeinert und Richtung Operativität weiterentwickelt.

Der Totholzanteil in Wäldern ist ein wichtiges Kriterium des Waldnaturschutzes. Im Hainich konnte die Erhebung dieses **Naturschutz-relevanten Totholzanteils** durch den Einsatz von hochauflösenden Drohnen 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 Waldmonito-

rings) 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 Baumkronen 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 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** ([MEINHOLD & GÖTTLEIN, 2022](#)) im Wald 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; KÄBER & ADLER., 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 "**NotRufDrohne**" 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 m<sup>2</sup> 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 beantwortet. 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 Blatt-austrieb, Blüte und Fruktifikation von Eiche, Rotbuche, Vogelkirsche, Elsbeere, Wild-Birne und -Apfel, Tanne, (Fichte)
- das Monitoring von Kulturerfolgen (Erst-aufforstung)
- 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)

## FAZIT

Tab. 23: Waldmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Waldmonitoring		
Schwierigkeit   Erfahrung    Nutzen   		
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Waldzustand</li> <li>• Waldstruktur­erfassung</li> <li>• Baumartenerkennung</li> <li>• Borkenkäferbefall</li> <li>• Forstinventuren</li> <li>• Waldbewertung</li> <li>• Baum-/ Pflanzensaat</li> <li>• Mistelmonitoring</li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>spart Zeit</b></li> <li>○ <b>höhere Flächenabdeckung</b> gegenüber Stichproben bei terrestrischen Inventuren</li> <li>○ <b>Multispektral-Analysen</b> → <b>Vegetationsindizes</b></li> <li>○ <b>Volumen- und Massebe-rechnungen</b></li> <li>○ <b>genaue Verortung</b> mit Mehrfrequenz- GNSS</li> <li>○ <b>permanente Dokumentation</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Orthofotos</b></li> <li>• <b>Fotos</b> - RGB, Multi-spektral, Thermal</li> <li>• <b>Punktwolken</b></li> <li>• <b>3D-Modelle</b></li> <li>• <b>Laserscans</b></li> </ul>

Tab. 24: Waldmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
<p><b>Unbedingt die <u>Störungsökologischen Grundregeln</u> (v.a. Brut- und Mauserzeiten) beachten!</b></p>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Die <u>Parameter für gute Bilder</u> sollten immer beachtet werden.	
<p>Effektivste Flugweise = <b>programmierte Rasterflüge</b>  <b>Waldkronen</b> wirken oft wie <b>einförmigen Strukturen</b>  → <b>Überlappung mind. 80 % in beide Richtungen</b>  → <b>möglichst kein Wind</b>  → auf <b>guten Kontrast</b> in Bildern achten  Empfohlene Überlappung = mind. <b>75 % vorwärts</b> und <b>60 % seitlich</b> - <b>meist eher mehr!</b></p>	<p>Für brauchbare Orthofotos wird immer eine gewisse Überlappung benötigt - s. <u>Parameter für gute Bilder</u></p> <p>Bäume und dichte Vegetation haben aufgrund ihrer Geometrien (viele Äste, Zweige und Blätter) sehr komplexe Strukturen, weswegen es für Photogrammetrie-Programme schwierig ist, Schlüsselpunkte zwischen den einzelnen Bildern zu finden - s. (<u>PIX4D, 2022A</u>)</p>
<p>Es sollte immer <b>so hoch, wie möglich geflogen</b> werden - s. <u>Sensor-Auflösung</u>  → <b>Baumhöhen einkalkulieren!</b></p> 	<p>Die Effizienz ist aufgrund größerer Flächenleistung höher.</p> <p>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.</p> <p>Für die Berechnung der <i>Auflösung</i> (GSD) auf dem Kronendach muss die Baumhöhe von der Flughöhe abgezogen werden.</p>
<p><b>Verschiedene Kamerawinkel</b>  → 90° Nadir und  → ca. 75° geneigt</p> <p>Bei den professionellen DJI-Modellen (<i>Enterprise</i>) gibt es eigene 3D-Flugpläne.</p>	<p><u>Schräg-(Oblique)-Aufnahmen</u> können genutzt werden, um Kronenräume oder stärker geneigte Geländeoberflächen besser zu erfassen. Sie eignen sich auch zur besseren <b>Volumenbestimmung</b> und für bessere <b>3D-Modelle</b>.</p> <p>Ebenso tragen sie zur weiteren Stabilisierung des Bildverbandes und zur Höhengenaugkeit bei (<u>DJI &amp; Krull, 2020</u>).</p>

Beim Waldmonitoring spielt die Sichtweite eine besondere Rolle (Abb. 17). 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](#).

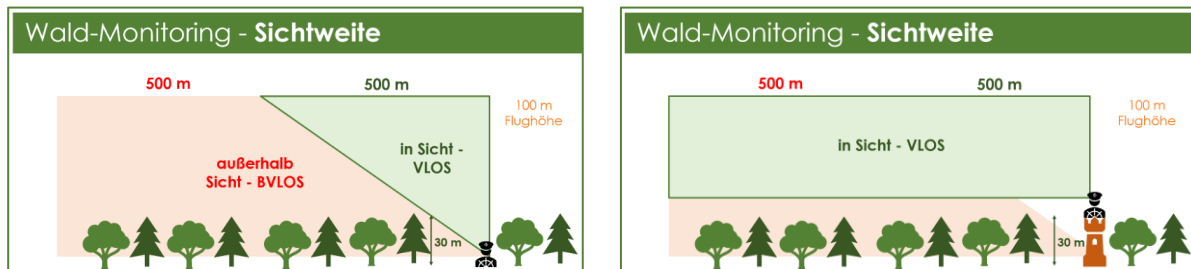


Abb. 17: Sichtweite beim Waldmonitoring mit Drohnen (Döring, 2022)

Mit diesen drei Maßnahmen kann die Flächenleistung bei Wald-Befliegungen erhöht werden.

# GEWÄSSERMONITORING

## 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, Strömungs-

geschwindigkeiten, Substratbedingungen

- **Struktur der Uferzone**: Struktur und Bedingungen der Uferbereiche

Diese Parameter sind zwar nicht primär Ausschlag gebend 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 TÜBINGEN, 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 Abb. 18 sind die Strukturparameter rot umrandet, 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 Methoden 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. [03 Methodik](#):

- **Erkundung des Geländes** am PC zusammen mit der Erfüllung der rechtlichen Anforderungen
- ggf. **Feldarbeit vor dem Flug** zur hochgenauen Einmessung von Bodenkontrollpunkten für die Georeferenzierung der Drohnenbilder

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)
<b>Struktur des Flussbetts</b>	Laufentwicklung	Laufkrümmung Krümmungserosion Bes. Laufstrukturen
	Strömungsgeschwindigkeit	Strömungsdiversität Rückstau Querbänke
<b>Substrat des Flussbetts</b>	Substratbedingungen	Substratdiversität Längsbänke Bes. Sohlstruktur
<b>Breitenvariation</b>	Variation von Breite	Uferstreifen Profiltyp Breitenvarianz
<b>Tiefenvariation</b>	Variation von Tiefe	Profiltiefe Tiefenvarianz Breitenerosion
<b>Struktur der Uferzone</b>	Struktur und Bedingungen der Uferbereiche	Uferbewuchs Uferverbau Bes. Uferstrukturen

Abb. 18: Einzelparameter der Strukturkartierungsverfahren der Qualitätskomponente „Morphologie“ ([UBA & BuLAG Wasser, 2022c](#)) - rot umrandet die Parameter zur möglichen Erfassung durch Drohnen

- 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 erfliegenen Bilder und anschließender Qualitätscheck

- **Analyse** der Daten durch Klassifizierung der Punktwolken und der semi-automatischen Bildklassifikation anhand eines Trainingsdatensatzes. Diese Methode bedeutet v.a. für Nicht-Spezialisten jedoch einen extrem großen Aufwand (s. [Automatisierte Auswertungswerkzeuge](#))

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 Drohnen** (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 Fließbrinnen, 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 in Schottland konnten Wissenschaftler erfolgreich **Makrophyten** als Schlüsselemente in Flusssystemen erfassen ([BIGGS ET AL., 2018](#)). Ihre Ausdehnung, ihre Blockadewirkung und die Pflanzengröße sind wichtig für das Fluss-Management bezüglich von Habitat-ausformungen, 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:

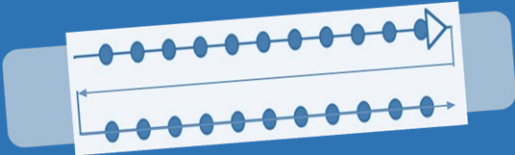
- die **Dokumentation & Monitoring** von Renaturierungen
  - **Habitatkartierungen** von Flora + Fauna (z.B. Biber, Fische - v.a. Fischhabitatkartierung und die Suche nach Laichplätzen)
  - die **Kartierung** des Verlaufs der **Uferlinien**
  - die Erfassung von **Treib- und Totholz** im Gewässerbett
- Beim Landesfischereiverband Baden-Württemberg werden in der Gewässerinspektion 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 Gewässer

## FAZIT

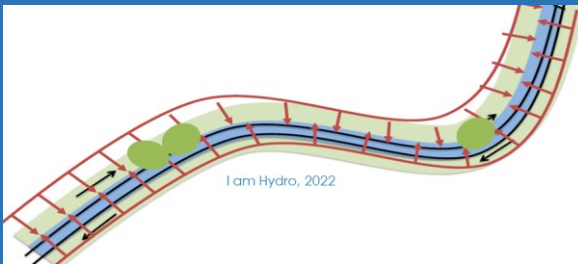
Tab. 25: Gewässer - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Fließgewässer- und Lachsmonitoring		
Schwierigkeit  Erfahrung  Nutzen 		
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Flussinspektion</b></li> <li>• <b>Veränderungen</b> monitoren</li> <li>• <b>Renaturierungen</b> monitoren</li> <li>• <b>Fisch-Habitat-Monitoring</b></li> <li>• ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>spart Zeit</b> gegenüber terrestrischen Aufnahmen</li> <li>○ <b>besserer Überblick</b> von oben</li> <li>○ <b>dauerhafte Daten</b> zur <b>Dokumentation</b> und <b>späteren Analyse</b></li> <li>○ Daten können in einem GIS <b>quantitativ ausgewertet</b> werden</li> <li>○ <b>höhere Auflösung</b> als DOPs der Länder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fotos</b> - RGB, Thermal</li> <li>• <b>Orthofotos</b></li> <li>• Videos</li> <li>• <b>Höhenmodelle</b></li> <li>• <b>LiDaR-Punktwolken</b></li> </ul>

Tab. 26: Gewässer/Lachsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
<b>Unbedingt die <u>Störungsökologischen Grundregeln</u> (v.a. Brut- und Mauserzeiten) beachten!</b>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Die <u>Parameter für gute Bilder</u> sollten immer beachtet werden.	
<p>Für linienhafte Strukturen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ <b>automatische Korridor-Flugplanungen</b> - s. (PIX4D, 2022A)</li> <li>→ Die <b>Überlappung</b> sollte <b>mind. 80 % vorwärts</b> und <b>60 % seitlich</b> betragen.</li> <li>→ Es sind <b>mindestens 2 Bahnen</b>, aber <b>besser <math>\geq 3</math></b> für gute Orthofotos nötig.</li> </ul> 	Die lineare <u>Korridor-Flugplanung</u> 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 befliegen und zusammengesetzt werden müssen, wird die Befliegung wesentlich ökonomischer und effizienter. Es werden nur die wirklich relevanten Flächen (Flussbett, Leitungskorridor etc.) befliegen.
<p>Es sollte immer <b>so hoch, wie möglich geflogen</b> werden -</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ aber <math>\leq 120</math> m!</li> <li>→ niedriger fliegen, nur wenn nötig (kleinere Untersuchungsobjekte)</li> </ul>	Die Effektivität erhöht sich mit größerer Flughöhe, da die Flächenleistung höher wird - s. <u>Sensor-Auflösung</u>
<p><b>Bei einförmigen Strukturen</b> wie Seen, Sand und Schnee <b>sollte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>→ die <b>Überlappung</b> auf <b>mind. 85 % vorwärts</b> und <b>70 % seitlich</b> erhöht werden.</li> <li>→ auf <b>guten Kontrast in Bildern</b> geachtet werden.</li> </ul>	<p>Photogrammetrie-Programmen haben oft Probleme, da bei sehr gleichförmigen Strukturen keine eindeutigen Verknüpfungspunkte zwischen den einzelnen Bildern gefunden werden können. Deshalb möglichst viel '<b>Struktur</b>' wie Büsche oder Bäume am Rand der Fläche <b>mit aufnehmen</b> - s. (PIX4D, 2022A).</p> <p>Bei guten Wetterbedingungen fliegen - s. <u>Parameter für gute Bilder</u></p>
Bei <b>Flüssen und Seen</b> sollte möglichst immer (ein Stück) der Uferbereiche mit aufgenommen werden.	Reine Wasserflächen sind zu gleichförmig, reflektieren zu stark und/oder haben Wellengang und lassen meist keine Orthofoto-Erstellung zu - s. (PIX4D, 2022A)

Zusätzliche **Schrägaufnahmen** z.B. für Böschungsaufnahmen - ggf. quer zum Fluss erfliegen.



Schräg- (oder *Oblique*-)Aufnahmen können genutzt werden, um besser unter die Ufervegetation zu blicken.

Weiterhin tragen sie auch zur weiteren Stabilisierung des Bildverbandes und zur Höhengenaugigkeit bei - s. [Schrägaufnahmen - Oblique-Fotos](#)

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 Böschung-Kanten 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 Flug-Missionen.

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.



# FELSMONITORING

## 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 Felsicherung angewendet.

Für das Monitoring der Erosion von fast senkrechten bis überhängenden **Küsten-Felswänden (Cliffs)** in der Normandie verglichen Forscher photogrammetrische Analysen von Drohnenfotos, von terrestrisch erhaltenen Fotos und von terrestrischen Laserscan-Daten ([LETORTU ET AL., 2018](#)). Mit den Drohrendaten konnten größere Flächen in ähnlicher Genauigkeit und in regelmäßigen Zeitabständen 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](#)) erflogenen 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 [Methodikteil](#) 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 Drohnenfotos 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 Ostseefels- 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) aufweisen 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. 19) ([ZHOU ET AL., 2021](#)).

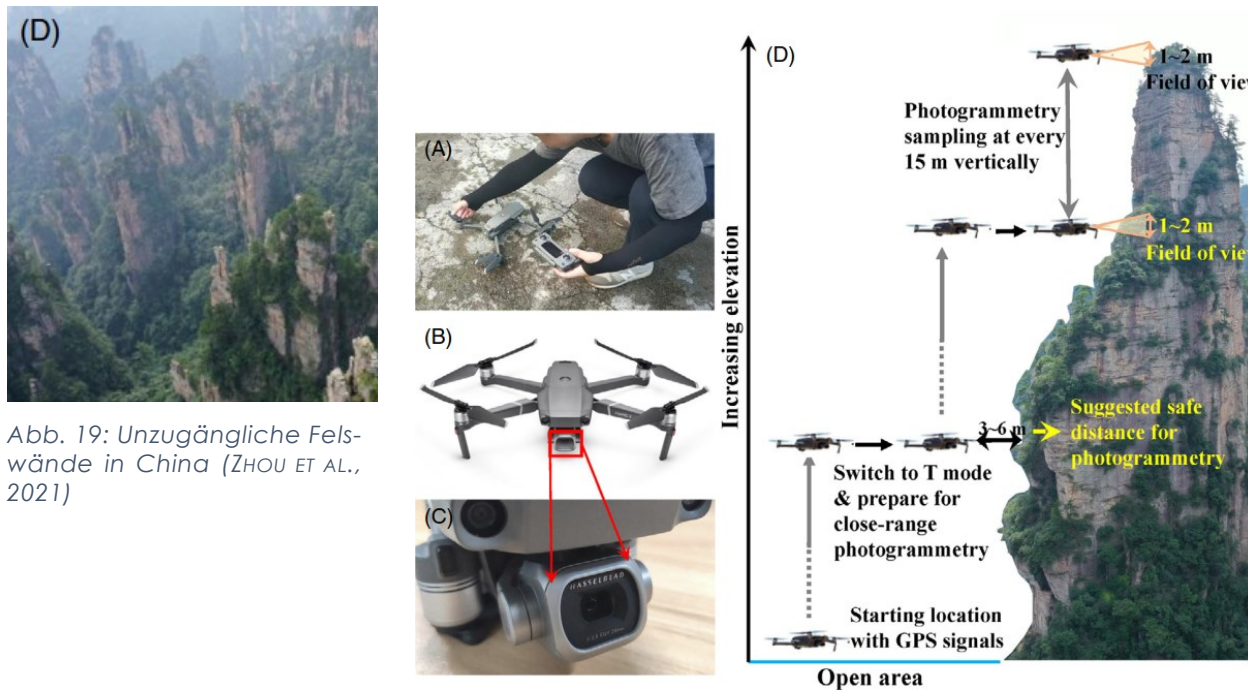


Abb. 19: Unzugängliche Felswände in China (ZHOU ET AL., 2021)

Abb. 20: Untersuchung von steilen Felswänden (ZHOU ET AL., 2021)

Dabei flogen sie, so nahe wie sicher möglich, an die Felswand heran (3 - 6 m) und schossen an jedem Halt (alle 15 m), zwei bis drei Fotos (Abb. 20). So wurde die ganze Felswand von unten bis oben abgescannt und hochauflösende Aufnahmen der vorkommenden Gehölzpflanzen 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.

## FAZIT

Tab. 27: Felsmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Schwierigkeit  Erfahrung  Nutzen 		
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fels-Inspektion</b></li> <li>• <b>Felsvegetations-Monitoring</b></li> <li>• <b>Fauna-Monitoring an Felsen</b> (z.B. Fledermausuntersuchungen in Fels-spalten)</li> <li>• <b>Entscheidungs-Unterstützung für Kletterregelungen</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>spart Zeit</b> - Alternative Klettern/Abseilen</li> <li>○ <b>verringert das Störungspotenzial</b> (weniger Zeit, berührungslos)</li> <li>○ <b>mögliche Einsicht in Spalten und auf Absätze</b> - unmöglich mit Fernglas-Beobachtungen von unten oder vom Gegenhang</li> <li>○ <b>permanente Dokumentation</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fotos</b></li> <li>• <b>Videos</b></li> <li>• <b>vertikale Orthoansichten</b></li> <li>• <b>3D-Modelle</b></li> </ul>

Tab. 28: Felsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
<b>Unbedingt die <u>Störungsökologischen Grundregeln</u> (v.a. Brut- und Mauserzeiten) beachten!</b>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Die <u>Parameter für gute Bilder</u> sollten immer beachtet werden.	
Es können meist <b>nur manuelle Flüge</b> 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.
<b>Display und Drohne immer mit höchster Aufmerksamkeit im Auge behalten!</b> <b>Am besten mit Spotter fliegen!!!</b>	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 <b>rückwärts in den Raum hinausfliegen und die Kamera nach unten richten</b> , 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.
<p><b>Flugbahnen</b></p> <p>→ In möglichst gleichmäßigen Flugbahn-Abständen <b>parallel zum Felsen</b> fliegen (<b>horizontal</b>/von Seite zu Seite und/oder <b>vertikal</b>/von oben nach unten)</p> <p>→ <b>viele Fotos</b> für gute 3D-Modelle aufnehmen (automatisch in Intervallen oder durch manuelle Auslösung)</p> <p>→ <b>Fotos in unterschiedliche Distanzen zum Felsen</b> aufnehmen.</p> <p>→ <b>Stop-Foto-Go-Stop-Foto-Go</b> für schärfere Fotos</p>	<p>Um gute Orthoansichten und 3D-Modelle generieren zu können, benötigt man eine genügende Anzahl an Fotos mit entsprechender Überlappung und Abdeckung der Fläche - s. <a href="#">Parameter für gute Bilder</a>.</p> <p>Eine Vielzahl an Aufnahmen mit vielen unterschiedlichen Aspekten der Oberfläche des Felsens und aufgenommen in unterschiedliche Distanzen zum Fels verbessern die 3D-Modelle.</p> <p>Durch Stoppen zur Fotoaufnahme vermeidet man mögliche Verzerrungen in den Bildern - allerdings auf Kosten der Flugzeit.</p>
<p><b>Aufnahmen mit unterschiedlichen Kamerawinkeln</b> - horizontal und schräg nach unten.</p>	<p>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.</p>

- o **Manuelle Flüge**
- o **parallel zum Felsen fliegen** (von Seite zu Seite und von oben nach unten)
- o **Verschiedene Distanzen** zu Felsen
- o **Verschiedene Kamerawinkel** - horizontal und schräg nach unten
- o Viel auf **Display** schauen
- o Ab und zu die **Kamera nach unten** richten - Vegetation!
- o Automatische Flüge nicht empfohlen!
- o Am besten mit **Spotter** fliegen!
- o **Äußerste Aufmerksamkeit und Konzentration!!!**
- o Nur in wirklich fittem Zustand fliegen!



Abb. 21: Felsmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

# VEGETATIONSMONITORING

## EINLEITUNG

Zoomt man bildlich in Landschaften hinein, sind Pflanzen die nächsten naheliegenden Objekte, die sich für Drohnenbefliegungen anbieten. Viele ihrer Parameter können direkt oder indirekt aufgenommen werden (s. [Fazit](#)). In der **Landwirtschaft** werden etliche dieser Parameter schon seit einiger Zeit mit Drohnen erfolgreich erfasst, zur Verbesserung von Bearbeitungstechniken analysiert und die Ergebnisse gezielt eingesetzt. In Deutschland oft erst versuchsweise ([GRENZDÖRFFER, 2017](#)) oder ([LTZ AUGUSTENBERG, 2022](#)), in anderen Ländern aber auch schon operational über größere Betriebe hinweg ([CROPTRACKER, 2023](#)).

Vor allem Pflanzengruppen mit eindeutigen und leicht sichtbaren Merkmalen wie z.B. **Horstgräser** ([HECKE ET AL., 2018](#)) oder großblütige Pflanzen wie **Arnika** ([DBU, 2021](#)) oder **Herbstzeitlosen** ([PETRICH ET AL., 2020](#)) können bereits mit kleineren Drohnen und einfachen Sensoren relativ gut erkannt und ihre Bestandesflächen oder sogar Anzahl der Individuen ermittelt werden.

Für kleinblütige Pflanzen ohne leicht differenzierbare Merkmale wurde während unseres Projekts jedoch schnell klar, dass diese nur schwerlich **sicher** bis auf Artenniveau hinunter erkannt werden können - auch nicht mit größeren und hochauflösenden Sensoren und erst recht nicht ohne adäquates [Ground Truthing](#).

Schon 2015 testeten dänische Wissenschaftler den Einsatz einer handelsüblichen Drohne mit einer RGB-Kamera zur **Detektion von Blüten bestimmter Wildpflanzen** ([SØRENSEN; STRANDBERG & BAK., 2015](#)). Diese sollten als **Indikatoren** für die Auswirkungen bestimmter landwirtschaftlicher Prozesse und von Klima-

schwankungen dienen. Durch eine gebietsweite Aufnahme der Indikatorpflanzen (blüten) besteht die Möglichkeit des großflächigen Monitorings solcher Auswirkungen. Es kam nur darauf an, die richtige Indikatorpflanze (in diesem Fall eine Kleeart) zur schnellen Identifikation auszuwählen. Für die Bildanalyse der Drohnenfotos wurde das kostenfreie und mächtige Open Source Bildbearbeitungs- und Analyseprogramm [ImageJ](#) herangezogen, womit die Blüten erfolgreich klassifiziert werden konnten.

**Anmerkung:** [ImageJ](#) hat sehr viele Parameter zum Einstellen und benötigt eine intensive Einarbeitung. Damit ist es ebenfalls, wie auch die anderen Klassifizierungstools, nicht für 'einfache' und schnelle Analysen geeignet - s. [Automatisierte Auswertungswerkzeuge](#).

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 wurde eine Methode entwickelt, um mit digitalen Bildklassifikationsverfahren in Drohnenbildern (RGB- und [CIR-Bilder](#) = *Colored InfraRed*- oder Falschfarben-Bilder) die Blüten der Akazien zu zählen, um so deren Rückgang verfolgen zu können ([DE SÁ ET AL., 2018](#)). Das Blütenzählen an sich hat im Vergleich zu den terrestrischen Aufnahmen nicht so gut funktioniert, doch die Verteilung der Akazien konnte effektiv und kostengünstig ermittelt werden.

Durch Daten aus Drohnenbefliegungen (RGB- und Thermalbilder, Bestandeshöhenmodelle) und automatisierte Bildklassifizierungsmethoden konnte im



Biosphärenreservat Rhön die invasive **Lupine** (*Lupinus polyphyllus*) mit einer hohen Genauigkeit detektiert werden. Diese wuch nur um 5 % von den manuell digitalisierten Lupinen-Beständen ab ([WIJESINGHA ET AL., 2020](#)). Die in der Arbeit erstellten Workflows sind auch auf andere Gebiete und Arten anwendbar.

In einer **Vorstudie auf Artenniveau** simulierten Forscher den Einsatz einer Drohne mit Hyperspektralkamera, indem sie ein Spektrometer auf ein Gerüst in 2.5 m über Grund montierten, um so hochauflösende Daten der Untersuchungsflächen zu bekommen ([LOPATIN ET AL., 2017](#)). Ziel dieser Vorstudie war es, die Möglichkeiten von künftigen Drohneneinsätzen zu testen, um damit große und viele Flächen schneller aufnehmen und die Daten automatisiert auswerten zu können. Sie stellten fest, dass UAV-basiertes Monitoring zur **Klassifikation von einzelnen Grasland-Arten unter folgenden Bedingungen möglich** ist

- Die Auflösung muss hoch genug sein, damit keine Mix-Pixel mit Teilen von verschiedenen Arten auftreten. Auflösungen von < 1 cm werden empfohlen. Diese ist abhängig von den vorkommenden Arten und der Komplexität der Arten-Zusammensetzung s. Abb. 22.
- Je komplexer die Artenzusammensetzung und strukturelle Ausformung

## HEIDE

Um den Bedarf und den Effekt von Landschaftspflegemaßnahmen im Offenland verlässlich einschätzen und planen zu können, ist es erforderlich dessen Erhaltungszustand regelmäßig zu monitoren. Dazu werden die räumlich-zeitlichen Veränderungen der Landschaftsentwicklung in Abhängigkeit von den natürlichen Prozessen der Vegetationsdynamik

beobachtet. Der Bestand ist, desto mehr Probleme treten bei der Auswertung und den Genauigkeiten der Klassifikationen auf. Damit sinkt die Effektivität gegenüber den terrestrischen Stichproben-Feldaufnahmen.



Abb. 22: Auflösung - Vergleich bei Blühstreifen (Döring, 2021)

Fazit der Arbeit ist, dass in sehr komplexen Ökosystemen mit hoher struktureller Heterogenität (bedingt durch unterschiedliche Straten und Überlappungen von Individuen) Befliegungen und automatisierte Auswerteverfahren wenig zielführend bis unmöglich sind.

In sehr lückigen Vegetations-Beständen oder solchen mit überwiegend homogene Arten-Gruppen, die kaum vermischt sind, könnte der Ansatz durchaus erfolgreich sein.

Die Automatisierung der Analyse von Drohnen-Daten im Vegetations-Monitoring ist besonders dann vielversprechend, wenn nur bestimmte Zielarten im Fokus stehen, die darüber hinaus klar (mit möglichst eindeutigen Merkmalen) zu detektieren sind.

Das groß-angelegte Projekt [NaTec](#) in der Kyritz-Ruppiner-Heide, soll dazu realisierbare Workflows und Analysemethoden entwickeln. Besonderer Wert wird dabei auf die **Auswertung 'normaler' RGB-Bilder von kleinen und handelsüblichen Drohnen** gelegt.



Die Heidelandschaft wird im Laufe des Jahres besonders durch unterschiedliche Aspekte des Heidekrauts (*Calluna vulgaris*), aber auch dessen Begleitarten wie Flechten, Moose und Gräser und dem Streuanteil geprägt. Ihre Farben wechseln mit den Jahreszeiten und können in den Drohnenaufnahmen gut gesehen, klassifiziert und ausgewertet werden. Neben dem **Artenspektrum** werden auch **Vitalitätsmerkmale** in den verschiedenen Fortpflanzungs- und Verbreitungsstadien sichtbar ([NEUMANN ET AL., 2022](#)).

Auch lassen sich gut die **Auswirkungen von Maßnahmen der Landschaftspflege** und die nachfolgenden Entwicklungstendenzen analysieren und dokumentieren. Heide-Flächen verändern sich nämlich nach Pflegeeingriffen oft drastisch in ihrem Aussehen, was in Drohnenbildern ebenfalls gut nachzuverfolgen ist. Gemäß der Auswertung kann die Pflege dann ggf. nachjustiert werden.

Außerdem werden v.a. die **Veränderungen der Calluna-Vorkommen** in ihrer Wachstumsdynamik und Regenerationsfähigkeit untersucht. In einer Studie zu den phänologischen und Verteilungsaspekten von *Calluna* konnte eindrücklich gezeigt werden, dass es möglich ist aus den Bildern einer handelsüblichen *DJI Phantom 4 Pro*, anhand der optischen Eigenschaften verschiedener Pflanzen, deren **Flächenanteile** und **Zustand** zu extrahieren ([Neumann et al., 2020](#)). Dies ist sogar mit Bildern aus einer relativ daten- und flächen-effizienten Flughöhe von 80 m möglich ([NEUMANN ET AL., 2020](#)). Für das notwendige *Ground-Truthing* wurden Kalibrierungsdaten aus Felderhebungen herangezogen. Damit wurde sichergestellt, dass die jeweiligen Farbeigenschaften den richtigen Objekten (hier Pflanzen) zugeordnet wurden. In einer nachfolgenden Arbeit konnte

auch der **Gras Ein- und Überwuchs** unter Einbeziehung von normalisierten digitalen Oberflächenmodellen erfasst und klassifiziert werden ([NEUMANN ET AL., 2021](#)). Der **Grasanteil** spielt auch bei der Bewertung von FFH-Mähwiesen eine maßgebliche Rolle ([LAZBW, 2014](#)).

Gräser - besonders das oft stark Überhand nehmende und deswegen herauszupflegernde **Landreitgras** (*Calamagrostis epigejos*) - formen meist größere zusammenhängende flächige Bestände und können deswegen besonders gut detektiert und flächenmäßig quantifiziert werden.

*Calamagrostis* konnte über RGB-Drohnen-Aufnahmen z.B. in den Veröffentlichungen zu einer Lawinenbahn-Untersuchung ([JUNGMEIER ET AL., 2016](#)) und zu Erhebungen in einem Flusstal-Moor ([BEYER & GRENZDÖRFFER, 2018](#)) erfolgreich kartiert werden.

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 zwischen verschiedenen Indikatoren, auswählen. Besonders für Heide-Lebensräume konnten damit sehr gute Ergebnisse erzielt werden ([BUCK ET AL., 2018](#)). RGB-Orthofotos aus Drohnendaten würden sich da wohl auch einspeisen lassen.

Aufgrund starker **Bodenbelastung durch Munitionsrückstände** werden auf einer

normalisiertes digitales Oberflächenmodell (**nDOM**) = Digitales Oberflächenmodell (DOM) minus Geländemodell (DGM = Bodenhöhen) ([Eltner et al., 2022](#))

Heidefläche des DBU-Naturerbes Vegetations-Kartierungen und Erfassungen des Bodenreliefs mittlerweile ebenfalls mit Hilfe von Drohnen durchgeführt ([DBU, 2022](#)).

FAZIT

Tab. 29: Vegetationsmonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Schwierigkeit   Erfahrung    Nutzen   		
Ziel	Vorteile	Daten
<a href="#">Ableitung von Pflanzenparametern</a> (oft mit Multispektralkameras)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>hochaufgelöste Orthofotos</b></li> <li>○ <b>Multispektral-Analysen</b></li> <li>○ <b>Vegetations-Indizes</b> - auch aus RGB-Fotos</li> <li>○ Ertrags-Analysen i.V. mit Höhenmodellen</li> <li>○ mit Mehrfrequenz- GNSS - <b>genaue Verortung</b></li> <li>○ <b>spart Zeit</b></li> <li>○ <b>permanente Dokumentation</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Fotos</b> - RGB, Multispektral, Thermal</li> <li>● <b>Orthomosaik</b></li> <li>● <b>Höhenmodelle</b></li> </ul>
<a href="#">Ertragsschätzungen über Pflanzenhöhe</a>		
<a href="#">Pflanzengesundheit</a>		
<a href="#">Pflanzenzählung</a>		
<a href="#">Pflanzenerkennung und</a>		
<a href="#">Einzelpflanzen-Kartierung</a>		
<a href="#">Überblick</a>		

Tab. 30: Vegetationsmonitoring - Empfehlungen (Döring, 202)

Methodik/Parameter	Grund
<b>Unbedingt die <u>Störungsökologischen Grundregeln</u> (v.a. Brut- und Mauserzeiten) beachten!</b>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
Die <a href="#">Parameter für gute Bilder</a> sollten immer beachtet werden.	
Die <b>effektivste Flugweise</b> wird durch programmierte Rasterflüge erreicht. → <b>Überlappung von mind. 75 % vorwärts und 60 % seitlich</b> programmieren.	Für brauchbare Orthofotos wird immer eine gewisse Überlappung benötigt - s. <a href="#">Parameter für gute Bilder</a> .
<b>Bei einförmigen Strukturen wie hohes Gras(land) - z.B. Blütenwiese mit vielen oberständigen Gräsern, Maisfelder, u.ä. sollte</b> → <b>die Überlappung mind. 85 % vorwärts und 70 % seitlich betragen.</b>	Photogrammetrie-Programme haben oft Probleme, da sie bei sehr gleichförmigen Strukturen keine eindeutigen Verknüpfungspunkte zwischen den einzelnen Bildern finden - s. ( <a href="#">PIX4D, 2022A</a> ). Deshalb hohe Überlappung wählen und möglichst viele ' <b>Struktur</b> ' wie

→ <b>auf guten Kontrast in Bildern geachtet werden.</b>	Büsche oder Bäume am Rand oder auf der Fläche <b>mit aufnehmen</b> . Bei guten Wetterbedingungen (bes. wenig Wind) fliegen - s. <a href="#">Parameter für gute Bilder</a>
Es sollte <b>immer so hoch, wie möglich</b> geflogen werden - s. <a href="#">Offene Landschaften</a>	Die Effizienz erhöht sich außerdem mit größerer Flughöhe, da die Flächenleistung höher wird - s. <a href="#">Sensor-Auflösung</a> . Außerdem sollte aus störungsökologischen Gründen immer möglichst viel Abstand zu potenziell präsenten Tieren am Boden gehalten werden.
<b>Flüge auf unterschiedlichen Höhen</b> können Aufnahmen bis auf Artenniveau ermöglichen.	<b>Orthofotos aus größerer Flughöhe</b> können evtl. <b>durch Einzelfotos aus niedriger Höhe verifiziert</b> werden.
<b>Fluggebiete</b> durch Erfahrung oder Beobachtungen von Flächenbetreuern und Artenkennern <b>auf wahrscheinliche Vorkommen der Ziel-Art(en) eingrenzen</b> .	Die Eingrenzung der Fluggebiete empfiehlt sich, um Ressourcen zu schonen und Frust zu minimieren. Die Suche auf Verdacht ist oft wenig erfolversprechend.
<b>Flüge mit unterschiedlichen Sensoren</b> erweitern das Spektrum für weiterführende Analysen.	Siehe Anwendungen in Tab. 6 - <a href="#">Sensoren als Payload</a>
<b><u>Ground Truthing</u></b> Zur ersten einfachen Überprüfung von Arten kann z.B. die App <a href="#">Flora Incognita</a> herangezogen werden.	Die <b>Verifizierung</b> ( <i>Ground Truthing</i> ) der detektierten Arten <b>durch Fachleute</b> ist absolut <b>nötig</b> .
Normale Flüge können durch zusätzliche Flüge mit <b>Schrägaufnahmen</b> - etwa <b>75° - 85° Kamerawinkel</b> - ergänzt werden.	Schrägaufnahmen können helfen, Vegetationshöhen besser abzuschätzen - s. <a href="#">Schrägaufnahmen - Oblique-Fotos</a> .

# FAUNAMONITORING

## 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. 31 sind viele Tier-Klassen und Arten mit beispielhaften Veröffentlichungen aufgelistet, die bereits mit Hilfe von Drohnen erforscht werden.

Tab. 31: Tier-Klassen und Drohnenmonitoring - Veröffentlichungen (Döring, 2021)

Tier-Familien	Veröffentlichungen
<b>Säugetiere</b>	<a href="#">terrestrische &amp; marine</a>
<b>Vögel</b>	<a href="#">Wasservögel, Vogel-Kolonien, Bodenbrüterschutz, Störungsvermeidung, Adlerschutz ...</a>
<b>Reptilien</b>	<a href="#">Krokodile, Eidechsen &amp; KI</a>
<b>Fische</b>	<a href="#">Lachs, Forelle, Hai, Forschung</a>
<b>Insekten</b>	<a href="#">Schmetterlinge, Monitoring</a>

In Deutschland sind tierbezogene Drohnen-Einsätze momentan hauptsächlich auf die **Rehkitzrettung** und **Forschungsprojekte** oder **Naturschutzverbandsaktivitäten** (z.B. [www.abu-naturschutz.de](http://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.

Weitere Anwendungs-Beispiele finden sich auch hier <https://www.lfu.bayern.de/natur/drohnen/index.htm> und im ausführlichen [DroBio Forschungs-Bericht](#).

## WILDTIERRETTUNG

Jedes Jahr sterben in Deutschland laut Deutscher Wildtierstiftung über 500.000 Wildtiere, davon ca. 90.000 Rehkitze, durch Mähwerke, Arbeitsgeräte oder Maschinen-Reifen bei der Grünlandbewirtschaftung ([Dt. WILDTIERRETTUNG, 2022](#)). Auch hochgradig **bedrohte Wiesenbrüter** wie z.B. Rebhuhn, Kiebitz, Großer Brachvogel, Uferschnepfe oder Wiesenweihe erleiden dabei oft signifikante Verluste ([GANTEFÖR; KINSER & FREIHERR V.MÜNCHHAUSEN, 2019](#)). In Bayern und etlichen anderen Bundesländern gibt es eigene Projekte zum gezielten **Schutz von Bodenbrütern** mit Hilfe von Drohnen - s. auch ([DÖRING & MITTERBACHER, 2022](#)). Schon seit Längerem werden unterschiedliche Maßnahmen entwickelt und durchgeführt, um diese Verluste zu mindern - darunter auch der Einsatz von Drohnen - eine Pionierarbeit auf diesem Gebiet sei hier beispielhaft aufgeführt ([ISRAEL, 2015](#)). Drohnen stellen mittlerweile ein probates und selbst staatlich anerkanntes Mittel ([BMEL, 2020](#)) dar, um Rehkitze und

Wiesenbrüter effizient in landwirtschaftlichen Flächen zu finden.

Da das Thema Wildtierrettung bald an anderer Stelle ausführlicher beleuchtet wird, seien hier nur ein paar Webseiten erwähnt, die das Thema zum Inhalt haben - z.B.:

- [https://schwabenkitz.de/leitfaden/Leitfaden\\_zur\\_Kitzrettung.pdf](https://schwabenkitz.de/leitfaden/Leitfaden_zur_Kitzrettung.pdf)
- <https://kitzrettung-hilfe.de>
- <https://www.lfl.bayern.de/publikationen/informationen/220360/index.php>
- [https://www.deutschewildtierstiftung.de/content/3-naturschutz/7-reh-stoppt-den-maethod/3-praxisratgeber-maethod/praxisratgeber-maethod\\_deutsche-wildtier-stiftung\\_2019.pdf](https://www.deutschewildtierstiftung.de/content/3-naturschutz/7-reh-stoppt-den-maethod/3-praxisratgeber-maethod/praxisratgeber-maethod_deutsche-wildtier-stiftung_2019.pdf)
- <https://www.unserebrotschwere.de/landesjagdverband/WebView/>
- [https://docs.uaveditor.com/de//how\\_to-rehkitzrettung\\_und\\_agrarbereich](https://docs.uaveditor.com/de//how_to-rehkitzrettung_und_agrarbereich)

**Fazit**

Tab. 32: Faunamonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Tiermonitoring & Wildtierrettung		
Schwierigkeit 🚁🚁 Erfahrung 🚁🚁🚁 Nutzen 🚁🚁🚁		
Ziel	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nest-Suche</b> (z.B. Kiebitz, Gr. Brachvogel, etc.)</li> <li>• <b>Rehkitzsuche/Wildtierrettung</b></li> <li>• <b>Horst-Kontrollen</b> (z.B. Steinadler)</li> <li>• <b>Vogelzählung</b> - bes. Kolonien</li> <li>• <b>Bibermonitoring</b></li> <li>• <b>Feldhamstermonitoring</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>schnelle und spurlose Nestsuche</b></li> <li>○ effektive Suche über <b>Wärmebilder</b></li> <li>○ <b>weniger Störung</b></li> <li>○ <b>effektivere Zählung von Nestern/Kolonien</b> aus der Luft - bis zu 300 % mehr Nester gezählt</li> <li>○ <b>schneller als Baumkletterer zur Horstkontrolle</b></li> <li>○ permanente Dokumentation zur sichereren Zählung - auch nachträglich noch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Live-Monitorbild</b> zur rein visuellen Ad-Hoc-Auswertung</li> <li>• <b>Fotos</b> - RGB, <b>Thermal</b></li> <li>• ggf. Orthophotos zur Analyse</li> <li>• Videos</li> </ul>

Tab. 33: Faunamonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Immer so hoch wie möglich fliegen.</b></li> <li>• <b>Nicht in unmittelbarer Nähe der Vögel/Tiere und von Nist- oder Mauseergebieten starten und landen.</b></li> <li>• <b>Sehr vorsichtig und gleichmäßig fliegen.</b></li> </ul>	<p>Grundregeln zur Minimierung von Störungen und zur erfolgreichen Detektion und Beobachtung - s. <a href="#">Störungsökologische Grundregeln</a>.</p>
<p>Die effektivste Wildtiersuche ist mit Hilfe von <b>programmierten Rasterflügen</b> (<a href="#">KAUFMANN; HOLLIGER &amp; SON, 2022</a>).</p> <p>Flugplanung: z.B. (<a href="#">FLUGMODUS E.V., 2021</a>)</p> <p>→ Zur Detektion von Tieren benötigt man <b>nur eine geringe Überlappung</b> der Flugbahnen.</p> <p>→ <b>Suchgebiete</b> durch Erfahrung oder Beobachtungen von Jägern oder</p>	<p>Wenn Gebiete zur Tiersuche befliegen werden sollen, möchte man sicher gehen, <b>dass auch die ganze Fläche befliegen wird.</b></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 <b>Ressourcen zu schonen</b></p>



<p>anderen Flächenkennern auf <i>Hot-Spot</i>-Gebiete mit Tiervorkommen <b>eingrenzen</b>.</p>	<p>und Frust zu minimieren. Ein <b>Suchen auf Verdacht</b> ist <b>offen wenig erfolgversprechend</b> - s. <a href="#">Störungsökologische Grundregeln</a>.</p>
<p><b>Manuelle Flüge</b></p> <p>→ z.B. zur <b>Kontrolle von Vogelhorsten, -kolonien</b> oder zur gezielten Tier-Suche an Felsen, Bächen o. Ä.</p> <p>→ Für die <b>Wildtierrettung</b> 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 <b>steht und fällt die Genauigkeit mit dem Piloten</b>.</p> <p>Die <b>sichere Abdeckung</b> des Suchgebiets ist <b>nur bei idealen Geländebedingungen Kenntnissen des Gebiets und genügend Erfahrung des Piloten</b> möglich. Das Fehlerpotential ist oft hoch.</p>
<p><b>Thermalkameras</b> sind zur Tier-, Nestsuche und Wildtierrettung zu empfehlen/notwendig.</p> <p>→ Besonders im Sommer oder an warmen/sonnigen Tagen sollte möglichst <b>in den frühen Morgenstunden</b> geflogen werden.</p>	<p>Viele Tierarten sind gut getarnt und können leichter bzw. ausschließlich durch Thermalkameras detektiert werden - s. <a href="#">Sensoren als Payload</a></p> <p>Je höher der <b>Temperaturunterschied</b> zwischen Tierkörper und Umgebung ist, desto leichter ist die Detektion des Tieres.</p> <p>Ausführlichste Infos findet man in "<b>Thermal Imaging Techniques to Survey and Monitor Animals in the Wild: A Methodology</b>" (<a href="#">Havens &amp; Sharp, 2015</a>).</p>
<p><b>Nach neuem Recht darf eine Drohne jetzt auch ohne besondere Genehmigung in der Nacht oder Dämmerung geflogen werden.</b></p> <p>Allerdings muss diese dazu seit 07/2022 mit einem <b>grünen Blinklicht</b> ausgestattet sein - <a href="https://www.lba.de/DE/Drohnen/FAQ/01_FAQ_Allgemein/FAQ_node.html">https://www.lba.de/DE/Drohnen/FAQ/01_FAQ_Allgemein/FAQ_node.html</a></p>	
<p><b>Nester von Bodenbrütern auf keinen Fall berühren!</b></p> <p>→ Nur für den Landwirt markieren - z.B. durch Abstecken mit Bambusstäben.</p>	<p>Viele Bodenbrüter sind durch das Bundesnaturschutzgesetz bes. <a href="#">§ 44</a> streng geschützt. <b>Ihre Manipulation kann strafrechtliche Konsequenzen nach sich ziehen (§§ 69 - 71)!</b></p> <p>→ z.B. <a href="https://kitzrettung-hilfe.de/helferinfos/wenn-gelege-gefunden-werden">https://kitzrettung-hilfe.de/helferinfos/wenn-gelege-gefunden-werden</a></p>
<p><b>Synergieeffekte nutzen!</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rehkitzretter achten auch auf Bodenbrüter = <b>Wildtierretter</b></li> </ul>

- Wildtierretter können auch für **Naturschutzaufgaben** im Gegenzug für einfachere Genehmigungen und eine Unkostenerstattung fliegen.

### Unkosten-Kompensationsideen für Drohnen-Wildtierretter

- Es werden Förder-Kulissen für Gebiete mit einem hohen Aufkommen an Wildtieren (Rehe, Bodenbrüter etc.) definiert, in denen Landwirte, benachteiligt durch zeit-aufwendiges 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.

Befliegungen zum Schutz oder Monitoring von Tieren können grundsätzlich auf zwei Methoden erfolgen - entweder mit geplanten Rasterflüge oder durch ma-

nuelles Befliegen. Die Vor- und Nachteile dabei sind in den nachfolgenden Grafiken ersichtlich (Abb. 23 + 24 in Anlehnung an [ARBES, 2017](#)).

## Monitoring - Vögel oder Wildtierrettung

### Raster-Flüge zum flächigen Abfliegen

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

abgeändert nach ([ARBES, 2017](#))

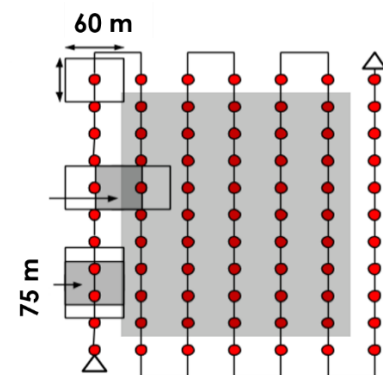


Abb. 23: Wildtierrettung - automatisierter Flug (Döring, 2021)

## Monitoring - Vögel oder Wildtierrettung

### manuelle Flüge zur

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

abgeändert nach ([ARBES, 2017](#))

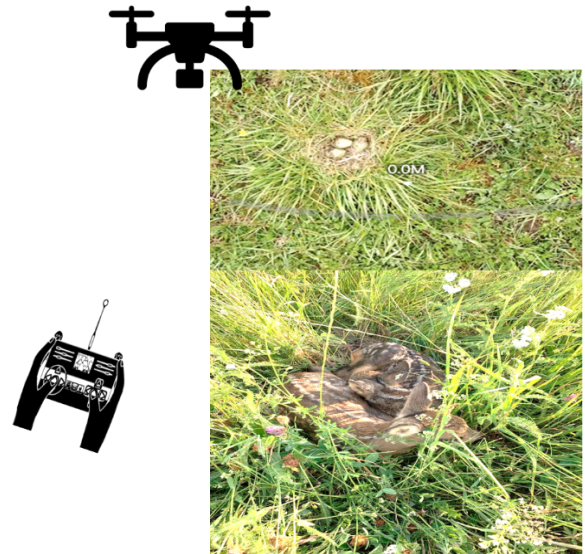


Abb. 24: Wildtierrettung - manueller Flug (Döring, 2021)

### Wildtierrettungs-App

Der [UAV Editor](#) ist eine für die Wildtierrettung kostenfreie (auf freiwilliger Spendenbasis) und sehr nützliche Software. Sie erlaubt sowohl die Flugplanung mit **höhenangepassten Flügen** (also immer

im gleichen Abstand vom Erdboden), als auch ein strukturiertes und langfristiges Online-Management der Flächen.

Dazu einige informative Webseiten:

- **UAV Editor für die Wildtierrettung** - [https://docs.uaveditor.com/de//how\\_to-rehkitzrettung\\_und\\_agrarbereich](https://docs.uaveditor.com/de//how_to-rehkitzrettung_und_agrarbereich)
- **Flugplanung**
  - [Rehkitzrettung: Flugplanung in DJI Pilot \(Mavic 2 Enterprise Advanced\)](#)
  - [Flugplanung mit dem UAV Editor – Anleitung für die Mavic Advanced](#)
- **Flug und Auswertung** - [Flug und Auswertung mit dem UAV Editor](#)

## LACHS- &amp; BIBERMONITORING

## Einleitung Lachsmonitoring

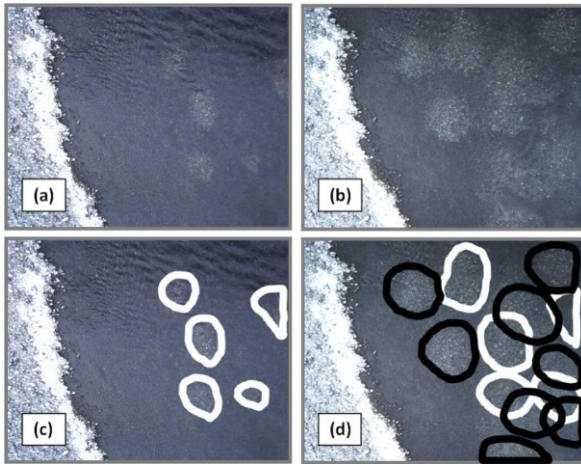


Abb. 25: Lachs-Laichbetten - Redds  
([GROVES ET AL., 2017](#))

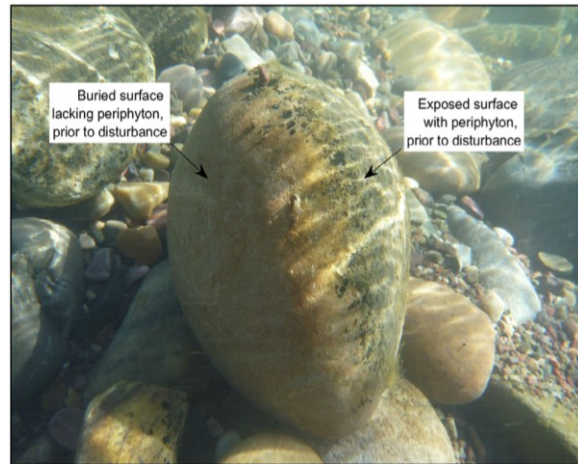


Abb. 26: Zweifarbiger Kiesel  
([HARRISON ET AL., 2020](#))

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 Verschlechterungsverbot 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. 25 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.

Dabei werden viele oberflächlich dunkel mit Algen bewachsene Kiesel umgedreht und ihr weißer 'Bauch' in der Grube sichtbar (Abb. 26).

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 **fern-gesteuerten 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 ([WHLTEHEAD 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 farbig 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](#)).



## Einleitung Bibermonitoring

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. 27: Bibermonitoring im Moor (Döring, 2022)

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** ([PUTTOCK 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 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 Gewässer-

abschnitt. 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 **Slobozhanskyi 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**) wurde ebenfalls eine handelsübliche Drohne eingesetzt.

**Fazit**

Tab. 34: Lachs- und Bibermonitoring - Zusammenfassung (Döring, 2021)

Lachs-/Biber-Monitoring		
Schwierigkeit  	Erfahrung   	Nutzen   
Ziele	Vorteile	Daten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laichgruben-Monitoring von Lachs/Forelle</li> <li>• Fisch-Habitatkartierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>zeitsparend</b> - ein Stück Fluss kann von einem Punkt aus inspiziert werden ↔ Ablaufen</li> <li>○ <b>besserer Überblick</b> (bes. an unzugänglichen Flussabschnitten)</li> <li>○ permanente Dokumentation mit Bildern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>visuelle</b> Inspektion + Zählung über Display</li> <li>• <b>Fotos</b> - automatisierte Aufnahmen oder manuell</li> <li>• <b>Videos</b></li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bibermonitoring</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Habitat-Inspektion</li> <li>○ Bauwerke/Spuren erfassen</li> <li>○ evtl. Biberzählung (mit Thermal-Kamera)</li> </ul> </li> </ul>		

Tab. 35: Lachs-/Bibermonitoring - Empfehlungen (Döring, 2021)

Methodik/Parameter	Grund
<b>Unbedingt die <u>Störungsökologischen Grundregeln</u></b> (v.a. Brut- und Mauserzeiten) <b>beachten!</b>	Störungsvermeidung → weniger Konflikte mit Naturschutzbelangen
<b>Manueller Flug</b> - mit Displayunterstützung oder <b>automatischer Flug für flächige Kartierung</b> mit <u>Korridor-Flugplanung</u>	Oft reicht ein manueller Flug, ggf. ggf. mit manuell ausgelösten Fotos oder mit Videoaufnahme zur Dokumentation. Für brauchbare Orthofotos wird wie immer eine gewisse Überlappung benötigt - s. <u>Parameter für gute Bilder</u> und <u>Gewässermonitoring-Fazit</u>
Man kann an kleineren Flüssen so hoch fliegen, dass das <b>gesamte Flussbett auf dem Bildschirm</b> zu sehen ist. <b>Für das Biber-Monitoring müssen v.a. die Uferbereiche beflogen werden.</b>	Damit fliegt man am effizientesten, da nur eine Flugbahn nötig ist - s. <u>Auflösung - GSD</u> .  Rutschen und Burgen befinden sich oft am Ufer.
Man sollte möglichst <b>im laubfreien Zustand fliegen</b> , damit die Lachslaichbetten und <b>Biberburgen, -dämme und -rutschen</b> besser detektiert werden können.	Ohne Laub ist es generell einfacher Lachslaichbetten und <b>Biber Spuren</b> zu sehen. Wenn nötig kann man zur Untersuchung kleinerer Objekte die Drohne absenken.
<b>Mit noch mehr Vorsicht fliegen</b> , 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.

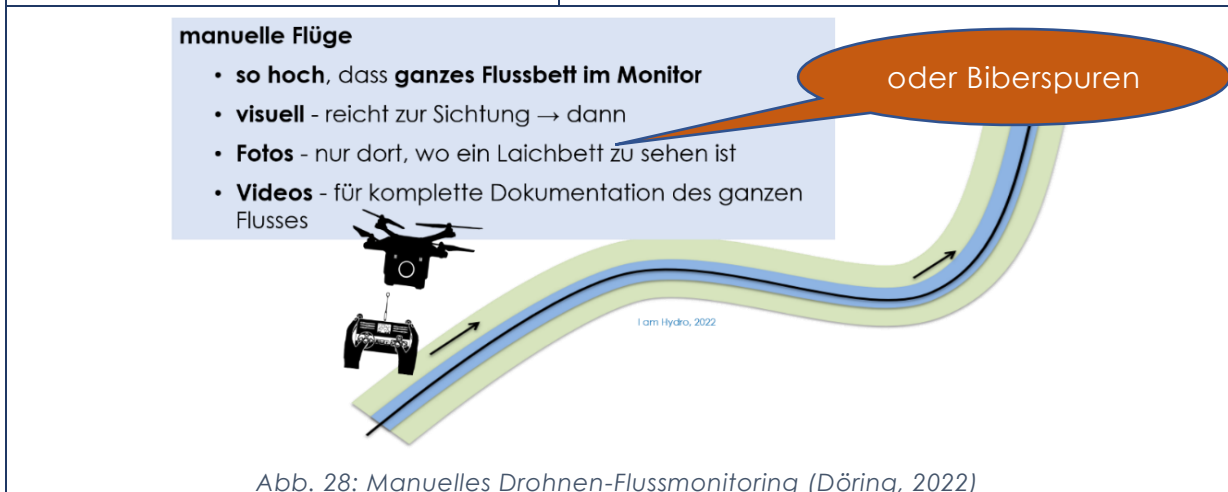


Abb. 28: Manuelles Drohnen-Flussmonitoring (Döring, 2022)

# 05 AUSWERTUNG

Sind die Befliegungen dann erfolgreich abgeschlossen und alle Daten beieinander, kommt ein vielleicht noch zeitaufwendigerer Teil - nämlich die Prozessierung der Bilder und die anschließenden Analysen.

## BEARBEITUNG DER ERFLOGENEN BILDER

Die Weiterverarbeitung der erfolgten Bilder zu Orthofotos erfolgt mittels photogrammetrischer Software. Im Folgenden sollen einige selbst genutzte und empfehlenswerte Programme kurz mit

Aus der Vielzahl der Möglichkeiten sollen hier nur die beschrieben werden, die selbst erprobt wurden und als einfach praktikabel und kostengünstig weiterempfohlen werden können.

ihren wichtigsten Eigenschaften beschrieben werden.

Vorab aber noch zwei Empfehlungen für die Bearbeitung von Einzelfotos und Videos.

## BILD-/VIDEOBEARBEITUNG

### BILDBEARBEITUNG MIT GIMP

Das Open Source-Programm GIMP ([GIMP, 2022](#)) ist ein sehr mächtiges Bildbearbeitungsprogramm, das den teuren Konkurrenten in fast nichts nachsteht. Der große Leistungsumfang bedeutet aber leider auch einen genauso hohen Zeitaufwand für die Einarbeitung. Es ist auch als [portable Version](#) verfügbar, die ohne Registrierung im Betriebssystem in einen Ordner oder auf einen USB-Stick installiert werden und von dort genutzt werden kann.

Mit ihm wurden z.B. die Mistel-Fotos unterschiedlich eingefärbt, um die einzelnen Misteln besser sichtbar hervorzuheben (Abb. 29). Das Bild wurde mit den Einstellungen *Hue -39* (*Colors* → *Hue-Saturation*) versehen, wodurch die Bäume grün-grau und die Misteln rot erscheinen und sich gut vom Rest der Landschaft abheben.

Anmerkung: Für andere Fotos oder Geschmäcker mögen andere Werte sinnvoller sein und Ausprobieren bleibt unumgänglich! Für die Einfärbung können natürlich auch andere bzw. sollten ggf. schon bekannte Bildbearbeitungsprogramme verwendet werden.



Abb. 29: farblich verändertes Mistelbild - Misteln in hellrot (Döring, 2021)

Mit solch farblichen Veränderungen ist auch die automatisierte Bild-Auswertung einfacher. Stärkere Kontraste sind sowohl für die Erstellung von Trainingsflächen zur Bildklassifizierung von Vorteil, als auch für eine KI besser zu unterscheiden.

Falschfarben-Fotos (Fehlfarben-Kompositen, [CIR-Bilder](#) = *Colored InfraRed*) sind

in der Fernerkundung schon lange gebräuchlich, um Merkmale von Objekten (v.a. von Vegetation), die 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.

## VIDEOBEARBEITUNG

Videos aus Befliegungen wurden meist zuerst mit dem recht einfach zu bedienendem Programm **Avidemux** (AVIDEMUX, 2022) bearbeitet.

Es ist ein einfaches Video-Editier-Programm, das ebenfalls als [Portable Version](#) auf einem USB-Stick betrieben werden kann.

- Das [Schneiden eines Videos](#) erfolgt durch Setzen eines Anfangs- und Endpunktes zur Definition des auszuschneidenden Abschnitts. Durch Drücken von **ENTF** löscht man den ausgewählten

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

- Als Ausgabeformat sollte **MP4-Muxer** eingestellt werden, um Videos im MP4-Format 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. Das kann dann eine Weile dauern.

## PHOTOGRAMMETRIE-PROGRAMME

Zum Zusammensetzen der Einzelfotos zu einem Gesamt-Luftbild (*Orthofoto*) und Höhenmodell wurden unterschiedliche

Programme verwendet, die hier mit ihren Vor- und Nachteilen kurz dargestellt werden.

### MAPS MADE EASY

Das Online-Programm [Maps Made Easy](#) (MME) ist wohl die einfachste Lösung, um aus den erfliegenen Einzelbildern (*JPGs*) ein Orthofoto zu erstellen. Es kann v.a. für kleinere Büros oder FreiberuflerInnen empfohlen werden, die keine eigene Software beschaffen oder sich nicht weiter mit der Foto-Prozessierung auseinandersetzen wollen.

Zu Benutzung von MME sind keine besonderen Kenntnisse notwendig, da die Bilder nur auf den Online-Server hochgeladen werden müssen. Nach Vergabe eines Namens für die neue Karte und ein paar weiteren Klicks wird die Prozessierung angestoßen und man kann sich anderen Dingen widmen. Allerdings gibt es

keine Möglichkeit zur Einflussnahme auf den Bearbeitungsprozess.

Ein großer Vorteil ist, dass kein teurer eigener leistungsstarker PC angeschafft werden muss, der üblicherweise für die Nutzung von Photogrammetrie-Programmen notwendig ist.

Diese Programme sind in der Regel ziemlich Ressourcen-hungrig und bedürfen einer gewissen Leistungsstärke, um die Bilder (in vernünftiger Zeit) prozessieren zu können.

Als Ergebnis stehen bei MME verschiedene Datenformate zur Verfügung, die nach Beendigung der Prozessierung heruntergeladen werden können (Abb. 30).



Advanced Output	Download by June 28 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. 30: Outputs in MapsMadeEasy (Döring, 2022)

Die wichtigsten Daten zur Weiterverarbeitung sind v.a. georeferenzierte [Geo-Tiffs](#), die mit ihrer korrekten geografischen Lage direkt in einem GIS analysiert werden können.

Das **KMZ-Format** besteht aus einer gezippten Datei, die beispielsweise direkt in [Google Earth](#) hineingezogen werden, dort betrachtet und auf einfache Weise analysiert werden kann. Auch zur Weitergabe ist dieses Format aufgrund seiner geringeren Größe gut geeignet (s. Abb. 30).

## WebODM

Für Personen, die Einfluss auf die Bearbeitung der Fotos haben und Prozessierungs-Parameter verändern wollen, ist das freie

(Custom)
Field
Default
High Resolution
Fast Orthophoto
DSM + DTM
Forest
Point of Interest
Buildings
3D Model
Volume Analysis
Multispectral

Abb. 31: WebODM Pre-sets (Döring, 2022)

Open Source Desktop-Programm [WebODM](#) = *WEB Open Drone Map* ([WEBODM, 2022](#)) zu empfehlen.

Das Programm bietet Vor-Einstellungen (Pre-sets) für Standardszenarien wie Feld, Gebäude, Wald etc. an (Abb. 31), die bereits brauchbare

Ergebnisse liefern. Nach Auswahl und Hochladen der Bilder plus Vergabe eines Namens für das Projekt muss nur noch auf Start geklickt werden.

Außerdem können aber auch einzelne Parameter 'feingetunt' werden. Dazu bedarf es dann aber, wie bei jedem anderen professionellen Programm, einer tieferen Kenntnis.

Mit Hilfe des Handbuchs ([https://odm-book.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.

Der Betreiber der Seite [DronesMadeEasy](#) ist auch der Anbieter der schon genannten Flugplanungs-App [Map Pilot](#). (s. [Apps zur Flugplanung](#)).

Mit der Subskription-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. Diese liegen aber auch in einem bezahlbaren Rahmen und können ggf. direkt an Kunden weitergegeben werden.

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

Die Fotos für ein solches Teilgebiet kann man recht einfach mit dem weiter unten beschriebenen Programm [droneDB](#) auswählen.

Es existiert auch ein Prepaid-Modell für die Bild-Prozessierung, bei dem (ohne *Map Pilot*-Abo) Punkte für die Prozessierung gekauft werden können.

Alle Preismodelle findet man hier - <https://www.mapsmadeeasy.com/pricing>.



Alternativ kann man natürlich auch einfach ausprobieren, wozu man aber erst einmal kleine *Subsets* (Untermengen - s. Abb. 32) der Bilder nehmen sollte. Das hält die Prozessierungszeit nach jedem Ändern von Parametern möglichst kurz. Mittlerweile steht die Software als natives Windows-Programm zur Verfügung. Der Installer für 50 € bzw. 140 € spart 'Normalsterblichen' viel Zeit, gegenüber der ansonsten völlig kostenlosen, aber selbst zu installierenden [GitHub-Version](#). Eine aktive *Community* treibt die Weiterentwicklung von *WebODM* ständig voran und es liefert mittlerweile eine mit teuren Programmen durchaus vergleichbare Qualität der Ergebnisse. Deswegen und aufgrund seiner günstigen Anschaffungskosten wird es auch immer häufiger in Forschung und Praxis eingesetzt.

Allerdings braucht man für dieses wie auch die meisten anderen Photogrammetrie-Programme noch einen leistungsfähigen PC, der (viel) mehr *Power* als ein üblicher Office-PC haben sollte ([WEBODM, 2023](#)). Die dafür nötigen mehreren Tausend Euros (beginnend bei etwa 2.000 €) müssen deswegen zwingend in die wirtschaftliche Kalkulation einbezogen werden.

### droneDB - FOTOAUSWAHL

Vom gleichen Hersteller wie *WebODM* ist auch das Programm [droneDB](#) (DRONEDB, 2022), eine Datenbank, die die Verwaltung und Visualisierung von Drohnenfotos und eine Erstellung von *Subsets* sehr einfach macht (Abb. 32).

Dies ist dann sehr nützlich, wenn man ein großes Gebiet prozessieren will, die opti-

### AGISOFT METASHAPE

Die vertikalen Orthoansichten der Felsen wurden mit dem russischen Photogrammetrie-Programm [Agisoft Metashape](#)

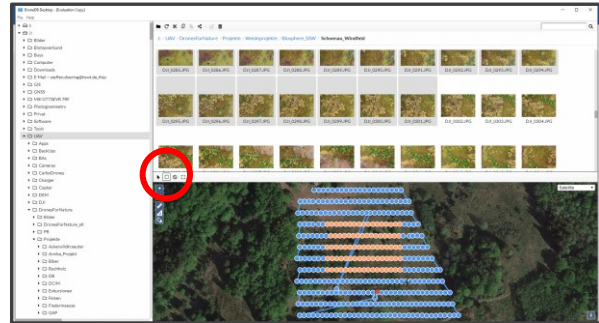


Abb. 32: droneDB- Fotoauswahl (Döring, 2021)

malen Parametereinstellungen aber erst noch herausfinden muss. Dazu empfiehlt sich, wie schon erwähnt, das Testen an einem kleinen Gebietsausschnitt, um die Prozessierungszeiten mit immer wieder geänderten Parametern gering zu halten.

Über den *Viereck-Button* (in Abb. 32 rot umrandet) können die gewünschten Bilder ausgewählt werden, indem man ein Rechteck über sie aufzieht. Die ausgewählten Bilder werden dann im oberen Fenster grau hinterlegt. Mit Rechtsklick kann man diese dann in einen eigenen Ordner kopieren, um sie z.B. in *MME* kostenlos prozessieren zu lassen.

Zuvor wurde zur Auswahl der Fotos für ein Teilgebiet die QGIS-Erweiterung **Import Photos** verwendet, mit der in QGIS ein Punkt-Layer der Fotomittelpunkte erstellt werden kann. Durch das Anzeigen der Bildnamen (*Labels*) in diesem Punkt-Layer können ebenfalls die Fotos eines bestimmten Gebietsausschnitts herausgefunden werden. Diese müssen dann allerdings noch in ihrem Ordner händisch ausgewählt und eigens als *Subset* abgespeichert werden. Dieser Prozess ist um einiges umständlicher und zeitaufwändiger.

prozessiert, da die beiden anderen Programme noch keine Erstellung von

Orthofotos/-ansichten vertikaler Strukturen anbieten.


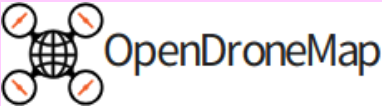

2020 kostete die *Educational Version* 'nur' 588 €. Sie darf aber auch nur für Forschung und Lehre verwendet werden. Für gewerbliche Anwendungen benötigt man die Vollversion, die ca. 3.500 € kostet. Damit bewegt man sich durchaus im Kosten-Rahmen vieler anderer kommerzieller Mitbewerber. Allerdings

erwirbt man bei Agisoft einmalig eine Lizenz mit lebenslangen Updates und muss kein jährliches Abonnement zahlen. Die Entwicklung der Software ist sehr dynamisch und der Support bei Anfragen schnell und zuvorkommend.

Die Anforderungen an die Hardware-Leistung sind aber auch hier höher und müssen einkalkuliert werden ([AGISOFT, 2022](#)).

## VERGLEICH DER VERWENDETEN PHOTOGRAMMETRIE-SOFTWARE

Tab. 36: Vergleich der verwendeten Photogrammetrie-Software (Döring, 2022)

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

Für einen Vergleich vier unterschiedlicher Photogrammetrie-Programme (**WebODM**, **Agisoft Metashape**, **Pix4D**, **Correlator3D**) wurden fünf Datensets unterschiedlicher Drohnenbefliegungen (Weinberg, Riff, Küstenstreifen/Strand und Stadt) von einer Online-Plattform für Drohnen- und Satellitendaten (**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. 37 werden zusätzlich zu den bereits vorgestellten einige weitere Photogrammetrie-Programme hinsichtlich ihres Preises und ihrer Prozessierungsmöglichkeiten verglichen.

Tab. 37: Vergleich von Photogrammetrie-Programmen hinsichtlich ihres Preises und ihrer Prozessierungsmöglichkeiten (Döring, 2022)

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

## ANALYSEN VON EINZELBILDERN UND ORTHOFOTOS

Nach der photogrammetrische Prozessierung können die resultierenden Orthofotos, Höhenmodelle und Punktwolken für verschiedene Analysen herangezogen werden.

Die Auswertung der Einzelbilder oder Orthofotos kann in unterschiedlichen Software-Applikationen und in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden erfolgen.

### EINZELBILD/VIDEO-AUSWERTUNG

Einzelbilder oder Videos können einfach in entsprechenden Programmen (*Viewern*) visuell analysiert und relevante Objekte oder Strukturen darin gezählt werden.

Mittlerweile gibt es zur Unterstützung eine steigende Anzahl an KI-basierten Lösungen (KI = Künstliche Intelligenz), die eine automatische Erkennung von

Tieren oder Objekten in Bildern/Videos ermöglichen und somit die Auswertung erheblich erleichtern können.

Doch sind solche fortgeschrittenen Methoden meist nicht einfach einzusetzen - weder hinsichtlich ihrer Bedienung, noch hinsichtlich der benötigten Hard- und Software.

### GIS-AUSWERTUNG VON ORTHOFOTOS

Für die Analyse von Orthofotos in einem GIS (Geografisches Informationssystem) gibt es einige Möglichkeiten.

Für die einfachste Variante einer GIS-Auswertung zieht man ein Orthofoto in das entsprechende GIS-Programm und digitalisiert darauf die zu untersuchenden Flächen oder Objekte. Diese bekommen damit messbare Eigenschaften. Es können beispielsweise Flächen- oder

Streckenanteile ausgemessen oder gezählt werden.

Das erlaubt Veränderungen zu dokumentieren, zu analysieren und objektiv quantifizierbare Ergebnisse aus dem Monitoring zu erhalten.

Die Daten können weiterhin als Tabellen o. Ä. exportiert und zur Weiterverarbeitung in speziellen Statistikprogrammen genutzt werden.

### Google Earth

Google Earth (GE) ist so ein bekanntes ([Online](#)-)GIS-System. In GE ist es möglich georeferenzierte Orthofotos direkt aus dem entsprechenden Ordner hineinzuladen oder einfach hineinzuziehen.

So können

- die eigenen Drohnen-Orthofotos mit **GE-Luftbildern verschiedener Jahre verglichen** werden. Dazu muss man in der oberen Werkzeuggestreife auf die Schaltfläche '*Historische Bilder anzeigen*' (Symbol ähnlich einer Uhr) tippen. Im Anschluss können mit dem

eingblendeten Schieberegler die verfügbaren historischen Ansichten mit dem aktuellen Bild verglichen werden.

- **Flächen** bzw. zu untersuchende Elemente über das hineingeladene *Orthofoto digitalisiert* werden. Dazu ist die Schaltfläche '**Polygon hinzufügen**' anzutippen, woraufhin eine Art Fadenkreuz und ein Pop-up-Fenster erscheinen (Abb. 33). Mit dem Fadenkreuz können nun die Eckpunkte für ein Polygon gesetzt

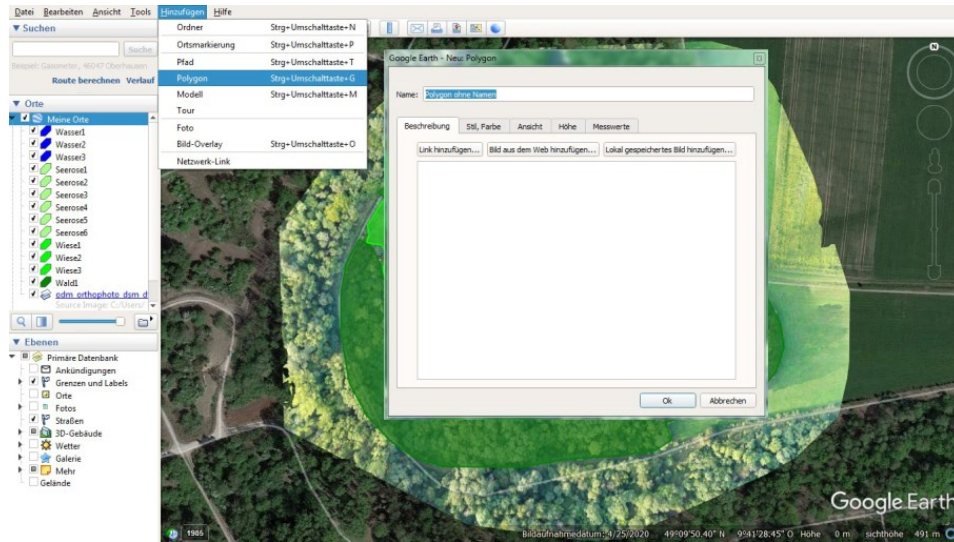


Abb. 33: Import und Bearbeitung - Drohnen Daten in Google Earth (Lutz, 2022)

- werden. Ist der letzte Eckpunkt hinzugefügt, gibt man der Fläche in dem Pop-up-Fenster einen Namen, stellt ggf. noch die Farbe etc. ein und erhält dann beim Schließen das fertige Polygon.
- Unter dem Reiter 'Messwerte' können sowohl die Fläche, als auch der Umfang des Polygons abgelesen werden.
- Die digitalisierten Layer werden links in der Datenleiste gespeichert und können jederzeit verändert werden.
- Die Daten können in **Projekt-Ordern** organisiert werden, was eine systematische Datenhaltung ermöglicht.
- Ein **Ordner** kann mit '**Ort speichern unter ...**' als KMZ oder KML **exportiert**
- und z.B. in QGIS für weitere Analysen weiterverwendet werden.
- Zur **Weiterbearbeitung und Veränderung der einzelnen Flächen** als eigene Geometrien müssen diese in QGIS mittels 'Export' und 'Speichern als' in andere Datenformate umgewandelt werden.

## QGIS

[QGIS](#) ist eine kostenlose Open Source Desktop GIS-Software und mittlerweile immer mehr verbreitet. Es kann mit den vielfältigsten Datenformaten problemlos umgehen. So können Daten meist einfach in QGIS hineingezogen werden und liegen, wenn sie Koordinaten besitzen, direkt auf dem 'richtigen Ort in der Welt'. 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 zusätzlich mit vielen Erweiterungen (*Plugins*) zweckmäßig ergänzt werden. Ein paar *Plugins*, die für die Analyse der Drohnen Daten verwendet/getestet wurden:



## Einzelfoto-Import

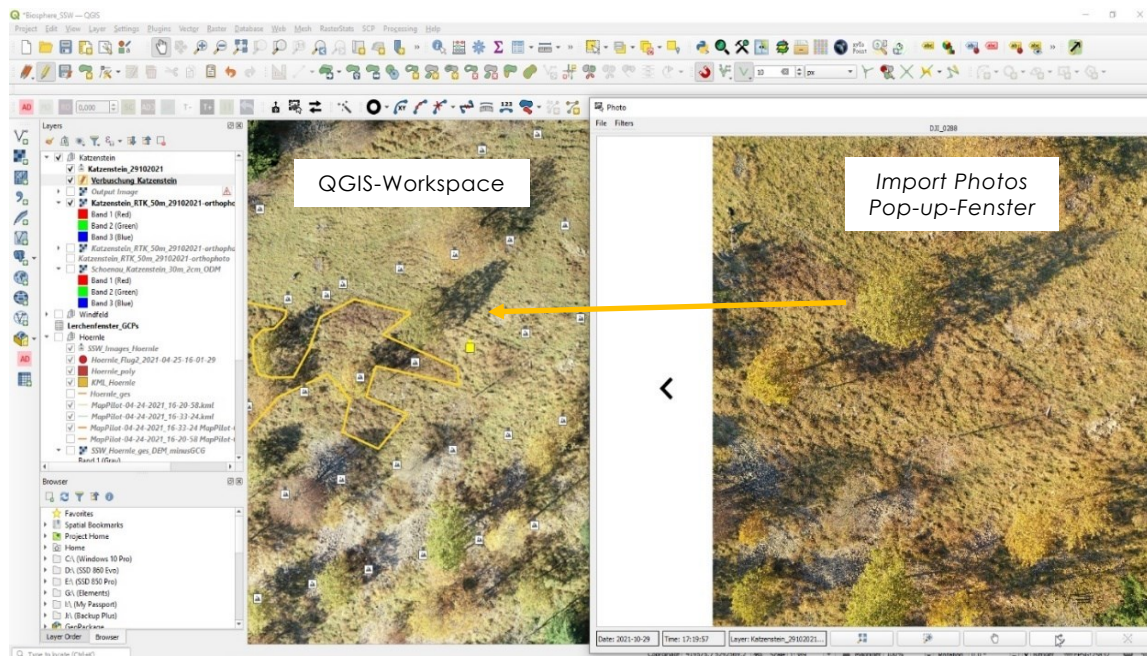





Abb. 34: Katzenstein - Digitalisierung mit Import Photos (Döring, 2022)

Das Tool **Import Photos** ist gut für die visuelle Auswertung von *Orthofotos* durch schärfere Einzelfotos geeignet.

Mit dem **Kamera**-Symbol links    wird aus den Bildmittelpunkten von *Geo-Tagged Fotos* (= Fotos mit Koordinaten in ihren *Meta-* oder *Exifdaten*) ein Punkt-Layer mit den Parametern Bildname, Speicherort, Datum & Zeit der Aufnahme, Höhe, geografische Länge & Breite, Azimut, Nord, Kamerahersteller und -modell, Titel, einem Kommentarfeld und dem relativen Pfad in der Attribut-Tabelle erstellt. Dazu wird der gewünschte Ordner mit den entsprechenden Bildern ausgewählt und die Ausführung gestartet. Der Punkt-Layer wird automatisch in QGIS angezeigt.

Beim Aktivieren der **Bild**-Schaltfläche in der Mitte wird beim Tippen auf einen der Foto-Punkte das dazugehörige Foto, mit seinen Informationen zu Datum & Zeit und der Höhe, in einem eigenen Pop-up-Fenster angezeigt (in Abb. 34 rechts).

Dieses Fenster kann größer gezogen oder *Side-by-Side* angezeigt werden. Die doppelte Ansicht erlaubt die genauere visuelle Inspektion eines *Orthofotos* im Workspace (Arbeitsfläche) mit Hilfe des meist schärferen korrespondierenden Einzelfotos. Dadurch wird das Digitalisieren im Workspace (Abb. 34 links) erleichtert und um einiges genauer. Es können aber auch einfach die Projekt-Fotos mit einer Hintergrundkarte oder andere Layern abgeglichen werden.

Das ist besonders für **Fotos aus manuellen Befliegungen** sinnvoll und beschleunigt die visuelle und manuelle Auswertung von Einzelfotos (z.B. für Biber-, Lachs, Vogelmonitoring).

Angesichts der zeitaufwendigen Einarbeitung und Anwendung von automatisierten Auswertungsmethoden stellt dies oft die schnellste Analyseverfahren dar.



## Automatisierte Auswertungswerkzeuge

Das Klassifikationstool **dzetsaka** eignet sich **für versierte Benutzer** zur (semi-)automatischen Bildklassifizierung.

- Homepage und Anleitung - <https://github.com/lennepkade/dzetsaka>
- Mit ihm können über zu erstellende [Trainings-Gebiete](#) (in diesen bekommen repräsentativ digitalisierte Objekte eine Zuweisung zu unterschiedlichen Klassen und damit erst eine Identifikation) und mit verschiedenen Klassifikations-Algorithmen (*Random Forest, KNN und SVM*) die zu analysierenden 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 die erstellten Flächen.

Das **Semi-Automatic Classification Tool (SCP)** kommt auch mit einer Vielzahl an Algorithmen, Tools etc. ausgestattet und ist speziell für den Download und die Verwendung von Satellitendaten konzipiert.

**Anmerkung:** Jede überwachte (*supervised*) Klassifizierung setzt eine Kenntnis der zu untersuchenden und zu klassifizierenden Objekte voraus ([Ground Truthing](#)), da die Trainingsdaten sauber und genau angelegt und für veränderte Bedingungen jeweils neu angepasst werden müssen.

Zu den in diesem Handbuch propagierten Anwendungsfällen stehen meist nur RGB-Daten (= 'normale' Farbdaten) zur Verfügung, in denen jeder Pixel mit einem Farbcode belegt ist. Über diese Farbcodes erfolgt die Auswertung.

Entsprechend werden ähnliche Farben selbst von unterschiedlichen Objekten gleich und damit ggf. falsch klassifiziert. Auch Schatten von Bäumen können so wie ähnlich farbcodierte dunkle Steine oder Bodenflächen interpretiert werden. **Aus diesen und einigen weiteren Gründen sind die (semi-)automatischen Bildklassifikationswerkzeuge 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.**

Aktueller Hinweis: Am 14.06.2023 wurde im Zuge eines Workshops das **Online-KI-Portal** von [Biodrone](#) vorgestellt. Der Service ist nicht ganz billig, erlaubt aber ohne die Notwendigkeit eigener Kenntnisse oder Hardware Online KI-Modelle zur Auswertung eigener Bilddaten zu erstellen. Dazu wird das Orthofoto hochgeladen und mittels einfacher digitaler 'Ummalung' (Digitalisierung von Kreisen oder Polygonen) der zu detektierenden Objekte eine KI angelernt. Das Ergebnis-Modell kann dann durch einfache Digitalisierungsschritte verbessert werden.

## NACHWORT

Neben dem Handbuch entstanden im Rahmen des [Forschungsprojekts 'Drohnen im Biomonitoring'](#) auch Schulungsmodulare zum Thema und es wurde das Netzwerk *DiB - Drohnen im Biomonitoring* gegründet. Zur Teilnahme an diesem Netzwerk lade ich alle Interessierte herzlich ein. Bei Interesse am Netzwerk oder für Fragen und Kommentare kann man mich gerne unter [dronesfornature@posteo.de](mailto:dronesfornature@posteo.de) kontaktieren.

Der zugehörige ausführlichere und öffentliche Projektbericht ist unter folgenden Webadressen zugänglich (<https://doi.org/10.5281/zenodo.8081653> oder <https://www.researchgate.net/profile/Steffen-Doering/research>).

Er beschäftigt sich näher mit zahlreichen praxisrelevanten Themen und Problemfeldern, die v.a. auch für Behörden relevant sein dürften.

Des Weiteren lade ich alle Leser herzlich ein, eifrig zu kommentieren, um das Handbuch aktuell zu halten und besser zu machen.

Danke fürs Lesen + viele Grüsse!  
Steffen



## LITERATUR

- AEROTAS (2022): "Choosing Flight Altitude | Drone Data Processing". Aerotas: Drone Data Processing for Surveyors. <https://www.aerotas.com/choosing-flight-altitude> (10.8.2022)
- AGAPIOU, A. (2020): "Vegetation Extraction Using Visible-Bands From Openly Licensed Unmanned Aerial Vehicle Imagery". Drones. 2020; 4(2):27. <https://doi.org/doi:10.3390/drones4020027>
- AGISOFT (2022): "Recommendations When Choosing New Hardware for Metashape". Helpdesk Portal. <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000161532-recommendations-when-choosing-new-hardware-for-metashape> (26.5.2023)
- 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=wildlife-news.view\\_article&articles\\_id=877](http://www.adfg.alaska.gov/index.cfm?adfg=wildlife-news.view_article&articles_id=877) (18.7.2022)
- APPLE (2020): "Drohnen Flugbuch". App Store. <https://apps.apple.com/us/app/drohnen-flugbuch/id1402534397> (7.7.2022)
- ARAYA, S. N. ET AL. (2020): "Advances in Soil Moisture Retrieval from Multispectral Remote Sensing Using Unmanned Aircraft Systems and Machine Learning Techniques". preprint. Hydrology and Earth System Sciences, 25(5). <https://doi.org/10.5194/hess-2020-271>
- ARBES, S. (2017): "Wildtiersuche mit Drohnen". [HTTPS://DOI.ORG/10.5281/ZENODO.8064695](https://doi.org/10.5281/ZENODO.8064695)
- 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>
- BAXTER, P. W. J., HAMILTON, G. (2018): "Learning to fly: integrating spatial ecology with unmanned aerial vehicle surveys". Ecosphere, 9(4). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ecs2.2194> (22.05.2020)
- 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)
- BEYER, F.; GRENZDÖRFFER, G. (2018): "Klassifikation von Vegetationstypen auf Moorstandorten unter Verwendung von multisensoralen Drohnen-daten". Conference Paper. [https://www.researchgate.net/publication/324389960\\_Klassifikation\\_von\\_Vegetationstypen\\_auf\\_Moorstandorten\\_unter\\_Verwendung\\_von\\_multisensoralen\\_Drohnen-daten](https://www.researchgate.net/publication/324389960_Klassifikation_von_Vegetationstypen_auf_Moorstandorten_unter_Verwendung_von_multisensoralen_Drohnen-daten)
- 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](https://www.researchgate.net/publication/328345537_Coupling_Unmanned_Aerial_Vehicle_UAV_and_hydraulic_surveys_to_study_the_geometry_and_spatial_distribution_of_aquatic_macrophytes)
- 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)

- 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>
- 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)
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2022): "Moore". BFN. <https://www.bfn.de/moore>
- BUNDESMINISTERIUM FÜR DIGITALES UND VERKEHR (BMDV) (2022): "Schnell in die Luft". dipul | Digitale Plattform Unbemannte Luftfahrt. <https://dipul.de/homepage/de/informatio-nen/allgemeines/schnell-sicher-in-die-luft> (7.7.2022)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (2020): "Kampf gegen den Mäh-tod: Drohnen retten Rehkitze".  
<https://www.bmel.de/SharedDocs/Meldungen/DE/Presse/2021/210630-drohnen-kitze.html> (16.1.2022)
- BUNDESVERBAND COPTER PILOTEN (BVCP) (2022): "BVCP-Flugbuch nach EU-Regeln – Copter-Einsätze!" BVCP. <https://bvcp.de/flugbuch> (7.7.2022)
- CHABOT, D.; BIRD, DAVID M. (2013): "Small Unmanned Aircraft: Precise and Convenient New Tools for Surveying Wetlands". In: *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 01(01), S. 15–24. <https://doi.org/10.1139/juvs-2013-0014>
- 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).  
<https://doi.org/10.1080/23308249.2018.1477736>
- CROPTRACKER (2023): "Drone Technology In Agriculture". <https://www.crop-tracker.com/blog/drone-technology-in-agriculture.html> (27.5.2023)
- 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>
- DE ROOS, S. ET AL. (2018): "Using Digital Surface Models from UAS Imagery of Fire Damaged Sphagnum Peatlands for Monitoring and Hydrological Restoration". In: *Drones Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 2(4), S. 45. <https://doi.org/10.3390/drones2040045>
- DE SÁ, 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). <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> (26.8.2022)
- DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT (DBU) (2022): "DBU-Naturerbefläche Marienfließ". <https://www.dbu.de/naturerbeflaechen/marienfluss> (16.7.2022)
- DEUTSCHE WILDTIERRETTUNG (2022): "Deutsche Wildtierrettung e.V. - Über Rehkitzrettung". <https://www.deutsche-wildtierrettung.de/seite/419530/www.deutsche-wild-tierrettung.de/seite/419530/%C3%BCber.html> (16.01.2022)

- DI GENNARO, S. F. ET AL. (2022): "Spectral Comparison of UAV-Based Hyper and Multispectral Cameras for Precision Viticulture". In: *Remote Sensing* 14(3).  
<https://doi.org/10.3390/rs14030449>
- DJI (2022a): "Matrice 300 RTK – Das Arbeitspferd". DJI. <https://www.dji.com/de/matrice-300> (21.10.2022)
- DJI (2022b): "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 - 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> (27.5.2022)
- DROHNEN.DE (2021): "Neue deutsche Drohnenverordnung ab Juli 2021 [LuftVO §21h]".  
<https://www.drohnen.de/37170/luftverkehrsordnung-2021> (7.7.2021)
- DROHNEN.DE (2022a): "Drohnen Versicherung / Haftpflicht im Vergleich". <https://www.drohnen.de/vergleich-quadrocopter-und-multicopter-versicherungen> (16.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022b): "EU-Drohnenverordnung für DJI MINI 2 [Drohnen-Gesetz]".  
<https://www.drohnen.de/33331/dji-mini-2-eu-gesetz> (13.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022c): "Neuer Drohnenführerschein nach EU-Drohnenverordnung 2021".  
<https://www.drohnen.de/33450/eu-drohnenfuehrerschein> (16.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022d): "Praktisches Selbststudium & Eigenerklärung für EU Fernpilotenzeugnis". <https://www.drohnen.de/34453/praktisches-selbststudium> (16.7.2022)
- DROHNEN.DE (2022e): "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>
- DRONEDPLOY (2022): "3D Models". DroneDeploy. <https://help.dronedeploy.com/hc/en-us/articles/1500004964162-3D-Models> (2.7.2022)
- 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> (6.7.2022)
- DRONOVA, I. ET AL. (2021): "A Review of Unoccupied Aerial Vehicle Use in Wetland Applications: Emerging Opportunities in Approach, Technology, and Data". In: *Drones* 5(2), S. 45. <https://doi.org/10.3390/drones5020045>
- 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>
- DUFFY, J. P. ET AL. (2020): "Drone Technologies for Conservation. WWF Conservation Technology Series". [https://space-science.wwf.de/drones/WWF\\_CT\\_Drones\\_2020\\_web.pdf](https://space-science.wwf.de/drones/WWF_CT_Drones_2020_web.pdf)
- DWYER, J. F.; AUSTIN, D. D.; BEEBE, C. (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>
- 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>



- ELTNER, A. 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](https://www.researchgate.net/publication/359619321_UAVs_for_the_Environmental_Sciences)
- 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>
- 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>
- 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-FörsterInnen-drohne". <https://www.fva-bw.de/projekte/projekt/1788-5g-foersterinnendrohne-automatische-befliegung-von-grossen-waldflaechen-mit-drohnen-im-speziell-ueberwachten-unteren-luftraum-und-datenprozessierung-auf-basis-der-5g-mobilfunktechnologie> (14.10.2022)
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (FVA) (2018): "FVA BW - Jahresbericht 2018". <https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/jahrber/jb2018.pdf>
- FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (FVA) (2023): "Die Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten – AFL". <https://www.waldwissen.net/de/technik-und-planung/waldinventur/fernerkundung-im-forst> (1.1.2023)
- FLUGMODUS E. V. (2021): "Rehkitzrettung: Flugplanung in DJI Pilot (Mavic 2 Enterprise Advanced)". <https://www.youtube.com/watch?v=faElr6dZeb8> (27.03.2023)
- GANTEFÖR, S.; KINSER, A.; V. MÜNCHHAUSEN, H. (2019): "Praxisratgeber Mähtod: ein Ratgeber zum Schutz von Jungwild und Wiesenvögeln". 1. Auflage. Hamburg: Deutsche Wildtier Stiftung. [https://www.deutschewildtierstiftung.de/content/3-naturschutz/7-reh-stoppt-den-maehod/3-praxisratgeber-maehod/praxisratgeber-maehod\\_deutsche-wildtierstiftung\\_2019.pdf](https://www.deutschewildtierstiftung.de/content/3-naturschutz/7-reh-stoppt-den-maehod/3-praxisratgeber-maehod/praxisratgeber-maehod_deutsche-wildtierstiftung_2019.pdf)
- GANZ, S.; KÄBER, Y.; ADLER, P. (2019): "Waldinventur aus Luftbildern und LiDAR-Daten - Mit welcher Genauigkeit und Präzision lassen sich Baumhöhe, Kronenradius und Kronenan-satz von Douglasien ableiten?". [https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2019/proceedings/proceedings/papers/84\\_3LT2019\\_Ganz\\_et\\_al.pdf](https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2019/proceedings/proceedings/papers/84_3LT2019_Ganz_et_al.pdf)
- GESCHÄFTSSTELLE GEWÄSSERÖKOLOGIE (2022): "Downloadbereich - Landesstudie Gewässerökologie". <https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/wasserboden/gsgoe-download> (5.8.2022)
- 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>
- GIMP (2022): "GIMP". <https://www.gimp.org> (19.8.2022)



- 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>
- GISOPENCOURSEWARE.ORG (2022): "Tutorial: WebODM: Introduction". <https://courses.gisopencourseware.org/mod/book/view.php?id=500> (17.2.2023)
- GÓMEZ-GUTIÉRREZ, Á.; GONÇALVES, G. R. (2020): "Surveying coastal cliffs using two UAV platforms (multirotor 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>
- 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>
- GRENZDÖRFFER, G. (2017): "Automatische Ableitung geometrischer Pflanzenparameter aus UAS-Aufnahmen im Feldversuchswesen am Beispiel von Eisbergsalat". In: Bornimer Agrartechnische Berichte Heft 93(Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)), S. 10. [https://www.researchgate.net/publication/316621078\\_Automatische\\_Ableitung\\_geometrischer\\_Pflanzenparameter\\_aus\\_UAS-Aufnahmen\\_im\\_Feldversuchswesen\\_am\\_Beiispiel\\_von\\_Eisbergsalat](https://www.researchgate.net/publication/316621078_Automatische_Ableitung_geometrischer_Pflanzenparameter_aus_UAS-Aufnahmen_im_Feldversuchswesen_am_Beiispiel_von_Eisbergsalat)
- 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>
- HARVEY, M. C. ET AL. (2019): "Evaluation of Stream and Wetland Restoration Using UAS-Based Thermal Infrared Mapping". In: Water Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 11(8), S. 1568. <https://doi.org/10.3390/w11081568>
- HAVENS, K.J.; SHARP, E.J. (2015): "Thermal Imaging Techniques to Survey and Monitor Animals in the Wild: A Methodology". Academic Press. [https://play.google.com/store/books/details?id=35KZBgAAQBAJ&rdid=book-35KZBgAAQBAJ&rdot=1&source=gbs\\_atb&pcampaignid=books\\_booksearch\\_atb&pli=1](https://play.google.com/store/books/details?id=35KZBgAAQBAJ&rdid=book-35KZBgAAQBAJ&rdot=1&source=gbs_atb&pcampaignid=books_booksearch_atb&pli=1)
- 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](https://e-c-o.at/files/publications/downloads/R00000_Carinthia_Hecke%20H%C3%B6rfeld%20Moor_2018.pdf)
- 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.; 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>
- HORN, J. (2021): "GreenGrass - Landschaft". [HTTPS://WWW.GREENGRASS-PROJECT.DE/LANDSCHAFT](https://www.greengrass-project.de/landschaft)

- 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, Ushuaia (Tierra del Fuego, Argentina). [https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Huertas-Herrera/publication/340549905\\_Densidad\\_de\\_diques\\_de\\_castor\\_Castor\\_canadensis\\_en\\_el\\_archipelago\\_de\\_Tierra\\_del\\_Fuego](https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Huertas-Herrera/publication/340549905_Densidad_de_diques_de_castor_Castor_canadensis_en_el_archipelago_de_Tierra_del_Fuego)
- ISRAEL, M. (2015): "Entwicklung eines UAV-basierten Systems zur Rehkitzsuche und Methoden zur Detektion und Georeferenzierung von Rehkitzen in Thermalbildern: Der Fliegende Wildretter". Universität Osnabrück. [https://www.researchgate.net/profile/Martin-Israel/publication/312046054\\_Entwicklung\\_eines\\_UAV-basierten\\_Systems\\_zur\\_Rehkitzsuche\\_und\\_Methoden\\_zur\\_Detektion\\_und\\_Georeferenzierung\\_von\\_Rehkitzen\\_in\\_Thermalbildern\\_Der\\_Fliegende\\_Wildretter](https://www.researchgate.net/profile/Martin-Israel/publication/312046054_Entwicklung_eines_UAV-basierten_Systems_zur_Rehkitzsuche_und_Methoden_zur_Detektion_und_Georeferenzierung_von_Rehkitzen_in_Thermalbildern_Der_Fliegende_Wildretter)
- IUCN UK (2020): "Habitat Restoration in England's Hills and Mountains: A Novel Application of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology". IUCN UK Peatland Programme. <https://www.iucn-uk-peatlandprogramme.org/news/habitat-restoration-englands-hills-and-mountains-novel-application-unmanned-aerial-vehicle-uav> (8.9.2020)
- 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>
- JEZIORSKA, J. (2019): "UAS for Wetland Mapping and Hydrological Modeling". In: Remote Sensing 11(17), 1997. <https://doi.org/10.3390/rs11171997>
- JIMÉNEZ LÓPEZ, J.; MULERO-PÁZMÁNY, M. (2019): "Drones for Conservation in Protected Areas: Present and Future". In: Drones 3(1), S. 10. <https://doi.org/10.3390/drones3010010>
- JUNGMEIER, M. ET AL. (2016): "Naturprozesse in einem Lawinarsystem - das Beispiel Kalktal im Nationalpark Gesäuse". [https://www.researchgate.net/profile/Michael-Jungmeier/publication/302929650\\_Naturprozesse\\_in\\_einem\\_Lawinarsystem\\_-\\_das\\_Beispielfeld\\_Kalktal\\_im\\_Nationalpark\\_Gesaeuse\\_Ennstaler\\_Alpen\\_Tamischbachturm](https://www.researchgate.net/profile/Michael-Jungmeier/publication/302929650_Naturprozesse_in_einem_Lawinarsystem_-_das_Beispielfeld_Kalktal_im_Nationalpark_Gesaeuse_Ennstaler_Alpen_Tamischbachturm)
- KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT) (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](https://www.ifgg.kit.edu/projekte_1726.php) (23.7.2022)
- KAUFMANN, M.; HOLLIGER, B.; SON, L. (2022): "Weshalb der Wegpunkteflug so wichtig ist - Fachbeitrag: Rehkitzrettung mit Drohnen". rehkitzrettung.ch - Forschung & Technik. <https://www.rehkitzrettung.ch/forschungundtechnik> (22.12.2022)
- KEEP.EU (2014): "BarkBeeDef: Drohnenbasierte Früherkennung von Bäumen mit Borkenkäferbefall". EU projects database | Interreg and ENI CBC projects and partners. <https://www.keep.eu/project/20275/barkbeedef-drohnenbasierte-fr%C3%BChererkennung-von-b%C3%A4umen-mit-borkenk%C3%A4ferbefall> (9.4.2020)
- KISLIK, C. ET AL. (2020): "Application of UAV Imagery to Detect and Quantify Submerged Filamentous Algae and Rooted Macrophytes in a Non-Wadeable River". Remote Sensing, 12 (20), S. 3332. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3332> [05.06.2023]
- KOPTER-PROFI (2021): "Praktisches Flugtraining für Drohnen". [https://www.kopter-profi.de/media/praktisches\\_flugtraining\\_drohnen.pdf](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): "NOTAMs - Drohnen Glossar". <https://www.kopter-profi.de/ratgeber/drohnen-glossar/N> (7.7.2022)

- KOPTER-PROFI (2022c): "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/BroadbandGreenness.html#Visible> (9.7.2022)
- 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](http://www.vogelschutzwarten.de/downloads/2023lagavsw23-1_drohnen.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>
- 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>
- LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (LWF) (2023): "Drohnen für den Schutzwald". [https://www.lwf.bayern.de/informationstechnologie/fernerkundung/324536/index.php\(26.5.2023\)](https://www.lwf.bayern.de/informationstechnologie/fernerkundung/324536/index.php(26.5.2023))
- 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](https://fortbildung-lazbw.lgl-bw.de/lazbw/webbasys/download/Shop/2018_GL_lazbw_FFH_Maehwiesen_Grundlagen.pdf)
- LANDWIRTSCHAFTLICHES TECHNOLOGIEZENTRUM (LTZ) AUGUSTENBERG (2022): "Drohnen im Versuchswesen". <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Drohnen+im+Versuchswesen> (16.1.2022)
- 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>
- 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>
- LIU, T.; ABD-ELRAHMAN, A. (2018): "Multi-View Object-Based Classification of Wetland Land Covers Using Unmanned Aircraft System Images". In: Remote Sensing of Environment 216, S. 122–138. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.06.043>
- 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>
- LOWEPRO (2022): "DroneGuard Pro 450 Rucksack für DJI Phantom Drohne". Fotorucksack oder Fototasche für Ihre Kamera | Lowepro. <https://www.lowepro.com/de-de/drone-guard-pro-450-lp37135-pww/> (8.7.2022)
- LUFFFAHRT BUNDESAMT (LBA) (2023): "Luftfahrt Bundesamt - Betriebsgenehmigungen - Betriebsgenehmigungen". <https://www.lba.de/DE/Drohnen/Betriebsgenehmigungen/Betriebsgenehmigungen.html> (13.4.2023)
- MANFREDA, S. ET AL. (2018): "On the Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring". In: Remote Sensing Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 10(4), S. 641. <https://doi.org/10.3390/rs10040641>

- MANFROTTO (2022): "Aviator Drohnen Rucksack D1 für DJI Phantom mit Regenschutz". Manfrotto. <https://www.manfrotto.com/de-de/aviator-drohnen-rucksack-d1-fur-dji-phantom-mit-regenschutz-mb-bp-d1> (8.7.2022)
- MCKELLAR, A. E. ET AL. (2021): "Dual Visible-Thermal Camera Approach Facilitates Drone Surveys of Colonial Marshbirds". In: Remote Sensing in Ecology and Conservation 7(2), S. 214–226. <https://doi.org/10.1002/rse2.183>
- 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](https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbau-bergwald/dateien/a137_s17-19_meinhold.pdf)
- MOORSCHUTZ IN DEUTSCHLAND; BFN (2022): "Moorschutz in Deutschland". Thünen Projekte. <https://www.moorschutz-deutschland.de> (14.7.2022)
- 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)
- 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. 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>
- NEUMANN, C.; SCHINDHELM, A. (2022): "Farben der Veränderung - Phänologie & Sukzessionsdynamik in hochaufgelösten Drohnenbildern". [http://heather-conservation-technology.com/de/recent\\_7.html](http://heather-conservation-technology.com/de/recent_7.html) (16.7.2022)
- PANDE-CHHETRI, R. ET AL. (2017): "Object-based classification of wetland vegetation using very high-resolution unmanned air system imagery". In: European Journal of Remote Sensing Taylor & Francis. 50(1), S. 564–576. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1373602>
- PEGELOW, M. ET AL. (2021): "Drohneneinsatz liefert rasch eine Einschätzung von Schäden an Schwarzkiefern". In: LWF aktuell 4/2021. <https://www.lwf.bayern.de/informationstechnologie/fernerkundung/286878/index.php>
- PELL, T.; LI, J. Y. Q.; JOYCE, K. E. (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.; SULLIVAN, T.; STEPHENSON, N. (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>
- PETRICH, L. ET AL. (2020): "Detection of Colchicum Autumnale in Drone Images, Using a Machine-Learning Approach". In: Precision Agriculture 21(6), S. 1291–1303. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09721-7>
- PIX4D (2019): "Was bedeutet Genauigkeit bei Luftbildvermessungen?". Pix4D. <https://www.pix4d.com/de/blog/genauigkeit-luftbildvermessungen> (16.10.2020)



- PIX4D (2022a): "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>
- PIX4D (2022b): "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->
- POTTGIESSER, T.; MÜLLER, A. (2012): "Gewässerstruktur in NRW - Kartieranleitung - LANUV-Arbeitsblatt 18". [https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4\\_arbeitsblaetter/40018.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/4_arbeitsblaetter/40018.pdf)
- PRÖBSTL-HAIDER, U. (2013): "Vom Naturschutz leben können". In: Naturschutz und Landschaftsplanung 45 (6). S. 189–193. <https://www.nul-online.de/Magazin/Archiv/Vom-Naturschutz-leben-koennen,QUIEPTM4OTU0MDImTU-IPTgyMDMw.html?UID=95F4174417254F5A889115E35136EA4AE6DC7478E6BFE3>
- PRZYBILLA, H.-J. (2020): "UAV-Befliegung - Alles klar? Über den Einfluss der Aufnahmekonfiguration - UAV 2020 – The Sky is the Limit?". DVW-Schriftenreihe, 97 (2020). [https://geodaesie.info/sites/default/files/privat/DVW\\_97\\_2020\\_UAV\\_2020\\_FINAL\\_200214.pdf](https://geodaesie.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". 40. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Stuttgart: DGPF. [https://www.researchgate.net/profile/Heinz\\_Juer-gen\\_Przybilla/publication/339781487\\_Untersuchungen\\_zur\\_Qualitat\\_des\\_Realtime\\_Kinematic\\_GNSS\\_Systems\\_der\\_DJI\\_Phantom\\_4\\_RTK](https://www.researchgate.net/profile/Heinz_Juer-gen_Przybilla/publication/339781487_Untersuchungen_zur_Qualitat_des_Realtime_Kinematic_GNSS_Systems_der_DJI_Phantom_4_RTK)
- PUTTOCK, A.K. ET AL. (2015): "Aerial Photography Collected with a Multicopter 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>
- REDER, S.; WABERMANN, L.; MUND, J.-P. (2019): "UAV-Based Tree Height Estimation in Dense Tropical Rainforest Areas in Ecuador and Brazil". In: GI\_Forum 2019 (Issue 2, S. 47–59) [https://doi.org/10.1553/giscience2019\\_02\\_s47](https://doi.org/10.1553/giscience2019_02_s47)
- REGIERUNGSPRÄSIDIUM TÜBINGEN (2019): "Landesstudie Gewässerökologie". <https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/wasserboden/landesstudie-gewaesser/>
- RIVAS CASADO, M. ET AL. (2016): "Quantifying the Effect of Aerial Imagery Resolution in Automated Hydromorphological River Characterisation". In: Remote Sensing 8(8), <https://doi.org/10.3390/rs8080650>
- RUSNÁK, M. ET AL. (2018): "Template for High-Resolution River Landscape Mapping Using UAV Technology". In: Measurement 115 (2018): 139–151. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.10.023>
- 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](https://www.bfn.de/fileadmin/MDb/documents/service/skript_278.pdf)
- 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). <https://doi.org/10.1007/s00603-020-02130-2>
- 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/Obits/Sasse-2000-WSB.pdf>
- 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>
- SCHLEGEL, A. (2019): "Erfassung von relevanten Vegetationsstrukturen für Biber (*Castor fiber*) - Methoden der Fernerkundung im Vergleich". Wien: BOKU Wien, Masterarbeit. [https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset\\_id=19211&property\\_id=107](https://abstracts.boku.ac.at/download.php?dataset_id=19211&property_id=107)
- SCHMELLER, D. ET AL. (2009): "EuMon-Monitoring of species and habitats in Europe [EuMon-Arten- und Lebensraum-Monitoring in Europa]". *Naturschutz und Landschaftsplanung* 38.12 (2006): 384-385. [https://www.researchgate.net/publication/228092448\\_Eu-Mon\\_-\\_Arten-\\_und\\_Lebensraum-Monitoring\\_in\\_Europa](https://www.researchgate.net/publication/228092448_Eu-Mon_-_Arten-_und_Lebensraum-Monitoring_in_Europa) (2.5.2018)
- SESSANNA, R. (2019): "Capturing and analyzing multispectral UAV imagery to delineate submerged aquatic vegetation on a small urban stream". Thesis - ALL. 354. <https://surface.syr.edu/thesis/354>
- SIMMIE, SCOTT (2021): "DroneAnalyst produces its first-ever Hardware Sector Report". <HTTPS://DRONEDJ.COM/2021/04/29/DRONEANALYST-PRODUCES-ITS-FIRST-EVER-HARDWARE-SECTOR-REPORT> [05.06.2023]
- 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)
- SØRENSEN, P. B.; STRANDBERG, B.; BAK, J. L. (2015): "Counting wild flower heads using UAV". *SCIENCE FOR THE ENVIRONMENT* 2015. [https://conferences.au.dk/fileadmin/2\\_PeterSoerensen\\_01.pdf](https://conferences.au.dk/fileadmin/2_PeterSoerensen_01.pdf)
- 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>
- 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>
- THIEL, C. ET AL. (2020): "UAS Imagery-Based Mapping of Coarse Wood Debris in a Natural Deciduous Forest in Central Germany (Hainich National Park)". In: *Remote Sensing*, 12 (20), S. 3293. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/20/3293> [20.06.2022]
- 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](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/fliessgewaesser/oekologischer-zustand-der-fliessgewaesser> (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](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://gewaesser-bewertung.de/index.php?article\\_id=138&clang=0](https://gewaesser-bewertung.de/index.php?article_id=138&clang=0) (7.8.2022)



- VERSICHERTEDROHNE MAGAZIN (2022, APRIL): "Drohne Versichern: Privat oder Gewerblich?" <https://versichertedrohne.de/blog/drohne-versichern-privat-gewerblich> (07.06.2023)
- 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>
- WEBODM (2022): "WebODM Drone Software". OpenDroneMap. <https://www.opendrone-map.org/webodm> (17.2.2023)
- WEBODM (2023): "Hardware Requirements - Download WebODM". OpenDroneMap. <https://www.opendrone-map.org/webodm/download> (26.5.2023)
- 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>
- 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>
- WOODGET, A. ET AL. (2017): "Drones and Digital Photogrammetry: From Classifications to Continuums for Monitoring River Habitat and Hydromorphology". In: WIREs Water 4(4). <https://doi.org/10.1002/wat2.1222>
- WWF (2007): "Atlantischer Lachs (*Salmo salar*)". <https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Arten-Portraet-Atlantischer-Lachs.pdf>
- 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>
- 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 in Bern, 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](https://www.researchgate.net/profile/Katarzyna_Zielewska-Buettner/publication/304621892_Parameters_Influencing_Forest_Gap_Detection_Using_Canopy_Height_Models_Derived_From_Stereo_Aerial_Imagery)

## CHECKLISTEN KURZ ZUM AUSDRUCKEN

Folgende Checklisten können ausgedruckt und frei verwendet werden. Sie ersetzen aber nicht die Anpassung und Ergänzung hinsichtlich der eigenen jeweiligen Anforderungen!

Checkliste - Generelle Voraussetzungen	OK
EU-Kompetenznachweis <b>A1/A3</b>	
Das EU-Fernpilotezeugnis <b>A2</b> + praktisches Selbst-Training	
Die <b>Registrierung</b> des Piloten/Betreibers (+ Betreiber-ID auf Drohne)	
<b>Haftpflichtversicherung</b>	
<b>Flugbuch</b>	

Checkliste - Missionsvorbereitung	OK
<b>Einsatz-Gebiet definiert – KML-Datei abgespeichert und hochgeladen</b>	
<b>Geo-Zonen überprüft</b> - am PC und/oder in Apps auf dem Smartphone	
<b>Notwendige Genehmigungen beantragt?</b>	
<b>Kontakt mit Gebietsbetreuern / Naturschutzverbänden</b> vor Ort aufgenommen?	
<b>Methodische Absprachen mit Auftraggebern</b> getroffen?	
<b>Fragestellungen ausreichend definiert?</b>	
<b>Sensor definiert?</b> - RGB, Multispektral, Thermal, Auflösung usw.	

Checkliste - Flugvorbereitung im Büro/Zuhause	OK
<b>Kopter</b> gescheckt? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software und Firmware aktuell und übereinstimmend?</li> <li>• Technisch ok?</li> <li>• Nach Updates Grund-Einstellungen in Fernsteuerung kontrolliert? - max. Flughöhe, 'Heimflug / RTH -Höhe', Sensoren etc.</li> </ul>	
<b>Genügend Batterien</b> geladen und eingepackt? <b>Ladegerät?</b>	
<b>KML</b> des Fluggebiets vorbereitet und ggf. auf SD-Karte übertragen?	
<b>Hintergrundkarte</b> der Flug-App zwischengespeichert?.	
<b>SD-Karte(n)</b> vorbereitet und eingelegt (in Drohne und ggf. in Fernsteuerung)? <b>Ersatz</b> dabei?	
<b>Flugtagebuch</b> eingesteckt/vorbereitet?	
<b>Führerschein, Versicherungskarte</b> und <b>Genehmigungen</b> eingesteckt?	

<b>Wetter</b> gecheckt - am PC oder über Apps? <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">UAV Forecast</a> - Winddaten, Sonnenwinde (KP-Index)</li> <li>• <a href="#">kachelmannwetter.com</a> - u.a. Winddaten</li> <li>• <a href="#">wetteronline.de</a> - 'einfache' Winddaten</li> <li>• <a href="#">Kopter Profi App</a> - u.a. Geozonen, Sonnenwinde (KP-Index)</li> </ul>	
<b>NOTAMs</b> gecheckt - z.B. <a href="#">www.dfs-ais.de</a> oder in <a href="#">Droniq-App</a> ?	
<b>Zubehör</b> eingepackt (Landepads, Absperrband, <b>Ground-Truthing-Zubehör</b> , <b>Vermessungsequipment</b> o. Ä.)?	
Flug per E-Mail bei der Naturschutzbehörde angemeldet?	
<b>Notfall-Kontaktliste</b> parat?	

Checkliste - Flugvorbereitung vor Ort	OK
<b>Geo-Zonen</b> vor Ort nochmals über Apps: z.B. <a href="#">Map2Fly</a> , <a href="#">Kopter Profi App</a> , <a href="#">Droniq App</a> überprüfen.	
<b>Überblick über Gelände</b> verschafft? Freileitungen, Hindernisse (z.B. Bäume, Gebäude) etc.? <b>Geländeverlauf</b> (Hügel etc.) in Höheneinstellungen <b>einkalkuliert</b> ?	
<b>Startplatz</b> ausgewählt und gesichert? Möglichst vom höchsten Punkt aus starten, so dass die eingestellte Flughöhe immer ausreichend ist!	
<b>Helfer</b> eingewiesen und <b>beiwohnende Personen</b> zu Beteiligten erklärt?	
Wenn ein <b>Flugplatz</b> in der Nähe ist telefonisch Kontakt aufgenommen und, wenn gefordert, bei jedem Flug angemeldet?	
<b>Drohne</b> startklar?	
<b>Einstellungen</b> nochmals gecheckt - bes. nach Updates?	
• <b>max. Flughöhe</b>	
• <b>'Heimflug / RTH -Höhe'</b>	
• <b>Sensoreinstellungen</b>	
• <b>max. Flugdistanz</b>	
• <b>Akkueinstellungen</b>	
• <b>Alarmer</b> (Akkuladung, Flugdistanz etc.)	
<b>Pilot fit</b> (ausgeruht, gesund, keine Medikamente oder Rauschmittel in-tus)?	