

Endbericht zum Forschungsprojekt

## „Überprüfung der Anwendbarkeit von drohnengestützten Wärmebildkameras zur Erfassung von Schalenwild (am Beispiel des Rehwilds) im Pfälzerwald und Umgebung“

finanziert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)



Erstellt von: **Carolin Tröger & Ulf Hohmann**

Projektnummer: 34923-01-33 / 2

Projektzeitraum 2019 - 2021

Berichtszeitraum September 2019 - September 2021

Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Landesforsten RLP

Trippstadt, November 2021



Rheinland-Pfalz  
MINISTERIUM FÜR  
KLIMASCHUTZ, UMWELT,  
ENERGIE UND MOBILITÄT



Landesforsten  
Rheinland-Pfalz



DROHNENSERVICEPRO  
[www.drohnen-service-pro.de](http://www.drohnen-service-pro.de)

RLP Agrosience

**Kontaktdaten:**

Dipl. Carolin Tröger

Email: carolin.troeger@wald-rlp.de,

Tel: +49(0)6131-884-268-163

Dr. Ulf Hohmann

Email: ulf.hohmann@wald-rlp.de,

Tel: +49(0)6131-884-268-148


**Danksagung:**

Wir möchten uns ganz herzlich bei den Inhabern der Jagdreviere, den Forstamtämtern und Revierleitern für Ihre tatkräftige Unterstützung und der Bereitstellung Ihrer Flächen bedanken. Ein herzliches Dankeschön geht auch an das Drohnenservice Pro Team für die professionelle Durchführung der Flüge zu jeglicher Tag- und Nachtzeit während der zweijährigen Projektlaufzeit. Wir bedanken uns ebenfalls bei Herrn Tintrup für die Aufbereitung und Bereitstellung der NATFLOW Daten (AgroScience). Ein besonderer Dank geht auch an die Versuchspersonen und Hundebesitzer (Hunde), welche uns bei den Versuchen zu den Erfassungsraten unterstützt haben.

**Zitiervorschlag:**

Tröger, C. & Hohmann, U. (2021) Überprüfung der Anwendbarkeit von drohnengestützten Wärmebildkameras zur Erfassung von Schalenwild (am Beispiel des Rehwilds) im Pfälzerwald und Umgebung, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Landesforsten RLP, DBU Projektbericht, Trippstadt

# Projektkennblatt

06/02		<b>Projektkennblatt</b> der <b>Deutschen Bundesstiftung Umwelt</b>			
Az	<b>34923/01-33</b>	Referat	Fördersumme	<b>125.000 €</b>	
<b>Antragstitel</b>		<b>Überprüfung der Anwendbarkeit von drohnengestützten Wärmebildkameras zur Erfassung von Schalenwild (am Beispiel des Rehwilds) im Pfälzerwald und Umgebung</b>			
<b>Stichworte</b>		Rehwilderfassung, Drohne, Erfassungsraten, Wärmebildkamera			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>2 Jahre</b>	<b>01.09.2019</b>	<b>31.08.2021</b>			
Zwischenberichte					
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) Landesforsten Rheinland-Pfalz Hauptstraße 16 67705 Trippstadt			Tel	06131/884 268-148
				Fax	06131/884 22 268-300
				Projektleitung	Dr. Ulf Hohmann
				Bearbeiter	Carolin Tröger
<b>Kooperationspartner</b>					
<p><b><i>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</i></b></p> <p>Das Rehwild ist die am weitesten verbreitete Ungulatenart in Deutschland. Aus diesem Grund wird diese Art hier in den Fokus genommen, wenn auch der Forschungsansatz für die Erfassung anderer Wildarten von Bedeutung sein dürfte. Da die luftgestützte Erfassung von Rehwild am Tag in ihren Ergebnissen unbefriedigend blieb, soll im Rahmen dieses Vorhabens die nächtliche Erfassung während des Aktivitätsmaximums des Rehs mittels UAV (unmanned aircrafts systems / Drohne) getestet werden. Innovativ und wissenschaftlich interessant sind dabei vorrangig folgende Aspekte, die neue Möglichkeiten der Wilderfassung eröffnen können: Flug in der Dämmerungs- und Nachtzeit und bei niedriger Höhe (&lt;100m), Einsatz neuester Drohnen- und</p>					

Wärmebildtechnik (Flugzeit und Sensibilität), Bewältigung größerer Flächen und Liveübertragung der Wärmebildsignale für spontane Flugmanöver in Echtzeit.

Wildzählungen im Wald sind - wie wir aus eigener Erfahrung wissen - im Vergleich zum Offenland besonders aufwändig und fehleranfällig. Gleichzeitig sind Waldgebiete bedeutende Aufenthaltsräume für unser Schalenwild, aber auch forstökonomische Nutzflächen. In diesem Konfliktraum eine kostengünstige, flexible, nicht-invasive und gleichzeitig sichere Erfassungsmethodik für Schalenwild zu entwickeln, ist daher besonders anspruchsvoll aber auch von besonderer Relevanz.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

In diesem Projekt sollen drei Teilziele verfolgt werden: **(a)** Ermittlung von Störeffekten zwecks Bestimmung nicht-invasiver Flughöhen, **(b)** Untersuchung der unterschiedlichen Überseh- / Erfassungsraten von Rehwild in verschiedenen waldgeprägten Testflächen, und darauf basierend **(c)** die Berechnung einer Populationsdichte für Rehwild für einzelne Testflächen.

Die Erfassungsraten in Abhängigkeit des Habitattyps bzw. Überschildungsgrades sind als Grundlage für weitere Populationshochrechnungen von zentraler Bedeutung. Um hier erste Näherungswerte zu ermitteln werden Wärmequellen (z. B. Menschen oder Hunde) in den unterschiedlichen Habitaten auf einer festgelegten Fläche positioniert.

Zur Ermittlung der Populationsdichten werden die Überseh- / Erfassungsraten in den unterschiedlichen Waldhabitattypen berücksichtigt. Angedacht sind mind. 10 Untersuchungsächte, die jeweils ca. 200 ha abdecken. Um die Variabilität der Ergebnisse besser abfangen zu können, würden wir jedes Untersuchungsgebiet dreimal mit einem zeitlichen Versatz von mehreren Tagen befliegen. Ist die nächtliche Erfassung von Schalenwild (am Beispiel Rehwild) in bewaldeten Gebieten mittels einer Drohne eine nicht-invasive Erfassungsmethode? Diese Frage der Verhaltensbeeinflussung soll mit gezielten Störversuchen durch Sinkflüge über Rehwildindividuen (100 m, 80 m, 60 m, 40 m über der Vegetation) in Abhängigkeit des Habitats untersucht werden.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	i
1. Einleitung .....	1
2. Datenaufnahme & Durchführung (Methoden).....	6
2.1 verwendete Drohnen-Technik .....	6
2.2 Ermittlung von Störeffekten zwecks Bestimmung nicht-invasiver Flughöhen.....	9
2.3 Untersuchung der Erfassungsraten .....	12
2.4 Berechnung Populationsdichte Rehwild.....	15
3. Ergebnisse .....	17
3.1 Störversuche .....	17
3.2 Erfassungsraten.....	19
3.3 Populationsdichteschätzungen.....	22
4. Diskussion.....	30
5. Öffentlichkeitsarbeit .....	42
6. Anhang / Anlagen .....	46
6.1 Anhang.....	46
6.2 Anlagen.....	49
7. Literatur.....	50

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1** Die Drohne DJI Matrice 210 wurde grundsätzlich für die Befliegungen in diesem Projekt genutzt. Hier im Bild (links) ist die Drohne mit einer Wärmebildkamera DJI Zenmuse XT 13 mm und einer RGB-Kamera DJI Zenmuse Z30 mit einem CMOS 1 / 2.8 – Sensor ausgestattet. Im rechten Bild ist der zugehörige Controller der Drohne abgebildet. © FAWF Landesforsten RLP ..... 7
- Abbildung 2** Die Drohne DJI Matrice 300 wurde ab März 2021 in unserem Projekt erstmals eingesetzt. © Drohnen- Service-Pro GmbH ..... 7
- Abbildung 3** Die technische Ausrüstung im Transporter der Drohnen-Firma erlaubte das Laden der verbrauchten Drohnen-Akkus, sodass ein Dauerflug ohne Probleme durchgeführt werden konnte. © FAWF Landesforsten RLP ..... 8
- Abbildung 4** Übersicht über die Untersuchungsflächen im Pfälzerwald und dessen unmittelbarer Umgebung. Unterschieden wird in der Übersicht in Probeflächen für Störversuche, Erfassungsraten und Populationsschätzungen. Diese Versuche wurden in dem Zeitraum von Oktober 2019 – April 2021 durchgeführt. .... 9
- Abbildung 5** Die Erfassung von Wildtieren auf den Freiflächen konnte bereits auf großer Distanz erfolgen (schwarze Punkte im linken Bild). Rehwild auf einer Freifläche aus einer niedrigeren Flughöhe im seitlichen Winkel aufgenommen (helle Silhouetten im rechten Bild). © FAWF Landesforsten RLP ..... 11
- Abbildung 6** Erfassung von Rehwild in einer bewaldeten Fläche auf einer Drohnen-Flughöhe von ca. 80 m. © FAWF Landesforsten RLP ..... 11
- Abbildung 7** Versuchspersonen stellten sich an die für sie vormarkierten Positionen im Wald auf. Dem Drohnen-Pilot waren die Anzahl und Positionen der Versuchspersonen nicht bekannt. Hier an Hand des RGB-Kamerabildes ist die Versuchsperson gut von der Drohne aus sichtbar. Die Versuche wurden nur mit Hilfe der Wärmebildkamera durchgeführt. Für nachfolgende Dokumentationszwecke war der Einsatz der RGB-Kamera erlaubt. © FAWF Landesforsten RLP ..... 14
- Abbildung 8** Der Hund – ausgestattet mit Hundemantel und Decke - wurde im Bestand auf eine Position gebracht (linkes Bild). Der GPS-Punkt, das Habitat und der Überschirmungsgrad wurden von allen Position notiert. Die Hunde trugen zusätzlich ein Garmin GPS-Halsband, um das Auffinden der einzelnen Hunde in kürzester Zeit zu garantieren. Eine Gesamtanzahl von vier bis fünf Hunden standen für die Versuche stets zur Verfügung (rechtes Bild). © FAWF Landesforsten RLP ..... 14
- Abbildung 9** Die an der Drohne befestigte Wärmebildkamera zeigt eine Wärmequelle auf (weiße Flecken in der roten Markierung). Anhand dieser Bilder entscheidet der Pilot, ob die Wärmequelle die Position eines Hundes bzw. Versuchsperson markiert oder nur die eines erwärmten Steins etc.. Bei Unsicherheiten war es zulässig, die Flughöhe der Drohne bis zur Entscheidung zu minimieren. © FAWF Landesforsten RLP ..... 14
- Abbildung 10** Dargestellt ist das nächtliche Verhalten der beobachteten Rehe in Abhängigkeit der Flughöhe der Drohne in Wald und Offenlandgebieten (nicht differenziert). ..... 18
- Abbildung 11** Überblick über die Untersuchungsflächen für die Schätzung des Rehwildbestandes unter Einsatz von mit Wärmebildkameras ausgestatteten Drohnen im und in unmittelbarer Umgebung des Pfälzerwaldes. Es wurden sechs Versuchsflächen

aufgenommen. Nur bei drei von sechs Flächen war eine Wiederholaufnahme (1x bzw. 2x) dieser Fläche möglich.....	22
<b>Abbildung 12</b> Übersicht über das UG Hinterweidenthal I, welches in drei nächtlichen Befliegungsterminen erfasst wurde. Die Erfassungsfläche war am 15.01.2021 mit 148 ha am geringsten, wohingegen an den Terminen 26.01.2021 und 09.03.2021 Flächen von 394 ha bzw. 332 ha befliegen wurden. Das UG befindet sich im südöstlichen Bereich des Pfälzerwaldes. ....	26
<b>Abbildung 13</b> Die Erfassungen des UG Windsberg fanden am 07. – und 08.12.2020 statt. Die Befliegungsfläche unterschied sich um ca. 179 ha, da am 07.12.2020 ca. 357 h erfasst wurden und in der darauffolgenden Nacht 536 ha. Das UG befindet sich außerhalb des Pfälzerwaldes – im südwestlichen Bereich.....	27
<b>Abbildung 14</b> Übersicht über die Erfassungen von Rehwild im UG Hembach im Pfälzerwald. Am 10.03.2021 wurde die gesamte Fläche zweimal befliegen, wohingegen am 17.03.2021 die Fläche nur einmal befliegen wurde. Durchschnittliche Befliegungsfläche belief sich auf ca. 343 ha. ....	28
<b>Abbildung 15</b> Die am Tag von der Drohne durchgeführte Kartierung der Waldhabitate in dem UG Windsberg gibt Aufschluss über die Flächenanteile, welche eine verstärkte Übersehrate abbilden und somit der Korrektur unterliegen. Hier in der Karte wurde zwischen Laub-, Nadel- und Mischwald unterschieden. ....	29
<b>Abbildung 16</b> Flugroutendichte von zwei Drohnenpiloten am Beispiel des UG Hinterweidenthal I. Die Flugroutendichte pro geflogenen 100 ha Revierfläche kann sich von Pilot zu Pilot stark unterscheiden ( <b>Tabelle 4</b> ).....	29
<b>Abbildung 17</b> Dreharbeiten während der Datenaufnahme bei einer unserer Befliegungen. Die Hunde wurden mit einem Hundemantel ausgestattet, damit die Abstrahlung der Körperwärme minimiert wird und realistischere Bedingungen nachgestellt werden. ....	42

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b> Übersicht über die Anzahl der nächtlichen Störversuche an Rehwild in den jeweiligen Habitattypen. Die Versuche wurden mit Hilfe einer Drohne (DJI Matrice 210) durchgeführt. ....	17
<b>Tabelle 2</b> Übersicht über die Stichprobenverteilung der Überschirmungsgrade für alle Bestände zur Bestimmung von Erfassungsraten. ....	19
<b>Tabelle 3</b> Übersicht über die Erfassungsraten für die einzelnen Habitate mit unterschiedlichen Überschirmungsgraden. Der Laubwald (Baum- und Altholz) wurde in den Untersuchungen aufgrund der im Testlauf 100 %igen Erfassungsraten ausgelassen. ....	21
<b>Tabelle 4</b> Übersicht der Untersuchungsgebiete für die Schätzung der Rehwildpopulationsdichte. Die Erfassung von Rehwild erfolgte nachts mittels an Drohnen befestigten Wärmebildkameras (Ausnahmen bilden 2 Flüge mit der Kennzeichnung TAG*). Die Flugroutenlänge wurde anhand der aufgezeichneten Routen der Drohne bestimmt und das Verhältnis zwischen Flugroutenlänge und der beflogenen Fläche berechnet. Ein direkter Vergleich (Reproduzierbarkeit) innerhalb eines Untersuchungsgebietes ist nur bei Hinterweidenthal I, Windsberg und Hembach gegeben (gelb markiert). Hier erfolgte die Erfassung desselben Untersuchungsgebietes in einem kurzen zeitlichen Abstand zueinander. Der hier angewandte Korrekturfaktor beträgt 1,14 (ER 88 %). * TAG = Tagbefliegung, NATFLOW Datensatz*: LVerGeoRP (2020), AgroScience RLP (2021). Die Befliegungsfläche wurde anhand von den Flugrouten der Drohnen berechnet. ....	25
<b>Tabelle 5</b> Kostenübersicht zu den verschiedenen Erfassungsmethoden von Wildtierdichten. Verändert nach Gräber et al. (2016) (DBU Handout, Methodenvergleich). ** für diese Preiskalkulation wurden die Angebote der Vergabe-Ausschreibung zu Grunde gelegt .....	41



## **Abkürzungen**

ER	Erfassungsraten
RGB-Kamera	Rot-Grün-Blau-Kamera
UG	Untersuchungsgebiet
UAV	unmanned aircrafts vehicle / Drohne / unbemanntes Luftfahrzeug
TIR	thermal infrared

## Zusammenfassung

Die Bestimmung von Wildtierabundanz in Waldgebieten bildet eine wichtige Arbeitsgrundlage vor allem im Bereich des Wildtiermanagements. Hierzu sind unterschiedliche Erfassungsmethoden – terrestrische und aus der Luft – in den letzten Jahren im Einsatz. Insbesondere die Reherfassung blieb in den bisherigen Versuchen jedoch oft unbefriedigend, weil zu fehlerhaft und/oder aufwändig bzw. kostenintensiv (z. B. Gräber et al. 2016). Daher wurde im Rahmen dieser Studie ein neuer Versuchsansatz gewählt: die nächtliche Zählung von Rehen unter Einsatz von Wärmebildkameras und Drohnen (UAV – unmanned aircraft systems). Der Einsatz dieser neuen Technologie birgt folgende innovative und wissenschaftlich interessante Aspekte in der Wilderfassung: Flug in der Hauptaktivitätszeit der zu erfassenden Wildart, niedrige Flughöhe (<100 m) in Kombination mit neuester Drohnen- und Wärmebildtechnik (längere Flugzeiten sowie höhere Sensibilität der Wärmebildkameras), Bewältigung größerer auch unwegsamer Flächen, höhere Sicherheit für den Piloten und Liveübertragung der Wärmebildsignale für spontane Flugmanöver und deren Bewertungen in Echtzeit. Trotz dieser Vorteile fehlte bisher ein systematischer und umfangreicher Verfahrenstest.

Wildzählungen im Wald sind - wie wir aus eigener Erfahrung wissen - im Vergleich zum Offenland besonders aufwändig und fehleranfällig. Gleichzeitig sind Waldgebiete bedeutende Aufenthaltsräume für unser Schalenwild, aber auch forstökonomische Nutzflächen. In diesem Konfliktraum eine kostengünstige, flexible, nicht-invasive und gleichzeitig für die Piloten sichere Erfassungsmethodik für Schalenwild zu entwickeln, ist daher besonders anspruchsvoll, aber auch von besonderer Relevanz. In diesem Projekt wurden drei Teilziele im Sinne eines Methodentestverfahrens verfolgt: **(a)** Ermittlung von Störeffekten von Drohnen auf Rehwild zur Bestimmung nicht-invasiver Flughöhen, **(b)** Untersuchung der unterschiedlichen Überseh- / Erfassungsraten von Rehwild in verschiedenen waldgeprägten Testflächen, darauf basierend **(c)** die Berechnung von Populationsdichten in einzelnen Untersuchungsgebieten.

Fragestellung **(a)** wurde durch Sinkflüge von 100 m auf 40 m Flughöhe über Rehwild in Offenland und im Wald bei Nacht getestet (n = 265 bzw. 174 Störversuche im Offenland bzw. Wald). Bei einer Flughöhe von 80 m reagierten lediglich 1 % der untersuchten Individuen im Wald mit nervösen Verhalten und keines der Individuen mit Absprungsverhalten. Im Offenland hingegen sprangen ca. 3 % der untersuchten Rehe ab und 10,2 % zeigten nervöses Verhalten. Bei einer Flughöhe von 60 m zeigten <1 % der Waldrehe Absprungsverhalten und ca. 8 % nervöses Verhalten. Im Offenland konnte dagegen höheren Reaktionen beobachtet werden (12

% abgesprungen, 13 % nervöses Verhalten). Da bei einer Suchflughöhe von 100 m der Drohnenflug (hier Startgewichte von ca. 5 kg) somit zu keinen nennenswerten Ausweichreaktionen der Rehe (vor allem im Wald) führte, erachten wir deren Betrieb für eine Erfassung dieser Tierart als nicht-invasiv und daher unproblematisch.

Zur Klärung der Fragestellung **(b)** wurden Versuchspersonen oder Hunde (n = 209 Positionen), die ein dem Rehkörper möglichst nahekommende Wärmequelle zu simulieren hatten, in einer definierten Waldfläche versteckt und vom Drohnenpiloten gesucht. Dem Piloten waren weder die Anzahl noch die Positionen der Versuchspersonen bzw. Hunde je Suchflug bekannt. Dabei wurden 14,8 % der versteckten Versuchspersonen und / oder Hund von der Drohne nicht entdeckt. Solche nicht erfassten Positionen befanden sich zumeist in Nadel-Baumbeständen, Nadel-Verjüngungen und Verjüngung mit Mischbeständen mit erhöhten Überschirmungsgraden ( $\leq 50$  %). Da sich die überflogenen Waldareale zumeist aus Rein- und Mischbeständen unterschiedlicher Überschirmungsgrade und Nadelanteile zusammensetzten, gingen wir angesichts der relativ geringen Übersehraten dazu über, mit einer gemittelten Erfassungsrate von 88 % bzw. einen pauschalen Korrekturfaktor von 1,14 zur Bestimmung der Populationsdichte zu arbeiten. Sollten vorwiegend nadelwaldgeprägte Beständen oder gar Nadelmonokulturen überflogen werden, wären sicherlich höheren Korrekturen notwendig. Eine entsprechende Überprüfung ergab sich in dieser Studie jedoch nicht. Bei laubholzgeprägten Waldgebieten mit Überschirmungsgrade von 0 % – 25 % sollte wiederum eine Vollerfassung vorliegen, die weitgehend ohne Korrektur auskäme.

Um schließlich die Praxistauglichkeit der „Nachtdrohnen“ zur Bestimmung von Rehwildpopulationsdichten zu testen **(c)**, wurden 6 bewaldete, im Schnitt 378 ha große Untersuchungsgebiete, teils mehrfach und nachts abgesucht. Anhand der erfassten Individuensummen konnten Populationsdichten von 4 – 20 Rehen pro 100 ha Untersuchungsfläche berechnet werden. Dort wo ein Vergleich möglich war, stimmten die Dichtewerte mit bereits bekannten, anderweitig ermittelten Schätzungen in oder um die Testflächen weitgehend überein.

Alle drei Teilergebnisse dieses erstmals umfassenden Evaluierungsverfahrens deuten an, dass durch den nächtlichen Einsatz von an Drohnen befestigten Wärmebildkameras die bisher schwierige Erfassung von Rehwildpopulationen gerade in bewaldeten Gebieten schneller, sicherer und zuverlässiger gelingen kann. Die Abhängigkeit von günstigen Wetterlagen und das Einholen von Sondergenehmigung sind jedoch bei der Zeitplanung zu berücksichtigen. In einer Nacht konnten die Rehbestände einer bis maximal 500 ha großen Waldfläche auch in unzugänglichem Gelände bei moderaten Kosten erfasst werden. Dieses Potential könnte

hinsichtlich eines modernen, zukunftsweisenden Wildtiermanagements gerade im Umgang mit klimagestressten Waldbeständen genutzt werden.

## 1. Einleitung

Von 2015 bis 2018 hatte die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF) im Rahmen des DBU-Projekts „Interaktion von Luchs und Reh im Pfälzerwald“ bereits Wildzählungen durchgeführt (Tröger and Hohmann 2019). Dabei wurden Wärmebildkameras zur terrestrischen Erfassung von Rehwild eingesetzt und daraus folgend Rehwildpopulationsdichten mittels Distance Sampling im Pfälzerwald im Zuge der dortigen Luchswiederansiedlung berechnet. Diese bei Nacht durchgeführten Erhebungen boten eine vielversprechende Datengrundlage, weil die Erfassung von großen Flächen, die Überprüfung des Rehverhaltens und der Bestandesdynamik parallel zur Etablierung eines Prädators ermöglicht wurde. Dabei war die Befahrung von Waldwegen zur Gewinnung ausreichender Stichprobengrößen unumgänglich. Diese Notwendigkeit birgt jedoch auch die Gefahr eines systematischen Schätzfehlers. So können Wege bzw. ihr Umfeld auf Rehe anziehend oder abstoßend wirken, was zu einer Über- oder Unterschätzung des Bestandes führen könnte. Auch die Annäherung mit dem PKW führte teils zu Ausweichreaktionen (responsive movement) der Rehe. Eine Korrektur diesen Effekt ist zwar möglich, kann aber in den Modellberechnungen weitere Unsicherheiten zur Folge haben.

Diese grundsätzliche und quasi systemimmanente Problematik eines an sich gängigen terrestrischen Verfahrens veranlasste uns zu diesem Forschungsvorhaben. Dabei haben wir die Vorteile der infrarotgestützten Nachterfassung einerseits mit den Chancen einer wegunabhängigen Flächenerhebung aus der Luft verbunden. In einem bisher noch nicht flächenhaft erprobten Verfahren haben wir den Einsatz von Wärmebildkameras zur nächtlichen Erfassung von Schalenwild mittels eines UAV (unmanned aircrafts vehicle), umgangssprachlich auch Drohne genannt, ausgebaut und diese innovativen Techniken auf wissenschaftlich fundierter Basis getestet.

Absolute und möglichst fehlerfreie Abundanz- und / oder Dichteschätzungen von Tierpopulationen können eine wichtige Arbeitsgrundlage für die Wildtierökologie im Allgemeinen und für das Wildtiermanagement im Besonderen sein (Seymour et al. 2017). Zahlreiche Zensusmethoden finden heute ihre Anwendung in den unterschiedlichsten Habitaten (Gräber et al. 2016, Tröger et al. in prep. ), darunter auch eine Vielzahl von Zählungsversuche aus der Luft. Die sog. „aerial surveys“ gelten als vielversprechende Methode zur Populationsschätzung insbesondere in großen oder unzugänglichen Untersuchungsgebieten (Franke et al. 2012). Franke et al. (2012) testete dabei das Potential von Ultraleichtflugzeugen zur Wilderfassung, welche mit einer IR-VIS-Kamerakombination ausgestattet waren. Während

für größere Säuger wie Rotwild (*Cervus elaphus*) teils befriedigende Erfassungsraten erzielt wurden, waren die Ergebnisse für kleinere Arten, wie dem Rehwild, aufgrund hoher Übersehraten noch zu fehlerbehaftet (Gräber et al. 2016, Brack et al. 2018). Die in solchen Testläufen eingesetzte Technik hat sich in den letzten Jahren jedoch rasant weiterentwickelt (Linchant et al. 2015). Der Fortschritt bezieht sich dabei nicht nur auf die bildgebenden Verfahren. Stand zunächst die Verwendung von bemannten Trägersystemen wie Helikoptern oder Ultraleicht-Flugzeugen im Vordergrund, steigt teils aus Sicherheitsgründen teils zur Kostenersparnis der Bedarf nach der Weiterentwicklung im Bereich der unbemannten Flugobjekte (Linchant et al. 2015). Diese sog. Drohnen und die mit ihnen eingesetzten Kamertechnik werden bereits in vielen Bereichen verwendet, sei es bei der Strafverfolgung, in der Industrie, Straßenbau, Forstwirtschaft (Koh and Wich 2012) oder Umweltüberwachung (Linchant et al. 2015). Drohnenplattformen bieten dabei viele Vorteile gegenüber anderen luftgestützten Aufnahmeverfahren: **a)** Einsatzmöglichkeit auf kleinstem Raum bei vertikalen Starts und Landungen (Goebel et al. 2015) verbunden mit einfacher Logistik (Linchant et al. 2015), **b)** hohe räumliche und zeitliche Auflösung (Xiang and Tian 2011) bei geringen Betriebskosten (Linchant et al. 2015, Christie et al. 2016), **c)** hohe Flugstabilität (Goebel et al. 2015), **d)** höhere Sicherheit für den Piloten (Jones et al. 2006, McEvoy et al. 2016) und **e)** Operationen bei niedriger Flughöhe (Jones et al. 2006).

Auch im Bereich der Wildtierökologie und des Wildtiermanagements werden Drohnen immer häufiger eingesetzt (Linchant et al. 2015). Hier bieten sich viele Möglichkeiten zur Methodenweiterentwicklung und -verbesserung, wie beispielsweise die automatisierte, softwarebasierte Erkennung von Arten. Linchant et al. (2015) konstatierten bereits 2015, dass sich derzeit noch viele Studien auf die Möglichkeit der Artdetektion konzentrieren. Quantitative, statistische Verfahren zur Bestandesschätzung sind eher selten. UAVs werden bereits in drei Teilgebieten des Wildtiermonitorings genutzt; hier ein paar Beispiele:

- Monitoring terrestrisch lebender Säugetiere z. B. Rehwild (Israel 2011, Witczuk et al. 2017), Rotwild (Witczuk et al. 2017), Karibu (Christie et al. 2016), Elefanten (Vermeulen et al. 2013),
- Monitoring aquatisch lebender Säugetiere z. B. Wale (Christiansen et al.), Alligatoren (Elsey and Trosclair III 2016), Pinguine und Roben (Goebel et al. 2015) und
- Vogelbeobachtungen (Abd-Elrahman et al. 2005, Chabot and Bird 2012).

Bei der Erfassung terrestrisch lebender Säugetiere ist die Kombination von biometrischen Wärmebildkameras (thermal imagers / thermal infrared TIR) mit einer Drohne (UAV) besonders vielversprechend (Israel 2011, Chrétien et al. 2016, Witczuk et al. 2017). Israel (2011) nutzte eine mit Wärmebildkamera ausgestattete Drohne, um tagsüber Rehkitze in Wiesen zu finden und kam zu der Schlussfolgerung, dass die angewandte Methode komfortabel, schnell und zuverlässig sei. Chrétien et al. (2016) versuchten mit einer Echtfarbenkamera und einer radiometrischen Wärmebildkamera, installiert an einem UAV, Weißwedelhirsche in Quebec, Kanada zu erfassen. Die Untersuchung fand tagsüber in einem Gatter statt (Zeitraum der Erfassung: November). Im Schnitt konnten 50 % der Tiere erfasst werden, welches ähnliche Ergebnisse wie die konventionellen luftgestützten Studien (Chrétien et al. 2016) erzielte. Hier wird bereits erwähnt, dass visuelle Hindernisse wie Nadelbaumüberschirmung und andere Wärmequellen (Steine, Felsen und freiliegender Boden) die Effizienz der Methode einschränken können (Chrétien et al. 2016).

Trotz des enormen Potentials, das in der Anwendung der Drohnentechnik für nächtliche Erhebungen schlummert, müssen jedoch verschiedene rechtliche und technische Einschränkungen berücksichtigt werden (Chrétien et al. 2016, Christie et al. 2016): begrenzte Akkulaufzeit und somit eine Flugzeit von < 30 Minuten pro Akkusatz; limitierte Flugdistanz (< 1 km bei < 5 kg Eigengewicht der UAV, (Christie et al. 2016)); Nachweis von Flugkenntnissen bei > 2 kg Eigengewicht der UAV; der UAV-Flug unterliegt einer Höhenbeschränkung von 100 m (Sondergenehmigung 150 m); erforderliche Genehmigung bei Nachtflügen und Berücksichtigung von Befliegungsseinschränkungen (Flughäfen, Wohngebiete, Naturschutzgebiete etc.). In Deutschland beispielsweise dürfen Drohnen in der Regel nur in Sichtweite des Piloten fliegen. Der maximale Operationsradius der Drohne ist somit abhängig von Sichtkontakt und Funkverbindung. Eingebaute Sicherheitsmechanismen erkennen allerdings den Verlust der Funkverbindung und führen zu einem automatisierten Rückflug. Hinzu kommt eine gewisse Abhängigkeit von den Wetterbedingungen (unvorteilhaft sind: starker Wind > 10 m s<sup>-1</sup> / 36 km h<sup>-1</sup>, starker Regen, Dunst und / oder Nebel).

Untersuchungen zu Störeffekten fliegender Drohnen auf Tiere z. B. in Abhängigkeit von Flughöhe bzw. Rotorlärm sind zumeist jüngeren Datums (Hodgson and Koh 2016, Arona et al. 2018, Duporge et al. 2021). Die Recherchen von Linchant et al. (2015) erbrachten keine Hinweise auf von Drohnen verursachte Störungen von Wildtieren. Christie et al. (2016) fanden in 7 Publikationen Aussagen zu Störungseffekten bei Vögeln, wobei eine Veröffentlichung von keinen Reaktionen, fünf von minimalen und eine von moderaten Reaktionen der Tiere

gegenüber UAVs berichteten. Störungsversuche zu terrestrischen Säugetieren wurden ebenfalls erwähnt. Hier zeigte sich ähnlich wie bei Vögeln eine unklare Sachlage (schwankend von keiner zu starker Reaktion; Christie et al. (2016)). In deren Studie wurde auch die durch UAVs induzierte Verhaltensänderung auf Karibu (*Rangifer tarandus*) und semi-domestizierte Rentiere (*Rangifer tarandus tarandus*) in Gattern untersucht. Hierbei konnte allerdings keine Änderung des Verhaltens beobachtet werden. Untersuchungen zu dem nächtlichen Verhalten von Rehwild unter Einfluss einer Drohne in Feld- und Waldgebieten sind uns nicht bekannt.

### **Zielsetzung des Projekts**

Da die luftgestützte Erfassung für Rehwild am Tag in ihren Ergebnissen unbefriedigend blieb, wurde im Rahmen dieses Vorhabens die nächtliche Erfassung von Rehwild mittels UAV getestet. Innovativ und wissenschaftlich interessant sind dabei vorrangig folgende Aspekte, die neue Möglichkeiten der Wilderfassung eröffneten: Flug in der Dämmerungs- und Nachtzeiten und bei niedriger Höhe (<100 m), Einsatz neuester Drohnen- und Wärmebildtechnik (Flugzeit und Sensibilität), Bewältigung größerer Flächen und Liveübertragung der Wärmebildsignale für spontane Flugmanöver in Echtzeit.

Die Testläufe wurden bewusst vorrangig in Waldgebieten im Winterhalbjahr durchgeführt. Wildzählungen im Wald sind - wie wir aus eigener Erfahrung wissen - im Vergleich zum Offenland besonders aufwändig und fehleranfällig. Gleichzeitig sind Waldgebiete bedeutende Aufenthaltsräume für unser Schalenwild, aber auch forstökonomische Nutzflächen. In diesem Konfliktraum eine kostengünstige, flexible, nicht-invasive und gleichzeitig sichere Erfassungsmethodik für Schalenwild zu entwickeln, ist daher besonders anspruchsvoll aber auch von besonderer Relevanz.

Die Steuerung der Drohnen zu Dämmerungs- und Nachtzeiten bedarf Flugerfahrung und dem Einholen rechtlicher Genehmigungen beim Landesbetrieb Mobilität für Rheinland-Pfalz (LBM RLP). Für die Realisierung der technischen Herausforderungen dieses Projekts ist daher die Einbindung eines professionellen Drohnenteams als Dienstleister von besonderer Wichtigkeit gewesen.

Drei Teilziele werden in diesem Projekt verfolgt:

- (a) Ermittlung von Störeffekten zwecks Bestimmung nicht-invasiver Flughöhen
- (b) Untersuchung der unterschiedlichen Überseh- / Erfassungsraten von Rehwild in verschiedenen, waldgeprägten Testflächen, und darauf basierend



(c) die Berechnung einer Populationsdichte für Rehwild in verschiedenen Untersuchungsgebieten.

### **Zeitlicher Ablauf**

In Hinblick auf einen zügigen Projektbeginn im Jahr 2019 hat die FAWF einen vorzeitigen Maßnahmenbeginn bei der DBU für dieses Projekt beantragt. Dieser Antrag wurde am 27.08.2019 bewilligt. Es erfolgt kurz darauf die Ausschreibung für die technische Dienstleistung (Stellung der Drohnen, Drohnenpilot mit allen geforderten Genehmigungen). Die Ausschreibung wurde Mitte November beendet und der Zuschlag erfolgte am 17.11.2019 an die Firma „Drohnen-Service-Pro“ aus Beltheim, Rheinland-Pfalz. Die Feldversuche wurden in den Wintermonaten von 2019/2020 und 2020/2021 durchgeführt. Aufgrund der im zeitigen Frühjahr 2020 auftretenden Covid-19 Pandemie mussten einige Datenaufnahmetermine ausfallen bzw. verschoben werden.

### **Durchführungsänderungen zum Projektantrag**

Laut Projektantrag war die Erfassung der Entdeckungsraten mithilfe von 2 zahmen Rehen in einem 1 ha großen Mischbaumbestand geplant. Dieser Versuch war für uns aufgrund eines spontanen Besitzerwechsels und dem damit verbundenen Gehegewechsels nicht mehr durchführbar. Zusätzlich waren bei den Versuchen zur Erfassung von Entdeckungsraten die Unterstützung von Versuchspersonen geplant. Dies wurde durch die von der Landesforstverwaltung RLP vorgelegten Maßnahmen im Zuge der andauernden Covid-19 Pandemie, welche sich auf die Arbeitsschutzverordnung sowie das Infektionsschutzgesetz bezog, untersagt. Alternativ haben wir die Versuche dann mit einer kleineren Anzahl an Hunden durchgeführt. Diese Versuche waren laut der zu dieser Zeit gültigen Corona-Bekämpfungsverordnung des Landes RLP erlaubt.

## 2. Datenaufnahme & Durchführung (Methoden)

Die Datenaufnahmen für diese Studie wurde im Zeitraum von November 2019 – Februar 2020 und Oktober 2020 – April 2021 absolviert. Die Wetterlagen waren in den Untersuchungszeiträumen oft unstetig und haben somit eine Terminfindung für die Befliegungen erschwert. Nicht jede Befliegungsnacht weiste dieselben Bedingungen in Bezug auf Temperatur, Windstärke, Windrichtung und ggf. Schneelage auf. Hinzu kommt die am Untersuchungstag vorherrschende Sonneneinstrahlungsdauer, welche den Einsatz der Wärmebildkamera und somit die Erfassung von Rehwild einschränkt bzw. nicht möglich macht. Ungünstigen Wetterlagen für einen Drohnenflug sind vor allem Starkregen, erhöhte Windgeschwindigkeit / Starkböen, Schneelage, Nebel und sehr hohe Sonneneinstrahlung vor Befliegungsdurchführung. Insgesamt wurde eine geringere Anzahl an Flügen durchgeführt als in der Projektskizze geplant war (32 von 40 Flügen). Grund hierfür war hauptsächlich das Auftreten der Covid-19 Pandemie im Jahre 2020 und 2021.

### 2.1 verwendete Drohnen-Technik

Für die Durchführung der Drohnenflüge in unserem Projekt wurde eine externe Firma (Drohnservice Pro GmbH) engagiert. Somit konnte auf die neuste Drohnentechnik und die Expertise der erfahrenen Piloten zurückgegriffen werden. Für die Befliegungen mussten zusätzlich Sondergenehmigungen eingeholt werden. Folgende Genehmigungen wurden eingeholt: Kenntnisnachweis nach §21a Absatz 4 Satz 3 Nr. 2 der Luftverkehrsordnung, Allgemeine Betriebserlaubnis 5 kg – 25 kg UAV, Ausnahmeerlaubnis zum Flug in weniger als 1,5 km Entfernung zu Begrenzung von Flugplätzen, Ausnahmeerlaubnis zum Flug bei Nacht und außerhalb Sichtweite. Des Weiteren wurden Ausnahmegenehmigungen zum Flug über Bundesnaturschutzgebieten und Flüge in einem seitlichen Abstand von weniger als 100 m zu Bundesfernstraßen, Bundeswasserstraßen und Bahnanlagen beantragt. Ab dem 01.01.2021 wurde nach der neuen EU-Drohnenverordnung die Kenntnisnachweise A1/A3 und A2 von den Piloten gefordert. Alle Drohnenflüge wurden zusätzlich bei den örtlichen zuständigen Polizeistationen angemeldet.

Insgesamt wurden 84 % unserer Befliegungen mit Hilfe von Drohnen (Quadrocopter) der Marke DJI Modell Matrice 210 (**Abbildung 1**) durchgeführt. Diese waren ausgestattet mit einer DJI Zenmuse XT 13 mm und einer RGB-Kamera DJI Zenmuse Z30 mit einem CMOS 1 / 2.8 – Sensor. Ab März 2021 erfolgten die Drohnenbefliegungstermine mit der DJI Modell M300 RTK und der Wärmebildkamera DJI H20T (**Abbildung 2**). Die technische Ausrüstung

ermöglichte einen Dauerflug der Drohnen, da die verbrauchten Akkus in der im PKW integrierten Ladestation (LKW-Batterie bzw. bei Einsatz von 2 Drohnen über 6 h Flugzeit über einen Generator) geladen werden konnten (**Abbildung 3**).



**Abbildung 1** Die Drohne DJI Matrice 210 wurde grundsätzlich für die Befliegungen in diesem Projekt genutzt. Hier im Bild (links) ist die Drohne mit einer Wärmebildkamera DJI Zenmuse XT 13 mm und einer RGB-Kamera DJI Zenmuse Z30 mit einem CMOS 1 / 2.8 – Sensor ausgestattet. Im rechten Bild ist der zugehörige Controller der Drohne abgebildet. © FAWF Landesforsten RLP



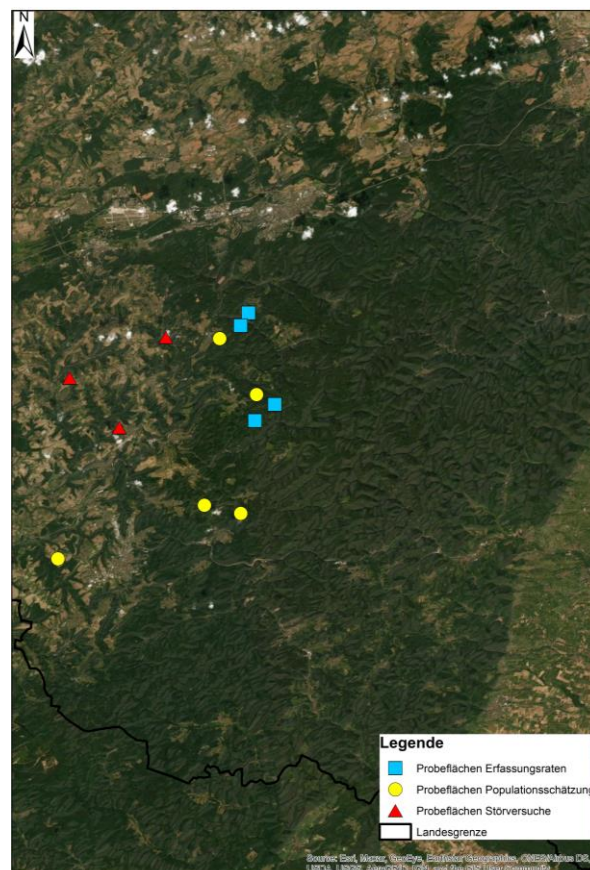
**Abbildung 2** Die Drohne DJI Matrice 300 wurde ab März 2021 in dem hier beschriebenen Projekt erstmals eingesetzt. © Drohnen- Service-Pro GmbH



**Abbildung 3** Die technische Ausrüstung im Transporter der Drohnen-Firma erlaubte das Laden der verbrauchten Drohnen-Akkus, sodass ein Dauerflug ohne Probleme durchgeführt werden konnte. © FAWF Landesforsten RLP

## 2.2 Ermittlung von Störeffekten zwecks Bestimmung nicht-invasiver Flughöhen

Will man mit Drohnen Wildtiere aus der Luft zählen, geschieht dies aus Flughöhen von max. 100 m – 150 m. Dabei sind die Drohnen für Mensch oder Tiere leicht optisch und insbesondere akustisch wahrnehmbar. Der Lärmpegel der Rotorgeräusche einer 100 m hochfliegenden Drohne (z. B. der hier verwendeten Quadrocopter) ist für uns deutlich wahrnehmbar und wird zumeist als störend empfunden. Doch wie empfinden und reagieren Tiere, insbesondere Säugetiere, auf die Drohne? Ein wie auch immer gearteter Störeffekt sollte nicht die Detektionswahrscheinlichkeit der zu erfassenden Tierart durch Ausweichbewegungen oder gar Flucht maßgeblich negativ beeinflussen. Die Untersuchungen zu den Störeffekten wurden in drei Testreviere in unmittelbarer Umgebung des Pfälzerwaldes im Zeitraum von Oktober – November 2020 durchgeführt (**Abbildung 4**). Die Versuche wurden anfänglich auf den Freiflächen und nachfolgend in bewaldeten Flächen durchgeführt. Von den geplanten 10 Nachtflüge konnten neun für diese Untersuchung realisiert werden.



**Abbildung 4** Übersicht über die Untersuchungsflächen im Pfälzerwald und dessen unmittelbarer Umgebung. Unterschieden wird in der Übersicht in Probestflächen für Störversuche, Erfassungsraten und Populationschätzungen. Diese Versuche wurden in dem Zeitraum von Oktober 2019 – April 2021 durchgeführt.



Der Ablauf der Störversuche folgte stets dem gleichen Muster. Für den Standort des Drohnenteams wurde eine erhöhte Stelle im Untersuchungsgebiet ausgewählt. Dies wurde mit den Revierpächtern am Tag zuvor abgesprochen. Die Drohne wurde für den Flug vorbereitet und die Befliegungskarte / Reviergrenzen mit den Piloten besprochen. Zur Dämmerungszeit startete die Drohne und suchte auf einer Flughöhe von 100 m – 150 m mit zumeist schräg ausgerichteten Kameras nach größeren Warmblütern (**Abbildung 5**, **Abbildung 6**). Auf Freiflächen konnten auf diese Weise die Tiere über Entfernungen von mehreren hundert Metern entdeckt werden. Vermutete man anhand der Silhouette der Wärmesignatur (schlanke Gestalt, lange Beine und Hals) Rehwild (Einzeltiere bzw. Gruppen, fachsprachlich auch „Sprünge“ genannt), wurde die Drohne über den detektierten Objekten positioniert und der Sinkflug begann bei einer Flughöhe von 100 m. Das Verhalten der Tiere wurde bei den jeweiligen Höhenstufen von 100 m, 80 m, 60 m und 40 m notiert. Aufgrund einer durchschnittlichen Baumhöhe von 40 m wurden die Versuche bis zu dieser Flughöhe durchgeführt. Die definitive Feststellung, ob es sich wirklich um Rehwild handelte, gelang anhand der immer detaillierten Objektdarstellung zumeist bei 60-80 m Flughöhe der Drohne. Falls eine Fehleinschätzung bezüglich der Spezies vorlag, wurde der Sinkflug abgebrochen. Eine Videodokumentation dieser Versuche wird exemplarisch bereitgestellt (siehe Videos **Anhang / Anlagen**). Es wurden vier Verhaltenskategorien während der Datenaufnahme bei den untersuchten Rehen unterschieden: stehend, liegend, unruhig und abgesprungen. Wenn sich bei dem Sinkflug der Drohne das anfänglich dokumentierte Verhalten der Rehe ändert, sprechen wir hier von einer Reaktion der Rehe auf die Anwesenheit und Geräuschkulisse der Drohne. Ändert sich das Verhalten von stehend / liegend zu unruhig bzw. abgesprungen, sprechen wir von einer Störreaktion. Als unruhiges Verhalten wurden nervös wirkende Bewegungen oder schnelle Kopf- bzw. Ohrenbewegung zur Lokalisierung von Geräuschen oder das Sammeln bzw. Zusammenziehen mehrerer Individuen gewertet.

Reaktion = Änderung des anfänglichen dokumentierten Verhaltens eines Individuums / Rehes

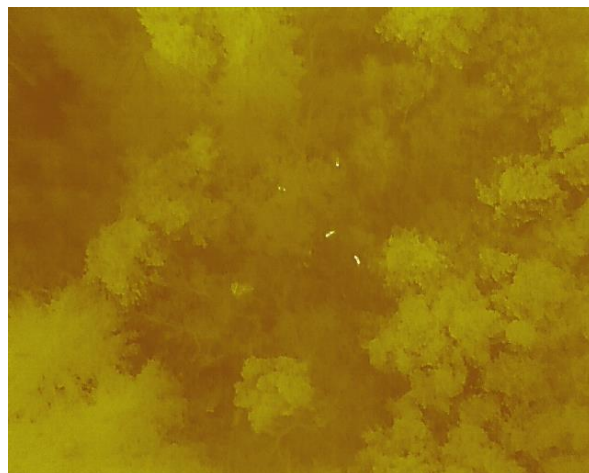
Störreaktion = Änderung des Verhaltens zu unruhigen bzw. abspringenden Verhaltensweise

Die Fluchrichtung der untersuchten Individuen wurde zusätzlich dokumentiert, um das Verhalten bereits untersuchter Individuen nicht unmittelbar erneut zu testen. Bei geringem Rehwildvorkommen wurden teilweise bereits untersuchte Rehe nach mehreren Stunden (>2 h) erneut mit der Drohne angefliegen. Da die Funkverbindung von Controller und Drohne neben der Entfernung auch durch das Geländerelevs begrenzt wurde, musste der Standort des

Drohntenteams mehrmalig in der Nacht gewechselt werden, um das gesamte Untersuchungsgebiet befliegen zu können.



**Abbildung 5** Die Erfassung von Wildtieren auf den Freiflächen konnte bereits auf großer Distanz erfolgen (schwarze Punkte im linken Bild). Rehwild auf einer Freifläche aus einer niedrigeren Flughöhe im seitlichen Winkel aufgenommen (helle Silhouetten im rechten Bild). © FAWF Landesforsten RLP



**Abbildung 6** Erfassung von Rehwild in einer bewaldeten Fläche auf einer Drohnen-Flughöhe von ca. 80 m. © FAWF Landesforsten RLP

### 2.3 Untersuchung der Erfassungsraten

Zur Einschätzung der Drohnen-Erfassungsraten von Rehen im Wald (Erfassungsraten hier abgekürzt ER; Kehrwert wäre die Übersehrate), welche dem Anteil erfasster Individuen zur tatsächlichen Gesamtzahl entspricht, wurde folgender Versuch durchgeführt: Es galt quasi als Rehmodelle eine bestimmte Anzahl besonders präparierter Versuchspersonen oder Hunde mit Hilfe einer mit Wärmebildkamera ausgestatteten Drohne zu finden. Der Drohnenpilot war über die Anzahl und Positionen der Versuchspersonen / Hunde nicht informiert. Es konnte genauso gut vorkommen, dass kein Hund bzw. Versuchsperson in dem Untersuchungsgebiet platziert wurde. Diese Versuche fanden über neun Tagbefliegungen verteilt parallel zu den nächtlichen Störversuchen (November – April 2019 / 2020 bzw. 2020 / 2021) statt.

Die Versuchspersonen sollten mit gut isolierender Kleidung und einer Mütze bzw. Kapuze über dem Kopf eine sitzende Position im Wald einnehmen. Gleichzeitig sollte bei der Überfliegung mit der Drohne das unbedeckte Gesicht der Versuchsperson nach unten ausgerichtet werden (**Abbildung 7**). Den Hunden wurde ein isolierender Hundemantel angelegt. Mit Hilfe dieser isolierenden Kleidung / Mäntel wurde das Abstrahlungsvermögen und die –fläche eines Rehes simuliert (**Abbildung 8**). Der Drohnenpilot wurde stets in die zu untersuchende Fläche auf der Luftbildkarte eingewiesen. Ebenfalls wurde dem Piloten ein zeitlicher Rahmen (5 – 7min) vorgegeben, welcher zur Erfassung der Untersuchungsfläche nicht überschritten werden durfte. Dem Piloten stand für den Versuch nur die Nutzung seiner Wärmebildkamera zur Verfügung, um hiermit eine nächtliche Erfassung zu simulieren (**Abbildung 9**). Für Dokumentationszwecke wurde bei einzelnen Flügen zusätzlich eine RGB-Kamera an der Drohne befestigt. Das Drohnen-Team stand mit Hilfe von Funkgeräten stets mit der Versuchsleiterin in Verbindung. Hierrüber wurden auch die Erfassungen der Versuchspersonen bzw. Hunde durch den Drohnenpiloten mitgeteilt. Die Drohne blieb hierfür eine gewisse Zeit über dem entdeckten Individuum in der Luft stehen. Somit konnte eine Zuordnung der Positionen für eine Entdeckung bzw. Nicht-Entdeckung in der zu untersuchenden Waldfläche durch die Versuchsleiterin erfolgen. Wichtig bei der Durchführung dieser am Tag absolvierten Versuche war die Himmelbedeckung vor und während der Tests. Sonneneinstrahlung führt zu Absorptionseffekten, welche Störquellen auf dem Wärmebild produzieren und eine genaue Identifizierung von Tieren erschweren bzw. unmöglich machen (Hohmann et al. 2021).

Die Überprüfung der ER fand in vier verschiedenen Waldhabitaten und über jeweils vier verschiedenen Übershirmungsgraden dieser Bestände statt. Folgende Waldhabitats wurden kategorisiert: Nadelwald, Laubwald, Laub-Nadel-Mischwald und Verjüngungsfläche.



Die Überschirmungsgrade in den Beständen wurden in vier Kategorien eingestuft: 0 % – 25 %, 26 % – 50 %, 51 % – 75 % und 76 % – 100 %. An den jeweiligen Versteckpositionen wurde der Überschirmungsgrad von dem Versuchspersonen bzw. im Voraus von der Projektbearbeiterin geschätzt. Zu Beginn der Datenaufnahme für die ER wurden Positionen in den ausgesuchten Flächen ein bis zwei Tage vor dem Drohnenversuch ausgewählt und markiert (Variante mit Versuchspersonen). Hierzu diente farbiges Markierungsband und auch Markierungsspray. Die Punkte wurden zusätzlich in einem GPS-Gerät aufgenommen. Die Versuchspersonen erhielten vor Beginn des ER-Versuches eine Dokumentation über die Versuchsanzahl mit den von den einzelnen Versuchspersonen aufzusuchenden Positionen. Testweise wurden einzelne Versuche auch zu den Dämmerungszeiten weitergeführt, welches zur Folge hatte, dass das Aufsuchen einer definierten Position im Halbdunkeln größere Schwierigkeiten bereitete und zusätzlich eine erhöhte Unfallgefahr für die Versuchspersonen barg. Dies hatte zur Konsequenz, dass Erfassungsratenversuche mit Versuchspersonen und Hunden nur tagsüber durchgeführt wurden. Bei der Durchführung am Tag mussten allerdings bestimmte Umstände beachtet werden, um den Flug- und Suchbedingungen einer Nachtbefliegung weitgehend zu entsprechen (siehe oben). Über Funkgeräte wurde der Kontakt zwischen dem Organisationsteam und den Versuchspersonen sichergestellt. Mit Hilfe der GPS-Geräte konnten die Versuchspersonen dann die Positionen aufsuchen. Aufgrund der fünf bis zehn Meter Ungenauigkeit der GPS-Geräte und auch aufgrund des Unterwuchses, war das Auffinden dieser vorgesehenen Positionen zeitintensiv. Zählt man hier auch den Vorbereitungsaufwand mit Aufsuchen der Testfläche vor dem eigentlichen Versuch, Vorbereitung der GPS-Geräte und Versuchsplandokumentation hinzu, wird deutlich, dass dieses Verfahren nicht nur zeitlich sehr hohen Aufwand bedarf, sondern auch in der Praxis von den Versuchspersonen als nicht zielführend empfunden wurde. Im weiteren Verlauf des Projektes wurde dieses Verfahren daher angepasst. Angedacht war, dass jeder Versuchsperson ein GPS-Geräte und einen Dokumentationszettel bekommt und selbständig in einem vorgegebenen Bereich sich die Positionen selbst aussucht und den Habitattyp, Überschirmungsgrad und Positionsnummer inkl. Koordinaten auf dem Garmin GPS-Gerät vermerkt. Aufgrund des Auftretens der Covid-19 Pandemie im Frühjahr 2020 war die Durchführung der Versuche mittels Versuchspersonen nicht mehr möglich. Hierfür wurden Hunde an Positionen im Wald ausgebracht. Zwei Personen positionierten die Hunde in den Beständen und kartierten das Habitat (Bestandeskategorie und Überschirmungsgrad) und die Position. Um das Abholen der Hunde in den Beständen nach dem Versuch zu vereinfachen, trugen die meisten Hunde ein Garmin GPS Halsband. Bei kälteren Temperaturen im Winter

wurde den Hunden zum Kälteschutz eine Hundedecke untergelegt, da je Versuch bis zu 15 min vergingen. Die Anzahl der Versuche pro Untersuchungstag war abhängig von Außentemperatur und Wohlbefinden der Hunde und dementsprechend zeitlich begrenzt.



**Abbildung 7** Versuchspersonen stellten sich an die für sie vormarkierten Positionen im Wald auf. Dem Drohnen-Pilot waren die Anzahl und Positionen der Versuchspersonen nicht bekannt. Hier an Hand des RGB-Kamerabildes ist die Versuchsperson gut von der Drohne aus sichtbar. Die Versuche wurden nur mit Hilfe der Wärmebildkamera durchgeführt. Für nachfolgende Dokumentationszwecke war der Einsatz der RGB-Kamera erlaubt. © FAWF Landesforsten RLP



**Abbildung 8** Der Hund – ausgestattet mit Hundemantel und Decke - wurde im Bestand auf eine Position gebracht (linkes Bild). Der GPS-Punkt, das Habitat und der Überschirmungsgrad wurden von allen Position notiert. Die Hunde trugen zusätzlich ein Garmin GPS-Halsband, um das Auffinden der einzelnen Hunde in kürzester Zeit zu garantieren. Eine Gesamtanzahl von vier bis fünf Hunden standen für die Versuche stets zur Verfügung (rechtes Bild). © FAWF Landesforsten RLP



**Abbildung 9** Die an der Drohne befestigte Wärmebildkamera zeigt eine Wärmequelle auf (weiße Flecken in der roten Markierung). Anhand dieser Bilder entscheidet der Pilot, ob die Wärmequelle die Position eines Hundes bzw. Versuchsperson markiert oder nur die einer Störquelle. Bei Unsicherheiten war es zulässig, die Flughöhe der Drohne zu minimieren. © FAWF Landesforsten RLP

## 2.4 Berechnung Populationsdichte Rehwild

Erst nach erfolgreichem Abschluss der Vorversuche zu Störwirkung und Erfassungsraten der Drohneneinsätze sollte abschließend die Praxistauglichkeit der „Nachtdrohnen“ zur Bestimmung von Rehwildpopulationsdichten in Waldgebieten getestet werden. Hierzu wurden sechs Untersuchungsgebiete in der näheren Umgebung, aber auch im Pfälzerwald, ausgesucht. Bei diesen Populationsschätzungen sollte der zuvor ermittelte Korrekturfaktor (siehe Methodenteil 2.3) angewandt werden. Eine Plausibilitätsprüfung der ermittelten Rehwildpopulationsdichten durch Vergleich mit anderweitig verfügbaren Hinweisen auf die zu erwartende Populationsdichten in diesem Gebiet, schloss diese letzte Testphase ab.

Um die Reproduzierbarkeit unserer Erfassungen in den einzelnen Untersuchungsgebieten zu bestimmen, war geplant, jede zu untersuchende Waldfläche dreimal zu befliegen. Dies ist uns leider nicht in allen Untersuchungsgebieten gelungen, so dass schlussendlich nur 3 UGs / Testflächen mehrmals befliegen wurden.

Bei den nächtlichen Befliegungen wurde folgenderweise vorgegangen: Die zu befliegende Fläche wurde mit dem Revierleiter, Revierpächter und / oder Jägern abgesprochen. Die Piloten wurden in dem Gebiet auf der Karte eingewiesen und auf Hindernisse, wie beispielsweise Windräder oder Stromleitungen, aufmerksam gemacht. Erhöhte, Übersicht bietende Positionen wurden bevorzugt aufgesucht. Trotzdem war es zumeist nötig, die Position des Drohnenteams mehrfach zu wechseln, da sonst eine Funkverbindung (Distanz zwischen Controller und Drohne bzw. Topographie des Geländes) nicht immer gegeben war. Mit einer Flughöhe von ca. 100 m – 150 m wurden nach größeren Warmblütern mit Hilfe der Wärmebildkamera gesucht. Wurde ein Wildtier erfasst, sank die Drohne auf eine Flughöhe von 80 m – 60 m, um Rehwild zu bestätigen bzw. auszuschließen. Bei dem Einsatz der DJI Matrice 300 konnte aufgrund der besseren Auflösung des Wärmebildes bereits aus größeren Flughöhen die Art erkannt werden. In der Projektskizze wurden Waldflächen von 200 ha für eine nächtliche Erfassung eingeplant. Die in einer Nacht zu gewältigende Flächengröße konnte durch routiniertes und effizientes Arbeiten und ohne spontan auftretende technische Probleme jedoch deutlich gesteigert werden.

Die von der Drohne aufgezeichneten Flugrouten wurden im ArcGIS eingepflegt und daraus die befliegenen Flächen berechnet bzw. visualisiert. Die Koordinaten der nächtlich erfassten Rehe wurden während der Nachtarbeit notiert und ebenfalls im ArcGIS Projekt implementiert. Diese Daten wurden zunächst zur Berechnung einer unkorrigierten Rehwilddichte pro 100 ha (Minimumbestand) herangezogen. Für eine Berechnung der Rehwilddichte mit einem

pauschalen Korrekturfaktor haben wir die durchschnittliche Übersehrate aus unseren Ergebnissen (3.2 Erfassungsraten) verwendet.

Für das UG Windsberg wurden die Waldhabitats / -bestände nach unseren bereits bekannten 4 Kategorien (Laub-, Nadel-, Mischwald und Verjüngung) mittels der Drohne am Tag kartiert. Die kartierten Habitate wurden händisch in die Karte des Untersuchungsgebietes eingetragen. Die Kartierung wurde im Nachgang dann im ArcGIS übertragen. Daraus wurden dann die Flächenanteile der jeweiligen Habitate berechnet. Aus unseren Untersuchungen zu den Erfassungsraten entnahmen wir eine gemittelte Übersehrate zur Korrekturberechnung der Rehwildpopulationsdichte und berechneten diese anteilig für die jeweiligen Habitate des Untersuchungsgebietes.

Zusätzlich verwendeten wir den NATFLOW Datensatz (LVermGeoRP 2020, AgroScience RLP 2021) zur Bestimmung von Laub- und Nadelwaldanteilen im UG. Dieser Datensatz sollte uns eine Vor-Ortkartierung der Habitate im UG ersparen. Hierzu wurden die Befliegungsflächen mit dem NATFLOW Datensatz verschnitten, um somit den genauen Anteil an Nadel- bzw. Laubwald für das UG exemplarisch berechnen zu können. Die Korrekturberechnung bezog sich dann im Weiteren nur auf die Habitate, welche laut unseren Erfassungsratenversuche erhöhte Übersehraten abbildeten.

Die Tagbefliegungen wurden genutzt, um Bestandesaufnahmen in den Untersuchungsgebieten durchzuführen und zusätzlich eine Vergleichserfassung von Nacht- und Tagerfassung zu prüfen. Hier sollte getestet werden, ob auch eine am Tag durchgeführte Erfassung von Rehwild in bewaldeten Gebieten möglich ist bzw. ähnliche Ergebnisse / Populationsschätzungen zu einer Nachterfassung erzielen kann.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Störversuche

Zwischen dem 27.10.2020 und 20.11.2020 wurden insgesamt 439 mal Störversuche an Einzeltieren oder an maximal 9 Tiere umfassenden Rehspürungen in drei verschiedenen Revieren durchgeführt. Es wurde eine durchschnittliche Gruppengröße von 2,21 Individuen festgestellt. Alle drei UGs befanden sich außerhalb bzw. am äußeren westlichen Rand des Pfälzerwaldes (siehe **Abbildung 4**). Es konnten sechs verschiedene Habitattypen für die Versuche herangezogen werden, wobei über dem Habitat Wald ca. 40 % aller Störversuche stattfanden (**Tabelle 1**).

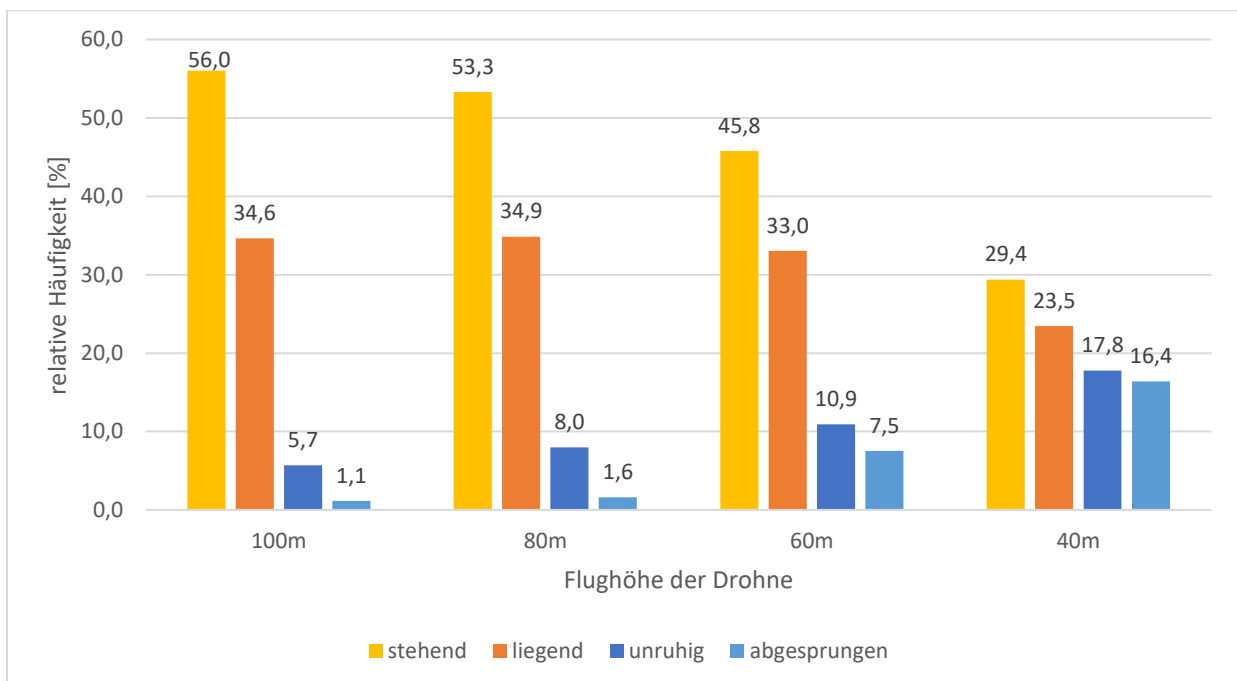
**Tabelle 1** Übersicht über die Anzahl der nächtlichen Störversuche an Rehen in den jeweiligen Habitattypen. Die Versuche wurden mit Hilfe einer Drohne (DJI Matrice 210) durchgeführt.

Habitattyp	Anzahl Versuche
<i>Laub-Nadel-Wald</i>	8
<i>Laubwald</i>	62
<i>Nadelwald</i>	13
<i>Wald (nicht spezifisch definiert)</i>	58
<i>Randbereich</i>	33
<i>Offenland</i>	265
<b>Summe</b>	<b>439</b>

Nur in 3 % der Fälle (13 von 439 Störversuchen) konnte bereits bei einer Flughöhe von 100 m eine Reaktion der Rehe auf die Drohne festgestellt werden. Dieser Anteil stieg mit absinkender Flughöhe der Drohne. Bei 80 m Flughöhe wurden 4 %, bei 60 m 15 % und bei 40 m 27 % Störreaktionen dokumentiert. Mit anderen Worten, in 51,5 % der Versuche (227 Fällen) konnte keine ersichtliche Reaktion der Rehe auf die Drohne in den hier untersuchten Flughöhen (100 m – 40 m) nachgewiesen werden. Bei der Unterscheidung zwischen den Habitaten Offenland und Wald zeigten sich jedoch Unterschiede. Knapp 68 % der untersuchten Rehe im Wald zeigten keine Reaktion auf die Drohne, im Offenland hingegen waren es ca. 44 %. Innerhalb der untersuchten Waldbestände, zeigte sich, dass in Misch- und Nadelbeständen weniger Rehindividuen auf die Drohne reagierten als im Laubbestand (**Anhang Abb. 1**).

Die Verhaltenskategorie 'stehend' wurde am häufigsten mit 46,1 % über alle Drohnenflughöhen festgestellt. 31,5 % der beobachteten Rehe zeigten das Verhalten 'liegend', gefolgt bei 10,6 % 'unruhig' und 6,7 % 'abspringend'. In den einzelnen Flughöhen dominierte

ebenfalls das Verhalten 'stehend' (**Abbildung 10**). In den höheren Flughöhen (100 m – 80 m) sprangen pro Flughöhenkategorie weniger als 2 % der untersuchten Rehe ab (100 m Flughöhe 1,1 %; 80 m Flughöhe 1,6 %; **Abbildung 10**). Es ist deutlich zu erkennen, dass Rehe bei einer Flughöhe von 60 m – 40 m häufiger abgesprungen sind – 7,5 % der untersuchten Rehe bei 60 m und 16,4 % bei 40 m Flughöhe – als im Vergleich zu den Flughöhen 100 m und 80 m (**Abbildung 10**). Differenziert man zwischen den beiden Aufnahmehabitaten, zeigten nur 10 % der im Wald erfassten Rehe bei einer Flughöhe von 40 m das Verhalten 'abspringend', währenddessen im Offenland der Anteil doppelt so hoch war (**Anhang Abbildung 2, Anhang Abbildung 3**).



**Abbildung 10** Dargestellt ist das nächtliche Verhalten der beobachteten Rehe in Abhängigkeit der Flughöhe der Drohne in Wald und Offenlandgebieten (nicht differenziert).

### 3.2 Erfassungsraten

Insgesamt wurden 209 Versuchspersonen- bzw. Hundepositionen in unterschiedlichen Beständen mit verschiedenen Überschirmungsgraden besetzt (**Tabelle 2**), darunter 136 mal Hunde, 66 mal Versuchspersonen und 5 mal Versuchspersonen mit Hund. Im Durchschnitt wurden pro Befliegungstermin 23 Positionen getestet ( $\bar{x} = 23,22 \pm 7,8$  SDFehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.).

**Tabelle 2** Übersicht über die Stichprobenverteilung der Überschirmungsgrade für alle Bestände zur Bestimmung von Erfassungsraten.

Überschirmungsgrad [%]	Anzahl Versuche	Position nicht entdeckt	Position entdeckt	Erfassungsrate
0 % – 25 %	50	3	47	0,94
26 % – 50 %	30	1	29	0,97
51 % – 75 %	49	6	43	0,88
76 % – 100 %	80	21	59	0,74
<b>Summe</b>	<b>209</b>	<b>31</b>	<b>178</b>	

Im Mittel über alle Bestände und Überschirmungsgrade entdeckten die Piloten 85,95 % aller versteckten Versuchspersonen bzw. 89,5 % aller Hunde mit Hilfe der an der Drohne montierten Wärmebildkameras (178 von 209, **Tabelle 2**). In den Beständen mit geringeren Überschirmungsgraden (0 % – 25 % und 26 % – 50 %) wurden Erfassungsraten von über >90 % nachgewiesen (**Tabelle 2**), wohingegen bei den Beständen mit höheren Überschirmungsgraden die Erfassungsraten auf 74 % und 88 % abfielen. Die Versuchspersonen bzw. Hunde, welche von der Drohne nicht entdeckt wurden, befanden sich stets in Nadel-Baumbestand, Nadel-Verjüngung und Verjüngung mit Mischbestand. In reinen Laubverjüngungen wurden alle Positionen durch die Drohne erfasst (**Tabelle 3**). Diese Laubverjüngungen wiesen trotz Winterjahreszeit noch eine recht starke Belaubung auf. Die Erfassungsraten je nach Bestand und Überschirmungsgrad zeigten eindeutig, je höher der Überschirmungsgrad im Bestand, desto geringer werden die Erfassungsraten der Drohne mit Ausnahme für Laubbestände.

Für Laubbestände (Alt- und Baumholzkategorie), welche zu der Zeit der Datenaufnahme nicht belaubt waren, wurde auf Bestimmung der Erfassungsraten verzichtet. In solchen Beständen

(meist ohne Unterwuchs) hatte sich in vorherigen Testläufen ohnehin eine 100 %ige Erfassungsquote abgezeichnet. Somit konzentrierten wir uns in den Erfassungsversuchen auf die anderen Habitate.

Um die hier gefundenen Erkenntnisse im weiteren Verlauf für eine Populationsdichteschätzung in einem durchschnittlichen gemischt bestockten Untersuchungsgebiet anwenden zu können, wurde aus praktischen Überlegungen heraus eine durchschnittlichen Erfassungsrate für Mensch und Hunde von 88 % in Nadelbeständen (Baum-, Altbestand und Verjüngungen) unterstellt.

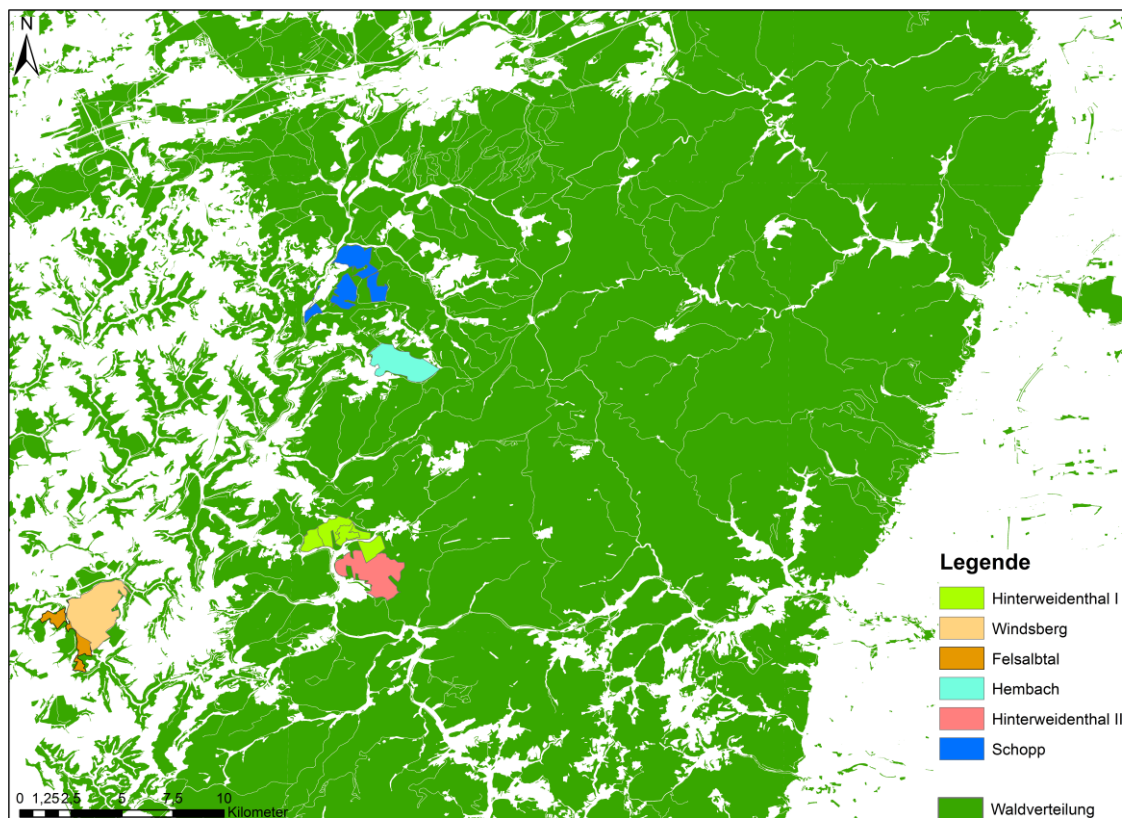


**Tabelle 3** Übersicht über die Erfassungsraten für die einzelnen Habitate mit unterschiedlichen Überschirmungsgraden. Der Laubwald (Baum- und Altholz) wurde in den Untersuchungen aufgrund der im Testlauf 100 %igen Erfassungsraten ausgelassen.

Überschirmungsgrad	Habitat					Summe / Ø
	Nadelwald	Verjüngung Laubwald	Verjüngung Mischwald	Verjüngung Nadelwald	Mischwald	
<i>0 % – 25 %</i>						
Anzahl	21	14	5	10	-	<b>50</b>
Anteil entdeckt (%)	95,24 %	100	60 %	100 %	-	<b>Ø 88,8 %</b>
<i>26 % – 50 %</i>						
Anzahl	17	5	4	3	1	<b>30</b>
Anteil entdeckt (%)	100 %	100 %	75 %	100 %	100 %	<b>Ø 95 %</b>
<i>51 % – 75 %</i>						
Anzahl	29	5	9	6	-	<b>49</b>
Anteil entdeckt (%)	93,1 %	100 %	77,78 %	66,67 %	-	<b>Ø 84,4 %</b>
<i>76 % – 100 %</i>						
Anzahl	55	10	3	12	-	<b>80</b>
Anteil entdeckt (%)	76,4 %	100 %	100 %	33,34 %	-	<b>Ø 77,74 %</b>

### 3.3 Populationsdichteschätzungen

Insgesamt wurden 11 Nachtbefliegungen und drei Tagbefliegungen für Dichteschätzungen von Rehwildpopulationen in sechs Untersuchungsgebieten durchgeführt. Im Durchschnitt wurde bei einer Nachtbefliegung eine Fläche von ca. 378 ha (min = 318 ha, max = 536 ha, ausgenommen Befliegung am 15.01.2021) erfasst. Im Weiteren möchten wir uns vor allem auf die UGs konzentrieren, bei denen die Flächen mehrmalig nachts befliegen wurden (UG Hinterweidenthal I, Windsberg und Hembach, **Tabelle 4, Abbildung 11**).



**Abbildung 11** Überblick über die Untersuchungsflächen für die Schätzung des Rehwildbestandes unter Einsatz von mit Wärmebildkameras ausgestatteten Drohnen im und in unmittelbarer Umgebung des Pfälzerwaldes. Es wurden sechs Versuchsflächen aufgenommen. Nur bei drei von sechs Flächen war eine Wiederholaufnahme (1x bzw. 2x) dieser Fläche möglich.

#### Ergebnisse der Nachtbefliegungen

Für das mischwaldreiche UG Hinterweidenthal I wurden in drei Aufnahmeterrminen ein Mindestbestand von 11– 14 Rehe / 100 ha erfasst (**Tabelle 4, Abbildung 12**). Korrigieren wir diese Ergebnisse pauschal unter der Annahme einer durchschnittlichen ER von 88 %, ergibt sich eine Rehwildpopulationsdichte von 13 – 15 Rehe / 100 ha in diesem UG (**Tabelle 4,**

pauschaler Korrekturwert 1,14 mit der Annahme einer Gleichverteilung der Überschirmungsgrade im UG).

Das UG Windsberg stellt ein Feld-Wald-Revier dar (**Abbildung 13**). Wir haben in zwei Aufnahmenächten nahezu deckungsgleiche Bereiche des UGs abfliegen können. Hier konnte ein Minimumbestand von 16 – 17 Rehe / 100 ha festgestellt werden (**Tabelle 4**). Bei einer pauschalen Korrektur von 1,14 (unter der Annahme einer Gleichverteilung der Überschirmungsgrade im UG) ergeben sich Rehwildsdichten von ca. 18 – 19 Rehe / 100 ha. Die durch die Drohne erfassten Bestandesaufnahmen gingen in eine anteilige Korrekturberechnung des Rehwildbestandes ein und erzielten 17 – 18 Rehe / 100 ha (60 ha bzw. 136 ha Nadel- und Mischwald / Verjüngung mit Korrekturwert 1,14 und unter Annahme einer Gleichverteilung der Überschirmungsgrade im UG; **Tabelle 4**). Die Korrekturberechnung anhand von NATFLOW Daten (LVermGeoRP 2020, AgroScience RLP 2021) erzielte eine Bestandesdichte von 16 – 17 Rehe / 100 ha (11 ha bzw. 22 ha Nadel- und Mischwald mit Korrekturwert 1,14, unter der Annahme einer Gleichverteilung der Überschirmungsgrade im UG, **Tabelle 4**).

Für das ebenfalls mischwaldreiche UG Hembach (**Abbildung 14**), welches sich im westlichen Bereich des Pfälzerwaldes befindet, konnten wir in 2 Befliegungsterminen mit drei Datenaufnahmen zwei unterschiedliche Rehwildpopulationsdichten feststellen. In der ersten Befliegungsnacht, bei welcher das Gebiet zweimal in derselben Nacht befliegen wurde, konnten Rehwildpopulationsdichten von 4 – 5 Rehe / 100 ha (Minimumbestand) festgestellt werden. In der zweiten Befliegungsnacht wurde ein Minimumbestand von 14 Rehe / 100 ha erfasst. Die Korrekturen mit dem pauschalen Korrekturwert von 1,14 (unter der Annahme einer Gleichverteilung der Überschirmungsgrade im UG) erzielte Dichten von 4 – 5 bzw. 15 Rehe / 100 ha (**Tabelle 4**).

#### Ergebnisse der Tagbefliegungen

Die zwei Tagbefliegungen (Hinterweidenthal I, Windsberg) zeigten deutlich, dass zwar Erfassungen von Rehwild mit Hilfe einer Drohne tagsüber nicht unmöglich ist, aber nur  $\frac{1}{3}$  bzw.  $\frac{1}{4}$  der Erfassungen einer Nachtbefliegung widerspiegeln (**Tabelle 4**, \*TAG).

#### Erfassung der Anteile der Habitatkategorien im UG

Die Berechnung der Flächenanteile mit Nadel- bzw. Mischwaldvorkommen bzw. Verjüngungsflächen im UG Windsberg erzielten geringere Korrekturwerte ( 0,26 – 0,5 Rehe / 100 ha) als im Vergleich zu der Anwendung des Pauschalkorrekturwertes von 1,14 auf der

Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes (2,25 – 2,44 Rehe / 100 ha, unter der Annahme einer Gleichverteilung der Überschirmungsgrade im UG; **Tabelle 4, Abbildung 15**).

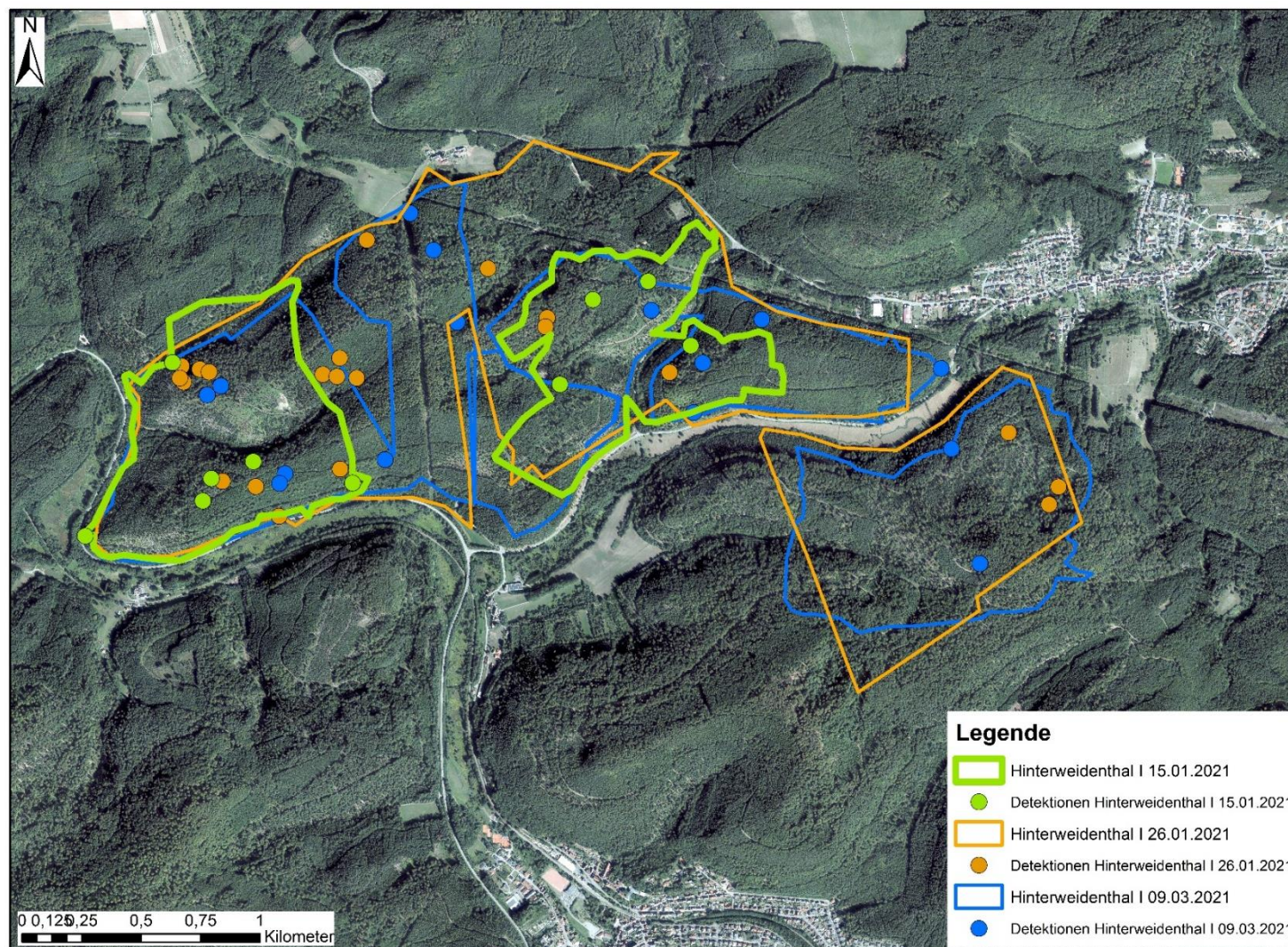
#### Weitere Befunde – Flugrouten- Flächen Verhältnis

Die Flächenleistung (Zeiteinheit pro 100 ha) der Drohneneinsätze wurden für die absolvierten Flüge berechnet (**Tabelle 4, Abbildung 16**). Im Durchschnitt konnte eine Flugroutendichte aller getätigten Flüge von 43,24 km / 100 ha festgestellt werden (Ausreißer Befliegungsdatum 15.01.2021 exkludiert). Im Mittel wurden ca. 1 h 18 min für eine 100 ha große Untersuchungsfläche benötigt, d. h. eine Drohne erfasste ca. 77 ha des UGs pro Befliegungsstunde. Ein Extremwert (Ausreißer, Befliegungsdatum 15.01.2021) wurde in dieser Rechnung aufgrund der besonderen Wetterlage (Schnee und Glätte auf den Forstwegen) exkludiert.

**Tabelle 4** Übersicht der Untersuchungsgebiete für die Schätzung der Rehwildpopulationsdichte. Die Erfassung von Rehwild erfolgte nachts mittels an Drohnen befestigten Wärmebildkameras (Ausnahmen bilden 2 Flüge mit der Kennzeichnung TAG\*). Die Flugroutenlänge wurde anhand der aufgezeichneten Routen der Drohne bestimmt und das Verhältnis zwischen Flugroutenlänge und der beflogenen Fläche berechnet. Ein direkter Vergleich (Reproduzierbarkeit) innerhalb eines Untersuchungsgebietes ist nur bei Hinterweidenthal I, Windsberg und Hembach gegeben (gelb markiert). Hier erfolgte die Erfassung desselben Untersuchungsgebietes in einem kurzen zeitlichen Abstand zueinander. Der hier angewandte Korrekturfaktor beträgt 1,14 (ER 88 %). \* TAG = Tagbefliegung, NATFLOW Datensatz\*: LVerGeoRP (2020), AgroScience RLP (2021). Die Befliegungsfläche wurde anhand von den Flugrouten der Drohnen berechnet.

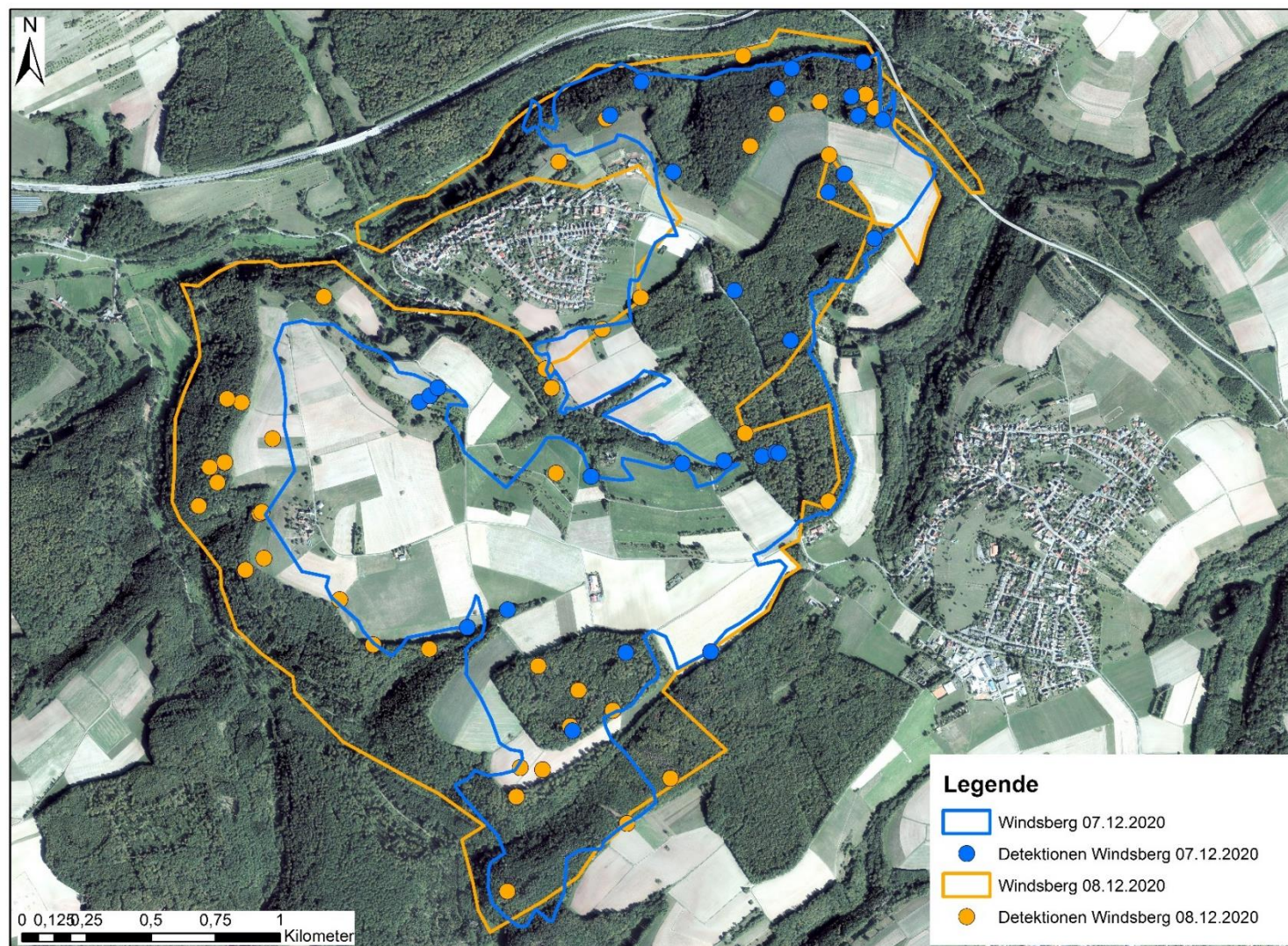
Revier	Datum	Fläche (ungepuffert)	Reh detektionen	Dichte / 100ha (unkorrigiert)	Dichte / 100ha Korrektur anteilig Übersehrate	Dichte / 100ha - pauschale Korrektur 1,14	Dichte / 100ha – NATFLOW*	Flugrouten -Flächen Ratio (km / 100ha)	Pilot
Hinterweidenthal I *TAG	13.01.2021	394,9 ha	16	4 (4,05)		5 (4,62)		42,5	1
<b>Hinterweidenthal I</b>	15.01.2021	147,54 ha	20	<b>14</b> (13,55)		<b>15</b> (15,45)		94,7	2
<b>Hinterweidenthal I</b>	26.01.2021	394,02 ha	45	<b>11</b> (11,4)		<b>13</b> (12,99)		44,6	1
<b>Hinterweidenthal I</b>	09.03.2021	331,8 ha	43	<b>13</b> (12,96)		<b>15</b> (14,77)		49,1	2
<b>Windsberg</b>	07.12.2020	356,65 ha	62	<b>17</b> (17,4)	<b>18</b> (17,66)	<b>20</b> (19,84)	<b>17</b> (17,45)	57,1	2
<b>Windsberg</b>	08.12.2020	535,6 ha	86	<b>16</b> (16,1)	<b>17</b> (16,61)	<b>18</b> (18,35)	<b>16</b> (16,1)	37,6	1
Felsalbtal	10.12.2020	229 ha	55	<b>24</b> (24,02)		<b>27</b> (27,40)		67,2	2
Windsberg+Felsalbtal *TAG	18.01.2021	356 ha	13	4 (3,65)		4 (4,16)		57,1	2
<b>Hembach (Teil 1)</b>	10.03.2021	362,5 ha	16	<b>5</b> (4,6)		<b>5</b> (5,24)		18	1
<b>Hembach (Teil 2)</b>	10.03.2021	347,5 ha	13	<b>4</b> (3,74)		<b>4</b> (4,26)		34,3	1
<b>Hembach</b>	17.03.2021	318 ha	43	<b>14</b> (13,5)		<b>15</b> (15,39)		46	2
Hinterweidenthal II	23.03.2021	461,9 ha	26	<b>6</b> (5,63)		<b>6</b> (6,42)		27,6	1
Schopp	06.04.2021	467,3 ha	70	<b>15</b> (14,98)		<b>17</b> (17,08)		37,8	2





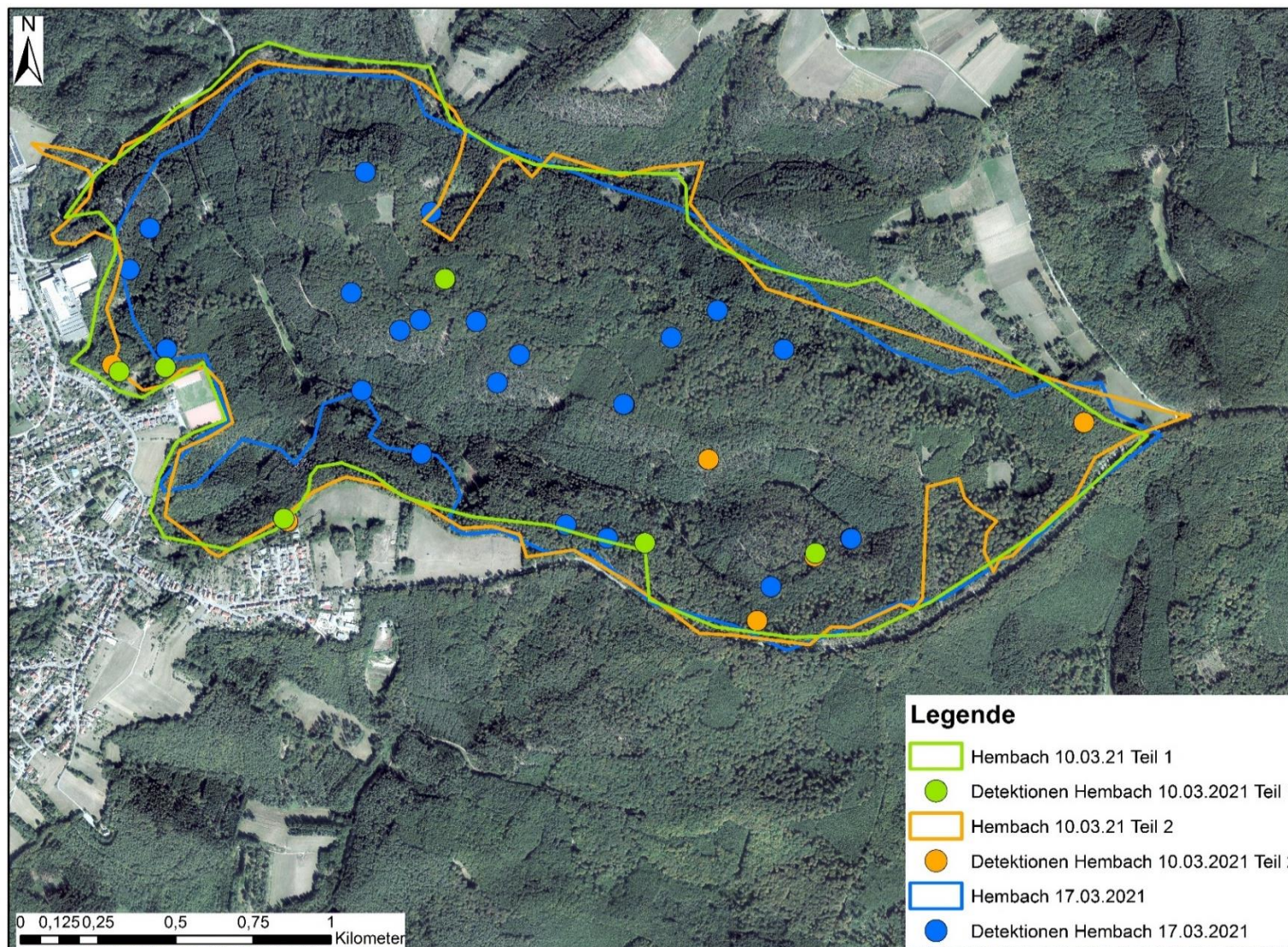
**Abbildung 12** Übersicht über das UG Hinterweidenthal I, welches in drei nächtlichen Befliegungsterminen erfasst wurde. Die Erfassungsfläche war am 15.01.2021 mit 148 ha am geringsten, wohingegen an den Terminen 26.01.2021 und 09.03.2021 Flächen von 394 ha bzw. 332 ha befliegen wurden. Das UG befindet sich im südöstlichen Bereich des Pfälzerwaldes.





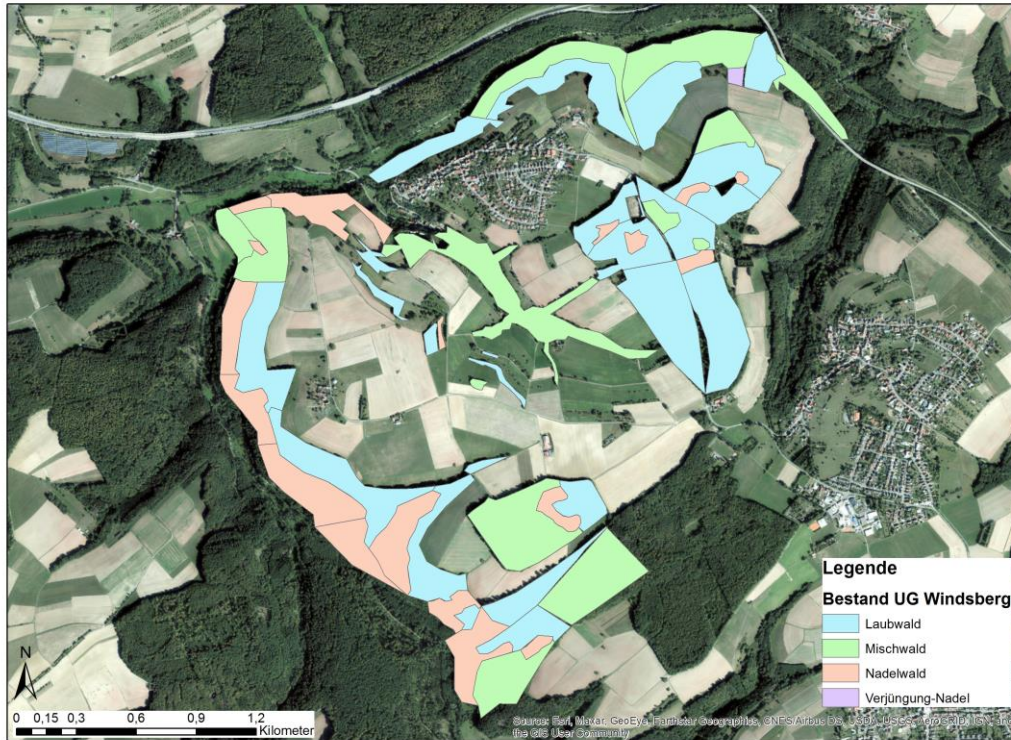
**Abbildung 13** Die Erfassungen des UG Windsberg fanden am 07. – und 08.12.2020 statt. Die Befliegungsfläche unterschied sich um ca. 179 ha, da am 07.12.2020 ca. 357 h und in der darauffolgenden Nacht 536 ha erfasst wurde. Das UG befindet sich außerhalb des Pfälzerwaldes – im südwestlichen Bereich.



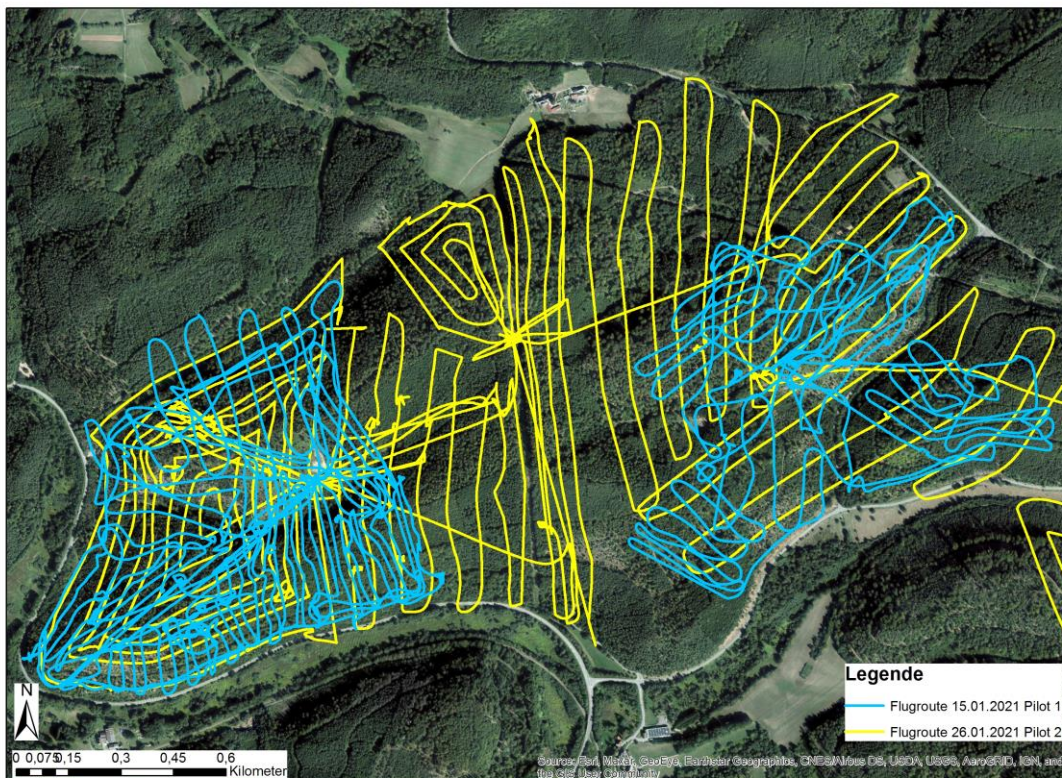


**Abbildung 14** Übersicht über die Erfassungen von Rehwild im UG Hembach im Pfälzerwald. Am 10.03.2021 wurde die gesamte Fläche zweimal befliegen, wohingegen am 17.03.2021 die Fläche nur einmal befliegen wurde. Durchschnittliche Befliegungsfläche belief sich auf ca. 343 ha.





**Abbildung 15** Die am Tag von der Drohne durchgeführte Kartierung der Waldhabitate in dem UG Windsberg gibt Aufschluss über die Flächenanteile, welche eine verstärkte Übersehrate abbilden und somit der Korrektur unterliegen. Hier in der Karte wurde zwischen Laub-, Nadel- und Mischwald und Verjüngung Nadelwald unterschieden.



**Abbildung 16** Flugroutendichte von zwei Drohnenpiloten am Beispiel des UG Hinterweidenthal I. Die Flugroutendichte pro geflogenen 100 ha Revierfläche kann sich von Pilot zu Pilot stark unterscheiden (**Tabelle 4**).

## 4. Diskussion

### a) Störung

Der Einfluss einer fliegenden Drohne als potenzielle Störquelle für Rehe wurde in gezielten Experimenten in Offenland- und bewaldeten Flächen zu Dämmerungs- und Nachtzeit untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass Suchflughöhe von 100 m bei 99 % der Rehe keine Ausweichreaktion ('abspringen') zur Folge hatte. Zwar stieg der Anteil von Absprüngen mit weiter sinkender Flughöhe, aber selbst bei Flughöhen bis 60 m wichen weniger als 1 % der Waldrehe und 12 % im Offenland aus. Diese relativ geringe Störwirkung einer nicht unerheblichen Lärmquelle war bemerkenswert. Der Einfluss einer DJI Matrice 210 Drohne selbst bei einem Absinken auf 60 m konnte noch als gering invasiv eingestuft werden. Für die Erfassung von Rehwild in Waldbeständen bei Suchhöhen von sogar 150 m - 100 m ist ein relevanter negativer Einfluss auf die Erfassungsraten jedenfalls auszuschließen. Aus Drohnensicht war faktisch keine Reaktion der Tiere erkennbar. Sie blieben am Ort und setzten ihr vorheriges Verhalten fort.

Mögliche Störeinflüsse auf Wildtiere durch Drohnen wurden anderswo bisher wenig untersucht. Während bemannte Flugzeuge (Kleinflugzeuge) und Helikopter Wildtiere eher beeinflussen dürften (Andersen et al. 1989), gelten Drohnen doch als erheblich leiser. So gehen die von uns gesichteten Untersuchungen davon aus, dass es bei verantwortungsvoller Nutzung generell nur minimale Beeinträchtigungen von Wildtieren kommen dürfte (Sardá-Palomera et al. 2012, Christie et al. 2016).

Allerdings untersuchten Duporge et al. (2021) die optimalen Flughöhen zur Minimierung der akustischen Störung von Wildtieren mit Hilfe von sieben verschiedene Drohnen der Firma DJI anhand von Art-Audiogrammen. In dieser Studie wurden ebenfalls die Art-Audiogramme für Cerviden am Beispiel von Rentieren (*Rangifer tarandus*) und Weißwedelhirschen (*Odocoileus virginianus*) berechnet. Die in der Untersuchung von Duporge et al. (2021) genutzte DJI Phantom 4 Drohne ist in Ansätzen technisch am ehesten mit der von uns genutzten Drohne (DJI Matrice 210) vergleichbar. Duporge et al. (2021) empfehlen bei der Nutzung der DJI Phantom 4 Drohne eine Flughöhe von 75 m, um die Störung für Cerviden so gering wie möglich zu halten. Diese Drohne erzeugt bei dieser empfohlenen Flughöhe ein Schalldruck von ca. 41dB. Dies wäre im Einklang mit den Ergebnissen aus unserer Studie, wonach eine Flughöhe von 60 m – 80 m nicht unterschritten werden sollte, will man Störreaktion wie Ausweichen vermeiden. Bennitt et al. (2019) konnte ebenfalls feststellen, dass bei einer Drohnenflughöhe unter 60 m bei den meisten terrestrisch lebenden Säugetieren Verhaltensreaktionen nachweisbar waren.

Auch unsere Datenlage zeigten deutlich höhere Reaktionsraten von Rehwild bei Flughöhen unter 60 m (mit 24 % und 28 % der Rehe reagierten im Wald bzw. Offenland). Es wurde in der Studie von Bennitt et al. (2019) nicht nur die vertikale, sondern auch die horizontale Annäherung untersucht. Hier wurde die zu untersuchende Art mit einer Flughöhe von 10 m, 20 m und 30 m horizontal angefliegen. Es konnte festgestellt werden, dass die Reaktionen der Wildtiere in erster Linie durch beide, die vertikale und horizontale Annäherung der Drohne unabhängig von Drohnentyp, Windgeschwindigkeit, Gruppengröße oder -Typ hervorgerufen wurden (Bennitt et al. 2019). Jedoch war die Intensität der Reaktionen auf die Drohne arten-/speziesabhängig (Bennitt et al. 2019). Erfährt die zu untersuchende Art Prädation aus der Luft, dürfte dies die Intensität der Reaktion auf die Drohne stärker beeinflussen (Vas et al. 2015). Hier ist anzumerken, dass große Herbivoren aufgrund ihrer Körpergröße nur sehr geringe Prädation aus der Luft erfahren (Ausnahme Jungtiere, Bennitt et al. (2019)), welches das relativ entspannte Verhalten von Rehwild auf die überfliegende Drohne plausibel erscheinen lässt. Zusätzlich wurde von diesem Autorenteam festgestellt, dass die zu untersuchenden Tiere aufgrund unterschiedlicher Fluchtrichtungen offenbar Schwierigkeiten hatten, die von der Drohne erzeugten Geräusche zu identifizieren bzw. lokalisieren (Bennitt et al. 2019). Diesen Beobachtungen können wir auf der Basis unserer eigenen Drohnentests für Rehwild (und auch Rotwild) bestätigen. Ebenso wurde von Bennitt et al. (2019) nachgewiesen, dass Individuen in Offenlandbereichen eher zur Flucht als zur Wachsamkeit neigten, wohingegen in Waldgebieten wachsames Verhalten bevorzugt wurde. Auch in unserer Studie reagierte Rehwild in bewaldeten Flächen weniger stark auf die Drohne und vor allem erst in geringeren Flughöhen als im Offenland. In beiden Untersuchungsflächen (Offenland und Waldflächen) unserer Studie war ein höherer Anteil an unruhigem Verhalten als an Fluchtverhalten nachweisbar. Es ist allerdings zu bedenken, dass wir wie andere Studien auch vorrangig sichtbare Verhaltensänderungen, welche durch die Anwesenheit / Annäherung einer Drohne ausgelöst wurde, erfassten. Änderung von Herzraten oder auch Stresslevel wurden in unseren Versuchen, wie auch in Bennitt et al. (2019) Studie nicht untersucht. Schlussfolgernd ist anzumerken, dass bei Einhaltung der artspezifischen Mindestflughöhe der Drohne eine relativ störungsarme Erfassung von Wildtieren möglich ist.

#### b) Erfassungsrate

In unseren Untersuchungen zu den Erfassungsraten nach Laubfall wurde im Schnitt 88 % aller Objekte (Mensch und/oder Hund) mit Hilfe von Wärmebildkameras aus Drohnenhöhe (60 m – 100 m) detektiert. In diesen Versuchen haben wir die Habitatkategorie Laubwald (Baum- und Altholz), aufgrund von einer 100 %igen Erfassungsrate in vorherigen Testflügen, ausgelassen.

Somit müsste man eigentlich von einer leicht höheren mittleren Erfassungsrate ( $> 88\%$  ER) ausgehen als hier in den Ergebnissen dargestellt. Es konnte festgestellt werden, dass nur das Vorkommen von Nadelholz zu etwas erhöhten Übersehraten führte. Bei Anwendung dieser Erfassungsmethode in Beständen mit höheren Nadelwaldanteilen, könnte auf die jeweilige Übersehrate in den einzelnen Überschirmungsgrad-Kategorien und den dazugehörigen Korrekturfaktor zurückgegriffen werden.

Die forstlichen Bestandesdaten der Untersuchungsflächen zur Ermittlung der Nadelwaldanteile des UGs können auf unterschiedlicher Weise ermittelt werden, wie zum Beispiel durch die Forsteinrichtung, Vorort-Kartierungen, Luftbilder und/oder Satelliten-Daten (Sentinel). In unserer Studie sind mehrere Methoden für die Bestandserfassung angewandt worden. Es wurde eine Kartierung mittels einer Drohne, bei der die aufgenommenen Daten im Nachgang mit Luftbildern abgeglichen / ergänzt wurden, durchgeführt. Des Weiteren wurden Natflow-Datensätze (LVerGeoRP 2020, AgroScience RLP 2021) in die Auswertung eingebunden. Festzustellen war, dass bei der Vorort-Kartierung mit Luftbilder-Ergänzungen höhere Anteile an Nadelbeständen bzw. Mischbeständen im Untersuchungsgebiet nachgewiesen werden konnten als mit dem Natflow-Datensatz. Je höher der Anteil an Nadel- bzw. Mischbeständen, desto höher auch der Anteil der Fläche, welche laut unseren Erkenntnissen einer korrigierten Erfassungsrate unterliegen sollte.

Wir vermuten, dass unsere bei Tag aufgenommenen hohen Erfassungsraten ein realistisches Abbild der nächtlichen Erfassungen von Rehwild in unseren UGs darstellen. Den Drohnenpiloten war weder die Anzahl noch die Positionen der Versuchspersonen bzw. Hunden bei den Versuchen der Erfassungsraten bekannt. Diese präzisen Datenaufnahmen sollten eine valide Datengrundlage zur Berechnung eines Korrekturfaktors darstellen. Hohe Übersehraten wurden in Nadelbeständen, im Speziellen in Fichtenverjüngungen wahrgenommen. Tagsüber sind solche blickdichten Bestände für Rehwild sicher sehr attraktiv, wohingegen nachts Rehe sich eher in offenen Bereiche aufhalten (Tröger and Hohmann 2019). Dies konnten wir anhand nächtlicher Rehwilderfassungen mittels terrestrischer Wärmebildkameras im Pfälzerwald dokumentieren (Tröger and Hohmann 2019). Hier wurden 66 % der erfassten Rehdetektionen in Beständen mit guter Einsicht und ohne dichten Unterwuchs (2632 Rehdetektionen mit 4328 Rehindividuen) dokumentiert, von denen sich 25 % „im Bett“ bzw. ruhend am Boden liegend befanden (nicht veröffentlichte Daten, FAWF Landesforsten RLP). Daraus könnte man ableiten, dass nachts im Gegensatz zu tagsüber eine andere Verteilung und eine erhöhte Aktivität der Rehe im Wald vorliegt.



Die am Tag durchgeführten luftgestützten Wildtiererfassungen kommen in Deutschland, speziell für die Anwendung bei Rotwilderfassungen, häufiger unter Einsatz eines Ultraleichtflugzeuges zum Einsatz (IR-VIS Befliegung, Franke et al. (2011), Franke and Deuker (2016), Gräber et al. (2016)). In diesen Untersuchungen wurden Erfassungsraten für Ungulaten von 60 % – 70 % (Gräber et al. 2016) bzw. 56 % für Kiefernwälder (Altbestand) und 91 % für entlaubte Buchenwäldern (Altbestand) festgestellt (Franke et al. 2011). Bei Gräber et al. (2016) ergeben sich somit für die Bestandserfassung Korrekturfaktoren von ca. 1,43 – 1,66. Es wird darauf hingewiesen, dass die luftgestützte Erfassung für die Wildart Rehwild bisher als nicht geeignet galt bzw. keine zuverlässigen Bestandesdichtenangaben lieferten (Franke et al. 2012, Gräber et al. 2016). Für die Erfassung von Rehwild in Offenlandbereichen konnten laut Gräber et al. (2016) zuverlässigere Populationsdichten mit Hilfe eines Ultraleichtflugzeuges ermittelt werden. Unsere Versuche tagsüber Rehwild mit Hilfe von an Drohnen befestigten Wärmebildkameras zu erfassen, war ebenfalls nicht erfolgreich, da nur ca.  $\frac{1}{3}$  bzw.  $\frac{1}{4}$  der im selben UG nachts erfassten Rehindividuen tagsüber entdeckt werden konnten. Eine Tagerfassung von Wildtieren wäre in dem Punkt vorteilhaft, da die zusätzliche Nutzung des Klarbildes der RGB Kamera der Drohne zu einer schnellen Bestimmung der Art (Artidentifikation) führen kann und gleichzeitig das Manövrieren der Drohne deutlich vereinfacht. Allerdings ist am Tag die Aktivität von Rehwild geringer als in der Dämmerungs- und Nachtzeiten, welches das Auffinden der Tiere mittels der Drohne erschwert. Bei Nacht findet die Wärmebildkamera eine optimale Anwendung, da weniger thermische Störquellen durch Sonnenabsorption vorkommen und auch die nächtlich höheren Temperaturdifferenzen zu einer besseren Wärmesignatur führen. Zudem führt das nächtliche Aktivitätsmaximum der Rehe dazu, dass überschirmende Deckungsbereiche eher verlassen werden, was deren Erfassung bei Nacht deutlich erleichtert.

Beaver et al. (2020) konnte unter Einsatz einer Drohne (Starrflügler) feststellen, dass die Erfassung von Cerviden (Weißwedelhirsche) mit Hilfe von wärmebildgestützten Drohnen bei 78 % – 92 % (Flug zu Sonnenaufgang bzw. Abenddämmerung, insgesamt 3 Flüge) einer bekannten Populationsdichte (Gatterwild) lag, welches somit die oben genannten Sichtungswahrscheinlichkeiten von Erhebungen mit bemannten Flugzeugen übersteigt. Im Vergleich zu unseren Versuchen haben die Tagerfassungen von Ungulaten bei Beaver et al. (2020) hohe Erfassungsraten erzielt. Im Gegensatz zu Beaver et al. (2020) haben unsere Tagflüge nicht zu Sonnenaufgang bzw. Abenddämmerung stattgefunden, sondern am späten Vormittag bis hin zum Nachmittag (09:00 Uhr – 15:00 Uhr), welche die Unterschiede in den ER erklären könnte.

Erfassungsraten von luftgestützten Untersuchungen zu Gatterwild lagen normalerweise bei 60 % – 80 % bei optimalen und <50 % bei weniger optimalen (geschlossenes Kronendach, isolierte und/oder stationäre Individuen) Erfassungsbedingungen (Bartmann et al. 1986, Chrétien et al. 2016, Beaver et al. 2020). Unsere hier dokumentierten Erfassungsraten (ohne Gatter) lagen bei 74 % – 97 %, welche sich mit den Angaben von Beaver et al. (2020) decken.

Beaver et al. (2020) empfehlen anhand deren 3-Testflüge (zwei Abendflüge, einen Tagflug) Korrekturfaktoren von 1,08 für die Abendflüge und im Gesamtdurchschnitt einen Korrekturfaktor von 1,28. Wir haben in unseren Untersuchungsgebieten für die Erfassung von Rehwild in bewaldeten Flächen, unter der Annahme, dass alle Überschirmungsgrade in den Gebieten gleichmäßig vorkommen, einen pauschalen Korrekturfaktor von 1,14 angewendet. Damit liegen wir noch unter den Gesamtkorrekturfaktoren von Beaver et al. (2020) und Linchant et al. (2018), aber deutlich höher als der Korrekturfaktor von Beaver et al. (2020) unter optimalen Kontrastbedingungen.

Witczuk et al. (2017) und Beaver et al. 2020 nutzten für ihre Wildtiererfassungen Starrflügler mit einer Flügelspanne von 2,1 m bzw. 1,5 m und einem elektrischen Antrieb. Diese UAVs (unmanned aerial vehicle) hatten eine Flugzeit von Maximum 40 min und speicherten alle Aufnahmen des Fluges auf einen externen Videorecorder (Witczuk et al. 2017). In unseren Versuchen wurden ausschließlich Multicopter und keine Starrflügler eingesetzt. Die Detektionen in unserer Studie wurden nicht anhand von den Videoaufnahmen, sondern vor Ort durch aktive Flugmanöver (Verringerung der Flughöhe, Beobachtung der Bewegungsmodi) bestimmt. Folglich waren in unserer Studie keine Flugrouten bzw. –transekte vorgegeben. Die Befliegungen mit den Starrflüglern bei Nacht / Dämmerungszeiten ergaben, dass die Wärmebildsignale von Ungulaten in Laubwald (blattfrei, Winter) und in Kiefern dominierten Nadelwäldern sichtbar sind (Witczuk et al. 2017). Auch Beaver et al. (2020) postulierte, dass im Winter Weißwedelhirsche in allen Hauptvegetationstypen (Laub-, Misch- und Nadelwald, Offenland) mit Hilfe von an Drohnen befestigten Wärmebildkameras erfasst werden konnten. Wir können diese Aussage mit Ausnahme bzw. Einschränkungen von Nadelverjüngungen bestätigen. Witczuk et al. (2017) stellte ebenfalls fest, dass die Artidentifikation (geringe Auflösung des TIR Kamera) die größte Schwierigkeiten bei der Anwendung dieser Methode ist. Zusätzlich stellten die Vorschriften für den UAV-Betrieb und die hohe Abhängigkeit vom Wetter (Witczuk et al. 2017) eine weitere Problematik dar. Wir können Witczuk et al. (2017) nur in einem Punkt zu der Wetterabhängigkeit zustimmen. Es gestaltete sich oft recht schwierig, die Wetterlagen einzuschätzen bzw. eine langfristige Planung der Flüge zu erstellen. Spontane Termine waren hier die bestgeeignete Variante, um nicht Personal unnötig zu binden und

gleichzeitig aber auch Kosten zu sparen. Witczuk et al. (2017) hat insgesamt nur 5 Flüge, davon nur einen in der Nacht durchgeführt. Im Vergleich dazu können wir in dieser Studie unsere Erkenntnisse auf 20 Nachtflüge und 12 Tagflüge stützen. Wir konnten keine größeren Probleme bei der Artidentifikation feststellen, da eine sehr gute Auflösung der TIR-Kamera vorlag und manuelles Fliegen der Drohne eine Verringerung der Flughöhe zur Artidentifikation ermöglichte.

Bereits Witczuk et al. (2017) merken an, dass Drohnen ausgestattet mit TIR zwar eine erfolgsversprechende Monitoringmethode für nachtaktive Ungulaten sein könnte, aber Untersuchungen zu den habitatabhängigen Entdeckungswahrscheinlichkeit noch fehlen. Insbesondere der Einfluss des Waldtyps (Nadel- und Laubwaldanteil) und hier vorrangig des Überschirmungsgrads bzw. der Horizontabdeckung auf die Detektionsrate war noch nicht näher ermittelt. Diesen Aufgaben haben wir uns in der hier vorliegenden Studie genähert. Unsere Testflüge zur Erfassungen von Rehwild ergaben, dass mit Hilfe von an Drohnen befestigten Wärmebildkameras sowohl in bewaldeten Flächen als auch im Offenland zu Dämmerungs- und Nachtzeit die Erfassung der am häufigsten verbreiteten Ungulatenarten in Deutschland möglich ist. Die Vegetation (Waldbestände) im Untersuchungsgebiet sollte in Hinblick auf die Erfassungsrate bei einer Populationsdichteberechnung berücksichtigt werden. Ergänzend zu den angewandeten / getesteten Erfassungsmethoden von Gräber et al. (2016), können wir somit eine weitere Erfassungsmethode für Ungulaten, im Speziellen für Rehwild hinzufügen. Zu beachten ist, dass die Erfassung mit Hilfe der Drohnen im Vergleich zu der Erfassung von einem Flugzeug aus, eine kleinere Flächenerfassung pro Befliegung aufweist (**Tabelle 5**).

### c) Populationsschätzung

Anhand unserer Untersuchungsgebiete konnten wir Rehwild-Populationsdichten (Minimumbestand) von 4 – 14 Rehe / 100 ha im Pfälzerwald und 16 – 17 Rehe / 100 ha außerhalb des Pfälzerwaldes berechnen. Unter der Annahme, dass alle vier Überschirmungskategorien gleichmäßig in einem mit Mischwald geprägten UG vorkommen, wurde ein pauschaler Korrekturfaktor von 1,14 angewandt und ergab für die einzelnen Untersuchungsgebiete Rehwild-Populationsdichten von 4 – 15 Rehe / 100 ha im Pfälzerwald und 18 – 20 Rehe / 100 ha außerhalb des Pfälzerwaldes. Im Pfälzerwald waren bisher eher geringere Rehwilddichte von 4,5 – 12 Rehen pro 100 ha (Distance Sampling Schätzung: 5,9 – 7,3 Rehen pro 100 ha, Tröger and Hohmann 2018, Tröger and Hohmann 2019) geschätzt worden, wobei die niedrigeren Werte unser Ansicht nach mit höherer Rotwildpräsenz einhergehen (Behret et al. 2007, Ebert et al. 2012, Hohmann et al. 2018).

Das Untersuchungsgebiet Hinterweidenthal I befindet sich außerhalb des zentralen Rotwildgebiets und weist somit erklärbar höhere Rehwilddichten mit 13 – 15 Rehen / 100 ha auf als der mittlere Teil des Pfälzerwaldes. Unter zusätzlicher Betrachtung der Rehwildstrecken in dem UG Hinterweidenthal I, konnten wir trotz zurückgehender Rehwildstrecke somit eine relative hohe Rehwilddichte zu dem Zeitpunkt der Datenaufnahme feststellen.

Das Untersuchungsgebiet Hembach hat in den beiden von uns untersuchten Nächten sehr unterschiedliche Rehwildpopulationsdichten ergeben. Hier schwankten die Mengen gesichteter Rehe von 4 bis 15 Rehen pro 100 ha Waldfläche innerhalb weniger Tage. Eine dritte Befliegung in diesem Untersuchungsgebiet im gleichen Zeitraum wäre hier sehr von Vorteil gewesen, ist uns aber aufgrund von ungünstigen Wetterlagen nicht möglich gewesen. Es ist aber von einem Minimumbestand von 14 Rehen pro 100 ha in diesem UG auszugehen. Wir vermuten, dass die erste Erfassungsnacht ungünstige Zählbedingungen aufwies, da unmittelbar nach Fertigstellung unserer Zählung ein Sturm aufzog. Der aufkommende Sturm könnte natürlich das Verteilungsmuster / Verhalten der Rehe in dem UG beeinflusst haben und somit die großen Unterschiede zwischen den zwei Untersuchungsnächten erklären. Andererseits wäre ein Rehdichte von 14 Rehe pro 100 ha in ein Waldgebiet, in dem Rehe in unmittelbarer Nähe Zugang zu Freiflächen haben, nicht unplausibel. Diese Zählchwankungen innerhalb weniger Tage lassen es ratsam erscheinen, selbst unter optimal geglaubten Bedingungen Untersuchungsgebiete mehr als nur zweimal zu befliegen. Die Fehleranfälligkeit aufgrund von Stör-/ Einflussfaktoren, welche dem Beobachter nicht immer offensichtlich sind, können offenbar doch erheblich sein.

Für das Untersuchungsgebiet Windsberg wurde ein Mindestbestand von 16 – 17 Rehen / 100 ha erfasst. Für dieses Untersuchungsgebiet haben wir leider keine Vergleichsdaten zu unserer Populationsschätzung vorliegen. Das Bejagungskonzept dieses Reviers änderte sich von einem moderaten Jagdmanagement bis zum Jagdjahr 2016 / 2017 hin zu einem stark regulierenden Jagdmanagement in den darauffolgenden Jagdjahren. Wir konnten trotz des starken Eingriffes in die Rehwildpopulation in diesem Feld-Wald-Gebiet eine Rehwilddichte von 18 – 20 Rehen pro 100 ha (unter Anwendung des pauschalen Korrekturwertes) nachweisen, welches angesichts der vorausgehend stark erhöhten Abschüsse sehr überraschend war, selbst für die dort tätigen Jäger.

Unsere Vergleichspopulationsdichten aus dem Bereich des Pfälzerwaldes stammen nicht aus demselben Untersuchungsjahr und beziehen sich nicht genau auf die gleiche Waldfläche. Nichtsdestotrotz haben wir eine verlässliche Übersicht über den Wildtierbestand im



Wildforschungsgebiet (WFG) des Pfälzerwaldes, da dort über mehr als 10 Jahre Datenerhebungen zu Jagdstrecken, Losungskartierungen und Populationsdichteschätzung (Kot-Genotypisierungsverfahren) von den drei Hauptschalenwildarten (Reh, Rothirsch und Wildschwein) durchgeführt werden. Rehabundanzen im westlichen Teil des WFGs sind deutlich höher als die im zentralen Bereich, welche wir durch unsere nächtlichen Drohnenerfassungen bestätigen können. Dies zeigt deutlich, dass dieses neue Wildtiererfassungsmethode verlässliche Angaben produziert, wie auch in anderen Studien (Gehegeversuchen) nachgewiesen werden konnte (Chabot and Bird 2012, Chrétien et al. 2016). Auch Preston et al. (2021) bestätigte, dass Drohnen eine präzise und kosteneffiziente Erfassungsmethode für Ungulaten sein können.

Ebenso stellte der Einsatz der Drohnen tagsüber zur Erfassung der Waldbestände (Habitatkartierung) im UG eine einfache Aufnahmemöglichkeit dar. Sollten für das Untersuchungsgebiet keine Forsteinrichtungsdaten, Luftbilder oder Sentinel-Daten vorliegen, kann man mithilfe der Drohne diese tagsüber gut dokumentieren. Hier ist aber der zeitlich intensive Aufwand der Kartierung und der nachträglichen Übertragung dieser aufgenommenen Daten in ein geographisches Informationssystem zu erwähnen. Wir haben dies exemplarisch für eines der von uns untersuchten Untersuchungsgebiete durchgeführt (UG Windsberg). Der Vorteil dieser Aufnahmen liegt in der Aktualität der Kartierung, da kürzlich stattgefundenen Eingriffe in die Waldbestände durch Unwetter oder forstlichen Maßnahmen in der Datenaufnahme und folglich in den Populationsdichteberechnungen berücksichtigt werden. Die von uns durchgeführte Kartierung des UG Windsberg (**Abbildung 15**) ergab einen Mehraufwand von einer 6-stündigen Tagbefliegung (plus An- & Abfahrt). Leider war die Verortung der Habitate nicht auf der Drohnenbefliegungskarte der von uns genutzten Drohne möglich. Es bestand keine Option direkt auf die Hintergrundkarte der Drohnensoftware zuzugreifen, um somit Polygone und Punkte zur Unterscheidung der unterschiedlichen Habitate einzufügen. Die zur Auswahl stehenden Habitate wurden vor der Erfassung klassifiziert. Die erfassten Habitate wurden auf ausgedruckten Karten händisch eingezeichnet, welches nicht mehr dem heutigen Standard der Datenverarbeitung entspricht. Hier sehen wir noch sehr großen Verbesserungsbedarf in Bezug auf Datenbearbeitung bzw. -management. Es sollte bei der Drohnensoftware zukünftig eine Möglichkeit bestehen, erfasste Objekte oder Flächen in die Flugkarte einzutragen / zu implementieren und nach Beendigung des Fluges eine Übertragungsmöglichkeit auf weitere Geoinformationssysteme (ArcGIS, QGIS, Google Earth) bestehen. Diese Option sollte zukünftig vor Festlegung des Drohnenmodells mit den jeweiligen Drohnenherstellern überprüft werden.

Die von der Drohne aus aufgenommenen Habitatkartierungen, geben leider keine Auskunft über die Überschirmungsgrade der einzelnen Bestände im UG, welche bei Anwendung eines pauschalen Korrekturwertes mit der Annahme einer Gleichverteilung der Überschirmungsgrade zu einer Unsicherheit in der Populationsdichteschätzung führen kann. Eine flächendeckende Kartierung der Überschirmungsgrade in einem Untersuchungsgebiet halten wir aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes für nicht realistisch.

Wir konnten während der Befliegungen Unterschiede zwischen den Flugrouten der einzelnen Piloten wahrnehmen (**Abbildung 16**). Bei manueller Steuerung der Drohne fliegt jeder Pilot mit einer leicht anderen Flugroutendichte über das zu untersuchende Gebiet (**Tabelle 4**). Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass mit höherem Aufwand (höheren Flugrouten-Kilometer pro 100 ha) eine höhere Erfassungsrate von Rehindividuen erreicht wird. Dieser Fakt sollte aber stets bei den Datenaufnahmen bzw. Auswertungen überprüft und berücksichtigt werden. Andere Studien zeigen, dass Befliegungsrouten vorher festgelegt und im Drohnenflugsystem einprogrammiert werden, sodass nur Start und Landung der Drohne manuell gesteuert wird (Beaver et al. 2020, Preston et al. 2021). Dies würde dann zum Nachteil haben, dass ein spontanes Absinken der Drohne bei Erfassung von Wärmequellen für die Klärung der Wildtierart nicht mehr möglich wäre.

In unserem Projektantrag sind wir von einer Flächengröße von 200 ha pro Untersuchungsnacht (6 h Flugzeit) ausgegangen. Dies konnten wir mit einer durchschnittlichen Fläche ca. 378 ha pro Nacht (ausgenommen Ausreißer Befliegungsdatum 15.01.2021) um fast das Doppelte steigern. Die Zeit- bzw. Flächenangaben beinhalten die Befliegungszeit, die benötigte Zeit für Umsetzungen des Startpunktes innerhalb des Untersuchungsgebietes, Pausen und eventuelle technische Problembehebungen. Einflussfaktoren für die beflogenen Flächengröße pro Aufnahmenacht können das vorherrschende Relief und die Anzahl der Detektionen, die Standortwechselanzahl, das Auftreten von technischen Problemen oder ungünstigen Wetterlagen sein. Bei optimalen Bedingungen können die oben genannten Flächengröße erreicht bzw. auch noch erweitert werden.

### Schlussfolgerung & Ausblick

Die nächtliche Erfassung von Rehwild mittels einer Drohne in Kombination mit Wärmebildtechnik stellt die erste Erfassungsmethode für Rehwild im Wald dar, welche zusätzlich zuverlässiger ist als alle bisher bekannten aus der Luft durchgeführten Methoden. Diese hier vorgestellte Erfassungsmethode eignet sich nicht nur für die Erfassung von Rehwild,

sondern wie in anderen Studien untersucht ebenfalls für andere Ungulatenarten, wie Rot-, Dam- und Weißwedelhirsche (Barasona et al. 2014, Beaver et al. 2020, Preston et al. 2021). Neben den bisherigen Methoden, wie Scheinwerferzählung, Kotgenotypisierung, Wärmebild erfassung unter Anwendung von Distance Sampling, Fotofallenmonitoring und IR-VIS-Befliegung, stellt die Erfassung von Rehwild mittels Drohnen sehr hohes Potenzial mit vielen Vorteilen dar. So kann die Anwendung von Drohnen durch eine geringe Übersehrate (hohe Erfassungsrate), einer nicht invasiven Erfassung von Wildtieren bei Einhaltung der artspezifischen Mindestflughöhe und mit einer effektiven Erfassung eines Mindestpopulationsbestandes in einem Untersuchungsgebiet punkten. Zusätzliche Vorteile dieser Methode liegen in der Flexibilität des Einsatzes, der Fähigkeit die Drohne Tag und Nacht fliegen zu können und der Möglichkeit in geringer Flughöhe Erfassungen durchzuführen. Ebenfalls ist nur eine geringe Anzahl an Personal nötig. Spontane Flugmanöver beispielsweise zur genauen Bestimmung der Art oder Anzahl der entdeckten Individuen, ist ohne weiteres möglich. Nachteilig ist die Abhängigkeit von bestimmten Wetterlagen und die bei hoher Reliefenergie schneller abreisende Funkverbindung zwischen Drohne und Controller (Piloten). Der Kostenfaktor in der hier vorliegenden Studie lag mit ca. 3,20 – 4,30 € / ha Untersuchungsfläche noch im mittleren Bereich im Vergleich zu den anderen gängigen Erfassungsmethoden (**Tabelle 5**). Dies wird sich vermutlich in naher Zukunft aufgrund der schnellen Weiterentwicklung der Technik ändern. Zusätzlich wird sich die Bedienung und den dazugehörigen Sachkundenachweis zum Führen einer Drohne als geringere Hürde herausstellen. Eine von uns hier festgestellte Flächenleistung der Drohne von ca. 77 ha pro Befliegungsstunde scheint ebenfalls für Wildtiererfassungen eine geeignete Zielgröße zu sein. Daher empfehlen wir für Wildtiererfassungen in Misch- und Laubwäldern die Anwendung von Wärmebild gestützten Drohnen. Sollten vorwiegend nadelwaldgeprägte Beständen oder gar Nadelmonokulturen überflogen werden, wären sicherlich höheren Korrekturen notwendig. Die Erfassungsraten in diesen Habitaten sollten dann gezielter getestet werden, da sich eine entsprechende Überprüfung in dieser Studie nicht ergab.

Die Erfassung von Ungulaten in bewaldeten Flächen mittels an Drohnen befestigten Wärmebildkameras ist als innovative und nicht invasive Erfassungsmethode zu empfehlen und sollte weiterhin in verschiedenen Untersuchungsgebieten mit unterschiedlich dominierenden Baumarten erprobt und weiterentwickelt werden. Es ist geplant, diese Methode in einem anlaufenden Projekt, welches sich mit den aufgrund von Schädlingen hervorgerufenen Kalamitätsflächen und den Einflüssen der Rehwildpopulationsdynamik auf die Verbissituation beschäftigt, zu verwenden und weiterzuentwickeln. Des Weiteren ist ebenfalls eine Erfassung

von Kleinsäugetern unter Einsatz der an Drohnen befestigten Wärmebildkameras angedacht. Diese Versuche werden weiter Aufschluss über die Einsatzmöglichkeiten der neuen Drohnentechnik geben und hoffentlich viele Arbeiten im wildbiologischen Bereich vor allem sicherer und effizienter gestalten.

**Tabelle 5** Kostenübersicht zu den verschiedenen Erfassungsmethoden von Wildtierdichten. Verändert nach Gräber et al. (2016) (DBU Handout, Methodenvergleich). \*\* für diese Preiskalkulation wurden die Angebote der Vergabe-Ausschreibung zu Grunde gelegt

<b>Methode</b>	<b>Kosten</b> (ungefähre Kosten in Euro pro Hektar)	<b>Zusammenfassung</b>
<b>Scheinwerfertaxation</b> Gräber et al. (2016)	0,5 - 1,3 € / ha	einfache Methode, ideal als Zeitreihe, nicht für Reh- und Schwarzwild geeignet Vergleichsweise geringe Erfassungsraten (hoher Korrekturbedarf) Rohdaten liegen quasi sofort vor
<b>Fotofallenmonitoring</b> Gräber et al. (2016)	1,15 – 2,3 € / ha	Besser für solitär-lebende Arten, Individualerkennung hilfreich, Liefert Zusatzinformation Hoher Auswertungsaufwand, Befunde nach erheblichem Zeitverzug
<b>IR-Distance Sampling</b> Gräber et al. (2016)	1 – 3 € / ha	Wissenschaftlich etabliert, Genauigkeit abhängig vom Habitat (inkl. Fehlerrechnung), Zusatzinformation (andere Wildarten) Rohdaten liegen quasi sofort vor
<b>Drohne mit IR-Kamera</b> Tröger & Hohmann (2021)	3,20 – 4,30 € / ha (Vollerfassung)**	Flächen mit bis zu 600 ha / 6 h Flug, flexibel einsetzbar auch bei unzugänglichem Gelände, hohe Erfassungsraten, Ergebnis liegt quasi sofort vor
<b>Befliegung</b> Gräber et al. (2016)	1,6 – 5 € / ha (Stichprobenerfassung bzw. Vollerfassung)	Ideal für unzugängliches Gelände, keine Störung, nicht für Reh- und Schwarzwild geeignet Hoher Auswertungsaufwand, Befunde nach erheblichem Zeitverzug
<b>Genotypisierung</b> Gräber et al. (2016)	4 – 6 € / ha	Recht genau und wissenschaftlich etabliert, geeignetes Kalibrierungsinstrument für andere Methoden, Zusatzinformation (Geschlechterverhältnis) Hoher Auswertungsaufwand, Befunde nach erheblichem Zeitverzug

## 5. Öffentlichkeitsarbeit

Im Rahmen des zweijährigen Projektes konnte eine Drehanfrage und zwei Presseartikelanfragen bearbeitet werden. Die Dreharbeiten wurden für das SWR vom Filmteam k22 aus Mainz erstellt (**Abbildung 17**), welche uns zu zwei Drohnenbefliegungsterminen begleiteten. Die Filmaufnahmen wurden auf SWR und ARTE (ARD Mediathek) unter dem Filmtiteln „Der Pfälzerwald rund ums Jahr“ ausgestrahlt. Zusätzlich wurden vorläufige Ergebnisse aus dem Projekt zu der DBU Tagung 2021 und der Forstwissenschaftlichen Tagung (FOWITA) 2021 vorgestellt.

### TV-& Rundfunk

Der Pfälzerwald rund ums Jahr, SWR/ARTE Doku, 9. Mai 2021 (Träger, C.)

<https://k22film.de/project/der-pfaelzerwald/>

<https://www.swrfernsehen.de/traumziele/der-pfaelzerwald-rund-ums-jahr-100.html>

<https://www.ardmediathek.de/video/geschichte-und-entdeckungen/der-pfaelzerwald-rund-ums-jahr/swr-fernsehen/Y3JpZDovL3N3ci5kZS9hZXgvczE0NTcxNDM/>



**Abbildung 17** Dreharbeiten während der Datenaufnahme bei einer unserer Befliegungen. Die Hunde wurden mit einem Hundemantel ausgestattet, damit die Abstrahlung der Körperwärme minimiert wird und realistischere Bedingungen nachgestellt werden.

### **Tagungsteilnahmen**

DBU Online-Forum am 16.03.2021 zum Thema „Biodiversität und Digitalisierung“, Vortragstitel „Von oben schauen, was unten los ist - Erkenntnisgewinn durch Perspektivwechsel“ (Tröger, C.)

FOWITA Tagung am 13.09.2021 in der Session Reh- Wildtier des Jahres 2019, Tagungsbeitrag „Von oben schauen was unten los ist. Rehwildzählung mit Nachtdrohnen.“ (Tröger, C.)

### **Presseartikel**

07. April 2021 RHEINPFALZ – Zweibrücker Land „Rehe können sich im Wald unsichtbar machen“

22. Januar 2021 RHEINPFALZ – Zweibrücker Land „Keine Erbsensuppe, kein Bierchen, kein Jägerlatein“



# Rehe können sich im Wald unsichtbar machen

Ein roter Punkt oder sind es zwei Punkte? Bewegt er sich? Ist es ein Reh? Die hochempfindliche Wärmebildkamera, die diese Bilder in der Dunkelheit liefert, ist an einer Drohne befestigt. Sie soll Rehe im Wald aufspüren. Dafür fliegt sie über der Sickingen Höhe, bei Walshausen, bei Rodalben und bei Kaiserslautern. Wir waren in einer Nacht dabei.

VON ANDREA GAUM

**SÜDWESTFALL** Immer öfters Wetter. Selten ist es so, wie es gerade braucht wird. Wetterkameras und -technologien moderner gehören die Wildbiologen Caroline Träger von der Forstschlepperei für Waldökologie und Fernerkundung in Trappstadt zu einer Daueraufgabe im Rahmen ihres Forschungsprojekts. Das Wetter muss passen, wenn die Wärmebildkameras im Wald fliegen sollen. Träger und ihre Kollegen zählen Rehe im Föhrenwald. Meistens einer neuen Methode. Neusee, Dinschen und Wälderbiologen kommen bei der Zählung zum Einsatz. An diesem Abend – die Träger und den Drohnenpiloten Janek Wagner vom Dinschen-Revier – ist es um die Dunkelheit wird es eine Nachtmission – wird ein Waldgebiet zwischen Rodalben, Malschweiler und Metzgerzweilungen, im fast 2000 Hektar großen Revier von Revierleiter Matthias Jäger, der dem Team die Erlaubnis für die Nachtflüge erteilt hat. In nicht die erste Flugrunde. Im Bereich Zweibrücken-Land, auf der Sickingen Höhe, in Weinsberg, in Linden, im Bereich Kaiserslautern in dem Dinschen und Wälderbiologen schon im Einsatz. 40 Hektar waren im Projektzonen im Ende Februar geplant.

### Herausforderungen Wetter und Anlauf

Die Herausforderung Wetter passt an diesem Abend. Zunächst wird sie machbar gemacht, sagt Wagner in der Dinschen. Der Anlauf ist klar über Tag, aber die Sonne schenkt ihn perfekten Wettertag. „Die Sonne schenkt die Wärme, vor allem Wärme, die die Wärme im Wald“, erklärt Träger. Warum das ein Problem ist und dem Tag (am wieder unendlich gemacht Bild, wird sich keine Zeit später auch dem Leben offenbaren. „Die zweite Herausforderung lautet: den geplanten ersten Scanort erreichen.“ Die Wärme im Wald ist die aber noch gemacht. Alles ist bereit von Vorteil. Der Plan des Dinschen waren, zwei Stunden Anlauf hat Wagner immer sich, ist vollgepackt mit Technik, also schwer. Aber es gibt zügig der bewegten. Die Wärme im Wald ist die aber noch gemacht. Alles ist bereit von Vorteil. Der Plan des Dinschen waren, zwei Stunden Anlauf hat Wagner immer sich, ist vollgepackt mit Technik, also schwer. Aber es gibt zügig der bewegten.



Die Auto voller Technik für den nächtlichen Einsatz: Wildbiologin Caroline Träger und Drohnenpilot Janek Wagner bereiten die sieben Kilogramm schwere Drohne vor. Sie trägt eine Wärmebildkamera.



Tiere gehen, soweit möglich. Und dann gibt die Kamera genau die beiden Rehe, die durch die eingestellte neue Technik auch nicht gestört werden.

Tiere gehen, soweit möglich. Und dann gibt die Kamera genau die beiden Rehe, die durch die eingestellte neue Technik auch nicht gestört werden. Auf dem Bildschirm erscheinen zwei rote Punkte. Das ist nicht der Oberkörper mit seinen Ohren, sondern Lohse Lohse und Jolly Jolly, nicht die Maus und der Elch. In sind Rehe. In sind Rehe. In sind Rehe.

**Die Wildkiste ist insgesamt hoch**  
Revierleiter Jäger ist gespannt auf die Ergebnisse. In seinem Revier ist die Anzahl der geschlossenen Rehe seit 2015 deutlich rückläufig. Auch deshalb hat er den Dinschenzweilungen befehlen. „Wir haben genug, wir gucken mal, ob noch was da ist“, sagt Träger lachend. Über Tag wurde bereits gezählt. 16 Rehe sind vier Schweifhirsche. Grundsätzlich, sagt Matthias Jäger, sei die Wildkiste zu den Schuldenkesseln zu hoch. Schmalweid, die sind Paarhirsche, deren Klassen auch als Schulen bezeichnet werden. Reh-, Rot- und Schwarzwild gehören dazu. Im 2015 waren im selben Revier pro Jahr im Schnitt um die 90 Rehe geschossen worden, erzählt Jäger. 2016, nachdem die ersten drei Lohse im Föhrenwald ausgesetzt wurden, habe sich das Schlagwort verändert. „Man

kann sagen, es hat sich halbiert“, berichten er, während Dinschenzweilungen Wagner sein Fluggerät repariert macht. Jede Menge Rehe, die auch nicht im Auto wieder gefahren werden können, hat er dabei.  
**Rehe machen sich rar, soll der Lachs da ist**  
Klar, der Lachs muss aufpassen, sagt Jäger. Geht er nach den Spuren in seinem Revier, sind noch Rehe da, aber man sieht sie nicht mehr“. Deshalb will er wissen, wie viele es sind und wo sie sich aufhalten. Die Mitarbeiter der Forschungsgruppe an Trappstadt beobachten und zählen seit Jahren Rehbestände im Föhrenwald. Bildung gibt es keinen Hinweis darauf, dass sich die Bestände durch die Rückkehr des Lachses verringert haben. Rehe können sich im Wald schon unsichtbar machen. „Deshalb müssen wir sie

auch Haggenschubler“, sagt Jäger in seinem Revier. Wird die Tiere unter die Füße schloßen können. Das die Rehe die Verluste angucken haben, weil nur dem Lachs mit ein Revier ist da ist, der zuvor nicht im Revier war, in eine mögliche Erklärung dafür, dass man sie im Wald wieder sieht. Auch der Wolf, sagt Jäger, ist bereits durch den Föhrenwald gelassen. Auch er wird hier als Läger betrachtet werden, davon ist der Revierleiter überzeugt. „In meine persönliche Meinung“, ergänzt er.  
**MR Taschenlöcher auf der Laue, denn die Nacht wird kalt**  
Janek Wagner kultiviert die Drohne, was bedeutet, er stellt den Kompass richtig ein. Dann die Flugroute auf den Karten genau nachvollzieht werden können. Meistens großer Bildschirme im Auto über sich die Flugbahn

exakt verfolgen. Babel um Babel soll das Revier zugeflogen werden. Bogen von der 407, die Rodalben und Malschweiler verbindet. Es wird kurz laut. Die Drohne hebt sich. Senkrecht nach oben. Sie erschwebt im Nachkommastellen über dem kalten Föhrenwald. Nicht so mehr zu hören. Aber es ist zu sehen. Die an der Drohne angebrachte Wärmebildkamera liefert eine Bilder. Da bewegt sich was. „Jaja wägelte mit Hand“, erkennen Wagner und Träger fachmännisch. Unablässig weitere rote Punkte erschaffen. Keine Rehe, keine Wildschweine, sondern Elch und Seiche, die sich über Tag von der Sonne aufgeheizt haben. Das ist der Grund, warum der sonstige Wettertag für die Drohnenflüge nicht ideal war. Denn die Wärmebildkamera ist eine Temperatursensoren – kalter Waldboden, aufgetaute Elch. Die Kamera ist nun, zu erkennen, was aufgehoben

ist. Eine und was Rehe sind. Im Verlauf der Nacht, wenn die Temperaturerhebungen geringer werden, wird es einfacher wieder. Zunächst was das Scheitern anbelangt. Es wird aber schwieriger, sich warm zu halten. Die Profil vom Forst haben Taschenlöcher dabei, die auch die Scheitern können.  
**Auch schon per Auto gesteuert, aber das löst nicht so gut**  
Der Blick klebt auf der Live-Übertragung. Rot, rot, aber kein Reh. In dem Revier 20 Minuten nur sich nicht. Die sieben Kilogramm schwere Drohne wird wieder hörbar. Wagner hebt sie zurück. Schenkt Aktivität. Aktivität kurz anzuzeigen, wieder abgeben und los. Flugbahn um Flugbahn, allen GPS-Daten, wird geogen.  
In einem Moment der Forschungsgruppe wurden Rehe bisher nicht ge-

reht mit einer Wärmebildkamera ge-zählt. Die Spezialkameras wozu zu diesem Zweck an den Scheitern der Augen angebracht. Die Rehe werden zugeführt. In wasser gezählt sind hochgeschwindig. Jahr wird gemacht, wie die Zählung mittels Drohne funktionieren. Da es die Wärmebildkameras, nach mit der Drohne aufsteigen, was die auch gemacht, ob sich die Rehe per Drohne tagüber erkennen lassen. Wirklich befriedigend waren die Ergebnisse aus dem Tagelager aber nicht.

### Nah ans Tier kommen, ohne zu stören

Es bewegt sich was auf dem Bildschirm. Klammert aus dem roten Punkt ein Kopf hervor? Wagner bringt die Drohne tiefer. Auch das ist ein Vorteil dieser Zählweise. Man kann dem Rehbild relativ nahe kommen, ohne es nachher zu stören.  
Wie tief geflogen werden kann, ist eine Frage, die im Projektzeitpunkt werden soll. Über 100 Meter ist möglich, ist Wagner eine Erfahrung. Die 100 Meter werden unterschritten. Die Drohnenflüge sind in Schichten unterteilt. Nicht oder nicht, die Frage ist noch ungeklärt. Kein Reh, sagt Wagner. Der großen Erfahrung des Dinschenzweilungen Träger. Kein Reh auf der Zählung.  
Geräusch wird mit dem Projekt auch eine dauerhaft existierende Methode im Wald sein zu sollen. Der Wald ist für Rehe ein wichtiger Aufenthaltsort. Die Methode muss nicht nur zuverlässig sein, sie muss auch im Bed z u handeln sein, soll das Wild nicht stören und nach Möglichkeiten konservativ sein.

### Auch die Standort werden erfasst

„Es ist jetzt schon ganz schön lang, dass wir hier kein Reh sehen“, sagt Träger mit Blick auf den Kamerabild. Da ist was, meidet Wagner. Ja, ein Kopf bewegt sich. Aus dem roten Punkt wird ein Reh. Links, zwei oder drei oder in der dritten roten Punkt das Reh der Reher? Näher ran. Zwei Köpfe bewegen sich. Punkt drei bleibt stehen und unbeweglich. Das Reh. In wird kann ein Video aufgenommen. Träger erfasst die Anzahl der Rehe und die jeweiligen Standortdaten. In kommt schon fast so wie an wie ein bisschen Jagdleiter auf.  
Drohne erneut zurück. Pöppel wird der bestmögliche Aktivität angekündigt. Bei jedem weiteren Flug werden um rote Punkte sichtbar. Mal bewegt sich ein Kopf, mal ist es falscher Alarm. „Es bewegt sich was“, sagt der Revierleiter. „In ein Reh“, will Jäger gefragt. Genau hinterlassen. Ganz klar, ein Reh. Zwischen durch wird auch mal ein Auto erfasst, das sich unerbittlich auf dem Forschungs bewegt. „Ja, links unten an der Zählung“, sagt Träger auf sich bewegende Punkt.  
Sorgfältig wird bedachtet, gezählt. Hat es wird gezählt, ob Rehe, die man entdeckt, nicht aber schon in unmittelbarer Nähe erfasst werden Genauigkeit ist wichtig.  
Am Ende dieser Nachtmission, in der es die Wetterbedingungen dann nicht mehr allzu gut sind, sagt Revierleiter abzugeben, sind 20 Rehe erfasst worden. Ein einziger wärmender Dinschenzweilungen wenige Tage später sind im Revier 45 im gleichen Revier. Das heißt für die Biologen, dass noch eine dritte Flugrunde folgen wird, um die Zahlen erneut zu überprüfen.



# Keine Erbsensuppe, kein Bierchen, kein Jägerlatein

„Wegen Corona muss die Corona ausfallen“, sagt der Althornbacher Jürgen Fess. Ein Wortspiel. In der Jägersprache ist die Corona das Drumherum bei den Gesellschaftsjagden. Die wiederum dürfen stattfinden, aber unter Auflagen. Zum Schutz vor Wildschäden und Seuchen gilt die Jagd als systemrelevant. Die Jäger haben festgestellt: Auch in der Corona-Pandemie kaufen Gaststätten Wild.

VON ARTUR DRESSLER

**SÜDWESTPFALZ.** Gesellschaftsjagden sind in Rheinland-Pfalz auch bei dem harten Lockdown erlaubt, stellt Kreisjagdmeister Rolf Henner klar. Die Jagden dienen der Seuchenprävention und dem Schutz vor Wildschäden und damit der Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung. Die Drückjagden in Althornbach und Birkenhausen vor Weihnachten sowie in Windsberg, Wirtzeln, Vinningen und im Felsabtal bei Walshausen am zweiten Januar-Wochenende waren „eigentlich ganz gut“, so Kreisbauernvorsitzender Uwe Bisbort.

Allein schon wegen der Tierseuche Afrikanische Schweinepest (ASP) könne auf die revierübergreifende etablierte Drückjagd nicht verzichtet werden, äußerte Uwe Bisbort. Kreisvorsitzender Südwestpfalz im Bauern- und Wälderverband im Gespräch mit der RHEINPFALZ, je weniger Wildschweine es gibt, umso geringer sei die Gefahr, dass der größte Risikofaktor für die Verschleppung der Mensch zum Zuge kommt. Der Vorsitzende der Tierseuchenkasse Rheinland-Pfalz, „Die Wildbiologen sprechen von einem Zuchbestand von zwei Wildschweinen pro 100 Hektar.“

## „Löcher sind schon extrem“

Verwüstungen in den Äckern, Weiden und Wiesen durch die Schwarzkittel seien selbstredend. „Die Löcher am Hübenort in Nünshweiler sind schon extrem“, findet der Landwirt aus Windsberg. Er weist auch auf die Gefahr von Wildurteilen hin. Für einen gesunden Waldumbau ist seiner Meinung nach der Bestand an Schalenwild zu hoch.

Daher fanden vor Weihnachten in den Revieren Althornbach, Birkenhausen und Dietrichingen sowie zu Jahresbeginn in Windsberg, Wirtzeln, Vinningen, Kröppen, Trüben und im Felsabtal Drückjagden statt. Michael Schöfer vom Forstamt Westrich zeichnet verantwortlich für die Umsetzung des Jagdgesetzes für die Jagd der Landesregierung in den Staatswäldern Birkenhausen und Felsabtal. „Es galt, einen großen Katalog einzubringen“, beschreibt er die Vorbereitungen.

## Erst mal im Auto bleiben

Die Teilnehmer mussten am Treffpunkt im Auto sitzen bleiben. Dort bekamen sie Umfragen ausgehändigt. Darin stand unter anderem die Abschlusstreibe auch für Rehe und, dass die Jäger allein den Stand bestimmen sollten. Jeder Teilnehmer musste seine Kontaktdaten hinterlassen.

Das klassische Zeremoniell nach der Jagd wie Streckenlegen, die Verteilung der Ertergebnisse und das Verblasen der Strecke sei entfallen. Das erlegte Wild habe ein fester



Auf der Suche nach eiweißreicher Nahrung pflügen die Tiere ganze Wiesen um. Das Foto entstand im Raum Kusel.

ARCHIVFOTO: M. HOFFMANN

Trupp zum Zerlegen ins Forstamt nach Erlernen gebracht, schildert Schöfer das weitere Vorgehen. Letztendlich kam das Wildbret zum Abhängen in die neue 9000-Euro-Kühlzelle.

## Wildschweine suchen Eiweiß

Zweibrückens Revierförsterin Maria Jäger ist für den Staatswald Birkenhausen zuständig. Sechs Wildschweine und 15 Rehe wurden in dem 90 Hektar großen Wald innerhalb 90 Minuten

tenlarven systematisch das Grünland durchwühlten.

Birkenhausen jagte erstmals zusammen mit Althornbach. Dafür gibt es großes Lob von Schöfer. „Die übergeleiteten Schweine gönne ich ihnen“, sagt er. Grundsätzlich sei es so, dass die Schweine schwerpunktmäßig zusammenliegen und die Rehe sich gleichmäßig verteilen. Im Revier Althornbach nahmen am Samstag vor Weihnachten rund 55 Personen, einschließlich Treiber, an der Jagd teil, berichtet Jürgen Fess.

An der Jagd. Es erstreckt sich von der Hengsbacher Mühle hoch Richtung Birkenhausen. Der Eichenhof gehört bereits zu Hornbach, die Rote Hecke zu Althornbach. Wie Mitjagdpartner Siegfried Stalter vom Bickensbacherhof berichtet, hatte er zusammen mit sechs Jägern Position bezogen. Falls das beunruhigte Wild in das Revier einbrechen sollte, „Es gab keine Treiber. Wir waren Einzelpersonen und gingen nach der Jagd gleich nach Hause“, beschreibt er die Infektionsgefahr. Zum Schuss kamen sie nicht.

sind gelauert.“ In Dietrichingen hat vor Weihnachten eine kleine Jagd mit 15 bis 20 Leuten stattgefunden. Weihnachten biete die Möglichkeit, Rehkitzen und Reheileute sicher zu verkaufen. Danach sei die Nachfrage geringer. Wildschinken und Wildsalami könne man eigentlich immer essen. Schöfer, der selbst kocht, schwärmt geradezu von Wildfleisch: „Es schmeckt aromatisch, ist mager und rein biologisch erzeugt.“ Er hofft, dass ein gewisses Umdenken erfolgt, was auch dem Absatz zugutekomme.

—ANZEIGE—  
**eroil**  
 Arol Markenwert-Partner  
 Arol Mineralöl GmbH - Dußel  
 (0 63 32) 30 46

## Es gibt genug Abnehmer

Der Jagdpächter bedauert, dass zurzeit die Jagdkultur zu kurz kommt: „Wegen Corona muss die Corona ausfallen“, bringt er als Wortspiel. Corona oder Schusstreiben nennt man in der Jägersprache das Drumherum bei den Gesellschaftsjagden. Der Landwirt präzisiert: „Keine heiße Erbsensuppe, keine paar Bierchen, kein Jägerlatein.“ Fess freut sich dennoch: „Die Schweine sind allesamt weg.“ Sie waren vorbestellt. Die Corona-Pandemie schränke die Vermarktung nicht ein. Es gebe genug Gaststätten mit Heimservice.

Indirekte bereitete sich auch das kleine Anraier-Revier“ Mittelbach

## In Frankreich ist es ähnlich

Auch im benachbarten Frankreich werde wie in Rheinland-Pfalz die Jagd als systemrelevant eingestuft, so Rolf Henner. Der Kreisjagdmeister ist dort oft aktiv. Im Elsass könnten Schwarz- und Rotwild geschossen werden, in Lothringen mit einer ähnlichen Struktur wie hier zusätzlich auch Rehwild. Beim Nachbarn seien der Absatz und die Preisfindung zentralistisch geregelt. Im Elsass werde das Wildbret bei einer Zentralsstelle abgegeben, untersucht, zerlegt und beispielsweise an Alten- und Pflegeheime abgegeben.

Der Dietrichinger Henner: „Die meisten revierübergreifenden Jagden

## Was mancher Jäger nicht mag

Ein weiterer Grund für das Jagen vor den Festtagen sei, dass empfindliche Jäger sich nicht wohl fühlen, wenn sie weibliche Rehe mit Embryonen aufbrechen müssten. Der Kreisjagdmeister erläutert dies: „Kaum eine andere Tierart kann mit dem diesem Trick der Natur punkten; die Einbrüche. Der Beschlag erfolgt in der Blatzzeit, die Tiere paaren sich also im Hochsommer. Die betruhten Eizelle befruchtet, sich dann aber erst ab Weihnachten zu entwickeln. Anfang Januar ist der Fötus etwa so groß wie ein Daumen, Mitte des Monats hat er die doppelte Größe. Nach einer Tragzeit von etwa fünf Monaten kommen

dann die Kitz im Frühsommer zur Welt.“ Im Vergleich dazu trage sein größerer Verwandter, das Rotwild, acht Monate. Möglich sei die Jagd bis Ende Januar.

Am zweiten Januar-Samstag fand eine revierübergreifende Drückjagd in Windsberg, Wirtzeln, Vinningen und im Staatswald Felsabtal statt. Gersbach stellte Schützen auf. Laut Schöfer, Produktleiter Jagd vom Forstamt Westrich, waren im Felsabtal 56 Schützen aufgeboten. Das Revier umfasst 230 Hektar. Im dortigen Wald, der nach Umstrukturierung zum Revier Zweibrücken gehört, wurden zwei Säuen und 36 Rehe geschossen. Insgesamt wurden nach Aussage von Bisbort bei der gemeinsamen Jagd 17 Wildschweine und 60 Rehe erlegt. Der Schweinehalter: „Die Drückjagd hat uns ein Stück nach vorn gebracht.“ Jedes Revier vermarkte für sich. Am vorangegangenen Wochenende wurden auch in Kröppen und Trüben gejagt.

## Kreis erlässt die Gebühren

Der Landkreis Südwestpfalz unterstützt finanziell die Bejagung von Wildschweinen. Grundsätzlich fallen für die Straßenschutzarbeiten bei Drückjagden beziehungsweise für die dafür erforderlichen Genehmigungen Gebühren an. „Da Drückjagden der Bekämpfung der großen Schwarzwildpopulationen dienen, wird aus öffentlichem Interesse derzeit auf eine Gebührenhebung verzichtet und sie auf diese Weise unterstützt“, teilte Thorsten Höh, Pressesprecher der Kreisverwaltung in Pirmasens, auf Anfrage mit.

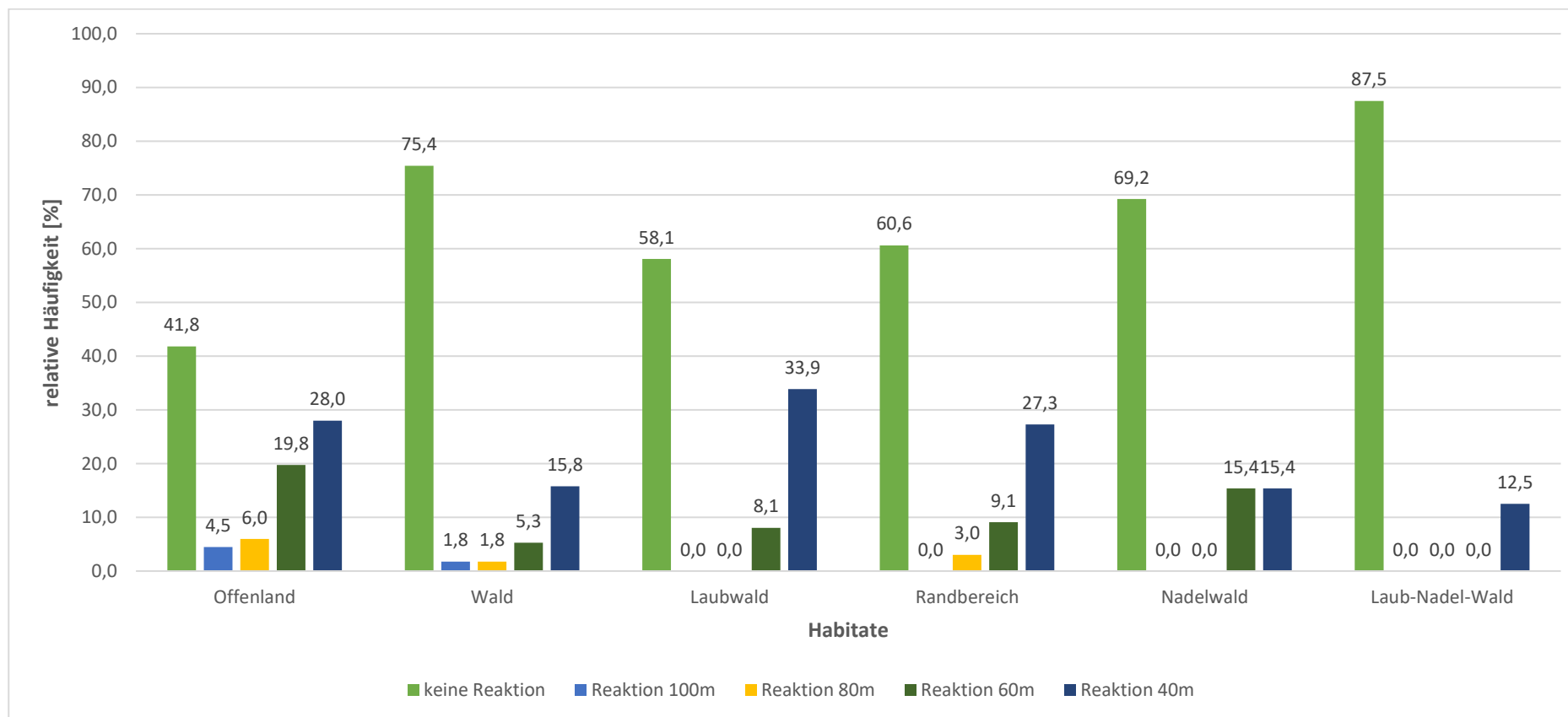
Der Kreis leiste eine weitere Unterstützung: Den Jägern wird die Gebühr für die Trichinenuntersuchung gemäß Fleischbeschauordnung für Frischlinge bis 30 Kilogramm aufgebroschen erlassen. Dies hatte Landrätin Susanne Ganster 2016 bei einer Bauernversammlung angekündigt und auch umgesetzt. Damit ist das Opfer von Jägern vorgebracht. Argument: Bei kleinen Wildschweinen liegen sich drauf entkräftet. Trichinen sind Parasiten, kleine Würmer.

## Mit Drohnen die Rehe zählen

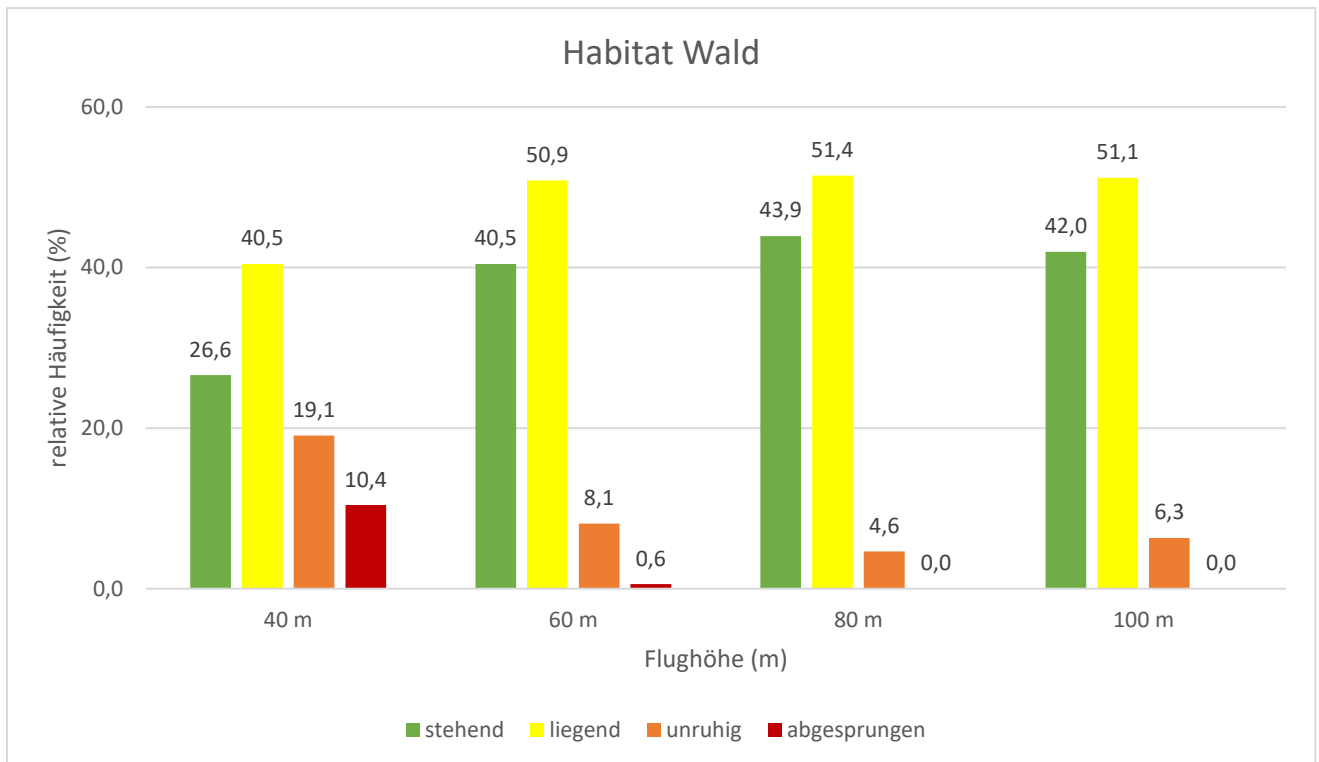
Die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF) in Trappstadt liess im Rahmen eines Forschungsprojekts im Felsabtal und im Revier Windsberg Drohnen fliegen. Es sollte überprüft werden, ob man die Rehe mit einer Wärmebildkamera zählen kann. „Die Erfassung am Tag blieb unbefriedigend“, sagt Carolin Tröger von der FAWF. Nun soll der Einsatz von Drohnen und Wärmebildkameras nachts getestet werden, wenn die Tiere aktiver sind. Das Wild im Wald zu zählen ist im Vergleich zu einer Zählung in der offenen Landschaft sehr aufwendig und fehleranfällig.

## 6. Anhang / Anlagen

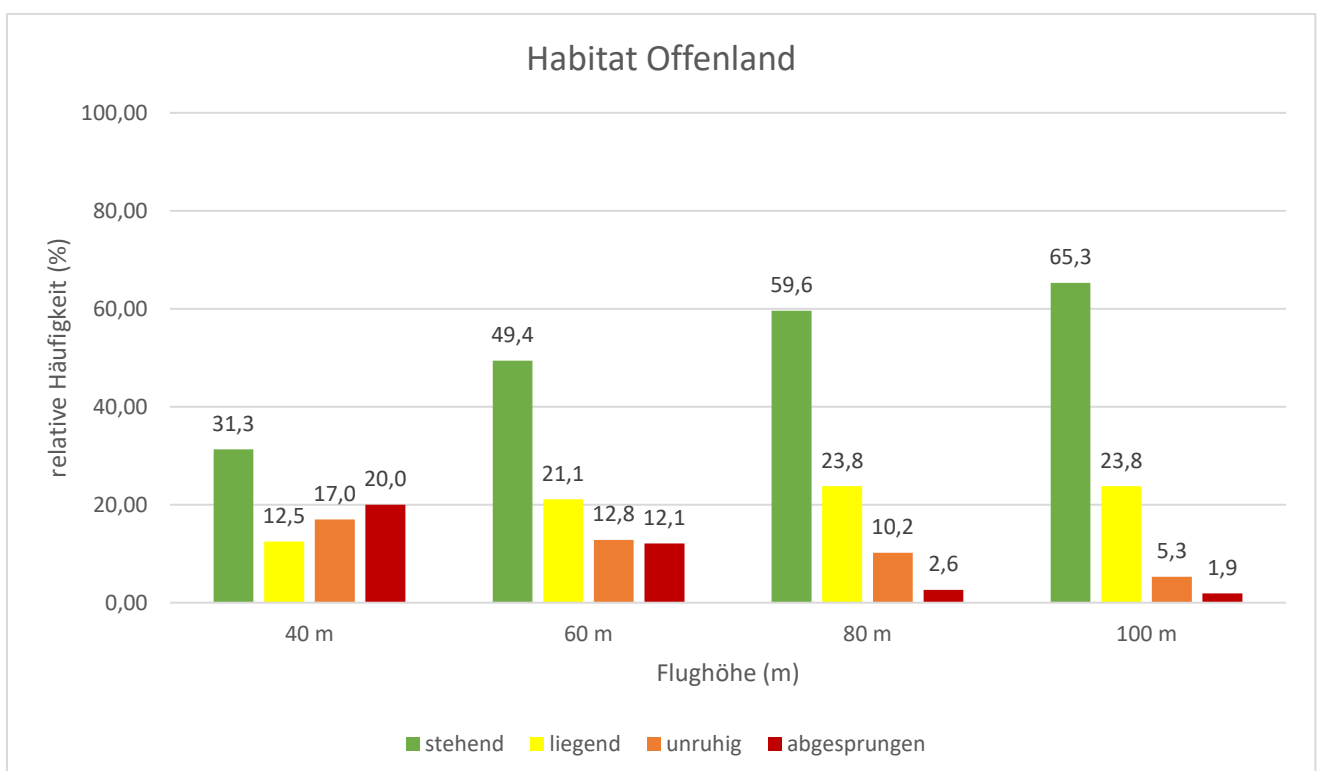
### 6.1 Anhang



**Anhang Abbildung 1** Relative Häufigkeitsverteilung der Störversuche in Relation zu Habitat und Drohnenflughöhe für Rehwild im und in der Umgebung des Pfälzerwaldes. Reaktionen unterteilen sich in „keine Reaktion“ und Reaktion bei einer Drohnen-Flughöhen von 100m bis 40m



**Anhang Abbildung 2** Dargestellt ist das nächtliche Verhalten der beobachteten Rehe in Abhängigkeit der Flughöhe der Drohne in bewaldeten Flächen.



**Anhang Abbildung 3** Dargestellt ist das nächtliche Verhalten der beobachteten Rehe in Abhängigkeit der Flughöhe der Drohne in Offenland Habitaten.

**Anhang Tabelle 1** Übersicht über die durchgeführten Erfassungsraten-Aufnahmetage. Unterschieden wurde der Einsatz von Versuchspersonen, Versuchspersonen mit Hunden und Hunden.

Datum	Anzahl Versuche		Anzahl Versuche		Summe
	Hund	Mensch	Mensch+Hund	Mensch+Hund	
24.01.2020	0	25	0	25	
14.02.2020	1	29	5	35	
11.11.2020	27	0	0	27	
12.11.2020	14	0	0	14	
13.11.2020	31	0	0	31	
15.11.2020	9	0	0	9	
22.11.2020	28	0	0	28	
25.11.2020	6	0	0	20	
02.12.2020	20	0	0	20	
<b>Summe</b>	<b>136</b>	<b>68</b>	<b>5</b>	<b>209</b>	
			<i>Mittelwert</i>	23,22	
			<i>Standardabweichung</i>	7,8	
			<i>Minimum</i>	9	
			<i>Maximum</i>	35	

## 6.2 Anlagen

Übersicht über die Anlagen, welche sich auf der beiliegenden CD-ROM befinden:

**PDF**            Projektbericht\_DBU\_34923\_01\_33\_Drohne\_Rehwild

### **Ordner Bilder:**

*Erfassungsraten:*

Nr. 1: RGB Bild von einer Waldfläche

Nr. 2: DJI Matrice 210 Drohne

Nr. 3: Hunde mit Mantel für die Bestimmung der Erfassungsraten im Bestand

Nr. 4: Positionierung der Hunde im Waldbestand

Nr. 5: Positionierung der Hunde im Waldbestand

Nr. 6: Hunde mit Mantel

Nr. 7: Erfassung eines Hundes anhand eines IR-Bildes

Nr. 8: zu Nr. 7 das passende RGB-Kamerabild

*Stoerversuche:*

Nr. 1: Drohnen-Team (RGB Bild)

Nr. 2: Drohnen-Team im IR-Bild

Nr. 3: Rehwild im Offenland bei Störversuchen

Nr. 4: Rehwild im Offenland

Nr. 5: Rehwild im Waldbestand

### **Ordner Videos:**

Nr.1: Sinkflug einer Drohne über Rehwild im Offenland

Nr. 2: Sinkflug einer Drohne über Rehwild – Fluchtverhalten

Nr. 3: Erfassung von Rehwild im Randbereich Feld-Wald

Nr. 4: Erfassung von Rehwild – Fluchtverhalten

Nr. 5: Rehwild zeigt keine Reaktion auf die Drohne

Nr. 6: Rehwild zeigt unruhiges Verhalten

## 7. Literatur

- Abd-Elrahman, A., L. Pearlstine, and F. Percival. 2005. Development of pattern recognition algorithm for automatic bird detection from unmanned aerial vehicle imagery. *Surveying and Land Information Science* **65**:37.
- AgroScience RLP 2021. NATFLOW.*in* RLP AgroScience and LVerGeo, editors.
- Andersen, D. E., O. J. Rongstad, and W. R. Mytton. 1989. Response of nesting red-tailed hawks to helicopter overflights. *The Condor* **91**:296-299.
- Arona, L., J. Dale, S. G. Heaslip, M. O. Hammill, and D. W. Johnston. 2018. Assessing the disturbance potential of small unoccupied aircraft systems (UAS) on gray seals (*Halichoerus grypus*) at breeding colonies in Nova Scotia, Canada. *PeerJ* **6**:e4467.
- Barasona, J. A., M. Mulero-Pázmány, P. Acevedo, J. J. Negro, M. J. Torres, C. Gortázar, and J. Vicente. 2014. Unmanned aircraft systems for studying spatial abundance of ungulates: relevance to spatial epidemiology. *PloS one* **9**:e115608.
- Bartmann, R. M., L. H. Carpenter, R. A. Garrott, and D. C. Bowden. 1986. Accuracy of helicopter counts of mule deer in pinyon-juniper woodland. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)* **14**:356-363.
- Beaver, J. T., R. W. Baldwin, M. Messinger, C. H. Newbolt, S. S. Ditchkoff, and M. R. Silman. 2020. Evaluating the use of drones equipped with thermal sensors as an effective method for estimating wildlife. *Wildlife Society Bulletin* **44**:434-443.
- Behret, I., I. Röhrich, G. Kech, and U. Hohmann. 2007. Analyse von Rotwild Streckenmeldungen im Kreis Südwestpfalz der Jahre 1999-2005.
- Bennitt, E., H. L. Bartlam-Brooks, T. Y. Hubel, and A. M. Wilson. 2019. Terrestrial mammalian wildlife responses to Unmanned Aerial Systems approaches. *Scientific reports* **9**:1-10.
- Brack, I. V., A. Kindel, and L. F. B. Oliveira. 2018. Detection errors in wildlife abundance estimates from Unmanned Aerial Systems (UAS) surveys: Synthesis, solutions, and challenges. *Methods in Ecology and Evolution* **9**:1864-1873.

- Chabot, D., and D. M. Bird. 2012. Evaluation of an off-the-shelf unmanned aircraft system for surveying flocks of geese. *Waterbirds* **35**:170-174.
- Chrétien, L. P., J. Théau, and P. Ménard. 2016. Visible and thermal infrared remote sensing for the detection of white-tailed deer using an unmanned aerial system. *Wildlife Society Bulletin* **40**:181-191.
- Christiansen, F., K. R. Sprogis, and L. Bejder. Using unmanned aerial vehicles and biopsy sampling to measure body condition of humpback and minke whales in Antarctica.
- Christie, K. S., S. L. Gilbert, C. L. Brown, M. Hatfield, and L. Hanson. 2016. Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology. *Frontiers in Ecology and the Environment* **14**:241-251.
- Duporge, I., M. P. Spiegel, E. R. Thomson, T. Chapman, C. Lamberth, C. Pond, D. W. Macdonald, T. Wang, and H. Klinck. 2021. Determination of optimal flight altitude to minimise acoustic drone disturbance to wildlife using species audiograms. *Methods in Ecology and Evolution*.
- Ebert, C., J. Sandrini, B. Spielberger, B. Thiele, and U. Hohmann. 2012. Non-invasive genetic approaches for estimation of ungulate population size: a study on roe deer (*Capreolus capreolus*) based on faeces. *Animal biodiversity and conservation* **35**:267-275.
- Elsley, R. M., and P. L. Trosclair III. 2016. The Use of an Unmanned Aerial Vehicle to Locate Alligator Nests. *Southeastern Naturalist* **15**:76-82.
- Franke, U., and C. Deuker. 2016. Aerial wildlife surveys, experiences out of the last 12 years and how to establish a correction model. . VWJD-Tagung "Große Pflanzenfresser, Große Karnivoren, Große Schutzgebiete" vom 22.-24. Juni 2016. VWJD, Trippstadt, Germany.
- Franke, U., B. Goll, U. Hohmann, and M. Heurich. 2011. Aerial Wildlife Monitoring with a combination of infrared and high resolution RGB images. Page 97 XXXth IUGB Congress (International Union of Game Biologists) and Perdix XIII. Puigcerver, M.;Teijeiro, J.;Buner,F., Barcelona, Spain.

- Franke, U., B. Goll, U. Hohmann, and M. Heurich. 2012. Aerial ungulate surveys with a combination of infrared and high-resolution natural colour images. *Animal biodiversity and conservation* **35**:285-293.
- Goebel, M. E., W. L. Perryman, J. T. Hinke, D. J. Krause, N. A. Hann, S. Gardner, and D. J. LeRoi. 2015. A small unmanned aerial system for estimating abundance and size of Antarctic predators. *Polar Biology* **38**:619-630.
- Gräber, R., K. Ronnenberg, E. Strauss, U. Siebert, U. Hohmann, J. Sandrini, C. Ebert, U. Hettich, and U. Franke. 2016. Vergleichende Analyse verschiedener Methoden zur Erfassung von freilebenden Huftieren. Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Hodgson, J. C., and L. P. Koh. 2016. Best practice for minimising unmanned aerial vehicle disturbance to wildlife in biological field research. *Current Biology* **26**:R404-R405.
- Hohmann, U., U. Hettich, C. Ebert, and D. Huckschlag. 2018. Evaluierungsbericht zu den Auswirkungen einer dreijährigen Jagdruhe in der Kernzone „Quellgebiet der Wieslauer“ im Wildforschungsgebiet „Pfälzerwald“ (Langfassung).  
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft FAWF, Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft FAWF.
- Hohmann, U., M. Kronenberg, M. Scherschlicht, and F. Schönfeld. 2021. The possibilities and limitations of thermal imaging to detect wild boar (*Sus scrofa*) carcasses as a strategy for managing African Swine Fever (ASF) outbreaks. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr* **134**.
- Israel, M. 2011. A UAV-based roe deer fawn detection system. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **38**:51-55.
- Jones, G. P., L. G. Pearlstine, and H. F. Percival. 2006. An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research. *Wildlife Society Bulletin* **34**:750-758.
- Koh, L. P., and S. A. Wich. 2012. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science* **5**:121-132.
- Linchant, J., S. Lhoest, S. Quevauvillers, P. Lejeune, C. Vermeulen, J. Semeki Ngabinzeke, B. Luse Belanganayi, W. Delvingt, and P. Bouché. 2018. UAS imagery reveals new survey opportunities for counting hippos. *PloS one* **13**:e0206413.



- Linchant, J., J. Lisein, J. Semeki, P. Lejeune, and C. Vermeulen. 2015. Are unmanned aircraft systems (UAS s) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. *Mammal Review* **45**:239-252.
- LVerMGeoRP. 2020. LVerMGeoRP, GeoBasis-DE. dl-de/by-2-0.
- McEvoy, J. F., G. P. Hall, and P. G. McDonald. 2016. Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: disturbance effects and species recognition. *PeerJ* **4**:e1831.
- Preston, T. M., M. L. Wildhaber, N. S. Green, J. L. Albers, and G. P. Debenedetto. 2021. Enumerating White-Tailed Deer Using Unmanned Aerial Vehicles. *Wildlife Society Bulletin* **45**:97-108.
- Sardá-Palomera, F., G. Bota, C. Viñolo, O. Pallarés, V. Sazatornil, L. Brotons, S. Gomáriz, and F. Sardà. 2012. Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems. *Ibis* **154**:177-183.
- Seymour, A., J. Dale, M. Hammill, P. Halpin, and D. Johnston. 2017. Automated detection and enumeration of marine wildlife using unmanned aircraft systems (UAS) and thermal imagery. *Scientific reports* **7**:45127.
- Tröger, C., and U. Hohmann 2018. Erfassung von Rehwild mittels Distance Sampling im Pfälzerwald. Pages 32-36 VWJD Waldachtal.
- Tröger, C., and U. Hohmann. 2019. Interaktion von Luchs und Reh im Pfälzerwald. DBU Projektbericht., FAWF, Landesforsten RLP, Trippstadt.
- Tröger, C., D. Tsegaye, and U. Hohmann. in prep. . Estimating roe deer population using thermal infrared taxation in a heterogeneous forest in Southwest Germany.
- Vas, E., A. Lescroël, O. Duriez, G. Boguszewski, and D. Grémillet. 2015. Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. *Biology letters* **11**:20140754.
- Vermeulen, C., P. Lejeune, J. Lisein, P. Sawadogo, and P. Bouché. 2013. Unmanned aerial survey of elephants. *PloS one* **8**:e54700.

Witczuk, J., S. Pagacz, A. Zmarz, and M. Cypel. 2017. Exploring the feasibility of unmanned aerial vehicles and thermal imaging for ungulate surveys in forests-preliminary results. *International Journal of Remote Sensing*:1-18.

Xiang, H., and L. Tian. 2011. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV). *Biosystems engineering* **108**:174-190.