

# OBEN IM DIENST DER NATUR: UNTERSUCHUNG VON UAV-SENSOREN ZUR WILDTIERERKENNUNG UND FÜR DEN UMWELTSCHUTZ

Wilken. Hemme\*, Jens. Halbig\*, Benjamin. Kormann\*

\* Hochschule München, Fakultät 04, Lothstr. 64, München, Deutschland

## Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Einsatz von Lidar-Sensoren auf Unmanned Aerial Vehicles (UAV)s zur Detektion von Rehkitzen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen untersucht. Jährlich sterben ca. 500.000 Wildtiere, davon ca. 90.000 Rehkitze [1], bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen, was ökologisch, ethisch und rechtlich bedenklich ist. Herkömmliche Methoden wie manuelle Suche, Vergrämung und der Einsatz von Jagdhunden sind arbeitsintensiv und zeitlich kaum realisierbar. Die moderne Wildtierrettung setzt auf Unmanned Aircraft System (UAS), die große Flächen effizient überfliegen können, wobei die angebrachten Wärmebildkameras eine wesentliche Rolle spielen, um Wärmequellen, darunter auch Rehkitze, zu detektieren. Wärmebildkameras haben jedoch Einschränkungen wie die Abhängigkeit von Temperaturunterschieden und eine begrenzte Auflösung bei großen Flughöhen. Zur Überwindung dieser Einschränkungen ist das Ziel dieser Arbeit die Evaluierung der Eignung von Lidar-Sensoren zur Detektion von Rehkitzen sowie deren Effektivität und Effizienz im Vergleich zu Wärmebildkameras. Lidar-Sensoren haben den Vorteil, dass sie temperaturunabhängig arbeiten und mithilfe einer entsprechenden Software eine dreidimensionale Karte der Umgebung erstellen können. Die Studie zeigt, dass Lidar-Sensoren einen wichtigen Beitrag zur Wildtierrettung leisten können, insbesondere durch die Möglichkeit, zu jeder Tageszeit und bei schlechtem Wetter zu suchen, was ihre Zuverlässigkeit und Vielseitigkeit unterstreicht. Zukünftige Forschung und Entwicklung könnte die Leistungsfähigkeit von Lidar-Sensoren weiter steigern und ihren Einsatz attraktiver machen.

## Keywords

UAS; UAV; Lidar; Wärmebildkamera; Wildtiere; Rehkitzrettung; Natur; Landwirtschaft; Ökologie

## NOMENKLATUR

### Formelzeichen

$d$	Laserstrahllänge	m
$a_h$	Horizontaleauflösung	m
$a_v$	Vertikaleauflösung	m
$\alpha_{res}$	Winkelauflösung	grad
$\alpha_{start}$	Startwinkel	grad
$\alpha_{stop}$	Stopwinkel	grad
$f_{abt}$	Lidar Abtastrate	Hz
$n$	Anzahl vertikaler Punkte	$\mathbb{N}$
$v$	Geschwindigkeit	$\frac{m}{s}$

### Abkürzungen

Lidar	Light Detection and Ranging
ROS	Robot Operating System
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle

## 1. EINLEITUNG

Die Landwirtschaft ist weltweit einer der wichtigsten Wirtschaftszweige, doch jährlich sterben ca. 500.000 Wildtiere bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen. Vor allem bei Bodenbrütern führen Gelege- und Jungvogelverluste zu enormen Rückschlägen im Artenschutz. Besonders dramatisch ist die Situation auch bei Rehkitzen, von denen etwa 90.000 jährlich getötet werden [1].



BILD 1. Ein Rehkitz im Gras

Gerade durch die im Frühjahr beginnende Mähseason sind diese Tiere stark gefährdet. Vor allem Rehkitze setzen sich durch ihr natürliches Verhalten verstärkt dieser Gefahr aus und sterben den sogenannten *Mähtod*. [2]. Die jährliche Verletzung und Tötung von Wildtieren ist ökologisch, ethisch und rechtlich bedenklich [3, TierSchG §1]. Daher kommt dem Erkennen und Aufspüren von Wildtieren auf landwirtschaftlich genutzten Flächen eine immer größere Bedeutung zu. Denn nur so können diese unnötigen Todesfälle reduziert werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Schwerpunkt auf die Detektion und Erkennung von Rehkitzen gelegt.

### 1.1. Stand der Technik

Bereits in der Jagdliteratur des frühen 19. Jahrhunderts wird auf die großen Verluste an brütenden Rebhühnern und Fasanen bei der Getreidemahd - verursacht durch den Einsatz von Sichel und Sense - hingewiesen [4]. Dies führte schon früh zur Anwendung verschiedener Methoden zum Schutz dieser Tiere.

- Eine der einfachsten Methoden ist es, das zu mähende Feld **manuell abzusuchen**. Dabei durchkämmen Helfer systematisch das Feld und zeigen an, wenn sie ein Rehkitz entdeckt haben.
- Des Weiteren können durch **Vergrämung** die Todesfälle bei der Mahd, deutlich reduziert werden [4].
- Ein weiteres bewährtes Mittel stellt der Einsatz eines **Jagdhundes** dar. Ein gut ausgebildeter Hund kann auch die geruchlosen Rehkitze zuverlässig aufspüren und anzeigen.

Alle genannten Methoden sind jedoch sehr arbeitsintensiv und bei den heutigen Feldgrößen zeitlich nicht durchführbar. Zur Verbesserung dieser Nachteile beim Auffinden von Wildtieren hat sich in der modernen Wildtierrettung eine neue Methode durchgesetzt. Durch die immer weiter fortschreitende Forschung und Entwicklung im Bereich der Unmanned Aircraft Systems (UAS) sind diese heute in der Lage, große landwirtschaftliche Flächen effizient und präzise abzufliegen. Insbesondere die Möglichkeit, verschiedene Sensoren als Nutzlast an das Unmanned Aerial Vehicle (UAV) anzubringen, bietet eine hohe Flexibilität und ermöglicht es, die UAVs für komplexe und unterschiedliche Aufgaben einzusetzen. Gerade deshalb werden UAS von vielen Wildtierrettern und Jägern bevorzugt eingesetzt [5]. Der wohl wichtigste Sensor ist die Wärmebildkamera. Sie hat der UAV-basierten Kitzerkennung zum Durchbruch verholfen [6]. Der Hauptgrund dafür liegt in der rasanten Entwicklung und Miniaturisierung dieses Sensors [7]. Dies führte zu einer drastischen Gewichtsreduzierung und einer enormen Leistungssteigerung. Dieser kann daher problemlos auf ein UAV montiert werden. Durch die Leistungssteigerung der Computertechnik können die Bilder in Echtzeit an eine Fernsteuerung übertragen werden. Dies ermöglicht es einer **einzelnen** Person in relativ kurzer Zeit eine sehr große Fläche nach Rehkitzen absuchen.

### 1.2. Defizite

Trotz dieser Verbesserung der Detektion von Rehkitzen durch Wärmebildkameras gibt es eine wesentliche Einschränkung dieser Technik, die eine lückenlose Suche erschwert. Die Haupteinschränkung von Wärmebildkameras besteht darin, dass nur in den frühen Morgenstunden, wenn die Sonne das Gras noch nicht aufgeheizt hat und am späten Abend, wenn es wieder abgekühlt ist, die Felder erfolgreich abgesucht werden können [1]. Da sich im Laufe des Tages bei starker Sonneneinstrahlung die Temperaturdifferenz zwischen Rehkitz und Umgebungstemperatur nicht mehr stark unterscheidet [8]. Zudem erwärmen sich vorhandene Kahlstellen und Sandhügel und werden ebenfalls fälschlicherweise als Rehkitz erkannt. Ein weiteres Problem ergibt sich bei großen Flughöhen, da die Auflösung von Wärmebildkameras begrenzt ist und somit nicht mehr unterschieden werden kann, ob es sich um ein Rehkitz oder ein anderes Tier handelt. Zur Vergrößerung des Erfassungsbereiches ist das Fliegen in großen Höhen sinnvoll. Dies wiederum schränkt das Auflösungsvermögen der Wärmebildkamera ein, da eine große Flughöhe die Pixeldichte der zu erkennenden Objekte reduziert. Eine Unterscheidung zwischen Rehkitz und anderen Tieren ist daher aus großer Höhe nur schwer möglich. Trotz dieser Effizienz- und Genauigkeitsgewinne bei der UAV-gestützten Rehkitzerkennung unterliegt diese Methode nach wie vor diesen Einschränkungen.

### 1.3. Lösungsansatz

In dieser Arbeit wird aufgezeigt, inwieweit Lidar-Sensoren (Light Detection and Ranging) an UAVs Rehkitze im Gras erkennen und orten können. Lidar ist eine Sensortechnologie, die Laserlicht verwendet, um die Entfernung von Objekten zu messen und daraus eine dreidimensionale Karte der Umgebung zu erstellen. Diese Technologie hat sich in verschiedenen Anwendungsbereichen wie der Geodäsie, der Archäologie und der autonomen Fahrzeugnavigation als äußerst effektiv erwiesen [9]. Insbesondere die Fähigkeit, mit Lidar-Sensoren auch durch dichtes Blattwerk von Bäumen und Sträuchern zu blicken, stellt ein wichtiges Merkmal dar [10]. Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt ist, dass diese Technik **unabhängig** von der Temperatur eingesetzt werden kann, was bedeutet, dass eine Suche zu jeder Tageszeit möglich ist. Gerade diese Fähigkeit ist ideal für die Detektion von Rehkitzen im dichten Gras.

### 1.4. Forschungsziel

Ziel der Studie ist es, die Effektivität und Effizienz dieser Methode im Vergleich zur Wärmebildtechnik zu bewerten. Dabei werden verschiedene Aspekte wie die Genauigkeit der Detektion, die Geschwindigkeit der Datenverarbeitung und die praktische Anwendbarkeit in realen landwirtschaftlichen Szenarien untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie könnten einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung und Implementierung neuer Technologien zur Erkennung und Detektion von Wildtieren leisten. Durch den Einsatz von Lidar-Sensoren an UAVs könnte die Anzahl verletzter und getöteter Rehkitze signifikant redu-

ziert werden, was sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile mit sich bringen würde. In den folgenden Abschnitten wird zunächst auf die Methodik der Studie eingegangen, gefolgt von einer detaillierten Darstellung der Ergebnisse und einer Diskussion der Implikationen und Grenzen der verwendeten Technologie. Abschließend werden Schlussfolgerungen gezogen und Vorschläge für weitere Forschungsarbeiten unterbreitet.

## 2. METHODIK

Zur Validierung und Verifizierung der Effektivität und Effizienz des Lidar-Sensors zur Rehkitzerkennung wurden sowohl ein Simulationsszenario als auch ein reales Einsatzszenario verwendet. Dabei mussten verschiedene Herausforderungen und Probleme gelöst werden, um zuverlässige und reproduzierbare Daten zu generieren, auf deren Basis eine wissenschaftliche Bewertung der neuen Detektionsmethode erfolgen kann. Für ein besseres Verständnis des Kontexts der Validierung wird in diesem Abschnitt auf die Ausrüstung eingegangen, die Gegenstand der Validierung ist. Damit die Datengenerierung zuverlässig und realitätsnah erfolgen konnte, wurde ein Quadrocopter als Trägerplattform für die notwendige Hard- und Software eingesetzt. Die Wahl fiel auf das Modell X500 V2 der Firma *Holybro* [11]. Dieses zeichnet sich durch seine Kompaktheit und Struktur aus, sodass es trotz der Fähigkeit, verschiedene Nutzlasten zu transportieren, leicht und einfach zu steuern ist. Damit ist er die ideale Plattform für die Erprobung des Lidar-Sensors.



BILD 2. Der UAV Prototyp

### 2.1. Hardware

In diesem Abschnitt wird genauer auf die verwendete Hardware eingegangen, die auf der Drohne integriert wurde, um eine Rehkitzdetektion mit dem Lidar-Sensor zu ermöglichen.

#### 2.1.1. Companion Computer

Bei der Durchführung der Flugversuche fallen unter anderem Daten des Lidar-Sensors an, welche zusammengeführt und mit einem geeigneten Algorithmus ausgewertet werden müssen. Diese Aufgabe übernimmt der **Companion Computer**. Zum Einsatz kommt ein *Raspberry Pi*

4, ein Einplatinencomputer der *Raspberry Pi Foundation*. Er zeichnet sich durch sein geringes Gewicht und die Möglichkeit aus, mit unterschiedlicher Hardware zu interagieren und verschiedene Software auszuführen.

#### 2.1.2. Flugsteuerungsrechner

Wie jedes UAV benötigt auch der Quadrocopter einen **Flugsteuerungsrechner**. Dieser übernimmt wichtige Aufgaben wie die Fluglageregelung und das automatische Abfliegen von Flugplänen. Zum Einsatz kommt der *Pixhawk 6C* der Firma *Holybro*. [11]. Dabei handelt es sich um einen weit verbreiteten Flugsteuerungsrechner, der sowohl von Hobbyfliegern als auch von professionellen Drohnenpiloten eingesetzt wird. Er zeichnet sich dadurch aus, dass er über verschiedene Schnittstellen mit dem Companion Computer verbunden werden kann. Somit lassen sich Daten untereinander transferieren.

#### 2.1.3. Lidar-Sensor

Mit einem speziell für UAVs entwickelten Lidar-Sensor wurde die Eignung eines **Lidar-Sensors** für die Rehkitzrettung untersucht. Die Firma *SICK Ag* hat freundlicherweise einen Lidar-Sensor für den Feldversuch zur Verfügung gestellt. Es handelt es sich um das Modell *LD-MRS*, welches speziell für raue Umgebungen entwickelt wurde. Er verfügt über vier Scanbereiche, die in einem Abstand von  $3,2^\circ$  zueinander angeordnet sind und einen horizontalen Bereich von  $85^\circ$  abdecken. Jede Schicht hat eine Winkelauflösung von  $0,125^\circ$ . Das geringe Gewicht ermöglicht eine einfache Integration in ein bestehendes UAS.

### 2.2. Software

Dieser Abschnitt beschreibt die Software, die für die Durchführung und Umsetzung der verschiedenen Aspekte dieser Arbeit verwendet wurde.

#### 2.2.1. Robot Operating System 2

Zur Ausführung der verschiedenen Softwarekomponenten und zum Datenaustausch untereinander wurde das (Robot Operating System 2) **ROS2** verwendet. ROS2 ist eine umfassende Softwareplattform, die speziell für Roboter entwickelt wurde. Sie bietet eine modulare Architektur, die es ermöglicht, verschiedene Komponenten unabhängig voneinander zu entwickeln und zu testen. ROS2 unterstützt eine Vielzahl von Hardwareplattformen und Sensoren und bietet eine Reihe von Werkzeugen und Bibliotheken, die die Entwicklung, Simulation und das Testen von Robotersoftware erleichtern. Insgesamt stellt ROS2 eine leistungsfähige und flexible Plattform dar, die für den Anwendungsfall dieser Arbeit ideal geeignet ist.

#### 2.2.2. Gazebo als Simulationsumgebung

Für die Validierung der Funktionalität der entwickelten Software im Kontext der Rehkitzrettung ist eine geeignete Simulationsumgebung unerlässlich. Die gewählte Simulationssoftware ist **Gazebo**, welche in der Robotik häufig zur Simulation komplexer Szenarien und Situationen eingesetzt wird. Unter anderem ist eine rea-

listische Simulation von Lidar-Sensoren möglich. Damit ermöglicht *Gazebo* das Testen von Algorithmen unter verschiedenen Bedingungen, ohne auf eine reale Hardware angewiesen zu sein. Zusammenfassend ist *Gazebo* eine wertvolle Simulationssoftware für die Evaluierung des Forschungsziels.

### 2.2.3. Flugsteuerungssoftware

Eine weit verbreitete Open-Source **Flugsteuerungssoftware** für Drohnen und andere UAVs ist **PX4**. Sie bietet eine umfassende und flexible Plattform, die sowohl für Hobby- als auch für professionelle Anwendungen geeignet ist. PX4 ermöglicht eine einfache Verbindung zu Companion Computern, was die Integration in bestehende UAS erheblich vereinfacht. Die freie Verfügbarkeit von PX4 als Open-Source-Software erleichtert die Entwicklung und den Einsatz komplexer UAS. Insgesamt ist PX4 eine leistungsfähige und flexible Flugsteuerungssoftware, die eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten bietet und sich ideal für den Einsatz im Kontext der Rehkitzrettung eignet.

## 3. KONZEPT FÜR DIE LIDAR-DETEKTION

Ziel ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das eine effiziente und zuverlässige Detektion von Rehkitzen aus Lidardaten ermöglicht, um die in der Einleitung gestellte Forschungsfrage zu beantworten. Das entwickelte Konzept besteht aus zwei wesentlichen Teilen: der **Datenaufbereitung** und der **Datenauswertung**. In den nächsten beiden Abschnitten werden die Datenaufbereitung und die Datenauswertung näher erläutert.

### 3.1. Aufbereitung der Lidar-Daten

Die Grundidee der Datenaufbereitung besteht darin, die vom Lidar-Sensor erzeugten Einzelpunkte in einer zweidimensionalen Matrix abzubilden und anschließend als Bild darzustellen. Das so erzeugte Bild soll Rückschlüsse auf die Anwesenheit von Rehkitzen ermöglichen.

#### 3.1.1. Matrixdarstellung der Punktwolke

Kernstück des Algorithmus ist die Verarbeitung der Punktwolke. Diese besteht standardmäßig aus einer Punktmenge  $m \times n$ . Dabei ist  $m$  die Anzahl der horizontalen Schichten und  $n$  die Anzahl der Punkte pro Schicht. Jeder Punkt besteht aus drei rationalen Zahlen  $x, y, z$ , wobei  $x$  die vertikale Position,  $y$  die horizontale Position und  $z$  die Höhe des Punktes darstellt. Dementsprechend ist eine Punktwolke mathematisch gesehen eine zweidimensionale Matrix  $m \times n$ . Beim Überfliegen eines Feldes erzeugt der Lidar-Sensor ständig neue Punktwolken. Diese Punktwolken werden an die Punktwolkenmatrix angehängt. Dies wird  $i$  mal wiederholt. Die resultierende Matrix hat dann die Form  $i * m \times n$ .

### 3.1.2. Lidar-Daten

Der Lidar-Sensor der Firma *Sick Ag* erzeugt eine Punktwolke mit vier ( $m$ ) horizontalen Schichten. Die Anzahl der Punkte in jeder Schicht kann mit der folgenden Formel berechnet werden.  $\alpha_{start}$  ist der Startwinkel,  $\alpha_{stop}$  ist der Stopwinkel und  $\alpha_{res}$  ist die Auflösung des Lidar-Sensors.

$$(1) \quad n = \frac{|\alpha_{start} - \alpha_{stop}|}{\alpha_{res}}$$

$n$  sind die Anzahl der Lidar-Punkte in einer Schicht. Die erzeugte Punktwolke besitzt noch keine Ortsinformation, da die  $x, y, z$  eines beliebigen Punktes den Lidar-Sensor selbst als Ursprung annehmen.

### 3.1.3. Positionsbestimmung

Damit die resultierende Punktwolke einem Ort im Raum zugeordnet werden kann, muss jedem Punkt die globale Position des Lidar-Sensors zum Zeitpunkt der Aufnahme zugeordnet werden. Die Koordinaten  $x$  und  $y$  werden addiert, die Koordinate  $z$  wird subtrahiert. Die prozessierte Punktwolke besitzt nun eine globale Positionsinformation. Da sich die Positionsbestimmung des UAVs auf das globale Koordinatensystem bezieht, der Lidar-Sensor jedoch auf das lokale Koordinatensystem, funktioniert das oben beschriebene Verfahren nur bei einer geradlinigen Bewegung in  $y$ -Richtung. Bei der Aneinanderreihung mehrerer Punktwolken ist die  $y$ -Koordinate die entscheidende Koordinate, um die horizontale Lage der einzelnen Schichten zu identifizieren. Die Verwendung eines lokalen Koordinatensystems ist notwendig, um dieses Problem zu lösen. Dazu muss bei der Erzeugung der ersten Punktwolke die Orientierung und die globale Position gespeichert werden. Dieser Punkt wird dann als Ursprung für das lokale Koordinatensystem verwendet. Für die nächste Punktwolke muss nur noch die Differenz zwischen der aktuellen Position und der Startposition inklusive Orientierung berücksichtigt werden. Die  $y$ -Koordinate stellt somit wieder die horizontale Lage der Punktwolke dar. Damit ist es möglich, die verschiedenen Punktwolken in beliebiger Flugrichtung zu einem zweidimensionalen Bild zusammenzusetzen.

### 3.1.4. Sortieren der Punktwolkenschichten

Bisher wurde davon ausgegangen, dass sich die erzeugten Punktwolken nicht überlappen und somit auf die bestehende Punktwolkenmatrix gestapelt werden können. Bei einer hohen Abtastrate ist dies jedoch nicht mehr der Fall. Häufig liegt die erste Schicht der zweiten Punktwolke global gesehen zwischen der ersten und zweiten Schicht der ersten Punktwolke. Dies würde zu einer Fehlinterpretation der Lidar-Daten führen. Aus diesem Grund muss die fertige Punktwolkenmatrix spaltenweise nach den  $y$ -Koordinaten sortiert werden. Die so erzeugte Matrix stellt somit die tatsächliche räumliche Verteilung der Punkte dar.

### 3.1.5. Nachbearbeitung der Lidar-Daten

Zur Erzeugung eines Bildes aus der Punktwolkenmatrix müssen die vorhandenen  $z$ -Werte nachbearbeitet werden. Der Lidar-Sensor ordnet einem nicht reflektierten Punkt einen  $z$ -Wert von  $\infty$  zu. Was zu einer starken Unterbewertung der korrekt detektierten Punkte bei der Bildnormalisierung führen würde. Zur Behebung dieses Problems wird beim Auftreten von  $\infty$  diese durch die Zahl 255 ersetzt. Dies stellt den Maximalwert eines 8 Bit Graustufenbildes dar. Anschließend wird eine Bildnormalisierung durchgeführt. Es werden alle Werte des Bildes so verändert, dass der kleinste Wert 0 und der größte auftretende Wert 255 repräsentiert. Diese Maßnahmen führen dazu, dass die Punktwolkenmatrix als Graustufenbild dargestellt werden kann.

## 3.2. Datenauswertung

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Datenverarbeitung des erzeugten Graustufenbildes. Es werden die einzelnen Schritte beschrieben, die zur Identifizierung von Merkmalen im Bild und zur Überprüfung, ob es sich um ein Rehkitz handeln könnte, durchgeführt wurden.

### 3.2.1. Filterung

Das Bild wird durch Gras und andere Störobjekte veräuscht, was die Erkennung der entscheidenden Merkmale erschwert. Dies schränkt die sichere Erkennung von Rehkitzen ein. Damit unter diesen Bedingungen eine gute Erkennung möglich ist, wurde das erzeugte Bild mit einem *None Local Means* Filter [12] gefiltert. Dieser Filter konnte das vorhandene Rauschen stark reduzieren und wichtige Merkmale hervorheben.

### 3.2.2. Erkennung und Auswertung

Sobald wichtige Merkmale im Bild erkannt werden, können verschiedene Erkennungstechniken angewendet werden, um diese zu klassifizieren. Zum Beispiel kann ein *Blob Detektor* verwendet werden, um einzelne Merkmale zu erkennen, die ein Rehkitz darstellen könnten. Durch die Bestimmung der Kontur dieses Merkmals und seiner Position im Bild kann die globale Position dieses Merkmals ermittelt werden.

## 4. VALIDIERUNG DER LIDAR-DETEKTION

Zur Validierung des entwickelten Konzepts wurden verschiedene Tests, sowohl in einer simulierten als auch in einer realen Umgebung, durchgeführt. Auf diese Weise kann der entwickelte Algorithmus unter verschiedenen Gesichtspunkten untersucht und validiert werden.

### 4.1. Simulation

Der entwickelte Algorithmus benötigt für seine vollständige Funktion verschiedene Informationen, wie die globale Position des UAVs und die Punktwolke des Lidar-Sensors. Zur schnellen Entwicklung eines robusten Algorithmus wurde eine realistische Welt mit Rehkitzen, Gras und Bäumen in der Simulationssoftware *Gazebo* imple-

mentiert. Diese Simulation ermöglicht es, verschiedene Szenarien zu testen und die Leistung des Algorithmus unter kontrollierten Bedingungen zu bewerten. Außerdem stellt *Gazebo* alle wichtigen Informationen für den Algorithmus zur Verfügung.



BILD 3. Darstellung eines Rehkitz in *Gazebo*

Mit der entworfenen Welt können bereits erste Ergebnisse generiert werden, die Rückschlüsse auf die Effektivität des Lidar-Sensors bei der Rehkitzerkennung zulassen. Durch die Simulation können verschiedene Parameter wie Flughöhe, Geschwindigkeit und Umgebungsbedingungen variiert werden, um die Robustheit und Zuverlässigkeit des Algorithmus zu überprüfen. Zudem bietet die Simulation die Möglichkeit, den Algorithmus kontinuierlich zu verbessern und anzupassen, bevor er in realen Einsätzen getestet wird.

### 4.2. Test im Feldversuch

Neben der Validierung des Algorithmuskonzepts und der implementierten Software soll auch die in der Einleitung aufgestellte Hypothese überprüft werden: *Ist es möglich, die Detektion von Rehkitzen mit einem Lidar-Sensor zu verbessern?* Dazu ist es notwendig, dass der Lidar-Sensor in der Lage ist, Objekte von der Größe eines Rehkitzes im realen Feld zu erkennen. Die Simulationsumgebung ist immer nur eine Annäherung an die reale Situation. Es ist daher unerlässlich, auch einen Feldversuch durchzuführen.

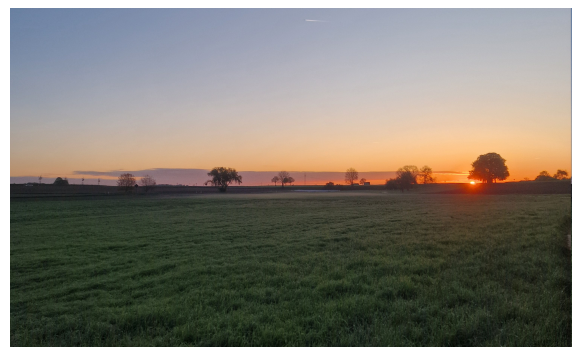
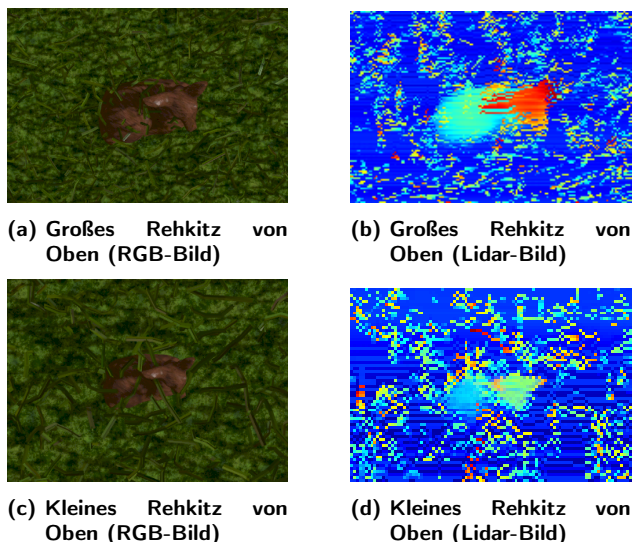


BILD 4. Feld in dem Rehkitze sein könnten



## 5. ERGEBNISSE

Zunächst wurde der entwickelte Algorithmus mit der Simulationssoftware *Gazebo* getestet. Dazu wurde ein detailgetreues Rehkitz überflogen. Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Lidar-Sensors wurden **zwei** Rehkitze unterschiedlicher Größe verwendet.



**BILD 5. Ergebnisse der Lidar-Abtastung in der Simulation**

Beim großen Rehkitz ist die Detektion mit dem Lidar-Sensor eindeutig (Siehe Bild 5a, Bild 5b). Anders ist die Detektion beim kleinen Rehkitz (Siehe Bild 5c, Bild 5d). Hier ist die Identifizierung des Rehkitzes nicht mehr so einfach, auch wenn die Konturen und der Umriss des Rehkitzes erahnt werden können, ist dies nicht mehr so ausgeprägt. Dies liegt zum einen an der geringen Höhe des Rehkitzes, zum anderen aber auch an den technischen Eigenschaften des Lidar-Sensors (auf die im Diskussionsteil näher eingegangen wird).

### 5.1. Ergebnisse des Feldversuch

Im Rahmen der Arbeit wurde auch ein Feldversuch durchgeführt. Dieser diente unter anderem der Validierung, ob ein Lidar-Sensor Objekte in einer Wiese erfassen kann, aber auch der Überprüfung, ob das Gesamtsystem UAS und Lidar fehlerfrei betrieben werden kann. Der Flugversuch wurde auf einer abgelegenen Wiese in der Nähe von *Neuburg an der Donau* durchgeführt.



**BILD 6. Der UAV-Prototyp beim Flugversuch**

Es wurden folgende Punkte getestet:

- Verbindung zwischen der Bodenstation und dem UAV.
- Fehlerfreie Ausführung des Algorithmus.
- Verhalten der UAV mit dem Lidar-Sensor als Nutzlast.

## 6. DISKUSSION

Während der Versuchsdurchführung wurden einige Punkte festgestellt, welche die Effektivität der Lidar-basierten Rehkitzerkennung einschränken. Dies ist sowohl auf den verwendeten Lidar-Sensor als auch auf die eingesetzte Software zurückzuführen. Im Folgenden werden die einzelnen Punkte im Detail beschrieben und ihr Einfluss auf die Detektionseffizienz erläutert.

### 6.1. Auflösung

Jeder Lidar-Sensor besitzt eine spezifische Winkelauflösung. Dieser Wert beschreibt den Abstand zwischen zwei ausgesandten Laserstrahlen. Wobei  $a_{vertikal}$  die vertikale Auflösung in Meter,  $d$  die Länge des Laserstrahls und  $\alpha_{res}$  die Winkelauflösung des Lidar-Sensor ist.

$$(2) \quad a_{vertikal} = d * \sin(\alpha_{res})$$

Mit dem verwendeten Lidar-Sensor ist eine Winkelauflösung von 10 cm bei einer Entfernung von 50 m möglich. Ein Rehkitz hat eine ungefähre Größe von 30 - 50 cm. Bei einer Detektion sollten mindestens 10 vertikale Punkte das Rehkitz treffen. Dies entspricht einer Auflösung von 3 cm - 5 cm. Übertragen auf den Lidar-Sensor würde dies eine Flughöhe von ca. 5 - 10 m bedeuten. Daraus ergibt sich ein deutlich kleinerer Detektionsbereich, was die Zeit für einen vollständigen Feldüberflug deutlich erhöht.

### 6.2. Abweichung

Zur Erzielung eines möglichst großen Erfassungsbereiches wurde der Lidar-Sensor auf  $\alpha_{start} = -45^\circ$  und  $\alpha_{stop} = 45^\circ$  eingestellt. Dies führt jedoch zu einem Problem. Rehkitze liegen meist so im Gras, dass sie nur durch einen direkten Überflug erfasst werden können. Ansonsten werden sie vom umgebenden Gras verdeckt. Das heißt, je vertikaler der Laserstrahl des Lidar-Sensors ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass er vom Gras blockiert wird und das Rehkitz nicht trifft. Daher ist nur ein schmaler Korridor von  $\alpha_{start} = -25^\circ$  und  $\alpha_{stop} = 25^\circ$  für die eigentliche Detektion nutzbar. Dies führt zu einer weiteren Verkleinerung des möglichen Detektionsbereichs, wodurch sich die Zeit für das vollständige Überfliegen des Feldes weiter verlängert.

### 6.3. Geschwindigkeit

Das UAV fliegt bei einer normalen Suche mit einer Wärmebildkamera eine Geschwindigkeit von 10 - 15 km/h. Der verwendete Lidar-Sensor hat eine Abtastfrequenz von 12,5 Hz. Mit der folgenden Formel kann die Auflösung in Metern bei einer bestimmten Geschwindigkeit und Abtastrate berechnet werden.

Wobei  $a_h$  die horizontale Auflösung in Meter und  $f_{abt}$  die Abtastfrequenz des Lidar-Sensor ist.

$$(3) \quad a_h = v * \frac{1}{f_{abt}}$$

Bei einer Geschwindigkeit von 10 km/h ergibt sich eine vertikale Auflösung pro Schicht von 20 cm. Dies reicht nicht aus, um ein Rehkitz zu erkennen. Ausgehend von der empirisch ermittelten Auflösung von 3 cm - 5 cm muss mit dem Lidar-Sensor langsam geflogen werden. Dies wirkt sich ebenfalls negativ auf die benötigte Zeit zum vollständigen Überfliegen des Feldes aus.

#### 6.4. Detektor

In der Natur sind die Felder geografisch sehr unterschiedlich und weisen eine vielfältige Flora auf. Dies stellt eine schwierige Ausgangssituation für den eingesetzten Detektor dar. Zudem erschweren Unebenheiten oder Störeinflüsse (Maulwurfshügel, Baumstümpfe) die Erkennung mit dem *Blob-Detektor* sehr. Dieser kann nur primitive Merkmale erkennen. Für den Einsatz bei unterschiedlicher Vegetation und Beschaffenheit der Umgebung ist er unzureichend.

#### 7. SCHLUSSFOLGERUNG

Es konnte gezeigt werden, dass es mit dem Lidar-Sensor möglich ist, Rehkitze in einem dicht bewachsenen Feld zu detektieren. Des Weiteren ließ sich aufzeigen, dass mit einem Lidar-Sensor und einem geeigneten Algorithmus Rehkitze im Gras erkannt werden können. Insbesondere die Möglichkeit, zu jeder Tageszeit und auch bei schlechtem Wetter zu suchen, ist eine **große** Bereicherung für die Rehkitzsuche.

Es ist jedoch festzustellen, dass der Lidar-Sensor technischen Einschränkungen unterliegt, welche bei der Anwendung zur Rehkitzrettung berücksichtigt werden müssen. Somit wird die theoretische Effizienzsteigerungen bei der Detektion dadurch teilweise wieder aufgehoben. Dennoch ist zu erwähnen, dass in Zukunft durch weitere Forschung und Entwicklung im Bereich des Lidar-Sensors die Leistungsfähigkeit weiter steigen wird und somit der Einsatz in diesem Bereich attraktiver wird.

Erwähnenswert ist auch die Entwicklung der künstlichen Intelligenz, insbesondere im Bereich der Objekterkennung. Künstliche neuronale Netze können dabei die Detektion von Rehkitzen aus dem Punktwolkenbild durchführen, was die Robustheit und Effektivität der Detektion weiter erhöhen würde.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit dem Lidar-Sensor ein wichtiger Beitrag zur Rettung von Wildtieren geleistet werden kann. Durch den anderen Detektionsmechanismus unterscheidet er sich stark von den bisher verwendeten Methoden. Ein kombinierter Einsatz von Thermografie- und Lidar-Sensor könnte die Vorteile beider Methoden hervorheben und die Nachteile teilweise

eliminieren. Daher sollte der weitere Fokus in diesem Bereich auf der Integration des Lidar-Sensors in ein bestehendes UAV-Thermografiesystem liegen.

#### 8. ABBILDUNGEN

1	Ein Rehkitz im Gras . . . . .	1
2	Der UAV Prototyp . . . . .	3
3	Darstellung eines Rehkitz in <i>Gazebo</i> . . . . .	5
4	Feld in dem Rehkitze sein könnten . . . . .	5
5	Ergebnisse der Lidar-Abtastung in der Simulation . . . . .	6
6	Der UAV-Prototyp beim Flugversuch . . . . .	6

#### Kontaktadresse:

[wilken.hemme@hm.edu](mailto:wilken.hemme@hm.edu); [benjamin.kormann@hm.edu](mailto:benjamin.kormann@hm.edu)

#### Literatur

- [1] Johann Wagner. *Schach dem Mähtod : von traditionellen Methoden der Wildrettung zu modernen Techniken der Wildretter*. Wien, Univ. für Bodenkultur, Univ.-Lehrgang Jagdwirt/in III, Abschlussarb., 2012, 2012.
- [2] Deutsche Wildtier Stiftung Hamburg Germany. *Gemeinsam gegen den Mähtod | Deutsche Wildtier Stiftung*. 2023.
- [3] Deutscher Bundestag. *Tierschutzgesetz*. PhD thesis, 1972. TierSchG § 1. [https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/\\_1.html](https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/_1.html).
- [4] Deutschen Wildtierrettung e. V. *Wildtierschutz bei der Mahd*. Deutsche Wildtier Stiftung, 2023. ISBN: ISBN 978-3-936802-38-2.
- [5] Dirk Michael Sachon. *Einsatz neuer Technologien in der Jagd am Beispiel Kitzrettung mittels Drohne mit Wärmebildkamera*. PhD thesis, 2018.
- [6] Daniel Bäni. *Einsatz eines UAV mit Thermalkamera zur Ortung von Wildtieren*. Kornfeldweg 1, 5400 Baden, 03 2011.
- [7] Gerald Gerlach Helmut Budzier. *Pyrometrie und Thermografie*. Wiley-VCH, 1996. ISBN: 978-3-527-41399-7.
- [8] Martin Israel. *Entwicklung eines UAV-basierten Systems zur Rehkitzsuche und Methoden zur Detektion und Georeferenzierung von Rehkitzen in Thermalbildern: Der Fliegende Wildretter*. PhD thesis, Universität Osnabrück, 12 2015. DOI: [10.13140/RG.2.2.19289.31841](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19289.31841).
- [9] Olaf Poenicke, Maik Groneberg, Daniel Sopauschke, Klaus Richter, and Nils Treuheit. Industrial application use cases of lidar sensors beyond autonomous driving. In Sergio Terzi, Kurosh Madani, Oleg Guskikh, and Hervé Panetto, editors, *Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics*, pages 250–269, Cham, 2023. Springer Nature Switzerland. ISBN: 978-3-031-49339-3.

- [10] Marcello A. Canuto, Francisco Estrada-Belli, Thomas G. Garrison, Stephen D. Houston, Mary Jane Acuña, Milan Kováč, Damien Marken, Philippe Nondédéo, Luke Auld-Thomas, Cyril Castanet, David Chatelain, Carlos R. Chiriboga, Tomáš Drápela, Tibor Lieskovský, Alexandre Tokovinine, Antolín Velasquez, Juan C. Fernández-Díaz, and Ramesh Shrestha. Ancient lowland maya complexity as revealed by airborne laser scanning of northern guatemala. *Science*, 361(6409):eaau0137, 2018. DOI: [10.1126/science.aau0137](https://doi.org/10.1126/science.aau0137).
- [11] Holybro. Holybro, 2024. X500 V2 and Pixhawk 6c. <https://holybro.com/>.
- [12] Antoni Buades, Bartomeu Coll, and Jean-Michel Morel. Non-Local Means Denoising. *Image Processing On Line*, 1:208–212, 2011. [https://doi.org/10.5201/ipol.2011.bcm\\_nlm](https://doi.org/10.5201/ipol.2011.bcm_nlm).