



Entwicklung eines portablen Abschreksystems gegen unliebsame Kleintiere

Studienarbeit

des Studiengang Technische Informatik- IT-Automotive
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart

von

Levin Müller

7. Juni 2023

Bearbeitungszeitraum
Matrikelnummer, Kurs
Ausbildungsfirma
Betreuer

zeitraum
7994341, TINF20-ITA
softwareinmotion GmbH, Schorndorf
Prof. Dr. Janko Dietzsch
Janko.Dietzsch@dhbw-stuttgart.de

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit mit dem Thema: *Entwicklung eines portablen Abschrecksystems gegen unliebsame Kleintiere* selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Welzheim, 7. Juni 2023

Levin Müller

Zusammenfassung

Abstract normalerweise auf Englisch. Siehe: http://www.dhbw.de/fileadmin/user/public/Dokumente/Portal/Richtlinien_Praxismodule_Studien_und_Bachelorarbeiten_JG2011ff.pdf (8.3.1 Inhaltsverzeichnis)

Ein „Abstract“ ist eine prägnante Inhaltsangabe, ein Abriss ohne Interpretation und Wertung einer wissenschaftlichen Arbeit. In DIN 1426 wird das (oder auch der) Abstract als Kurzreferat zur Inhaltsangabe beschrieben.

Objektivität soll sich jeder persönlichen Wertung enthalten

Kürze soll so kurz wie möglich sein

Genauigkeit soll genau die Inhalte und die Meinung der Originalarbeit wiedergeben

Üblicherweise müssen wissenschaftliche Artikel einen Abstract enthalten, typischerweise von 100-150 Wörtern, ohne Bilder und Literaturzitate und in einem Absatz.

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Abstract> Abgerufen 07.07.2011

Diese etwa einseitige Zusammenfassung soll es dem Leser ermöglichen, Inhalt der Arbeit und Vorgehensweise des Autors rasch zu überblicken. Gegenstand des Abstract sind insbesondere

- Problemstellung der Arbeit,
- im Rahmen der Arbeit geprüfte Hypothesen bzw. beantwortete Fragen,
- der Analyse zugrunde liegende Methode,
- wesentliche, im Rahmen der Arbeit gewonnene Erkenntnisse,
- Einschränkungen des Gültigkeitsbereichs (der Erkenntnisse) sowie nicht beantwortete Fragen.

Quelle: http://www.ib.dhbw-mannheim.de/fileadmin/ms/bwl-ib/Downloads_alt/Leitfaden_31.05.pdf, S. 49

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
1. Einleitung	1
1.1. Motivation	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3. Aufgabenstellung	2
2. Aufgabenstellung	3
3. Grundlagen	5
3.1. Stand der Technik in der Tiervertreibung	5
3.2. Computer Vision	8
3.3. Google Colab	10
3.4. Komponenten	11
4. Umsetzung	15
4.1. Hardwarerealisierung	15
4.2. Dreidimensionales Zielsystem	22
4.3. Ansteuerung	24
4.4. Objekterkennung und -Verarbeitung	26
4.5. Zusätzliche Softwarekomponenten	32
4.6. Kostenaufstellung	32
5. Reflexion und Ausblick	36
Literatur	37
Anhang	42
A. Arduino UNO Testcode	42

Abkürzungsverzeichnis

BB	Bounding-Box
CSI	Camera Serial Interface
CNN	Convolutional Neural Network
CM	Compute Module
DNN	Deep Neural Network
eMMC	Embedded Multi Media Card
GPIO	General Purpose Input/Output
GPU	Graphics Processing Unit
mAP	mean Average Precision
ML	Machine Learning
NPU	Neural Processing Unit
PAP	Programmablaufplan
PWM	Pulsweitenmodulation
R-CNN	Region-based Convolutional Neural Network
RPi	Raspberry Pi
RPN	Region-Proposal-Network
SATA	Serial AT Attachment
SVM	Support-Vector-Machine
YOLO	You-Only-Look-Once

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Verwüsteter Garten	1
3.1.	Ausgelöster Wassertierschreck. [24]	6
3.2.	Beispiele für Objekt Erkennung und Bounding-Box. Quelle: [39]	8
3.3.	(a) Epipolare Linie, die einen Lichtstrahl entspricht und (b die entsprechende epipolare Linien auf der Epipolarebene. Quelle: [39])	11
4.1.	Schaltbild der Abschreckleuchten mit Ansteuerung	16
4.2.	Diagramm der Fördermenge gegenüber des Drucks. [35]	23
4.5.	PAP TensorFlow Nachtraining	30
4.3.	Schaltplan der Hardware	34
4.4.	Einzeichnen einer Bounding Box mit dem Programm Label Studio	35

Tabellenverzeichnis

3.1. Vergleich dreier Elektromotortypen für die Verwendung im Zielsystem.	13
Quelle: [20]	

1. Einleitung

In diesem Kapitel sollen die Beweggründe, sowie die geplante Vorgehensweise zur Entwicklung eines portablen Abschrecksystems gegen unliebsame Kleintiere erläutert werden.

1.1. Motivation

Der Anstieg der Waschbärenpopulation in vielen Teilen Deutschlands hat zu Schäden in Gärten, Parks und Friedhöfen geführt. Auch der eigene Garten ist davon leider nicht unversehrt geblieben, was in Abbildung 1.1 zu sehen ist. Die üblichen Mittel wie Ultraschall- und Blitzlicht- Abschrecksystemen scheinen nur von sehr kurzer Dauer einen Erfolg zu bieten. Angesichts dessen ist die Entwicklung eines effektiven Abwehrsystems gegen Waschbären von entscheidender Bedeutung, um weitere Schäden zu minimieren.



Abbildung 1.1.: Ein durch Waschbären verwüsteter Garten

1.2. Zielsetzung

Das Ziel der Arbeit ist es, ein Abschreckssystem zur Fernhaltung von Mardern und Waschbären von privaten Grundstücken zu entwickeln. Im System soll eine Kombination von üblichen Abschreckungsmitteln aus den Baumarkt, einschließlich eines kleinen Wasserwerfers eingebaut sein. Darüber hinaus soll es aus Gründen der einfachen Anwendbarkeit portable an jeglichen Stellen im heimischen Garten aufgebaut werden können. Um zu verhindern das das Abschreckssystem unschuldige Passanten unter Beschuss nimmt, muss das System zwischen Mensch und Tier unterscheiden können.

1.3. Aufgabenstellung

Um die geplanten Ziele zu erfüllen, sind drei Kernelemente herauszuarbeiten. Zum einen soll das System portable sein, das heißt es muss sich selbst mit Energie für einen längeren Zeitraum versorgen können. Dazu bedeutet es die Wasserwerfer-Komponente auch mit Energie und Wasser versorgen zu können. Deshalb muss zusätzlich zur Energieversorgung ein Konzept für die Wasserversorgung erarbeitet werden. Zum anderen darf es nicht zu sperrig werden, damit es problemlos überall im Garten platziert werden kann. Hier könnten Abstriche hingenommen werden, falls die restlichen Funktionalitäten wie die eigenständige Energieversorgung oder den Einbau eines "Wasserwerfers" gewährleistet werden kann.

Der Hauptteil der Arbeit liegt aber bei der Unterscheidung zwischen einem tierischen Eindringling und einem menschlichen Passanten. Hierfür bieten sich Bilderkennungssoftware an die einen Eindringling von einem Passanten unterscheiden können.

Basierend darauf soll ein Prototype entwickelt werden, der möglichst all die Voraussetzungen erfüllen kann. Dieser Prototyp soll dazu dienen die Funktionsweise des Abschreckssystems im konzeptionellen Anwendungsfäll zu demonstrieren und zu veranschaulichen.

2. Aufgabenstellung

1. Auswahl der Hardware und Bibliotheken (Wasserpumpe, Kamera, Energieversorgung und Management, Rust-Crates).
2. Einarbeitung Opencv, Tensorflow und Rust alternativen (wenn in rust nicht vorhanden).
3. Hardwaretechnische Realisierung und Implementierung der einzelnen Hardwarecontroller. Eventuell Auslagerung der Motoransteuerung (Zielsystem) auf Arduino → Einfacherer Wechsel Pi/Jetson da nur Vertikaler und Horizontaler Winkel gestellt werden müssen.

Hardware:

- (Demo?) Raspberry Pi 3b (PI 4 CM + IO/Jetson) + Google Coral USB accelerator
 - Unbestimmte Menge an Kabel
 - 1-2 Baugleiche Kameras (NoIR da Einsatz bei Nacht/unbeleuchtete Umgebung)
 - vielfältige 3D-Drucke Gehäuse/Zielsystem etc.
 - Energieversorgung:
 - 12V kleine Autobatterie
 - Solarpanel
 - Schrittmotoren/E-Motoren für Zielsystem (mit Positionssensor oder „einlernen“)
 - Pumpe mit Schläuche
 - Tonwiedergabe (+Verstärker?)
 - Lichtwiedergabe (Blitzlicht)
 - Relais für einschalten der Aktoren
 - MOSFETS durch nicht konstante Energiequelle (Batterie/Solaranlage) nicht direkt möglich
4. Demo- und Testentwicklung der Bildverarbeitungssoftware.
Batterie/Solar/PI 3 + Kamera in kleine Box für frühzeitiges erhalten von Real-World-Daten

2. Aufgabenstellung

5. Weiterentwicklung und Testen in der freien Wildbahn.

Alles zusammen in PI 4 + USB Coral oder Jetson

3. Grundlagen

3.1. Stand der Technik in der Tiervertreibung

Um unliebsame Besucher aus dem Garten, Haus oder Auto zu vertreiben gibt es viele Geräte auf dem Markt. Zu diesen gehört ein großes Sortiment von Ultraschall-Tierschreck-Systemen, Sprinkleranlagen und verschiedenen Varianten von Weidezäunen. Um einen bestmöglichen Erfolg der Vertreibung zu bieten, sollen die Geräte an den Umschlagsorten der Tiere platziert werden.

Die einzelnen Systeme und deren Vor- und Nachteile werden in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

3.1.1. Ultraschall-Tierschreck

Eine gängige Variante des Ultraschall-Tierschrecks ist der Marderschreck. Der Marderschreck wird in dem Motorraum eines Fahrzeugs platziert und soll verhindern, dass der Marder Schläuche und Kabel durchbeißt. Er verspricht das Fernhalten und Vertreiben der Tiere durch aussenden eines Hochfrequenztons. Der Ton hat dabei eine Frequenz von 17 bis 45 kHz. Für die Tiere ist dieser Frequenzbereich besonders unangenehm. Erwachsene Menschen nehmen diese Töne aber kaum bis gar nicht wahr. [12]

Daher werden auch für den heimischen Garten diese Geräte gerne eingesetzt. Da sie aber nicht länger über die Autobatterie und der Lichtmaschine mit Energie versorgt werden, sind sie häufig an eine kleine Batterie und einem Solarpanel angeschlossen. Die gängigen Varianten eines Ultraschall-Tierschrecks für die Gartenverwendung haben zudem ein eingebautes Blitzlicht. Bei Nacht wird das Tier durch kurze Lichtimpulse zusätzlich beim Durchqueren des Gartens gestört und der Erfolg zur Vertreibung von nachtaktiven Tieren erhöht sich.

Die Tiere, insbesondere Waschbären, gewöhnen sich allerdings an das Licht und dem Hochfrequenzton. Daher hält der Erfolg der Vergrämung oft nur wenige Wochen an. Ultraschallgeräte können aber auch Probleme bereiten. Die eigenen Haustiere und auch Kleinkinder nehmen den Hochfrequenzton ebenso wahr. Da die Geräte auf jegliche Bewegung reagieren, kann es sein das der Ultraschall-Tierschreck vor Betreten des Gartens

deaktiviert werden muss, damit die Haustiere und Kinder sich im Garten aufhalten können.[34]

3.1.2. Automatische Sprinkleranlage

Eine andere Variante von Abschrecksystem ist der Einsatz von Sprinkleranlagen. Durch das Beschießen mit Wasser werden die Tiere besonders gut gestört. Der automatische Sprinkler wird über einen Bewegungsmelder ausgelöst und versprüht großflächig Wasser im Zielbereich, wie in Abbildung 3.1.2 zu sehen ist. Nach eigener Erfahrung hat eine automatische Sprinkleranlage eine höhere Erfolgsquote, um ungewollte Besucher aus dem heimischen Garten zu vertreiben, aber sie kann durch den Bewegungsmelder auch unbeabsichtigt von einem selbst ausgelöst werden.[34]



Abbildung 3.1.: Ausgelöster Wassertierschreck. [24]

Der Nachteil bei diesem System ist, dass der Sprinkler direkt mit einem Gartenschlauch verbunden werden muss. Dadurch treten deutliche Einschränkungen in der Positionierung des Abschrecksystems auf, da ein Wasseranschluss mit ausreichend Druck und Volumenstrom an ihm befestigt sein muss. Zusätzlich fällt der Druck und der Volumenstrom mit

zunehmender Länge des Gartenschlauches ab, was in den Artikel aus [25] getestet worden ist. Der Author hat in diesem Artikel zwei verschiedenen Gartenschläuche und deren Druck- und Volumenstromverlust gemessen. Bei dem Test des Gartenschlauches mit 1/2 Zoll Durchmesser kam es gegenüber dem mit 3/4 Zoll Durchmesser nach zwei Metern bereits eine Reduzierung des Volumenstroms auf 62%.

Angenommen ein eingesetzter Sprinkler hätte eine Düse mit einer Öffnung von 1,5 Millimeter in einer Höhe von einem Meter befestigt, so hätte die Reduzierung den Zielbereich von knappen 10 Metern auf 6 Meter reduziert. Ein Sprinkler hätte somit mit zunehmender Entfernung proportional zum Volumenstrom an Reichweite verloren.

Ein anderer Punkt, der bei diesen Anlagen häufig vernachlässigt wird, ist die Verschwendungen von Trinkwasser. Vor allem in Zeiten des Energie- und Wassersparens versucht man Verschwendungen zu minimieren. Einige Landkreise sind in den letzten Jahren in den Dürreperioden sogar so weit gegangen, dass das Rasensprengen aus eigener Quelle von 12 bis 18 Uhr verboten worden ist. Durch diese Maßnahmen erhofft man sich besser durch Dürreperioden zu kommen. Ein automatischer Rasensprinkler, der Trinkwasser verwendet sollte daher vermieden werden, um Dürreperioden nicht noch schlimmer zu machen.[26]

3.1.3. Weidezaun

Der Weidezaun ist häufig das letzte Mittel um die Tiere aus dem Garten zu bekommen. Der Zaun wird um den Garten herum aufgebaut und sämtliche Durchgänge, an denen die Tiere in den Garten eindringen können, sollen ebenfalls mit dem Zaun blockiert werden. Wenn das Getier nun versucht durch diese Zugänge in den Garten einzudringen, wird der Eindringling von dem Zaun einen schwachen elektrischen Schlag abbekommen.

Ein Waschbär wird durch diesen Schlag in absehbarer Zeit es nicht noch einmal versuchen denselben Zugang zu verwenden. Häufig suchen die Tiere stattdessen einen anderen Zugang in den Garten. Wenn die Tiere keinen anderen Zugang zum Garten finden, wenden sie sich vom Grundstück ab. In unregelmäßigen Abständen überprüfen die Tiere allerdings ob die Blockade immer noch besteht. Der Weidezaun muss daher ständig eingeschaltet und gewartet werden.[34]

Der Weidezaun hat von den genannten Systemen die höchste Effektivität, wenn es um die Vertreibung der Tiere geht. Durch die Blockierung sämtlicher Zugänge besteht allerdings ein sehr hoher Installationsaufwand. Zusätzlich müssen weitere Elemente, wie Gartentore installiert werden, da sonst auch die Zugänge für den Menschen blockiert sind. Das gesamte System wird somit schnell teuer, weshalb der Weidezaun auch als letztes Mittel betrachtet wird.

3.2. Computer Vision

Computer Vision beschäftigt sich damit Computern das „Sehen“ zu ermöglichen. Schon jahrzehntelang versuchen dies Wissenschaftler zu erreichen. Heutzutage sind sie schon sehr weit gekommen. Computer Vision findet in der Logistik, dem autonomen Fahren, Gesichtserkennung und bei noch vielen anderen Bereichen große Zuwendung. Ziel davon ist es Analysen, Verarbeitung und Interpretationen von Bildern und Videos durch einen Computer möglich zu machen, damit eine Maschinen visuelle Informationen so verstehen kann wie wir Menschen es tun. [39]

3.2.1. Object Detection

Object Detection ist eine Anwendung der Computer Vision, die es ermöglicht, Objekte in einem Bild oder Video zu erkennen und zu lokalisieren. Object Detection-Systeme verwenden Algorithmen, die auf Machine Learning (ML)- und Deep Neural Network (DNN)-Techniken basieren, um Objekte in Bildern oder Videos zu erkennen und zu klassifizieren. Das erkannte Objekt wird mittels einer Bounding-Box (BB) aus dem Bild extrahiert. Beispiele für Objekterkennungen sind in Abbildung 3.2.1 abgebildet.

Um diese Detektion zu erhalten gibt es verschiedene Basen und Architekturen von Object Detection Systemen, die im folgenden beschrieben sind. [39]

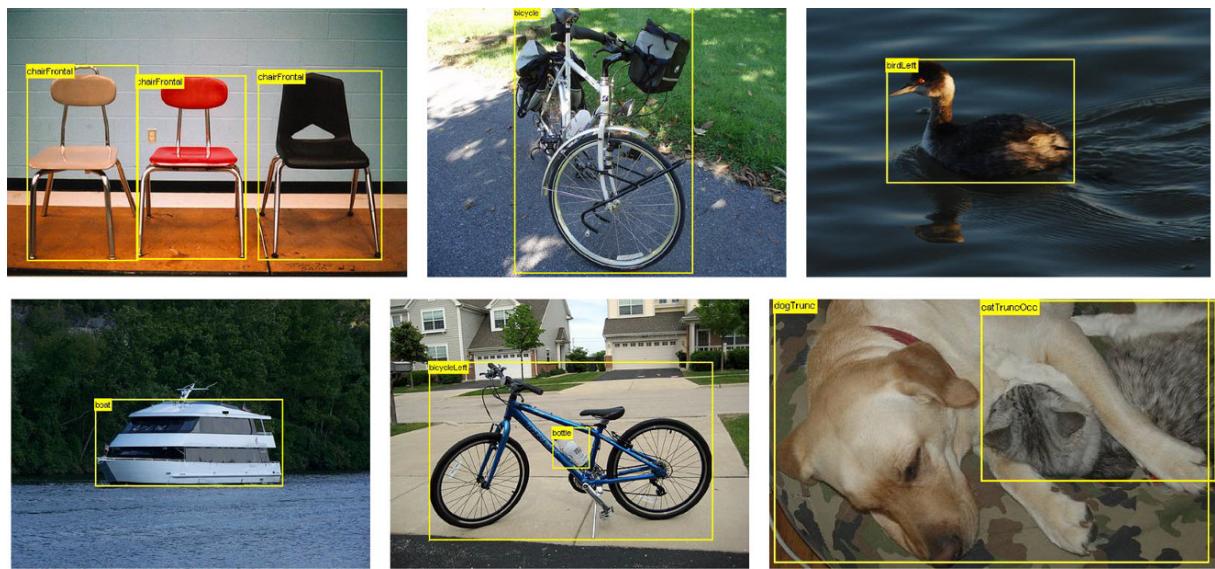


Abbildung 3.2.: Beispiele für Objekt Erkennung und Bounding-Box. Quelle: [39]

3.2.2. Two-Stage-Detectors

Eins der frühen Modelle die diese Technik verwendet hat ist das Region-based Convolutional Neural Network (R-CNN). Es werden hirfür zwei große Schritte angewendet. Weshalb das R-CNN und ähnliche Modelle als *two-stage-Detectors* bezeichnet werden.

Der erste Schritt bei diesen Modellen ist es mittels eines Region-Proposal-Network (RPN) rechteckige Regionen in einen Bild zu bestimmen. Das RPN schlägt hierbei eine Unterteilung des Eingabebildes in verschiedene Regionen vor. Das R-CNN-Netzwerk lässt sich dabei 2000 Regionen vorschlagen. Aus diesen Regionen werden anschließend im zweiten Schritt die Features eines Eingabebildes durch ein Convolutional Neural Network (CNN) extrahieren. Im Falle von R-CNN werden die Features mittels einer Softmax-Schicht und einer Support-Vector-Machine (SVM) ausgewertet und Objekte detektiert.

Dabei sollte die Anzahl der Regionen vernünftig klein sein, damit das nachfolgende extrahieren und klassifizieren in einer absehbarer Zeit erfolgt. Dieser zusätzliche Zeitaufwand, der für das RPN aufgewandt wird, ist zudem auch ein Nachteil gegenüber anderen Ansätzen. Die Two-Stage-Detektoren erhalten dadurch zwar eine höhere Genauigkeit in der Lokalisierung und Klassifizierung, benötigen aber auch mehr Zeit.[10]

3.2.3. One-Stage-Detectors

One-Stage Detektoren sind einer der neueren Ansätze Object-Detection zu realisieren. Sie basieren auf die menschliche Natur und gehen von einer Single-Shot Erkennung aus. Dafür wenden sie entgegen den Two-Stage-Detektoren keinen Region-basierten Algorithmus an. Stattdessen unterteilen sie ein Eingabebild in ein $S \times S$ großes Gitternetz. Auf den Gitter-Boxen wird daraufhin eine Klassifizierung und Lokalisierung vorgenommen.

Dies war auch der erste Ansatz in der You-Only-Look-Once (YOLO)-Architektur. Durch diesen Ansatz ist das YOLO-V1 Modell entgegen den Two-Stage-Detektor Faster R-CNN laut den Autoren in [1] neun mal schneller bei der Detektierung. YOLO-V1 ist aber deutlich schlechter, da deutlich weniger Objekte richtig detektiert worden sind. In Version 2 wird daher statt einem Gitternetz die Anchor-Boxen verwendet. Anchor-Boxen haben keine einheitliche Größe. Sie sind rechteckige Boxen, welche in verschiedenen Größen und Seitenverhältnissen angewendet werden. Die Anchor-Boxen werden auf einer Reihe von vordefinierten Positionen über ein Eingabebild verteilt.

Bei diesem Ansatz wird die Detektierung durch die Anchor-Boxen ermöglicht, ohne einen Verlust der Geschwindigkeit zu verursachen. Die Version 2 von YOLO enthält noch andere Anpassungen, die die Anzahl an richtigen Detektionen weiter erhöht hat. [1]

Es gibt noch weitere nicht Anchor oder Gitter betriebene Architekturen, wie die *CenterNet* oder *CornerNet*-Architektur. Diese ermitteln den Mittelpunkt eines Objektes oder deren

Kanten. Sie erhöhen die Präzession eines Detektors, benötigen aber wiederum mehr Ausführungszeit.[40]

3.2.4. Tiefenberechnung

Für das Zielsystem ist es nötig den Abstand vom Objekt zur Zielvorrichtung zu ermitteln. Heutzutage gibt es ML-basierte Techniken, die die Abstandsermittlung mit jeglicher Kamera durchzuführen können, aber es gibt einfachere und ältere Methode die Abstand zu einem Objekt zu bestimmen.

Die meisten Lebewesen und wir Menschen haben eine einfache Möglichkeit dreidimensionale Strukturen zu erfassen und wahrzunehmen. Dabei setzen wir Menschen auf unsere zwei Augen. *Stereo Vision* umfasst sich mit dem Bereich das binokulare Sehen von uns Menschen, um auch Computern es zu ermöglichen dreidimensional zu sehen.

Dabei werden zwei Kameras verwendet, die gleichzeitig ein *linkes* und ein *rechtes* Bild aufnehmen. Die Kameras stehen dabei um eine kleine Abstand auch genannt *Baseline* voneinander entfernt.

Der Prozess zur Bestimmung der Tiefe erfolgt dann durch die Verwendung der epipolaren Geometry und Triangulation. Dabei betrachtet man einen Punkt im *linken* Bild und den entsprechenden Punkt im *rechten* Bild. Da die Kameras auf einer Höhe zueinander stehen, muss der Punkt nur auf der x-Achse, entlang der epipolaren Linie der beiden Kameras gesucht werden. Das ermitteln der passenden Punkte wird dabei als *stereo matching* bezeichnet. Aus der *Baseline* und den Differenzpunkten zwischen den Koordinaten der einzelnen Bildern kann anschließend die Tiefeninformationen gewonnen werden. Das beschreiben Konzept ist in Abbildung 3.2.4 zu sehen.

Bei der Methode wird das Triangulieren zwischen den Punkten verwendet. [27]

3.3. Google Colab

Google Colab ist eine webbasierte Plattform von Google, die es ermöglicht, Python-Code in der Cloud auszuführen. Mit Colab können Jupyter-Notebooks erstellt, bearbeitet und ausgeführt werden.

Ein großer Vorteil der Nutzung von Google Colab ist, dass eine *Tesla T4* Grafikkarte kostenlos zur Verfügung steht. Dadurch können auch ML-Aufgaben effizient durchgeführt werden. Ein weiterer Vorteil von Google Colab ist, dass keine aufwendige Konfiguration erforderlich ist. Gängige Bibliotheken wie z.B. *TensorFlow* können ohne großen Aufwand installiert werden. Zudem werden einige Bibliotheken im Cache gespeichert, was bedeutet, dass eine erneute Installation nur wenige Minuten dauert. Dies macht Google Colab

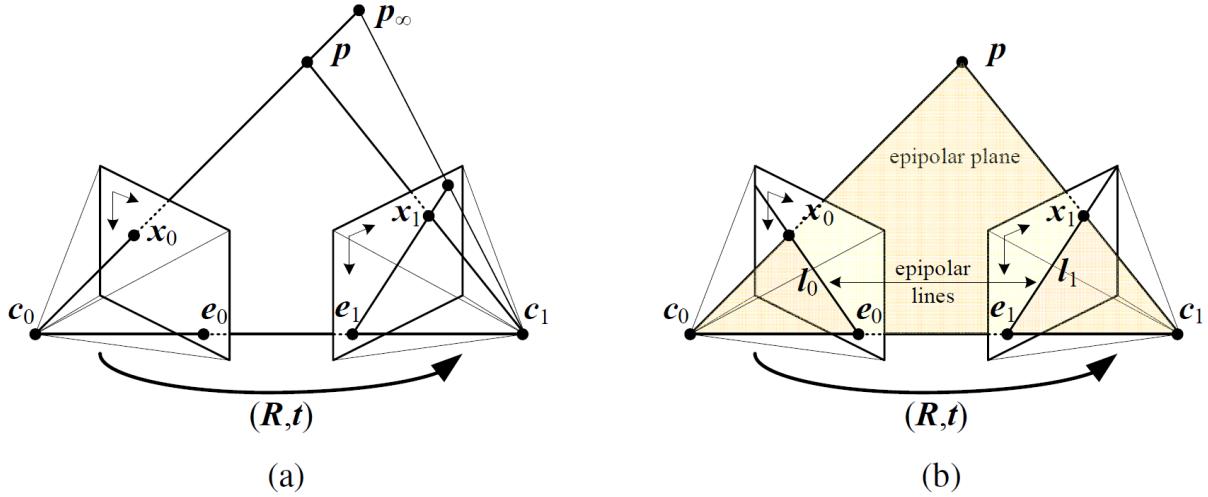


Abbildung 3.3.: (a) Epipolare Linie, die einen Lichtstrahl entspricht und (b) die entsprechende epipolare Linien auf der Epipolarebene. Quelle: [39])

besonders attraktiv.

Ein weiterer Vorteil von Google Colab ist die Möglichkeit, Notebooks über einen Link mit anderen Nutzern zu teilen. Dadurch wird ein schneller und einfacher Einstieg ermöglicht. [13]

3.4. Komponenten

Für die Realisierung eines portablen Abschrecksystems werden Aktoren und Komponenten benötigt, welche in diesem Kapitel beschrieben werden.

3.4.1. Aktoren

Das Abschrecksystem umfasst verschiedene Aktoren, die zur Vertreibung unliebsamer Kleintiere eingesetzt werden. Im Folgenden sind die Funktionen und Anforderungen der Aktoren sowie gegebenenfalls benötigte Zusatzelemente aufgelistet.

Tonwiedergabe

Waschbären, Marder und andere Tiere empfinden Hochfrequenztöne als äußerst unangenehm. Laut Westfalia [45] können Frequenzen im Bereich von 20 bis 40 kHz und ein Schalldruck von mindestens 100 dB bereits erfolgreich dazu beitragen, Waschbären zu vertreiben.

Gemäß den Informationen aus [18] entspricht ein Watt leistungsaufnahme bei einem Meter Abstand vom Lautsprecher in etwa einem Schalldruck von 90 dB. Da die meisten Mikrocontroller nicht genug Leistung liefern können, um einen Lautsprecher mit höheren Leistungsanforderungen anzusteuern, wird ein Verstärker benötigt. Zusätzlich ist es erforderlich, dass das Abschrecksystem einen möglichst großen Radius abdecken kann, wodurch ein höheres Leistungsvermögen als die angegebenen 100 dB erforderlich wird.

Lichtimpulse

Zusätzlich ist es sinnvoll Blinklichter zur visuellen Abschreckung einzusetzen. Da die meisten unliebsamen Tiere nachtaktiv sind, kann durch den stroboskopischen Effekt eine Vertreibung des Tieres erreicht werden. [34]

Auch hier können Mikrocontroller nicht das nötige Leistungsvermögen erbringen. Daher wird eine externe Energieversorgung und Schaltlogik benötigt.

Wasserversorgung

Wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, haben sich Sprinkleranlagen als wirksam bei der Vertreibung von Tieren erwiesen. Da das System jedoch tragbar sein soll, ist es nicht möglich, einen Wasserschlauch anzuschließen. Zusätzlich muss der Wasserdruck ausreichend sein, um die Tiere in einem Radius von 10 Metern zu erfassen.

Daher ist es erforderlich, eine Pumpe in das System einzubauen, die sowohl ausreichenden Druck als auch ausreichendes Pumpvermögen bietet. Die Pumpe muss ebenfalls von einer externen Stromversorgung und Schaltlogik gesteuert werden, da ein gezielter und leistungsstarker Einsatz erforderlich ist.

Zielaktorik

Für die Zielaktorik ist ein Zwei-Aktoren Zielsystem notwendig, welches horizontales und vertikales ansteuern von Zielwinkel ermöglicht. Elektromotoren eignen sich sehr gut für diese feinfühlige Ansteuerung. Allerdings gibt es große Unterschiede zwischen den verschiedenen Motortypen. Einige davon sind in folgender Tabelle 3.1 beschrieben.

Hinzu kommt das die Motoren in ein dreidimensionales Zielsystem eingebaut werden. Daher sollte die Form und Größe ebenfalls betrachtet werden, da der Platz gering ist.

Motortyp	Vorteile	Nachteile
Schrittmotor	<p>Einfache und präzise Ansteuerung möglich. Sie werden daher auch bei CNC-Fräsen und 3D-Druckern verwendet.</p> <p>Besitzen ein hohes Haltemoment.</p> <p>Berechnung der Position auch in der Open-Loop Steuerung möglich, da sie eine exakte Strecke pro Ansteuerungsschritt ermöglichen.</p>	<p>Da sie einen inkrementelle Positionierung über die Schrittweite haben, müssen sie eventuell mit einem Getriebe unterstellt werden. Zum Beispiel würde bei einer Schrittweite von $1,8^\circ$ beim Radius von 10 Metern pro Schritt 35 Zentimeter zurückgelegt werden.</p> <p>Des Weiteren kann es bei Zielvorgängen zu kurzzeitigen hohen Drehzahlen kommen. Der Schrittmotor verliert bei hohen Drehzahlen an Drehmoment und kann einzelne Schritte auslassen oder sogar stoppen.</p>
DC-Motor	<p>Einfache Ansteuerung über Pulsweitenmodulation (PWM).</p> <p>Hohes Drehmoment bei niedriger Drehzahl.</p>	<p>H-Brücke nötig, da die Energie nicht über einen herkömmlichen Mikrocontroller geliefert werden kann.</p> <p>Motorsteuerung und Regelung notwendig.</p> <p>Sensoren werden benötigt, da eine Open-Loop Ansteuerung nur sehr geringe Genauigkeit bietet.</p>
Servomotor	<p>Keine direkte Regelung nötig, da sie eine integrierte Closed-Loop Regelung haben.</p> <p>Sie können dynamisch auf hohe Belastungen reagieren.</p> <p>Durch die Closed-Loop Regelung haben sie eine hohe Genauigkeit und es sind keine zusätzlichen Bauelemente oder Treiberbauteile nötig.</p>	<p>Häufig haben die erhältlichen Servomotoren nur einen geringen Positionsradius von 180°.</p> <p>Da sie konstant versuchen, eine Sollposition zu erreichen, kann es zu Jitter im System kommen.</p>

Tabelle 3.1.: Vergleich dreier Elektromotortypen für die Verwendung im Zielsystem. Quelle: [20]

3.4.2. Sensorik

Der Aufgabenstellung entsprechend benötigt das System lediglich zwei optischen Sensoren, die in der Lage sind Bilder auch in der Nacht aufzunehmen.

Je nach Wahl der Aktoren können weitere Sensoren, wie Winkel- oder Stromsensoren im System verbaut sein. Da ein leistungsfähiger Mikrocontroller für die Object Detection verwendet werden soll, ist ein Temperatursensor für die Überwachung und zum Schutz vor Überhitzung zu empfehlen.

3.4.3. 3D-Druck

Eine Realisierung eines vollständigen Prototyps des Abschrecksystems benötigt viel Zeit und Teile, die auf dem Markt nicht immer erhältlich, nicht auf den Anwendungsgebiet zugeschnitten oder sehr teuer sind.

Daher werden für das Abschrecksystem Einzelteile mittels CAD-Modellen und dem 3D-Drucker der DHBW hergestellt. Das ermöglicht eine schnelle auf dem Anwendungsgebiet zugeschnittene Herstellung von Einzelteilen zu günstigen Kosten.

Zudem hat die Firma softwareinmotion einen eigenen 3D-Drucker, der in den Praxisphasen für die Studienarbeit verwendet werden kann. Der Weg zur DHBW für das Abholen der 3D-Drucke wäre in den Praxisphasen nur schwer möglich gewesen.

Die CAD-Modelle werden mit der Autodesk Software *Fusion 360* erstellt.

4. Umsetzung

4.1. Hardwarerealisierung

Für einen optimalen Vertreibungseffekt werden verschiedene Aktoren im System verbaut. Die einzelnen Geräte werden alle über eine externe Energieversorgung, beziehungsweise Batterie betrieben. Bei der Wahl der Batterie, ist ein wichtiges Kriterium, wie lange das System ohne Energiezufuhr funktionsfähig bleibt.

Dabei wurde berücksichtigt, wie viel das System im Normalverbrauch ohne Einschalten der Aktoren verbraucht. Eine grobe Schätzung ergab, dass das System ungefähr 10 ± 2 Watt pro Stunde verbrauchen würde. Aus diesem Grund fiel die Wahl auf eine 50 Ah Autobatterie von *BlackMax* [2] gefallen. Diese Batterie bietet ausreichend Kapazität, um das System über zwei Tage mit Energie zu versorgen.

Ein weiterer Entscheidungsgrund für die Autobatterie ist der Strombedarf der Geräte. Wie nachfolgend beschrieben, kann die Wasserpumpe im laufenden Zustand bis zu 16 Ampere Strom beziehen. Viele leichte und kleine Batterien könnten langfristig durch diese Belastung Schaden nehmen. Da Autobatterien eine hohe Belastungsgrenze haben und hohe Ströme ermöglichen, sind sie daher für den Prototypen besser geeignet.

Für die Unterbringung aller Teile wird eine 40x55x30 Compute Module (CM) große Aluminiumkiste verwendet. Die Aluminiumkiste ist witterungsbeständig, und die Wärmeentwicklung im Inneren kann weitestgehend vernachlässigt werden. Aluminium hat nämlich eine gute Temperaturleitfähigkeit und kann somit einen Wärmestau verhindern. Dabei ist auch der Empfehlung aus einem *Autodesk Instructables*-Projekt folge geleistet worden. In diesem Projekt wurde eine bewegungsausgelöste „Wasserpistole“ aufgebaut. Allerdings war bei dem *Instructables*-Projekt eine Vertreibung von Rehen vorgesehen, die sonst die Rosen im Garten aufgegessen hätten. Das Ziel dieser Arbeit ist es aber Waschbären und andere Kleintiere zu vertreiben, daher sind hier noch weitere Aktoren eingebaut. Zudem ist das *Instructables*-Projekt nicht autark und portable, da es mit Strom und Wasser mittels Hausanschluss versorgt worden ist. [14]

Die eingebauten Bauteile werden nachfolgend beschrieben.

4.1.1. Blitzlicht

Für den Einsatz eines Abschrecklichtes mit Blitzlichtfunktion werden zwei LED-Scheinwerfer der Marke *NAIZY* verwendet. Die Scheinwerfer sind für den Einsatz als Erweiterungsleuchten für Geländefahrzeuge gedacht. Sie sind wasserdicht und für den Außeneinsatz geeignet. Mit 1600 Lumen und grellweißem Farbton erzielen sie einen hohen stroboskopischen Effekt, mit dem die Tiere abgeschreckt werden. Aufgrund dieser Charakteristiken und des geringen Energieverbrauchs von 18 Watt sind sie für das Abschrecksystem sehr gut geeignet. [7]

Die beiden LED-Scheinwerfer sind an den beiden oberen Ecken der Box befestigt. Sie werden mit Transistoren durch den Mikrocontroller gesteuert. Um einen Gewöhnungseffekt zu vermeiden, sind die Scheinwerfer mit 0,5 bis 10 Hz beschaltet. Die Frequenz und Schaltung der Scheinwerfer wird dynamisch angepasst. Im Schaltbild aus Abbildung 4.1.1 wird die Verwendung eines MOSFET-Treiberbausteins erkennbar. Der Treiber ermöglicht das Beschalten der Scheinwerfer mit höherer Leistung, als es mit dem Arduino möglich wäre. Der Treiber verfügt über eine zusätzliche Masse-Leitung, die mit dem Arduino verbunden ist. Dadurch ist es möglich den Strom zu schalten, auch wenn der Signalgeber und *DC-Out* nicht die selbe Masse haben. [5]

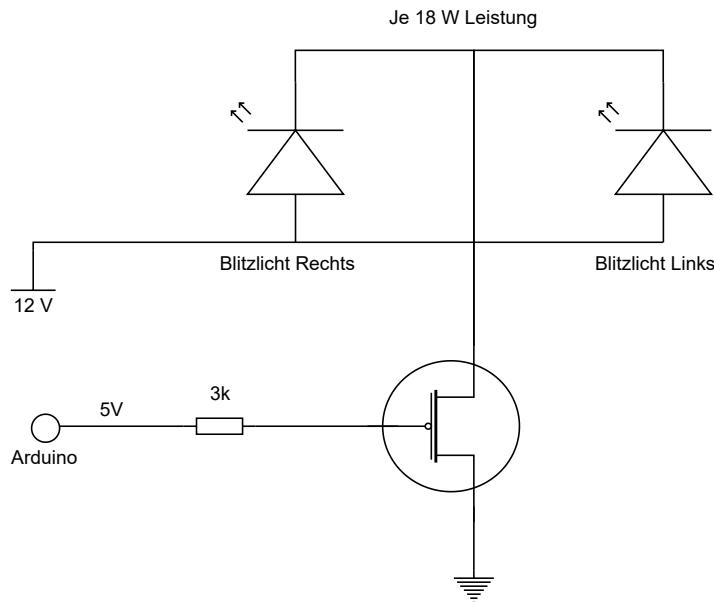


Abbildung 4.1.: Schaltbild der Abschreckleuchten mit Ansteuerung

4.1.2. Wasserversorgung und Pumpeneinheit

Für den Einsatz eines *Abschusssystems* mit Wasser benötigt das Abschrecksystem weitere Komponenten, welche folgend beschrieben werden.

Pumpe

Bild mit Spritzschutz von Seite aus

Auch wenn die Aluminiumkiste witterungsbeständig ist, schützt sie nur mäßig vor kalten Temperaturen. Dabei können viele Wasserpumpen schaden nehmen, wenn sie über den Winter draußen sind. Bei Membranpumpen ist dies ein kleineres Problem. Die zu den Oszillationsverdrängerpumpen gehörende Pumpenart ist außerdem sehr wartungsfreundlich und außerordentlich robust. Sie können daher selbst schwierigen Bedingungen und Temperaturumschwünge leicht standhalten.

Ihre Funktionsweise beruht darauf, den *Schöpfraum* periodisch zu vergrößern und zu verkleinern. Dadurch erzielen sie ihre Pumpwirkung und werden durch ihre Robustheit, Ölfreiheit (keine Verschmutzung der zu fördernde Flüssigkeit oder Gase) und Wartungsfreundlichkeit auch in chemischen Laboranwendungen verwendet. [23]

Für die Auswahl einer geeigneten Pumpe kamen zudem die Anforderungen an Fördermenge und Druck. Sprinkleranlagen werden wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben mit einem Garten-schlauch betrieben und können mit dieser Versorgung eine Reichweite von 10 Metern erreichen. Durch einen Hausanschluss fließen üblicherweise 20 Liter Wasser pro Minute mit einem Druck von etwa 4 Bar.

Die eingesetzte Pumpe von *SEAFLO* hat eine maximale Fördermenge von 17 Liter pro Minute und kommt dadurch nahe an diesen Richtwert ran. Dabei nimmt sie bis zu 16 Ampere Strom auf. Auch bei dieser Leistungsaufnahme von über 190 Watt können die MOSFET-Treiber, die zum An- und Ausschalten der LED-Scheinwerfer verwendet werden, genutzt werden. Sie sind angegeben mit einer Dauerbelastung von 15 Ampere und mit Kühlung bis zu 30 Ampere. Da die Treiber nur für kurze Dauer eingeschaltet werden, ist eine zusätzliche Kühlung nicht nötig. [5, 35]

Der Aufbau ist ähnlich zu dem Schaltbild 4.1.1. Allerdings wird zusätzlich eine Schutzdiode benötigt. Da Pumpen durch den internen Betrieb mittels Elektromotor eine induktive Last bilden, kann bei hartem Ein- und Ausschalten der MOSFET-Treiber durch Spannungsstöße Schaden nehmen [38]. Daher wird eine Schottky-Diode parallel zur Last eingebaut. Dies verhindert ein Aufbauen zu hoher Spannung, durch der der Transistor Schaden nehmen könnte. Schottky-Dioden eignen sich besonders gut für den Einsatz, da sie nur wenig Leistung aufnehmen und dadurch energiesparend sind. [4, 38]

Versorgung mit Wasser

Damit die Pumpe mit Wasser versorgt werden kann, muss ein Wassertank in das System integriert sein. Allerdings ergeben sich dadurch verschiedene Probleme.

Das größte Problem, das gelöst werden muss, ist die Unterbringung des Wassertanks. Durch den Einbau der verschiedenen Aktoren sowie der Autobatterie wurde in der Aluminiumkiste bereits viel Platz verwendet. Ein speziell an den verfügbaren Platz angepasster Tank kann zudem nicht mittels 3D-Drucker hergestellt werden, da die Drucke nicht wasserdicht sind. Ein herkömmlicher und einbaubarer Wassertank könnte daher nur wenige Liter fassen.

Ein weiteres Problem betrifft die Dichtigkeit des Tanks und der Pumpe. Beim Transport der Aluminiumkiste könnte eine große Menge Wasser leicht austreten. Aufgrund der Leitfähigkeit des Wassers könnten die Elektronikkomponenten Schaden nehmen. Dies wäre jedoch nicht so gravierend, da die Elektronik lediglich durchbrennen und der Stromkreislauf unterbrochen würde. Allerdings besteht bei der Aluminiumkiste die Gefahr, dass sie vollständig unter Strom gestellt wird. Dadurch würde sogar eine potenzielle Lebensgefahr entstehen, wenn man die Kiste berührt.

Um die Sicherheit zu erhöhen, wird der Wassertank deshalb außerhalb der Kiste platziert und der Zulauf erfolgt durch eine seitliche Öffnung an der Kiste. Die Pumpe befindet sich jedoch weiterhin innerhalb der Kiste, um sie vor den äußeren Witterungsbedingungen zu schützen. Sie wird durch einen gedruckten Spritzschutz räumlich von den anderen Aktoren und der Spannungsversorgung getrennt. Der 3D-Druck ermöglicht jedoch keinen vollständigen Schutz, da er nur gegen geringe Wassermengen dicht hält. Spritzwasser und kleinere Leckagen durch die Pumpe können jedoch bewältigt werden.

Vor dem Einbau in die Kiste wurde ein Dichtigkeitstest der Pumpe und des Spritzschutzes durchgeführt. Dabei traten nur bei bestimmten Bedingungen, wie dem seitlichen Legen oder Schütteln der Pumpe, geringe Mengen Wasser aus der Pumpe aus. Daher sollte der gedruckte Spritzschutz einen ausreichenden Schutz bieten.

4.1.3. Mikrocontroller

Durch die derzeitigen Liefermangel an Mikrocontrollern ergab sich die Auswahl eines passenden Mikrocontrollers für den Einsatz im Abschrecksystem ebenfalls als schwierig. Getestet worden sind drei verschiedene Controller mit unterschiedlichen Erfolg, welche hier beschrieben werden.

Eine weitere Anforderung an das Abschrecksystem besteht darin, den Einsatz von *Stereo Vision* für das korrekte Zielen zu ermöglichen. Alle drei Mikrocontroller sind daher mit zwei Camera Serial Interface (CSI)-Anschlüssen ausgestattet. Dies war von besonderer Bedeutung, da Multi-Camera Adapter wie von *ArduCam* ([9]) und auch USB-Kameras keine ausreichende Zeitsynchronität und Anpassbarkeit an das System ermöglichen. Nicht synchronisierte Kameras verfälschen die Tiefenberechnung sehr. Ein genaues Zielen wäre demnach nicht länger möglich wie aus der Arbeit von Shimizu und Co. hervorgeht. [36].

Durch den direkten Anschluss an die CSI-Anschlüsse wird dieses Delay minimiert. Die Mikrocontroller unterstützen teilweise die zeitgleiche Aufnahme von Bildern auf beiden CSI-Anschlüssen. Im Falle des *Jetson Nanos* ist eine Zeitsynchronität jedoch nicht vollständig gewährleistet. Dies geht aus dem *ArduCam* Artikel von [21] hervor. Ein eigener Test ergab jedoch, dass die Kameras ausreichend synchron Bilder aufnehmen. Die Tiefenberechnung wäre demnach nicht zu stark beeinträchtigt, wie es mit dem *MultiCam* Adapter der Fall wäre.

Um die Versorgungsspannung der 12V Autobatterie nutzen zu können, wird ein Spannungswandler benötigt, da die Mikrocontroller mit 5V betrieben werden. Der Spannungswandler muss in der Lage sein, kurzfristig eine ausreichende Leistung bereitzustellen. Bei der Objekterkennung können für einen kurzen Zeitraum hohe Leistungsabfragen entstehen. Wenn die Leistung dann nicht schnell genug bereitgestellt werden kann, kann es zum Zwangsabschaltungen des Mikrocontrollers kommen. Dadurch könnte auch der Controller selbst Schaden nehmen.

Beim Aufsetzen und Testen des Jetson Nanos kam es wiederholt zu Stromabschaltungen. Der Nano wurde dabei mit einem Raspberry Pi Netzteil betrieben, das eine angegebene Leistung von 12,5 Watt hatte und daher für den Einsatz geeignet schien. Jedoch traten bei hohen Anforderungen, wie der gleichzeitigen Objekterkennung auf beiden Kameras, dennoch Stromabschaltungen auf. Im Gegensatz dazu traten beim Betrieb mit dem Spannungswandler und der Autobatterie keine unerwünschten Abschaltungen auf. Dies lag vermutlich daran, dass der einstellbare Spannungswandler von *AzDelivery* laut den Angaben in [3] bis zu 60 Watt Leistung für den Mikrocontroller bereitstellen kann.

Radxa CM 3

Durch den Liefermangel bestimmt waren Ende 2022 keine der nachfolgend beschriebenen Mikrocontroller verfügbar. Daher ist das vom chinesischen Startup Radxa vertriebene *Radxa Compute Module 3* für den Einsatz im Abschrecksystem getestet worden. Der Mikrocontroller zeichnet sich besonders durch die eingebaute Neural Processing Unit (NPU) sowie die verwendete Hardware wie Serial AT Attachment (SATA)-/USB 3.0-Anschlüsse und die Anzahl von 50 General Purpose Input/Output (GPIO)-Pins aus. [33]

Allerdings war das eigens für das CM 3 konzipierte *IO Board* zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht erhältlich. Laut *Radxa* ist das CM 3 jedoch kompatibel mit dem *Raspberry Pi 4 IO Board*. Mit diesem Board kann das CM 3 jedoch nur mit eingeschränkter Hardware genutzt werden.

Radxa bietet ein eigenes Betriebssystem für die Verwendung mit dem Raspberry Pi (RPi) IO Board an. Bei der Einrichtung des Systems traten jedoch bereits Probleme auf. Zunächst konnte der Embedded Multi Media Card (eMMC)-Speicher nicht erfolgreich geflasht

werden. Nur mit erhöhtem Aufwand war die Inbetriebnahme möglich.

Im weiteren Betrieb traten weitere Probleme auf. Verschiedene Anwendungen und die Steuerung der Hardware (wie Kameras und GPIO-Pins) waren sehr fehleranfällig und stürzten wiederholt ab.

Auch konnte die NPU des CM 3 leider nicht mit den gängigen ML-Frameworks wie Tensorflow genutzt werden. Stattdessen bietet *Radxa* eine auf Linux basierende Toolchain an, um ML-Projekte den Zugriff auf die NPU zu ermöglichen. Die Einrichtung dieser Toolchain gestaltet sich jedoch als sehr umständlich, und viele Nutzer haben im *Radxa*-Forum um Hilfe gebeten. [33]

Aufgrund dieser Probleme konnte das *Radxa Compute Module 3* nicht für das Abschrecksystem verwendet werden.

Raspberry Pi CM 3

Auch RPi-Geräte sind von Lieferengpässen betroffen. Die Geräte sind entweder nicht verfügbar oder nur zu überhöhten Preisen erhältlich. Glücklicherweise hatte das Unternehmen *softwareinmotion* noch ein CM 3+ auf Lager, dass für die Studienarbeit ausgeliehen werden konnte.

Es ist jedoch zu beachten, dass das CM 3 bereits veraltet ist, da seit 2020 das CM 4 auf dem Markt ist. Der Hauptunterschied besteht darin, dass das CM 3 mehr GPIO-Pins hat, jedoch nur mit 1 GB DDR2 RAM erhältlich ist. Das CM 4 hingegen verfügt über 1 bis 8 GB DDR4 RAM und ist mit USB 3.0 ausgestattet. [46]

Die CM-Mikrocontroller haben vor allem deshalb an Beliebtheit gewonnen, weil sie die Möglichkeit bieten, eigene Carrier Boards zu entwerfen. Diese Boards eröffnen neue Flexibilität, um die Hardware an spezifische Anforderungen anzupassen und maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln. Ein Beispiel dafür ist der *StereoPi*, ein Carrier Board, der für die CM Reihe entwickelt wurde. Der *StereoPi* beschränkt Größe und Funktionalität des Compute Module auf die Stereo-Vision-Funktion, was ihn für bestimmte Anwendungen, wie die Tiefenberechnung besonders geeignet macht. Das *StereoPi* Carrier Board hätte sich ideal für das Abschrecksystem geeignet. Bedauerlicherweise war es aufgrund der neuen Version und des Liefermangels nicht verfügbar, weshalb das standard Carrier Board von Raspberry Pi verwendet wurde. [37]

Der RPi CM 3+ ließ sich im Gegensatz zum CM 3 von *Radxa* problemlos in Betrieb nehmen. Allerdings ist es erforderlich, Jumper-Kabel an einige GPIO Pins anzuschließen, um die Kameras nutzen zu können. Zudem müssen die Kameras über ein RPi Zero Flachbandkabel mit dem CSI-Anschluss am CM verbunden werden. [28]

Der CM 3 Mikrocontroller eignet sich daher für den Betrieb, wurde jedoch aus anderen Gründen, die in Kapitel 4.4.5 beschrieben sind, nicht verwendet.

Nvidia Jetson Nano

Der Jetson Nano Mikrocontroller hat eine ähnliche Größe und Form wie die Standard RPis. Im Vergleich zu den RPis verfügt der Jetson Nano jedoch nicht über WLAN oder Bluetooth. Dennoch besitzt er einen entscheidenden Unterschied: eine integrierte Grafikkarte. Aufgrund dieser Grafikkarte eignet sich der Jetson Nano besser für Aufgaben im Bereich des Machine Learnings. [31]

Grafikkarten (GPUs) spielen eine essenzielle Rolle bei der Anwendung von ML in der IT-Branche. Sie ermöglichen die parallele Verarbeitung von Daten und speziell Matrixoperationen. Diese Operationen werden in ML-Algorithmen und DNNs intensiv verwendet. Im Vergleich dazu können herkömmliche CPUs diese Operationen nur mit erheblichem Rechenaufwand bewältigen. Die hohe Rechenleistung und Parallelverarbeitungsfähigkeit von GPUs machen sie daher attraktiv bei ML-Anwendungen. Auch ermöglichen sie eine verbesserte Manipulation und Auswertung von Bilddaten. Dies ist besonders vorteilhaft für das Abschrecksystem, da es in Echtzeit Bilder verarbeiten soll. Die Graphics Processing Unit (GPU)-basierte Verarbeitung kann dabei helfen, die Objekterkennung und Bewegungserfassung effizient auszuführen. Dadurch kann das Abschrecksystem schneller und präziser auf die Kleintiere reagieren. [32]

Dennoch traten auch bei diesem Mikrocontroller Probleme auf, wie später in verschiedenen Kapiteln beschrieben wird. Der Jetson Nano hat sich jedoch aufgrund seiner Leistungsfähigkeit als „*Mini AI-Rechner*“ für das Abschrecksystem am besten geeignet.

4.1.4. Sensorik-Kameras

Viele unliebsame Kleintiere sind nachtaktiv. Daher muss das Abschrecksystem auch unter schwierigen Belichtungsbedingungen, insbesondere bei Nacht, die Kleintiere ebenso gut erkennen können wie bei Tageslicht. Aus diesem Grund ist es erforderlich, dass die eingesetzten Kameras eine Nachtsichtfunktion besitzen. Dafür werden infrarotsensible Kamerasensoren verwendet. Für den Raspberry Pi gibt es eine Variante der *OV5647*-Kamera, die für diese Anwendung geeignet ist. Bei der "NachtsichtVariante fehlt im Vergleich zur herkömmlichen Variante der Infrarotfilter. Im Tageslicht enthalten sind nämlich Infrarotstrahlen, die sonst für Rotstich-Aufnahmen sorgen.

Doch allein dadurch ist es noch nicht möglich, auch bei Nacht „sehen“ zu können, da es nachts keine natürliche Infrarotstrahlung durch das Sonnenlicht gibt. Die Nachtsichtvariante

der *OV5647*-Kamera ist daher mit zwei zusätzlichen Infrarotstrahlern ausgestattet. Dadurch entsteht jedoch ein neues Problem: Rotstich-Aufnahmen führen sowohl tagsüber als auch nachts zu einer Verschlechterung der Bildqualität, was auch die Objekterkennung beeinträchtigen könnte. Um tagsüber keinen Rotstich zu erhalten, verfügt die *OV5647*-Kamera über einen zuschaltbaren Infrarotfilter. Bei Nacht lässt sich der Rotstich dennoch nicht vollständig vermeiden. [44]

Die Kameratasoren sind jedoch nicht für den Jetson Nano geeignet, da laut einem Eintrag im Nvidia-Forum aus dem Jahr 2021 die Verarbeitung der reinen Kameradaten nicht öffentlich zugänglich ist. [15]

4.2. Dreidimensionales Zielsystem

Für das dreidimensionale Zielsystem ergaben sich mehrere Herausforderungen. Einerseits musste eine präzise Steuerung des Zielsystems gewährleistet sein, andererseits musste die Reichweite von zehn Metern für den *Wasserwerfer* erreicht werden.

Die präzise Steuerung ist insbesondere wichtig, da nur das anvisierte Ziel mit Wasser getroffen werden soll und nicht alles herum mit Wasser bespritzt wird. Dies ermöglicht es, Wasser nicht zu verschwenden und einen maximalen Vertreibungseffekt zu erzielen.

In Tabelle 3.1 sind einige Elektromotoren und ihre Vor- und Nachteile beschrieben. Die Elektromotoren eignen sich alle für den Einsatz im Zielsystem, haben aber Nebeneffekte, die bei der Auswahl mit berücksichtigt worden sind.

Bei den Schrittmotoren stellte die präzise Ansteuerung ein Problem dar, da gängige Varianten nur eine Schrittweite von $1,9^\circ$ haben. Dies würde zwar ausreichen, um größere Tiere gezielt anvisieren zu können, jedoch würde bei einer Entfernung von zehn Metern jeder Schritt eine Bewegung von 33 cm verursachen. Daher wäre ein Untersetzungsgetriebe erforderlich. Aufgrund des begrenzten Raums für das Zielsystem ist jedoch eine Implementierung eines solchen Getriebes nicht ohne weiteres möglich.

Auch die DC-Elektromotoren konnten nicht verwendet werden, da auch ihr Einbau viel Platz erfordern würde. Um die Elektromotoren präzise auf eine bestimmte Position zu fahren, wären zudem Positionssensoren erforderlich. Sie müssten im Zielsystem verbaut werden und würden einen umfangreichen Aufbau erfordern. Darüber hinaus müssten für beide Motortypen zusätzliche Treiberplatinen beschafft und eingebaut werden, was die Kosten erhöhen und viel Platz in Anspruch nehmen würde.

Deshalb wurden kleine Servomotoren für das Zielsystem verwendet. Die eingebauten Servomotoren von *Seamuing* sind normalerweise für den Einsatz in RC-Modellen vorgesehen,

verfügen jedoch mit 245 N/cm über ein sehr hohes Drehmoment. Dieses Drehmoment wird benötigt, um den Gegenkräften des Wassers beim Zielen standzuhalten. Die Servos ermöglichen zudem eine präzise Auflösung von 0,09°. Somit wäre selbst im äußersten Zielbereich nur eine Abweichung von wenigen Zentimetern zu erwarten. Die Servos können zudem einfach über PWM angesteuert werden, sind jedoch nur im Bereich von 0° bis 180° einstellbar. [8]

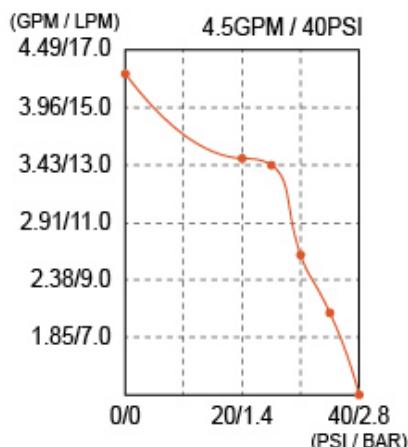
Die Servomotoren werden jedoch mit der im Modellbau üblichen Spannung von 7,4V betrieben. Hierfür eignet sich derselbe Spannungswandler, der auch für den Mikrocontroller verwendet wird. Bei dem verwendeten Spannungswandler kann nämlich die Ausgangsspannung über eine Stellschraube angepasst werden.

Die zweite Herausforderung bestand darin, die geeignete Wasserpumpe zu finden und einzustellen. Hierbei wurde, wie im Kapitel 4.1.2 beschrieben, die Hausleitung und Sprinkleranlagen als Orientierung genutzt.

Für die Zielberechnung wurde ebenfalls auf bestehende Sprinklersysteme zurückgegriffen. Deren Düsenöffnungen haben nur einen Durchmesser von wenigen Millimetern. Daher wurde der Durchmesser des "Laufsäuf zwei Millimeter verengt. Ein Test ergab, dass mit dieser Einstellung und der verwendeten *SEAFLO* Pumpe eine Reichweite von 10 Metern erreicht werden kann.

Dennoch muss für das präzise anvisieren die Flugbahn des Wassers bestimmt werden. Um die Berechnung zu vereinfachen wird die Formeln für den *schrägen Wurf* angewendet, bei den äußeren Bedingungen wie Luftwiderstand und Windgeschwindigkeit nicht beachtet werden. Dabei wird die Formel nach dem Startwinkel umgestellt. Die benötigten Parameter für die Berechnung sind dann die *Anfangsgeschwindigkeit* sowie die *x*- und *y*-Koordinate des Ziels.

Um die Formel anwenden zu können, fehlt nur noch die Anfangsgeschwindigkeit. Nachfolgend in Kapitel 4.5.3 ist, wie die *x*- und *y*-Koordinate bestimmt werden können.



Um die Anfangsgeschwindigkeit zu bestimmen, wurde zunächst angenommen, dass die Pumpe nahe ihrer maximalen Leistung betrieben wird. Diese Annahme basiert auf den Tests mit der zwei Millimeter Öffnung, bei denen auch die Druckabschaltung der Pumpe getestet wurde. Dabei wurde festgestellt, dass die Pumpe nahe der Druckabschaltung von etwa 2,8 Bar betrieben wird.

Basierend auf dem Diagramm in Abbildung 4.2 lässt sich ableiten, dass die Pumpe bei dieser Einstellung eine Fördermenge von etwa 5 Litern pro Minute

Abbildung 4.2.: Diagramm der Fördermenge gegenüber des Drucks. [35]

haben sollte. Mit diesen Daten kann die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers berechnet werden. Dafür wird lediglich der Volumenstrom und der Querschnitt des Laufs benötigt. Allerdings ergibt die Formel

$Geschwindigkeit = \frac{Volumenstrom}{Strömungsquerschnitt}$ aus [11] keine korrekte Berechnung der Austrittsgeschwindigkeit, da ein Wert von über 265 Metern pro Sekunde berechnet wird. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Geschwindigkeit durch den Luftwiderstand stark reduziert worden ist.

Daher ist erneut die Formel für den *schrägen Wurf* verwendet worden und nach der Anfangsgeschwindigkeit aufgelöst worden. Dabei stellte sich heraus, dass die Anfangsgeschwindigkeit in etwa 10 Meter pro Sekunde beträgt.

Mit diesen Daten ist nun ein präzises anvisieren des Ziels möglich.

4.3. Ansteuerung

Zum Testen aller Funktionalitäten ist ein Arduino UNO verwendet worden. Der Arduino kann problemlos verwendet werden, um die Transistoren zu schalten und die Servomotoren zu steuern, da alle erforderlichen Bibliotheken bereits auf dem Board vorhanden sind. Der Testcode kann im Anhang unter A.1 eingesehen werden.

Der Arduino schaltet alle Aktoren - Ton, Licht, Pumpe und Servomotoren - in bestimmten Zeitabständen ein und aus. Währenddessen werden die Servomotoren in inkrementellen Schritten angesteuert und ein Hochfrequenzton an zwei Pins ausgegeben. Bei diesen Tests stellte sich jedoch heraus, dass der erzeugte Ton zu leise war, um die Tiere effektiv zu stören. Daher wurde eine Verstärkerplatine hinzugefügt, die eine Ausgangsleistung von bis zu zehn Watt ermöglicht. Aus den Informationen von [6] geht hervor, dass die Platine direkt ohne Spannungswandler von der Autobatterie mit Strom versorgt werden kann.

Der Verstärker verfügt über einen Klinkenanschluss. Da der *Jetson Nano* keinen Klinkenanschluss besitzt, wird ein USB-auf-Klinke-Adapter benötigt, um einen Ton abspielen zu können.

Der Jetson Nano besitzt 40 GPIO Pins, mit denen die Transistoren geschaltet und die Servomotoren bedient werden können. Der Nano verfügt aber nur über zwei PWM Pins. Eine Ansteuerung von mehr als zwei Servomotoren ist daher nicht möglich. [29]

Das Steuern der Aktoren wird durch die von *Nvidia* zur Verfügung gestellte *Jetson.GPIO* Python Bibliothek ermöglicht. [30]

Damit das Toggeln der Pins die Objekterkennung nicht blockiert, wurde eine threadbasierte Klasse erstellt, die jedem Pin einen eigenen Thread zuweist. Aus dem Hauptprogramm kann

das Toggeln jederzeit durch den Befehl `Pin.start_toggle()` gestartet und durch `Pin.stop()` pausiert werden. Auch kann die Frequenz des Toggelns durch das Multithreading dynamisch in dem Thread selbst verändert werden. Besonders für die Änderung der Schaltfrequenz für das Abschrecklicht eignet sich diese Funktion.

Für die Steuerung der Servomotoren wurde eine ähnliche threadbasierte Klasse erstellt, bei der der Ansteuerungswinkel einfach und ähnlich wie im Arduino-Code aus A.1 angewendet werden kann.

Beim Testen der Toggle-Funktion wurde jedoch ein irreführendes Verhalten beobachtet. Das Schaltverhalten entsprach nicht immer den Vorgaben. Nach ausführlicher Fehlersuche und einen Blick in das Datenblatt des Jetson Nanos ergab, dass die Spannung, die an den meisten GPIO Pins anliegt, lediglich 1,8V beträgt und nur teilweise 3,3V. Die ausgewählten Transistortreiber sind jedoch für eine Schaltlogik von 3,3V bis 5V ausgelegt. Zudem wurde im Datenblatt der Transistoren festgestellt, dass bei Verwendung einer 3,3V-Logik der Strom auf unter 10 Ampere begrenzt werden sollte, da sich der Transistor sonst möglicherweise nicht abschalten lässt. Dieses Verhalten konnte beim Betrieb der Wasserpumpe festgestellt werden, da sie sich nur stark verzögert ausschaltete.

Es traten noch weitere Probleme bei der Verwendung der PWM-Steuerung der Servomotoren auf. Es schien, als ob die Servomotoren kein gültiges Signal vom Nano erhielten und keinerlei Bewegung zeigten. Bei der Messung der PWM stellte sich heraus, dass keine PWM erzeugt wurde. Selbst die Troubleshooting-Anleitungen von Nvidia brachten keine Lösung. In einigen Fällen wurde sogar versucht, wie von Nikola Jelic in [22] beschrieben, Registereinträge auf dem Nano vorzunehmen. Leider führten auch diese Versuche nicht zum gewünschten Erfolg. Daher muss für die Steuerung der Servomotoren eine alternative Lösung gefunden werden.

Doch durch den Versuch die PWM auf den Nano zu verwenden traten noch weitere Nebeneffekte auf. Das Toggeln der Pins war nicht mehr bis zum neustarten des Nanos möglich. Deshalb wurde die gesamte Hardwareansteuerung auf den Arduino UNO ausgelagert. Dieser hatte sich bereits durch den Funktionstest bewährt.

Für die Ansteuerung der Aktoren durch den Arduino wurde das Testprogramm aus A.1 angepasst. Der Arduino kann nun über den seriellen Port (USB) Befehle und Werte für die Steuerung des Zielsystems empfangen. Das Toggeln der Aktoren liegt vollständig in der Verantwortung des Arduino. Sobald er Werte für die Ansteuerung der Servomotoren erhält, wird er aktiv und steuert die Aktoren an. Die Steuerung wird solange ausgeführt, bis das Kommando „g“ vom Nano empfangen wird. Das „g“ steht dabei für *gone* und signalisiert, dass das Ziel den Zielbereich verlassen hat.

Auf der Seite des Jetson Nanos wurde außerdem eine threadbasierte Steuerung für den Arduino entwickelt. Die serielle Kommunikation mit dem Arduino benötigt deutlich mehr Zeit als die vorherige direkte Ansteuerung über die GPIO-Pins, weshalb das Multithreading

unbedingt erforderlich ist. Der Effekt auf die zeitliche Interferenz mit der Objekterkennung ist jedoch gering und es konnte keine signifikante Verbesserung durch das Multithreading festgestellt werden.

Den gesamten Schaltplan können Sie in Abbildung 4.3 einsehen. Die Kamerasensoren werden über den Jetson Nano betrieben und ihre Steuerung erfolgt hauptsächlich über Software. Daher werden sie erst in den nachfolgenden Kapiteln genauer beschrieben.

4.4. Objekterkennung und -Verarbeitung

Der Haupteil der Arbeit bestand in der Entwicklung der Software, insbesondere der Implementierung der Objekterkennung und der Interaktion und Synchronisation der Kameras. Für das Training und Deployment der Objekterkennung wurden hauptsächlich Frameworks verwendet. Dennoch wurden auch einige Hilfsprogramme entwickelt und eingesetzt, welche im Folgenden beschrieben werden.

Für die Objekterkennung wurden verschiedene Modelle verwendet. Darunter zwei Modelle aus dem *TensorFlow Model Zoo* und ein Modell von Google für ihren USB-Accelerator *Coral*.

Überwiegend wurde jedoch mit dem *YOLOv8*-Objekterkennungsmodell gearbeitet. Dieses Modell bot klare Vorteile gegenüber den anderen Frameworks. Insbesondere das sehr einfache Setup für das Training sowie die Exportmöglichkeit in verschiedene ML-Formate überzeugten. Eine detaillierte Beschreibung dieser Vorteile wird im weiteren Verlauf gegeben.

4.4.1. Ordner- und Datenstruktur

4.4.2. Sammlung der Trainingsdaten

Zu Beginn der Arbeit wurde zunächst nach vergleichbaren Modellen und Datensätzen für die *Objekterkennung* gesucht. Dabei fiel auf, dass es für einige unliebsame Kleintiere wie den *Marder* leider keine geeigneten Datensätze gab.

Es gab jedoch bereits ein Modell für die Objekterkennung von Waschbüren. Dat Tran hatte im Jahr 2017 ein TensorFlow-Lite-Modell für die Erkennung von Waschbüren erstellt. Allerdings hatte er bei der Entwicklung eine andere Absicht. Die Tiere waren seine Lieblingstiere und er wollte wissen, wann ein Waschbär vor seiner Haustür auftaucht. [42]

Mit etwas anderer Absicht lässt sich dies aber auch für die Studienarbeit nutzen, da Dat Tran seine 200 handgelabelten Bilder online zur Verfügung gestellt hat. Diese können für die Objekterkennung des Waschbären verwendet werden und dienen als Grundlage für das Training des Modells in der vorliegenden Arbeit.

Die Anzahl der Bilder erscheint für eine erste Betrachtung und Einarbeitung in das Trainieren eines eigenen Objekterkennungsmodells als geeignet. Ein Vergleich der Trainingsmodelle kann in Kapitel 4.4.5 eingesehen werden.

Der Marder und der Waschbär waren aber nicht die einzigen Tiere, die aus dem Garten ferngehalten werden sollten. Auch Katzen, Füchse und Eichhörnchen sollten aus dem Garten ferngehalten werden. Die Absicht, Katzen und Eichhörnchen fernzuhalten, begründet sich damit, dass wir Vogelliebhaber sind und verhindern möchten, dass diese Tiere die Vögel stören oder ihnen schaden.

Bei den Füchsen sieht es ähnlich aus. Sie sollen von den heimischen Beeten ferngehalten werden, da sie bekanntermaßen Krankheiten übertragen können und somit eine potenzielle Gefahr darstellen.

Um auch Marder und andere Tiere in die Erkennung aufzunehmen, wurden mehrere Datenlabeling-Programme getestet. Das Programm *Label Studio* hat dabei am meisten überzeugt.

Label Studio bietet einen interaktiven Workflow und ermöglicht die Zusammenarbeit mehrerer Personen an einem Projekt. Tasks können verschiedenen Personen zugewiesen und übersichtlich dargestellt werden. Die benutzerfreundliche Drag-and-Drop-Oberfläche erleichtert das Labeln von Bildern und das Zeichnen von Bounding Boxes. Ein Beispiel für das Labeln eines Bildes wird in Abbildung 4.4.2 exemplarisch dargestellt. Es ist jedoch zu beachten, dass das Bild bereits zu einem späteren Zeitpunkt der Studienarbeit stammt, bei dem das Abschreckssystem bereits funktionsfähig ist. [19]

Die gelabelten Daten stehen anschließend in dem XML-basierten *Pascal VOC* Datenanotierungsformat zur Verfügung.

Das Problem beim manuellen Erstellen solcher Datensätze ist jedoch, dass dies viel Zeit in Anspruch nimmt. Ein ausreichend großer Datensatz kann daher innerhalb des vorgegebenen Zeitrahmens nicht erstellt werden. Aus diesem Grund wurde die Suche nach zusätzlichen Datensätzen erneut aufgenommen.

Dabei stachen die Daten von *Google Open-Images-V7* heraus. Der Datensatz enthält 16 Millionen Bounding Boxes auf 1,9 Millionen Bildern. Von den 600 verfügbaren Klassen sind auch die für die Arbeit relevanten Tiere enthalten. Allerdings ist ihre Verteilung ungleichmäßig. Ein Großteil der relevanten Bilder handelt von Katzen, während es weniger als tausend Bilder von Waschbären gibt. Daher ist zu erwarten, dass die Waschbären im Endprodukt schlechter erkannt werden als die Katzen. [17]

Von den 1,9 Millionen Bildern in *Google Open-Images-V7* sind nur etwa 17.000 für das Abschreckssystem relevant, da sie Waschbären, Katzen, Füchse oder Eichhörnchen enthalten. Nur diese Bilder sollten dem Datensatz hinzugefügt werden.

Hier kommt *FiftyOne* ins Spiel. *FiftyOne* ist eine Open-Source-Bibliothek und Plattform zur Datenanalyse von Computer-Vision-Modellen. Eine Funktion von *FiftyOne* ist das Extrahieren und Herunterladen von Computer-Vision-Datensätzen.

Allerdings werden die Bilder und Bounding Boxes nicht getrennt von den nicht benötigten Daten heruntergeladen. Stattdessen werden CSV-Dateien heruntergeladen, die alle Bounding Boxes aufgeteilt in Train-, Test- und Devset enthalten. Diese CSV-Dateien werden anschließend von *FiftyOne* ausgewertet, und die entsprechenden Bilder werden nachträglich heruntergeladen. [41]

Das Herunterladen der Bilder kann je nach Bandbreite des Netzanbieters eine sehr lange Zeit in Anspruch nehmen. Besonders da die Größe der CSV-Datei, die alle Trainingsdaten beschreibt, bereits mehr als 2,1 GB groß ist. Zusätzlich zur Download-Zeit der CSV-Dateien kommt die Auswertungszeit hinzu, um festzustellen, welche Bilder heruntergeladen werden sollen, sowie die Download-Zeit der eigentlich ausgewählten Bilder.

Nach dem Herunterladen der ausgewählten Bilder und den dazugehörigen Bounding Boxes steht der Datensatz immer noch nicht direkt zur Verwendung bereit. Die Bounding Boxes sind zwar vorhanden, jedoch sind sie weiterhin mit allen anderen Bounding Boxes kombiniert. Dabei beträgt die Größe der CSV-Datei für die Trainingsdaten 2,1 GB, was der Hälfte des Speicherplatzes der heruntergeladenen Bilddaten entspricht.

Weitere Schritte sind daher erforderlich, um den Datensatz für das Training verwenden zu können. Unter dem Skriptordner ist daher ein in *Rust* geschriebenes Konvertierungsprogramm mit der Bezeichnung *csv_conv* abgelegt. Dieses Skript konvertiert die heruntergeladenen CSV-Dateien in ein CSV-Format, das mit *TensorFlow* kompatibel ist. Dabei werden auch alle nicht relevanten Bilddaten und Bounding Boxes herausgefiltert. Die Größe der resultierende CSV-Datei, die alle Trainings-, Test- und Devset-Bounding Boxes enthält, beträgt danach weniger als 1 MB.

Zusätzlich wurden irrelevante Daten entfernt, wie die Datenquelle sowie die Informationen *IsOccluded*, *IsTruncated*, *IsGroupOf*, *IsDepiction*, *IsInside* und die *Confidence*. Die *Confidence* gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Objekt erkannt wurde. Jedoch spielt dieses Feld nur eine Rolle, wenn ein Objekterkennungsmodell die Bounding Box vorhersagen würde. Da dies bei den vorliegenden Daten nicht der Fall ist, kann das Feld ebenfalls gelöscht werden.

Durch die Deserialisierung können diese Felder automatisch ohne Mehraufwand in der Programmierung entfernt werden. Als ein letzter Schritt werden danach die Bounding Box Daten, welche in Prozent angegeben sind, in eine Ganzzahl konvertiert und die Klasse des Objektes von einer ID zu einem Namen (zum Beispiel *Raccoon*) aufgelöst.

Nun gibt es jedoch ein weiteres Problem: Die Daten von Dat Tran und die von *Google-Open-Images* liegen in unterschiedlichen Dateiannotierungsformaten vor. Allerdings hat Dat Tran in [42] bereits ein Python-Skript mit dem Namen *xml_to_csv* erstellt, das die XML-Dateien in eine CSV-Datei konvertiert. Dieses Skript wurde an dieser Stelle verwendet und befindet sich ebenfalls im Skriptordner.

Mit den nun vorliegenden Daten kann die Objekterkennung angegangen werden.

4.4.3. Training

In der Studienarbeit wurden drei verschiedene Frameworks verwendet, um verschiedene Objekterkennungsmodelle hinsichtlich ihrer Inferenzzeit und Genauigkeit zu evaluieren. Im Folgenden sind die Workflows beschrieben, die für das Training der Modelle erforderlich sind.

TensorFlow Model Zoo

TensorFlow bietet zwei Möglichkeiten, Modelle für die Objekterkennung zu trainieren. Zum einen kann ein eigenes Modell mithilfe der *Keras*-API definiert und trainiert werden. Zum anderen besteht die Möglichkeit, vortrainierte Modelle aus ihrer Modellsammlung *Model Zoo* weiter zu trainieren und auf die eigene Nutzung anzupassen.

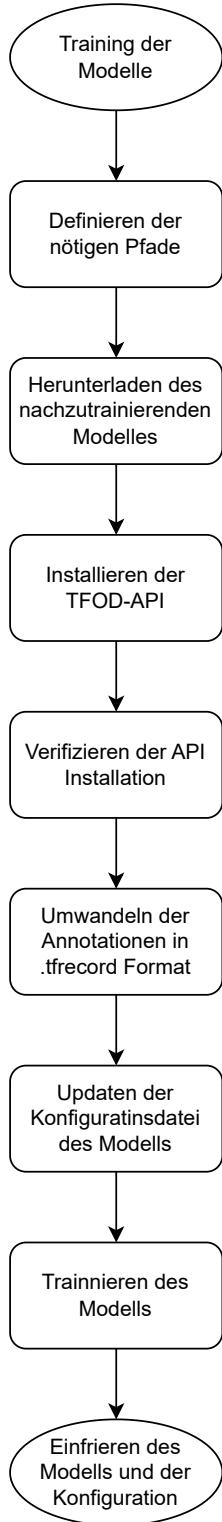
Wie später in Kapitel 4.4.3 beschrieben wird, eignen sich vortrainierte Modelle besser für die Entwicklung der Objekterkennung im Abschrecksystem, da sie während des Trainings schneller eine höhere Genauigkeit erreichen.

In der TensorFlow-Bibliothek sind auch die Inferenzzeit und Genauigkeit der vortrainierten Modelle auf dem *COCO-2017*-Datensatz angegeben. Dadurch kann ein Entwickler bereits entscheiden, welche Modelle für das Anwendungsgebiet relevant sein könnten. Bei den meisten Modellen steigt die Genauigkeit mit der Ausführungszeit und Bildgröße. Das genaueste Modell im Model Zoo ist das *EfficientDet*-Modell mit einer mean Average Precision (mAP) von 51,2. Das Modell ist mit Bildern der Größe 1536x1536 Pixel trainiert worden.

Das schnellste Modell, welches auf eine Bildgröße von 320x320 Pixel trainiert worden ist, ist das *CenterNet MobileNetV2*-Modell mit einer Ausführungszeit von nur 6 Millisekunden. Obwohl es nur etwa 2 Prozent der Ausführungszeit des *EfficientDet*-Modells benötigt, fällt die Genauigkeit auf unter 24 mAP ab.

Basierend auf diesen Werten wurde entschieden, dass die beiden Modelle *SSD MobileNet V2 FPNLite 320x320* und *EfficientDet D0 512x512* für das Abschrecksystem in Betracht

gezogen werden sollen. Diese Modelle weisen eine geringe Ausführungszeit auf und ihre Genauigkeit ist nicht zu niedrig. [16]



Der Aufwand, die Modelle nachzutrainieren, ist gering, da TensorFlow die erforderlichen Jupyter Notebooks in ihrem GitHub-Repository ([16]) hochgeladen hat. Mit kleinen Anpassungen kann das Notebook für das Training des Abschrecksystems verwendet werden. Der Ablauf eines Trainings mit dem Jupyter Notebook ist in dem Programmablaufplan (PAP) in Abbildung 4.4.3 dargestellt.

Zunächst müssen alle erforderlichen Pfade definiert und die entsprechenden Ordnerstrukturen erstellt werden. Ein Großteil dieser Ordnerstrukturen wurde bereits mithilfe des Python-Skripts aus Kapitel 4.4.1 erzeugt. Es ist lediglich die spezifische Benennung des Modells erforderlich.

Anschließend wird das vortrainierte Modell heruntergeladen, sowie die TensorFlow Object Detection API installiert.

Bevor das Training beginnen kann, müssen die Annotationsen, die in der Trainings-CSV-Datei enthalten sind, in das TFRecord-Format umgewandelt werden. TensorFlow bietet hierfür ein Python-Skript an. Allerdings musste dieses Skript angepasst werden, da es nicht direkt verwendet werden konnte. Das angepasste Skript iordnest unter dem Skriptordner enthalten.

Anschließend wird die Konfigurationsdatei des zuvor heruntergeladenen Modells aktualisiert. Dies bedeutet, dass die Pfade zu den Bilddaten und der TFRecord-Datei angepasst werden müssen. Darüber hinaus können weitere Trainingsparameter geändert oder hinzugefügt werden. Zum Beispiel können auch Augmentierungen hinzugefügt werden und die Anzahl der Objekttypen kann an den Anwendungsfall angepasst werden.

Erst nach Abschluss dieser Schritte kann das Training gestartet werden. Die Installation der TensorFlow Object Detection API sollte jedoch nur einmal erforderlich sein. Für das Training wird dann nur noch die Anzahl der Trainingsschritte benötigt. Diese gibt an, wie lange und intensiv das Modell nachtrainiert werden soll. Basierend auf der angepassten Konfigurationsdatei wird das Nachtraining gestartet.

Abbildung 4.5.: PAP TensorFlow Nach-training

Nach Abschluss des Trainings wird das Modell eingefroren. Das eingefrorene Modell kann dann für die Objekterkennung verwendet werden.

Training für Google Coral

YOLOv8

Das Training auf *Google Colab*

Für das Trainieren der Modelle wurde zunächst *Google Colab* verwendet, allerdings ist die kostenlose GPU nicht besonders leistungsstark. Zum späteren Zeitpunkt konnte die DHBW für den Rahmen der Studienarbeit allerdings eine leistungsstarke GPU zur Verfügung stellen. Mit dieser konnte die maximale Trainingszeit von wenigen Stunden auf mehrere Tage ausgedehnt werden. Zudem verkürzte sich die Trainingszeit von einigen Stunden auf *Google Colab* zu weniger als 30 Minuten. Wodurch ein großer Performancesprung verfügbar war.

Allerdings hatte der Wechsel seine Nachteile. Da Rechte zum installieren aller Bibliotheken -TensorFlow (Objekterkennung API), EdgeTPU-Konvertierung und TensorFlow-Lite Model Maker- nicht ausreichend waren konnte nur noch YOLO-Modelle trainiert werden.

+ Mousklicker skript trick für colab

4.4.4. Deployment

Auch mit random 0 Byte Bilddaten/ fehlende XML-Dateien /leere XML-Dateien und das diese für weiteres Training verwendet werden können. Warum XML? Konvertierungsskript vorhanden, sowie falls 0 Byte Fehler wäre bissle schaud für der rest, weil die dann au weg wären

4.4.5. Benchmarks

4.4.6. Interferenzzeit

4.4.7. Erkennungsqualität

4.5. Zusätzliche Softwarekomponenten

4.5.1. Erkennung durch Kontur-tracking

4.5.2. Verbesserung der Bildqualität

4.5.3. Tiefenberechnung

4.6. Kostenaufstellung

Bauteil	Gesamtpreis in € (inkl. Mwst.)	Beschreibung
LED-Scheinwerfer	11.99	Die effizienten LED-Scheinwerfer sind für die Anwendung als Erweiterungsleuchten für das Fahrzeug gedacht. [7] Da die LEDs den hohen Belastungen beim Einsatz am Fahrzeug standhält, werden sie den Anforderungen an einem portablen Abschrecksystem gerecht. Sie werden als Blitzlicht für das Abschrecksystem verwendet.
Membranpumpe	73.35	Membranpumpen sind bei einfachen und kostengünstigen Anwendungen vertreten. Durch den geringen Verschleiß und einfache Wartbarkeit werden sie häufig in Frisch- und Abwasseranwendungen eingesetzt. [43] In der Arbeit wird die Pumpe wegen ihrem geringen Verschleißes und Anschaffungskosten verwendet.

Fortsetzung auf nachfolgender Seite

Fortsetzung von vorheriger Seite

Solarpanel	69.99	Das Solarmodul wird verwendet um die Portabilität und Autarken Eigenschaften der Abschrecksystems zu gewährleisten. Solange Sonnenlicht am Einsatzort verfügbar ist, kann das Abschrecksystem mit ausreichend Energie versorgt werden um die unliebsamen Kleintiere zu erkennen.
Autobatterie	59.90	Kombiniert mit dem Solarmodul versorgt die Batterie das Abschrecksystem mit der nötigen Energie. Tagsüber wird sie mithilfe des Solarmoduls aufgeladen, während sie Nachts das System mit Energie versorgt. [2]
Diverse Kleinteile	25 + X	Diverse Kleinteile werden in der Arbeit verwendet. Auch die Transistoren, die verwendet werden um die verschiedenen Aktoren an- und auszuschalten fallen unter dieser Kategorie. Aber auch die Räder, Schläuche, Kabel, Steckverbindungen und Schrauben werden hier miteinberechnet. Zusätzlich kommen die, für das Abschrecksystem angefertigten 3D-gedruckten Elemente hinzu.
Aluminiumkiste	109 DM	Die Aluminiumkiste ist Witterungsfest und besitzt eine gute Wärmeableitung. Alle Aktoren und Gerätschaften können in ihr vor Witterungsbedingungen geschützt untergebracht werden.

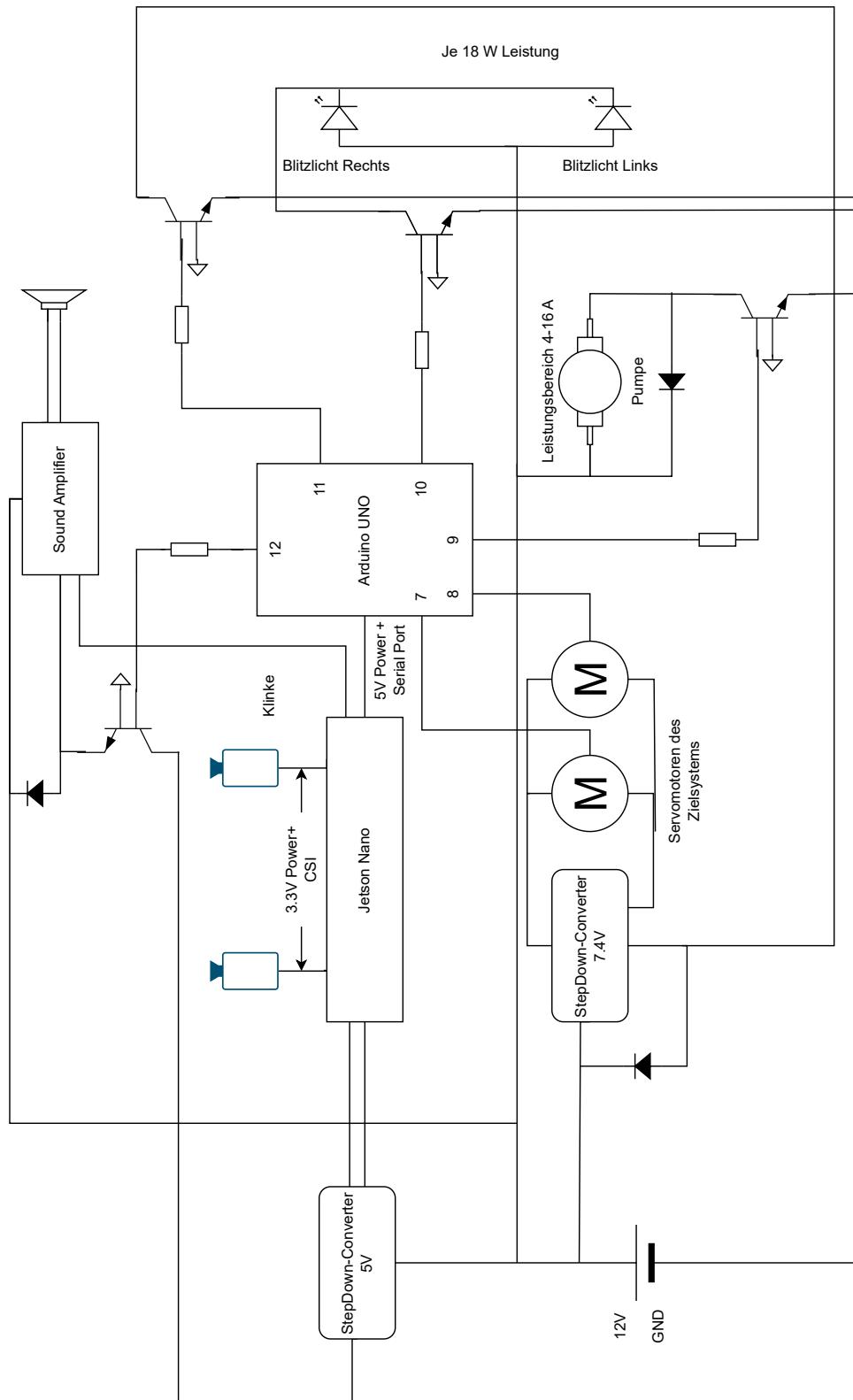


Abbildung 4.3.: Schaltplan der Hardware

4. Umsetzung

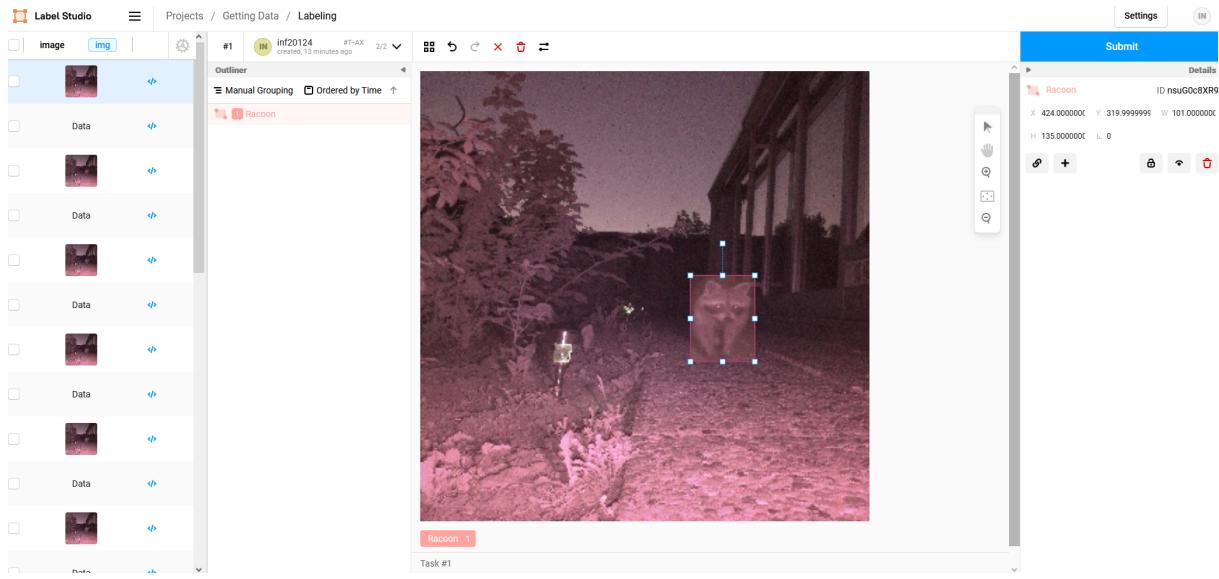
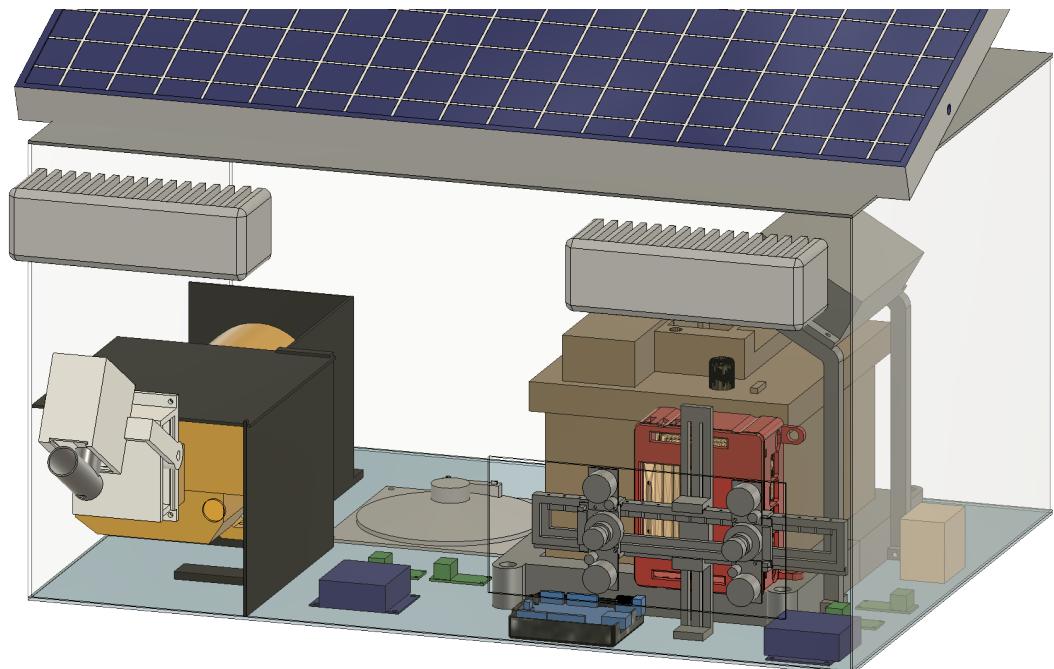


Abbildung 4.4.: Einzeichnen einer Bounding Box mit dem Programm Label Studio



5. Reflexion und Ausblick

Literatur

- [1] Hamid R. Alsanad u. a. „YOLO-V3 based real-time drone detection algorithm“. In: *Multimedia Tools and Applications* 81 (2022), S. 26185–26198. doi: [10.1007/s11042-022-12939-4](https://doi.org/10.1007/s11042-022-12939-4).
- [2] amazon. *Autobatterie 12V 50Ah 480A/EN BlackMax Starter*. URL: [https://www.amazon.de/Autobatterie-12V-440-BlackMax-ersetzt/dp/B01M4JDLZ2/ref=sr_1_2?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=1J6NCJAA6BK2P&keywords=bleiakku%2B12v%2B50ah%2Caps%2C105&sr=8-2&th=1](https://www.amazon.de/Autobatterie-12V-440-BlackMax-ersetzt/dp/B01M4JDLZ2/ref=sr_1_2?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=1J6NCJAA6BK2P&keywords=bleiakku%2B12v%2B50ah&qid=1667134113&qu=eyJxc2MiOiIyLjkwiwiicXNhIjojMS4zMCIisInFzcCI6IjAuMDAifQ%3D%3D&sprefix=bleiakku%2B12v%2B50ah%2Caps%2C105&sr=8-2&th=1).
- [3] amazon. „AZDelivery XL4016E1 DC-DC Step Down Buck Converter, Spannungsregler, Spannungswandler Einstellbar 5-40V auf 1,2-36V 12A Step Down Board kompatibel mit Arduino inklusive E-Book!“ In: (2023). URL: https://www.amazon.de/AZDelivery-Spannungsregler-Spannungswandler-Einstellbar-kompatibel/dp/B08T12J8KL/ref=sr_1_4?keywords=step%2Bdown%2Bconverter%2B10a&qid=1669129106&s=industrial&sPrefix=step%2Bdown%2Bconverter%2B%2Cindustrial%2C123&sr=1-4&th=1.
- [4] amazon. „BOJACK schottky dioden 10SQ045 (10A 45V) axial 10SQ045 (10 Amp 45 Volt) für solarpanel serien parallele reflow schutzdiode (Packung mit 20 Stück)“. In: (2022). URL: https://www.amazon.de/BOJACK-schottky-solarpanel-parallele-schutzdiode/dp/B07SQCCZFH/ref=sr_1_18?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=2WQIJIQTL24QW&keywords=schottky+diode+TC-SB340&qid=1669630149&sPrefix=schottky+diode+tc-sb340%2Caps%2C87&sr=8-18.
- [5] amazon. *CQUANZX 5 STÜCKE DC 5 V-36 V 15 A 400 W Dual-Hochleistungs-MOSFET-Triggerschalter-Antriebsmodul 0-20 kHz PWM-Anpassung Elektronische Schaltersteuerplatine*. 2022. URL: https://www.amazon.de/CQUANZX-Dual-Hochleistungs-MOSFET-Triggerschalter-Antriebsmodul-PWM-Anpassung-Elektronische-Schaltersteuerplatine/dp/B07VRCXGFY/ref=sr_1_6?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=ZTG49FQ3EVNJ&keywords=RLB3036PBF+MOSFET&qid=1669628922&sPrefix=rlb3036pbf+mosfet%2Caps%2C76&sr=8-6.

- [6] amazon. *LM386 Super Mini Verstärkerplatine, 3V-12V Leistungsverstärker Rauscharmer Stromverbrauch für Lautsprecher Soundsystem DIY lm386 Verstärker*. 2023. URL: https://www.amazon.de/LM386-Super-Verst%C3%A4rker-Board-V-12-Power/dp/B07BW8GRTD?pd_rd_w=VoNcs&content-id=amzn1.sym.83e2f3cd-483e-4714-8593-69ff6b513968&pf_rd_p=83e2f3cd-483e-4714-8593-69ff6b513968&pf_rd_r=G63SWJES44QA73GCZQ8J&pd_rd_wg=e8igU&pd_rd_r=43beb5a0-f240-4f1a-9f88-d04814047f30&pd_rd_i=B07BW8GRTD&psc=1&ref_=pd_bap_d_grid_rp_0_1_ec_t.
- [7] amazon. *NAIZY 2 x 18 W LED Work Light Square Offroad Floodlight Work Light*. URL: https://www.amazon.de/gp/product/B09MQG1W7Q/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o08_s04?ie=UTF8&psc=1.
- [8] amazon. *RC Servo 25kg Digital Lenkservo - Standard Servo Wasserdicht High Torque Digitaler Metall Servomotor Waterproof Servos 180 Grad*. 2023. URL: https://www.amazon.de/dp/B08GLGJRK6/ref=promo_pdapsinfo?ie=UTF8&&psc=1&&m=AS8JK4HNTE2NO.
- [9] ArduCam. „Arducam Multi Camera Adapter Module V2.1 for Raspberry Pi 4 B, 3B+, Pi 3, Pi 2, Model A/B/B+, Work with 5MP or 8MP Cameras - Arducam“. In: (2023). URL: <https://www.arducam.com/product/multi-camera-v2-1-adapter-raspberry-pi/>.
- [10] Md. Shohel Arman u. a. „Detection and Classification of Road Damage Using R-CNN and Faster R-CNN: A Deep Learning Approach“. In: *Cyber Security and Computer Science*. Hrsg. von Touhid Bhuiyan, Md. Mostafijur Rahman und Md. Asraf Ali. Springer International Publishing, 2020, S. 730–741. ISBN: 978-3-030-52856-0. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-52856-0>.
- [11] Sabine Bschorer und Konrad Költzsch. *Technische Strömungslehre: Mit 262 Aufgaben und 31 Beispielen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021. ISBN: 978-3-658-30407-2. DOI: [10.1007/978-3-658-30407-2_6](https://doi.org/10.1007/978-3-658-30407-2_6).
- [12] bussgeldkatalog.org. *Marderschreck Vergleich 2022: Aktuelle Empfehlungen im Überblick*. 2022. URL: <https://testsieger.bussgeldkatalog.org/marderschreck/>.
- [13] Google Colab. *Willkommen bei Colaboratory - Colaboratory*. 2023. URL: https://colab.research.google.com/?utm_source=scs-index.
- [14] Dlf.Myyta. „Auto-tracking Water Blaster : 9 Steps - Instructables“. In: (2018). URL: <https://www.instructables.com/Auto-tracking-Water-Blaster/>.
- [15] nvidia forum. „does Jetson Nano support CSI camera with sensor ov5647?“ In: (2021). URL: <https://forums.developer.nvidia.com/t/does-jetson-nano-support-csi-camera-with-sensor-ov5647/74911>.

- [16] TensorFlow Model Garden. *TensorFlow Model Garden*. <https://github.com/tensorflow/models>. 2020.
- [17] Google. „Open Images V7“. In: (2023). URL: https://storage.googleapis.com/openimages/web/factsfigures_v7.html.
- [18] Plattenspieler Guru. „Wie viel Leistung sollte ein Verstärker haben?“ In: (2023). URL: <https://www.plattenspieler-guru.de/wie-viel-leistung-sollte-ein-verstaerker-haben/>.
- [19] Inc. Heartex. *Open Source Data Labeling / Label Studio*. 2023. URL: <https://labelstud.io/>.
- [20] Helen. „DC Motor vs Stepper Motor vs Servo Motor - Which to choose?“ In: (2019). URL: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/04/01/choosing-the-right-motor-for-your-project-dc-vs-stepper-vs-servo-motors/>.
- [21] Lee Jackson. „Synchronized? Issues& Solutions about the 2 Camera Connectors (J13& J49) on Jetson Nano B01 Dev Kit - Arducam“. In: (2020). URL: <https://www.arducam.com/jetson-nano-stereo-camera-sync-issue-arducam/>.
- [22] Nikola Jelic. *Strange behaviour with Jetson Nano DevKit PWM signal*. 2022. URL: <https://forums.developer.nvidia.com/t/pwm0-on-jetson-nano-rel-32-5-not-working/204037/26>.
- [23] Karl Jousten und Jürgen Dirscherl. „Oszillationsverdrängerpumpen“. In: *Handbuch Vakuumtechnik*. Hrsg. von Karl Jousten. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 1–20. ISBN: 978-3-658-13403-7. DOI: [10.1007/978-3-658-13403-7_13-1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-13403-7_13-1).
- [24] katzenverscheuchen. „Wasser Katzenschreck Sprinkleranlage - Katzen Verscheuchen“. In: (2023). URL: <https://www.katzenverscheuchen.de/wasser-katzenschreck/>.
- [25] Johann Kodnar. „1/2 Zoll vs. 3/4 Zoll Gartenschlauch - Wann benötigt man welchen und welche Unterschiede gibt es? - Gartenbewässerungs-Ratgeber mit Do-it-yourself-Tipps zur Planung, Kauf und Installation“. In: (2023). URL: <https://www.bewaesserung-selbst-bauen.de/1-2-zoll-vs-3-4-zoll-gartenschlauch-wann-benoetigt-man-welchen-und-welche-unterschiede-gibt-es.html>.
- [26] Raja Kraus. *Mitteldeutsche Landkreise reagieren auf Wasserknappheit*. 2022. URL: <https://www.mdr.de/nachrichten/deutschland/panorama/trockenheit-wasserentnahmeverbot-100.html>.
- [27] Hamid Laga u.a. *3D Shape Analysis : Fundamentals, Theory, and Applications*. John Wiley & Sons, Incorporated, 2019. ISBN: 9781119405191. URL: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/dhbw-stuttgart/detail.action?docID=5625418>.

- [28] Raspberry Pi (Trading) Ltd. *DATASHEET Raspberry Pi Compute Module 3+*. Techn. Ber. Raspberry Pi, 2019.
- [29] nvidia. *DATA SHEET: NVIDIA Jetson Nano System-on-Module*. Techn. Ber. 2022. URL: https://developer.download.nvidia.com/assets/embedded/secure/jetson/Nano/docs/JetsonNano_DataSheet_DS09366001v1.1.pdf?gfELa_1CRx9BgcBwEJ8Mk4oPbG4iiMUpANL5j0mWG-066jBzZy4znERTvSy84iRVGuQTSNNHCMpzEu_DRePb-Xip_qqt46ScuhZPdym0TK_3idcTKCx5QzTLEm1WWK9qjgIHxexIJGhsYXsPP0Ik-7vYN9Mu-bjiL6FXkyPQ061e_1LLsDlF35X35-Zuzg==.
- [30] nvidia. *GitHub - NVIDIA/jetson-gpio: A Python library that enables the use of Jetson's GPIOs*. 2023. URL: <https://github.com/NVIDIA/jetson-gpio>.
- [31] nvidia. *Jetson Nano Entwicklerkit für KI und Robotik / NVIDIA*. 2023. URL: <https://www.nvidia.com/de-de/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-nano/>.
- [32] Jon Peddie. *The History of the GPU - Eras and Environment*. Cham: Springer International Publishing, 2022. ISBN: 978-3-031-13581-1. DOI: [10.1007/978-3-031-13581-1_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-13581-1_2).
- [33] radxa. *Radxa Rock3*. 2023. URL: <https://wiki.radxa.com/Rock3/>.
- [34] Christine Riel. *So können Sie Waschbären vertreiben*. URL: <https://www.gartenjournal.net/waschbaer-vertreiben>.
- [35] Seaflo. *SEAFLO Washdown Pumps for Boats / 17.0 LPM 12V Quick Connect On Demand Diaphragm Water Pump*. 2023. URL: <http://www.seaflo.com/en-us/product/detail/608.html>.
- [36] Shoichi Shimizu u. a. „A PSEUDO STEREO VISION METHOD FOR UNSYNCHRONIZED CAMERAS“. In: (2004). URL: https://www.researchgate.net/publication/253608837_A_PSEUDO_STEREO_VISION_METHOD_FOR_UNSYNCHRONIZED_CAMERAS.
- [37] StereoPi. „StereoPi | StereoPi - DIY stereoscopic camera based on Raspberry Pi“. In: (2023). URL: <https://stereopi.com/>.
- [38] Leonhard Stiny. *Aktive elektronische Bauelemente: Aufbau, Struktur, Wirkungsweise, Eigenschaften und praktischer Einsatz diskreter und integrierter Halbleiter-Bauteile*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2019. ISBN: 978-3-658-24752-2. DOI: [10.1007/978-3-658-24752-2_11](https://doi.org/10.1007/978-3-658-24752-2_11).
- [39] Richard Szeliski. *Computer Vision*. Springer Viehweg, 2022. DOI: [10.1007/978-3-030-34372-9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9).
- [40] Juan Terven und Diana Cordova-Esparza. *A Comprehensive Review of YOLO: From YOLOv1 to YOLOv8 and Beyond*. 2023. arXiv: [2304.00501 \[cs.CV\]](https://arxiv.org/abs/2304.00501).

- [41] Attaching Them To. *Downloading and Evaluating Open Images — FiftyOne 0.21.0 documentation*. 2023. URL: https://docs.voxel51.com/tutorials/open_images.html.
- [42] Dat Tran. „How to train your own Object Detector with TensorFlow’s Object Detector API“. In: (2017). URL: <https://towardsdatascience.com/how-to-train-your-own-object-detector-with-tensorflows-object-detector-api-bec72ecfe1d9>.
- [43] Gerhard Vetter. „Stand und Trends bei der Entwicklung leckfreier oszillierender Verdrängerpumpen“. In: *Chemie Ingenieur Technik* 57.3 (1985), S. 218–229. DOI: <https://doi.org/10.1002/cite.330570306>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/cite.330570306>.
- [44] Welectron. *Waveshare 12076 RPi IR-CUT Camera, 25,90 € - Welectron*. 2023. URL: <https://www.welectron.com/#>.
- [45] Westfalia. „Maßnahmen, um Waschbären aus Haus und Garten zu vertreiben bei Westfalia Versand Deutschland“. In: (2023). URL: https://www.westfalia.de/static/informationen/ratgeber/garten/tiere_im_garten/waschbaeren_vertreiben.html.
- [46] Elaine Wu. „Comparing Raspberry Pi Compute Module 4(CM4) and CM3+, What has been changed from CM3+? - Latest Open Tech From Seeed“. In: (2020). URL: <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/10/30/comparing-raspberry-pi-compute-module-4cm4-and-cm3-what-has-been-changed-from-cm3/>.

Anhang

A. Arduino UNO Testcode

```
1 #include <Servo.h>
2
3     int horizontalServoPin = 10;
4     Servo horizontalServo;
5     float horizontalServoPos = 90;
6     float horizontalServoStepSize = 20;
7
8     int verticalServoPin = 9;
9     Servo verticalServo;
10    float verticalServoPos = 90;
11    float verticalServoStepSize = 10;
12
13    int powerServoPin = 7;
14
15    int powerLightPin = 6;
16
17    int powerPumpPin = 4;
18
19    int soundSignalPin = 3;
20    unsigned long currentSoundFrequency = 15000;
21    unsigned long UpperSoundFrequency = 44000;
22    unsigned long lowerSoundFrequency = 15000;
23    int frequencyStepSize = 100;
24
25    int powerSoundPin = 2;
26
27    void setup() {
28        // put your setup code here, to run once:
29        Serial.begin(9600);
```

```
30     horizontalServo.attach(horizontalServoPin);
31     verticalServo.attach(verticalServoPin);
32     pinMode(powerServoPin, OUTPUT);
33     pinMode(powerLightPin, OUTPUT);
34     pinMode(powerPumpPin, OUTPUT);
35     pinMode(powerSoundPin, OUTPUT);
36     pinMode(soundSignalPin, OUTPUT);
37     digitalWrite(powerServoPin, HIGH);
38 }
39
40 void loop() {
41   if (millis() % 500 == 0) {
42     moveSevo(horizontalServo, 0, 180, &
43               horizontalServoStepSize, &horizontalServoPos);
44     Serial.print("Moving horizontal Servo to position ");
45     Serial.println(horizontalServoPos); // Printing
46               the position of the horizontal servo
47   }
48   if (millis() % 1000 == 0) {
49     moveSevo(verticalServo, 45, 135, &
50               verticalServoStepSize, &verticalServoPos);
51     Serial.print("Moving vertical Servo to position ");
52     Serial.println(verticalServoPos); // Printing the
53               position of the vertical servo
54   }
55   if (millis() % 200 == 0) {
56     digitalWrite(powerLightPin, !digitalRead(
57                 powerLightPin));
58     Serial.println("Toggling powerLightPin."); // A
59               message indicating powerLightPin has been
60               toggled
61   }
62   if (millis() % 5000 == 0) {
63     digitalWrite(powerServoPin, !digitalRead(
64                 powerServoPin));
```

```
57     Serial.println("Toggling powerServoPin."); // A
      message indicating powerServoPin has been
      toggled
58 }
59 if (millis() % 1000 == 0) {
60     digitalWrite(powerPumpPin, !digitalRead(
61         powerPumpPin));
62     Serial.println("Toggling powerPumpPin."); // A
      message indicating powerPumpPin has been
      toggled
63 }
64 if (millis() % 10000 == 0) {
65     digitalWrite(powerSoundPin, !digitalRead(
66         powerSoundPin));
67     Serial.println("Toggling powerSoundPin."); // A
      message indicating powerSoundPin has been
      toggled
68 }
69 if (millis() % 100 == 0) {
70     if (currentSoundFrequency < lowerSoundFrequency)
71     {
72         currentSoundFrequency = lowerSoundFrequency;
73         frequencyStepSize *= -1;
74     } else if (currentSoundFrequency >
75         UpperSoundFrequency) {
76         currentSoundFrequency = UpperSoundFrequency;
77         frequencyStepSize *= -1;
78     }
79     tone(soundSignalPin, currentSoundFrequency);
80     currentSoundFrequency += frequencyStepSize;
81     Serial.print("Playing sound with frequency: ");
82     Serial.println(currentSoundFrequency); //
      Printing the frequency of the sound played
83 }
84 }
85
86 void moveSevo(Servo motor, uint8_t minPos, uint8_t
maxPos, float* stepSize, float* currentPosition) {
```

```
84     if (*currentPosition < minPos) {  
85         *currentPosition = minPos;  
86         *stepSize *= -1;  
87     } else if (*currentPosition > maxPos) {  
88         *currentPosition = maxPos;  
89         *stepSize *= -1;  
90     }  
91     motor.write(*currentPosition);  
92     *currentPosition += *stepSize;  
93 }
```

Listing A.1: Arduino Test Code um alle Funktionen zu überprüfen.