



**University of Applied Sciences and Arts
Northwestern Switzerland FHNW**

Master of Science in Engineering

Edge ML Camera for Citizen Science

Edge ML Kamera für Citizen Science

Author:	Andri Wild
Supervisor:	Prof. Thomas Amberg
Advisors:	Prof. Thomas Amberg
Start Date:	01.01.2024
Submission Date:	01.01.2024

I confirm that this Master of Science in Engineering's thesis is my own work and I have documented all sources and material used.

Munich, 01.01.2024

Andri Wild

Acknowledgements

First, I'd like to thank coffee for fueling my brain cells and making this thesis possible.

A big shoutout to my advisor for your patience and for not laughing (too hard) at my wild ideas.

To my family, your snack supplies and constant reminders to “just finish it already” were invaluable.

Finally, to my pet, your keyboard sit-ins ensured I took breaks, whether I wanted to or not.

Abstract

Note:

1. **paragraph:** What is the motivation of your thesis? Why is it interesting from a scientific point of view? Which main problem do you like to solve?
2. **paragraph:** What is the purpose of the document? What is the main content, the main contribution?
3. **paragraph:** What is your methodology? How do you proceed?

Zusammenfassung

Note: Insert the German translation of the English abstract here.

Contents

1 Einleitung	7
1.1 Ausgangslage	7
1.2 Zielsetzung	7
1.3 Stand der Forschung	8
1.4 Aufbau des Berichts	8
2 Grundlagen	8
2.1 Citizen Science	9
2.2 Biodiversität Monitoring	11
2.3 Machine Learning Grundlagen	12
2.4 Edge Computing / Edge Machine Learning	13
2.5 Edge ML	13
3 Analyse	13
3.1 Zielgruppe	13
3.2 Use Cases	13
3.3 Anforderungen	13
3.4 Evaluation ML Framework	14
3.5 Evaluation Hardware (COCO Dataset)	14
4 Umsetzung	14
4.1 System Architektur (Grobsicht)	14
4.2 Software Design	14
4.3 Prototypen: verschiedene System Setups	15
5 Validierung	15
List of Figures	16
List of Tables	17
Appendix A: Supplementary Material	18
Bibliography	19

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

- Mitwelten Projekt (Ziel, Kontext)
- Analyse Bestäuber (Kurzbeschreibung der Mitwelten Pipeline wie sie eingesetzt war)

Das SNF Projekt “Mitwelten - Medienökologische Infrastrukturen für Biodiversität” hat IoT-Technologie in urbanen Naturgebieten installiert, um dort vorhandene Tiere, Pflanzen und Umweltbedingungen genauer zu untersuchen. Ein Teilprojekt beschäftigte sich mit der Erkennung von Bestäuber-Arten auf Blumenblüten mittels Raspberry Pi Kameras. Die Machine-Learning-basierte Detektion und Kategorisierung geschieht zurzeit in einem zentralen Cloud-Backend.

Diese Architekturlösung bringt folgende Konsequenzen mit sich: Zum Einen muss der Betrieb eines Backends sichergestellt sein. Dies erfordert einen gewissen Wartungsaufwand und insbesondere ein erhöhtes technisches Verständnis für die Projektumsetzung. Für Forschende bedeutet dies, dass zusätzliches IT-Fachpersonal für den Aufbau und Betrieb der IT-Infrastruktur benötigt wird. Zum Anderen werden die aufgenommenen Bilder zur Analyse über Mobilfunknetze versendet, wodurch die Betriebskosten erhöht werden und das Einsatzgebiet auf dessen Abdeckung begrenzt. Beide der genannten Aspekte sind mit zusätzlichen Kosten verbunden und erhöhen die Gesamtkomplexität des Projekts.

1.2 Zielsetzung

- Fragestellung / Hypothese

Das Ziel ist die Portierung der ML-Pipeline des SNF Projekts Mitwelten auf eine Edge ML Kamera, um Citizen Science Projekte zu ermöglichen:

Dank der fortschreitenden Entwicklung von Edge-Computing-Hardware sind auf Machine Learning spezialisierte Geräte zu einem vergleichbaren Preis wie konven-

tionelle Edge Computer erhältlich. Dies wirft die Frage auf, ob durch diesen technologischen Fortschritt die IT-Infrastruktur eines Edge-Kamera basierenden Systems so weit reduziert werden kann, dass die selbe Funktionalität ohne zentrales Backend umsetzbar ist. Der Einsatz von Edge-basierten Systemen könnte den Zugang zu Machine Learning Projekten für Forschende erheblich erleichtern, da ein System ohne zentrale Abhängigkeit mit weniger Aufwand betreibbar ist. Diese stand-alone Lösung öffnet auch die Türen für Citizen Science Projekte. Einzelpersonen oder Gemeinschaften können so eigenständig und unabhängig Forschungsprojekte durchführen.

- Welche Hardware und Frameworks gibt es, um Machine Learning (ML) dezentral, im Feld, mittels Edge Computing umzusetzen?
- Was sind Anforderungen an eine ML-Kamera für typische Citizen Science Anwendungen im Bereich Biodiversitätsmonitoring?
- Wie sieht eine konkrete Edge ML Kamera aus, für Monitoring von Biodiversität, wie im Projekt SNF Mitwelten angewendet?

1.3 Stand der Forschung

(Viele neue Hardware im Bereich ML on Edge)

1.4 Aufbau des Berichts

Der Bericht besteht im wesentlichen aus vier Teilen. Im ersten teill werden die grundlagen vermittelt, welche relevant sind für das Verständnis des Berichts. Anschliessend folgt die Analyse, welche die Zielgruppen und Anforderungen definiert. In der Umsetzung wird die konkrete Umsetzung des Projekts beschrieben und abschliessend wird die Evaluation der Resultate vorgenommen.

2 Grundlagen

(Dinge die man auf wikipedia lesen kann, was ist schon hier, die Dinge, die ich nachher brauche)

2.1 Citizen Science

- Was ist das?
- Motivation (Warum machen Leute mit?)
- Warum ist es wichtig / notwendig?

Eine treffende Definition von Citizen Science liefert das Grünbuch Citizen Science Strategie 2020 für Deutschland:

„Citizen Science beschreibt die Beteiligung von Personen an wissenschaftlichen Prozessen, die nicht in diesem Wissenschaftsbereich institutionell gebunden sind. Dabei kann die Beteiligung in der kurzzeitigen Erhebung von Daten bis hin zu einem intensiven Einsatz von Freizeit bestehen, um sich gemeinsam mit Wissenschaftlerinnen bzw. Wissenschaftlern und/oder anderen Ehrenamtlichen in ein Forschungsthema zu vertiefen. Obwohl viele ehrenamtliche Forscherinnen und Forscher eine akademische Ausbildung aufweisen, ist dies keine Voraussetzung für die Teilnahme an Forschungsprojekten. Wichtig ist allerdings die Einhaltung wissenschaftlicher Standards, wozu vor allem Transparenz im Hinblick auf die Methodik der Datenerhebung und die öffentliche Diskussion der Ergebnisse gehören.“

— A. Bonn *et al.* [1]

Bürgerinnen und Bürger können also einen Beitrag zur Wissenschaft leisten, indem sie Daten sammeln, analysieren und interpretieren. Dies kann von der einfachen Datenerhebung bis hin zur intensiven Auseinandersetzung mit einem Forschungsthema reichen. Die Beteiligung an Citizen Science Projekten ist nicht an eine akademische Ausbildung gebunden, jedoch ist die Einhaltung wissenschaftlicher Standards unabdingbar. Es stellt sich die Frage, worin die motivation liegt sich freiwillig solchen Projekten zu widmen. Ein treibender Faktor kann der Wissenszuwachs für ein bestimmtes Thema sein. Die Auseinandersetzung in einem

Bereich, für den man sich interessiert. Das Buch *The Science of Citizen Science* [2, p 283] diskutiert die verschiedenen Aspekte des Lernens in einem Citizen Science Projekt.

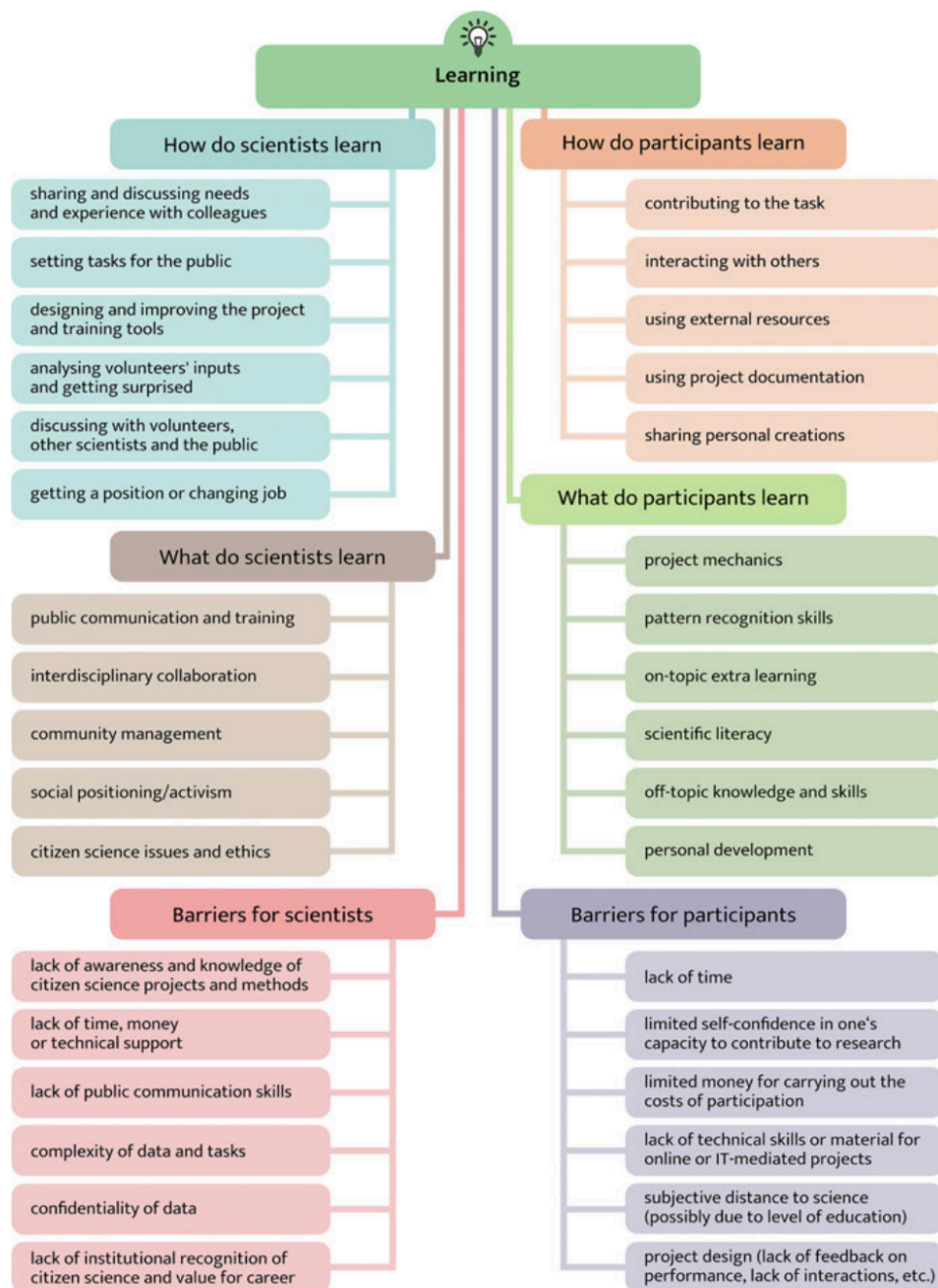


Figure 1: Erweiterte thematische Karte zum Lernen von Freiwilligen [2, p 300]

Aus der illustration geht hervor, dass verschiedenste Aspekte die Bürgerinnen und Bürger zu einer aktiven Beteiligung motivieren kann. Nebst den Fachlichen sind auch Soziale Aspekte von Bedeutung. Auf der anderen Seite profitieren auch die Projekt initianten. Die Organiation und Zusammenarbeit mit Aussenstehenden kann eine spannende Aufgabe sein.

2.2 Biodiversität Monitoring

(Timeo's Arbeit zitieren - nicht das selbe machen)

- Sinn und Zweck
- Mögliche Anwendungszwecke / Szenarien / Perspektiven
- Mitwelten Pipeline (Von der Kamera zu den Daten)

Biodiversitäts Monitoring befasst sich grundsätzlich mit dem Beobachten und Analysieren von Tier - und Pflanzenwelt.

“Die biologische Vielfalt bildet eine Lebensgrundlage der Schweiz. Deshalb ist es wichtig, ihren Zustand und ihre Entwicklung zu kennen.”

— bdm [3]

Aus diesem Grund ist es von grosser Bedeutung die Umwelt zu beobachten und Veränderungen festzustellen. Um diese Arbeit zu vereinfachen, sind automatisierte Lösungen für ein Monitoring von gefragt.

Ein System zur automatisierten Datenerfassung wurde im Rahmen des Projekts Mitwelten entwickelt [4], [5]. Hierfür wurden verschiedene Sensoren zu einem IoT-Toolkit kombiniert. Dieses Toolkit ermöglicht es, Daten von dezentralen Systemen zu erfassen und an ein zentrales Backend weiterzuleiten.

Das IoT-Toolkit umfasst unter anderem eine Kamera, die in regelmässigen Abständen Fotos von Blumentöpfen aufnimmt. Im Rahmen des Projekts wurden so insgesamt 1,5 Millionen Bilder generiert. Abbildung Figure 2 zeigt eine im Feld aufgestellte Kamera.



Figure 2: Pollinator Kamera im Feld

Das IoT-Toolkit enthält eine Kamera, die regelmäßig Fotos von Blumentöpfen aufnimmt. Während des Projekts erfasste die Kamera insgesamt 1,5 Millionen Bilder.

Die enorme Menge an Bilddaten lässt sich nicht manuell analysieren. Deshalb entwickelte das Projekt-Team eine Machine-Learning-Pipeline, die Bestäuber automatisch erkennt. Die technische Architektur des Systems verbindet die Kamera mit einem leistungsstarken Backend. Die Kamera, bestehend aus einem Raspberry Pi und einer angeschlossenen Kameraeinheit, erfasst die Bilder und überträgt diese über einen Access Point an das Backend. Auf dem Server führt eine leistungsstarke Machine-Learning-Pipeline die Analyse der empfangenen Bilder durch, um Analysedaten zu generieren. Die entwickelte Kamera und die zugehörige technische Architektur bieten weit mehr Möglichkeiten als nur die Detektion von Bestäubern. Mit kleinen Anpassungen lässt sich das System auch für andere Biodiversitäts-Monitorings einsetzen, wie etwa die Beobachtung von Vögeln an Futterstellen, die Erkennung von Säugetieren in Waldgebieten oder die Dokumentation des Pflanzenwachstums.

2.3 Machine Learning Grundlagen

- Frameworks (Unterschiede, Vor- und Nachteile)
- Anatomie eines Modells
 - Input output tensor
 - Art / Architektur / Performance / Measurements
- Training, Inferenz, Validierung (Genauigkeit)

2.4 Edge Computing / Edge Machine Learning

(vllt auch in der AUsgangslage erwähnen)

- Architektur (Shift von Cloud zu Edge)
- Konsequenzen und Vorteile (Latenz, Kosten, Privacy)
- Herausforderungen (Energie, Rechenleistung)

2.5 Edge ML

- Hardware die Edge Computing und ML vereint
- Pipelines / Datenfluss (herkömmlich, AI-Camera)

3 Analyse

(Was braucht es für mich)

3.1 Zielgruppe

- Was müssen Bediener können

3.2 Use Cases

- Was sollen Personen fähig sein zu machen

3.3 Anforderungen

- Funktionale
 - Features (Cam Preview, Inferenz ausführen, Modelwahl, Framework wahl)
 - Hardware
- Nicht funktionale
 - Inferenz Zeitlimit
 - Einsatzgebiet

3.4 Evaluation ML Framework

- Unterschiede
- Vor und Nachteile
- Auswertung

3.5 Evaluation Hardware (COCO Dataset)

- Recherche Hardware
 - Beschleuniger (TPU, AI-Camera)
 - Kamera (Raspberry Pi Cam, Webcam)
 - Edge Computer (Raspberry Pi 4,5)

4 Umsetzung

(Was ich tatsächlich umgesetzt habe)

4.1 System Architektur (Grobsicht)

- Qualitäten (Erweiterbarkeit, Robustheit, Self-contained, Einfachheit)
- Modularisierung (Komponenten: Cam, ML Framework)

4.2 Software Design

(Aufteilung in Klassen)

- Klassen Diagramm
- Sequenz Diagramm

4.3 Prototypen: verschiedene System Setups

(welche Konfiguration wurde verwendet)

- Prototyp 1
- Prototyp 2

5 Validierung

(Auf MW Pipeline, mit Blumen Bilder)

- Performance
- Energie

List of Figures

Figure 1: Erweiterte thematische Karte zum Lernen von Freiwilligen [2, p 300] .	
10	
Figure 2: Pollinator Kamera im Feld	12

List of Tables

Appendix A: Supplementary Material

– Supplementary Material –

Bibliography

- [1] A. Bonn *et al.*, “Grünbuch Citizen Science Strategie 2020 für Deutschland,” 2016.
- [2] K. Vohland *et al.*, Eds., “The Science of Citizen Science.” Springer International Publishing, Cham, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-58278-4.
- [3] bdm, “Verlässliche Daten über unsere Lebensgrundlage.” Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.biodiversitymonitoring.ch/index.php/de/>
- [4] T. Wulschleger, “Data Acquisition for Urban Biodiversity Monitoring.”
- [5] T. Wulschleger, “Automated Analysis for Urban Biodiversity Monitoring.”