

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis xi

Tabellenverzeichnis xiii

Listings..... xiv

Abkürzungsverzeichnis xv

1 EINFÜHRUNG 1

2 PROBLEMSTELLUNG 3

2.1 Problem der Mülltrennung und -entsorgung..... 3

2.1.1 Abfallsortierung mittels visueller KI 4

2.2 Herausforderungen bei der Umsetzung einer automatisierten
Lösung auf Grundlage von visueller KI 5

2.2.1 Technische Herausforderungen 5

2.2.1.1 Datenqualität und -menge 5

2.2.1.2 Rechenleistung 6

2.2.1.3 Echtzeitverarbeitung 6

2.2.2 Organisatorische Herausforderungen 6

2.2.2.1 Datenschutz und Sicherheit..... 6

2.2.2.2 Transparenz..... 6

2.3 Ethische und ökologische Implikationen der KI-Nutzung..... 7

3 ZIELSETZUNG UND AUFBAU DER ARBEIT 9

3.1 Projektzieldefinition..... 9

3.2 Struktur der Arbeit 9

4 GRUNDLAGEN..... 11

4.1 Theoretische Grundlagen der Künstlichen Intelligenz (KI) 11

4.1.1 Maschinelles Lernen..... 11

4.1.2 Neuronale Netze..... 12

4.1.3 Deep Learning 12

4.2 Überblick über bestehende Technologien und deren
Einsatz 13

4.2.1	Sensorbasierte Technologien.....	14
4.2.2	Robotik und Künstliche Intelligenz.....	14
4.3	Relevante wissenschaftliche Theorien, Modelle, Forschungsergebnisse	15
4.3.1	Einführung in YOLO	15
4.3.1.1	Grundkonzept von YOLO	15
4.3.1.2	Modell von YOLO	16
4.3.1.3	Netzwerkarchitektur von YOLO.....	16
4.3.1.4	Vorteile und Herausforderungen von YOLO	17
4.3.2	Überblick und Vergleich mit anderen visuellen KI.....	18
4.3.2.1	R-CNN.....	18
4.3.2.2	Fast R-CNN.....	19
4.3.2.3	SSD (Single Shot MultiBox Detector)	19
4.4	Literaturrecherche: Zusammenfassung relevanter wissenschaftlicher Arbeiten	20
4.4.1	Deep Learning-Based Waste Detection in Natural and Urban Environments.....	20
4.4.2	You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection	20
4.4.3	Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation.....	21
5	METHODIK.....	23
5.1	Angewandte wissenschaftliche Methodik.....	23
5.2	Projektmanagementmethode/Vorgehensweise bei der Entwicklung der Lösung	23
5.3	Datei- und Quellcode-Management.....	25
5.4	Validierung und Verifizierung der Lösung.....	26
6	LÖSUNGSVORSTELLUNG	29
6.1	Anwendungsfall und funktionale Umsetzung	29
6.2	Limitationen und mögliche Fehlerquellen.....	30
6.3	Technik- und Toolauswahl	33
6.3.1	Angular.....	33

6.3.2	Node.js	33
6.3.3	TypeScript	33
6.3.4	TensorFlow.js	34
6.3.5	Docker	34
6.3.6	Socket.io	35
6.3.7	Elastic Search	35
6.3.8	MySQL.....	35
6.3.9	Prisma	36
6.3.10	JWT	36
6.3.11	Express.js	37
6.3.12	YOLO.....	37
6.4	Projektbestandteile im Detail.....	38
6.4.1	Frontend.....	38
6.4.1.1	Einsatzabschnitte: Listenansicht	38
6.4.1.2	Einsatzabschnitte: Einzelansicht	38
6.4.1.3	Einsatzabschnitte: Bearbeiten und Erstellen.....	39
6.4.1.4	Detektionen: Listenansicht	40
6.4.1.5	Detektionen: Detektionsverlauf eines Objektes.....	41
6.4.1.6	Authentifizierung.....	42
6.4.1.7	Autorisierung.....	42
6.4.2	Object-Tracking.....	42
6.4.3	Hardware: Konstruktion, 3D-Druck, Schaltungen	44
6.4.3.1	Konstruktion.....	44
6.4.3.2	3D-Druck	48
6.4.3.3	Schaltplan	49
6.4.3.4	Ablaufplan	50
6.4.4	KI-Modell(e) und -Training: Entwicklung, Training und Optimierung der KI.....	51
6.4.4.1	Modellauswahl.....	51
6.4.4.2	Datensammlung und Vorverarbeitung	52
6.4.4.3	Training des KI-Modells.....	55
6.4.4.4	Optimierung und Feinabstimmung des Modells	60

6.4.5	Das Backend	63
6.4.5.1	Die OperationSection	65
6.4.5.2	Die Object Detection (Objekt Erkennung).....	65
6.4.5.3	Object Detection im Bereich Testing und Operational ..	66
6.4.5.4	Die Ausführung der KI-Modelle	66
6.4.5.5	Aufbau und Auswertung der erzeugten Detektionen.....	67
6.4.5.6	Die Actuator-Notification	69
6.4.5.7	Authentifizierung und Autorisierung	71
7	EVALUATION DER LÖSUNG	75
7.1	Funktionsbewertung: Analyse und Bewertung der Funktionsweise.....	75
7.1.1	Evaluationskriterien.....	75
7.1.2	Evaluation nach Metriken	75
7.2	Vergleich mit bestehenden Arbeiten anderer: Analyse vorhandener Arbeiten und Unterschiede zu unserer Lösung.....	78
7.3	Empfehlungen.....	80
7.3.1	Handlungsempfehlungen für zukünftige Arbeiten und Projekte	80
7.3.2	Potenzielle Herausforderungen und Lösungsansätze	81
7.3.2.1	Vielfalt der Müllarten.....	81
7.3.2.2	Klassifizierungsgenauigkeit	81
7.3.2.3	Verunreinigungen und Mischabfälle	81
7.3.2.4	Integration mit bestehenden Systemen	82
8	FAZIT.....	83
9	AUSBLICK	85
9.1	Zukünftige Schritte und potentielle Weiterentwicklungen.....	85
9.2	Offene Fragen und Herausforderungen für weitere Forschung und Entwicklung	86
9.3	Langfristige Auswirkungen auf die Mülltrennung und Kreislaufwirtschaft	86
	LITERATUR	89