



Webvisualisierung von Prozesskomponenten in der Bildgebenden Qualitätskontrolle

Studienarbeit 2

des Studienganges Elektrotechnik
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Mannheim

von
Andreas Braig

02.01.2025

Bearbeitungszeitraum:	07.01.2025 - 07.04.2025
Matrikelnummer, Kurs:	6481829, TEL22AT1
Ausbildungsfirma:	ABB AG
Abteilung:	PAPI-EAM
Betreuer der Dualen Hochschule:	Prof. Dr.-Ing. Bozena Lamek-Creutz

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit 2 mit dem Thema: „Webvisualisierung von Prozesskomponenten in der Bildgebenden Qualitätskontrolle“ 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.

Ort, Datum

Unterschrift

Vorwort

Diese Studienarbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung und Umstrukturierung eines intelligenten Pflanzenbewässerungssystems, das über ein App-Interface gesteuert wird. Sie wurde im Rahmen der fünften Theoriephase an der Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) im Zeitraum vom 30.09.2024 bis zum 02.01.2025 angefertigt. Da das Projekt in zwei Teile untergliedert ist, wird im Verlauf dieser Arbeit gegebenenfalls auf den zweiten Bericht verwiesen, wobei einige inhaltliche Überschneidungen möglich sind.

Der erste Teil des Projekts trägt den Titel "Design und Entwicklung eines smarten Bewässerungssystems für Pflanzen" und beschäftigt sich mit den Hardwarekomponenten, den durchgeführten Messungen sowie deren Umsetzung. Der vorliegende Teil widmet sich dem App-Interface und der Schnittstelle zum verwendeten Mikrocontroller.

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei meiner Kommilitonin Hannah Grüne sowie bei meiner Betreuerin Prof. Dr.-Ing. Bozena Lamek-Creutz für ihre wertvolle Unterstützung bedanken.

Zusammenfassung

Abstract

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Listingverzeichnis	VII
1. Problemstellung und Ziel dieser Arbeit	1
2. Theoretische Grundlagen	2
2.1. Machine Learning und Klassifikationsprobleme	2
2.2. Die Funktionsweise einer API	4
2.2.1. Anfragearten einer API	5
2.2.2. FLASK	6
3. Implementierung	8
3.1. Ablauf der Implementierung	8
3.2. Installation im Labor	8
4. Softwaretests	9
5. Reevaluation des Modells	10
6. Fazit und Ausblick	11
Literaturverzeichnis	X
A. Anhang	XII

Abbildungsverzeichnis

2.1. Aufbau eines Convolutional Neural Networks [1].	3
2.2. Schematischer Aufbau der API Kommunikation	4
2.3. Erweiterung der API Darstellung auf Basis von FLASK	6

Listings

Abkürzungsverzeichnis

CNN Convolutional Neural Network
API Application Programming Interface
DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg
PCB Printed Circuit Board
CP-Lab Cyber-Physical Lab
REST Representational State Transfer
HTTP Hypertext Transfer Protocol
URL Uniform Resource Locator
HTML Hypertext Markup Language
WSGI Web Server Gateway Interface

1. Problemstellung und Ziel dieser Arbeit

Die zunehmende Automatisierung industrieller Prozesse erfordert zuverlässige Qualitätskontrollsysteme, insbesondere in der Fertigung von elektronischen Baugruppen wie Printed Circuit Boards (PCBs). Im letzten Semester wurde ein KI-basiertes System entwickelt, das mittels TensorFlow Convolutional Neural Networks (CNNs) Defekte auf PCBs erkennt. Dieses System basiert auf einer Online-Implementierung ohne lokale Anpassungsmöglichkeiten und Benutzeroberfläche.

Aktuell bestehen drei zentrale Herausforderungen: Erstens bietet die Online-Implementierung keine lokale Kontrolle über Parameter oder Daten, was die Flexibilität in industriellen Umgebungen limitiert. Zweitens fehlt eine intuitive Schnittstelle zur Visualisierung von Klassifizierungsergebnissen oder Anpassung von Einstellungen, was die Benutzerinteraktion erschwert. Drittens soll die Leistung der bisher verwendeten CNN-Architektur evaluiert werden und weitere Architekturen oder Optimierungstechniken sollen getestet werden, um die Erkennungsgenauigkeit zu verbessern.

Ziel dieser Arbeit ist es, die bestehende Lösung in eine lokale Anwendung zu überführen, die folgende Kernkomponenten integriert: Eine zentrale Parametrisierung via JSON ermöglicht die flexible Steuerung aller Modell- und Systemparameter, während eine modularisierte Codebasis die Wartbarkeit und Wiederverwendbarkeit des Python-Codes verbessert. Zusätzlich soll eine Webanwendung mit Python-application Programming Interface (API) entwickelt werden, die eine Echtzeit-Darstellung von PCBs-Bildern, Klassifizierungsergebnissen und Systemstatus bietet. Parallel erfolgt eine systematische Modellre-Evaluation, bei der das aktuelle CNN mit alternativen Architekturen oder Optimierungstechniken verglichen wird.

Durch diese Maßnahmen soll die Darstellung der industriellen Anwendbarkeit im FESTO CP Lab gestärkt werden. Die neue Webvisualisierung soll greifbar machen, was bildverarbeitende Qualitätskontrolle bedeutet, indem sie die Echtzeit-Analyse und -Ergebnisse der PCBs-Bilder anschaulich darstellt. Benutzer können direkt sehen, dass Defekte erkannt und klassifiziert werden, was die Transparenz und Nachvollziehbarkeit des gesamten Prozesses erhöht.

2. Theoretische Grundlagen

Zu Beginn dieser Studienarbeit werden die theoretischen Grundlagen erläutert, die für das Verständnis der späteren Kapitel notwendig sind. Dazu gehören die Funktionsweise von Machine Learning und Computer Vision, sowie die Grundlagen einer API. Wie bereits im Ersten Kapitel (siehe Kapitel 1) beschrieben, baut diese Studienarbeit auf der Arbeit des letzten Semesters auf. Die theoretischen Grundlagen für Machine Learning und Computer Vision werden hier nur kurz erläutert, da sie bereits im letzten Semester ausführlich behandelt wurden.

Die Funktionsweise einer API wird in diesem Kapitel genauer erläutert, da sie eine zentrale Rolle in dieser Studienarbeit spielt. Mithilfe einer Web-API werden die Daten des Python programmes an die entwickelte Webanwendung übertragen.

2.1. Machine Learning und Klassifikationsprobleme

Grundlegend, bevor die Datensätze in Form von Bildern durch Convolutional Neural Networks CNN analysiert werden können, müssen die Daten verarbeitet werden.

Bildverarbeitung beschäftigt sich mit der Manipulation und Analyse digitaler Bilder durch Algorithmen und bildet die Grundlage für komplexere Verfahren. Ein digitales Bild wird als mehrdimensionale Matrix gespeichert, wobei farbige Bilder als dreidimensionale Tensoren dargestellt werden, deren Dimensionen Höhe, Breite und Farbkanäle repräsentieren. Diese Repräsentation ermöglicht die Anwendung verschiedener Transformationen wie Filterung, Kontrastverbesserung oder geometrische Verzerrungen, die entweder zur Bildverbesserung oder als Vorverarbeitungsschritte für nachfolgende Analysen durch fortschrittlichere Techniken wie Machine Learning und Computer Vision dienen [1].

Convolutional Neural Networks CNN sind spezialisierte Deep Learning Modelle, die für die Verarbeitung von Bilddaten optimiert sind. Sie bilden die Grundlage für zahlreiche moderne Computer Vision Anwendungen, wie Gesichtserkennung und autonome

Fahrzeuge. Die Architektur eines CNN nutzt die räumliche Struktur von Bildern effizient, um visuelle Muster zu erkennen und zu klassifizieren. Ein CNN besteht hauptsächlich aus Faltungsschichten und Linearen Ebenen (siehe Abbildung 2.1). Die Convolutional Layers verwenden kleine Filtermatrizen (Kernel), die über das Bild gleiten und visuelle Merkmale wie Kanten und Texturen erkennen. Diese Filter werden während des Trainings optimiert, um die relevantesten Merkmale zu extrahieren [1] [2].

Convolutional Neural Network

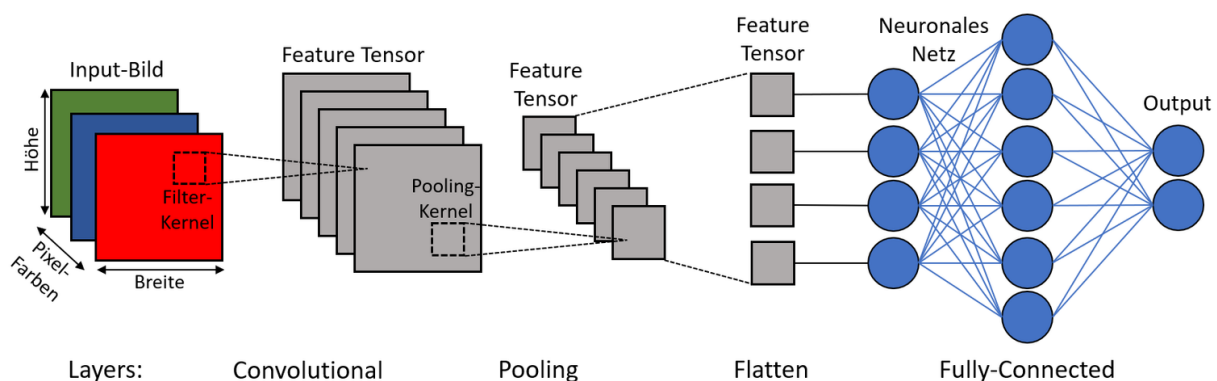


Abbildung 2.1.: Aufbau eines Convolutional Neural Networks [1].

Die Fully-Connected Layers am Ende des Netzwerks (siehe Abbildung 2.1) wandeln die extrahierten Merkmale in eine endgültige Klassifikation oder Vorhersage um. Diese Schichten sind ähnlich wie traditionelle neuronale Netzwerke aufgebaut, wobei jedes Neuron mit allen Neuronen der vorherigen Schicht verbunden ist.

Die wichtigsten Lernansätze im maschinellen Lernen sind überwachtes, unbeaufsichtigtes und verstärkendes Lernen. In dieser Arbeit wird überwachtes Lernen genutzt, bei dem ein Algorithmus mit gelabelten Daten trainiert wird, um aus diesen Beispielen zu lernen und Vorhersagen zu treffen.

Beim überwachten Lernen gibt es zwei Hauptmodelle: Klassifikation und Regression. Regression beschreibt kontinuierliche Zusammenhänge zwischen Eingangs- und Ausgangsdaten [3]. Klassifikation teilt Daten in diskrete Gruppen ein. Es sollen keine kontinuierlichen Werte nachgebildet werden. Am Ende des Netzwerks wird mithilfe einer $\text{argmax}()$ Funktion eine Klasse fest zugeordnet [4, S. 450]. Die binäre Klassifikation, welche in dieser Arbeit angewandt wird, ist eine spezielle Form der Klassifikation, bei der nur zwei Klassen unterschieden werden.

Es gibt verschiedene CNN-Architekturen wie ResNet und MobileNet, die für spezifische Aufgaben besonders gut geeignet sind. Oft werden vortrainierte Modelle verwendet und für spezifische Anwendungsfälle feinabgestimmt, eine Technik bekannt als Transfer Learning, welche auf dem überwachten Lernen basiert. [1].

2.2. Die Funktionsweise einer API

APIs stellen das Herzstück moderner Softwareentwicklung dar und ermöglichen es Programmen, miteinander zu kommunizieren und Daten auszutauschen. Dieser Datenaustausch ist wesentlich für vielfältige Anwendungen, wie etwa das Abrufen von Wetterdaten oder das Interagieren mit sozialen Netzwerken. In der Python Entwicklungsumgebung machen Bibliotheken wie requests oder http.client den Einstieg in die API-Entwicklung besonders zugänglich [5]. Die in dieser Studienarbeit verwendete FLASK Bibliothek ermöglicht es, eine komplexere API zu erstellen, die Daten aus dem Python Programm an die Webanwendung überträgt.

Anwendungsprogrammierschnittstellen API sind Software-Vermittler (Abbildung 2.2) ihre Aufgabe besteht darin, Anwendungen die Kommunikation untereinander zu ermöglichen. Diese subtilen Vermittler sind allgegenwärtig im täglichen Leben, ob bewusst wahrgenommen oder nicht. Wenn man beispielsweise eine Sofortnachricht verschickt, nutzt man bereits eine API [6].

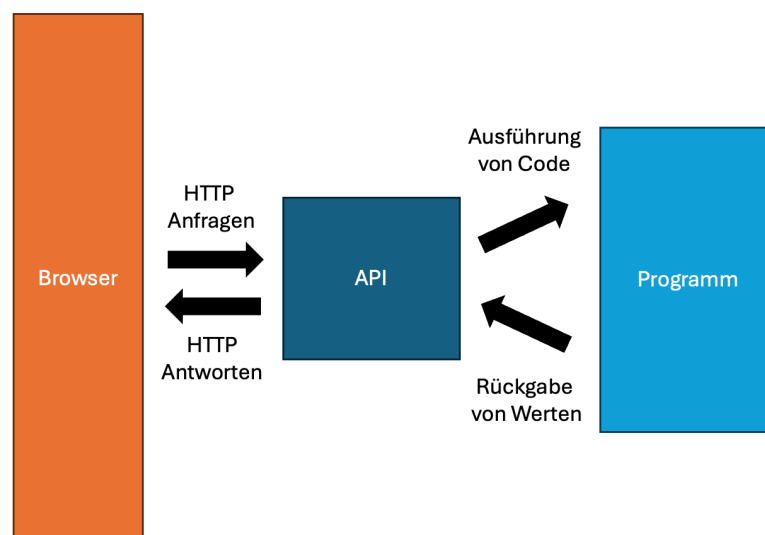


Abbildung 2.2.: Schematischer Aufbau der API Kommunikation

Im Kontext von Webanwendungen bieten APIs den Zugriff auf Daten und Funktionalitäten von Drittanbietern. Dies ermöglicht es Entwicklern, ihre Anwendungen um Funktionen wie Wetterinformationen, Sportergebnisse, Filmlisten, Tweets, Suchmaschinenergebnisse und Bildverarbeitung zu erweitern. Die Eigenentwicklung solcher Funktionen würde erhebliche Ressourcen beanspruchen, während die Nutzung von APIs eine schnelle und effiziente Integration ermöglicht[7].

2.2.1. Anfragearten einer API

Die Grundbausteine einer API sind Anfragen (Requests) und Antworten (Responses). Diese basieren oft auf dem Hypertext Transfer Protocol (HTTP)-Protokoll, das die Grundlage des Internets bildet [5]. HTTP-Anfragen sind die Art und Weise, wie das Web funktioniert. Jedes Mal, wenn man zu einer Webseite navigiert, stellt der Browser mehrere Anfragen an den Server der Webseite. Der Server antwortet dann mit allen Daten, die für die Darstellung der Seite erforderlich sind, woraufhin der Browser die Seite rendert [7].

Der generische Prozess der API-Kommunikation lässt sich wie folgt beschreiben: Ein Client in dieser Studienarbeit der Browser, sendet Daten an eine Uniform Resource Locator Uniform Resource Locator (URL). Der Server unter dieser URL liest die Daten, entscheidet, was damit zu tun ist. Intern wird das passende Python Skript ausgeführt und gibt eine Antwort an den Client zurück. Schließlich verarbeitet der Client die empfangenen Daten entsprechend seiner Programmlogik [7].

Ein wesentlicher Teil der Anfrage ist die Hypertext Transfer Protocol HTTP-Methode. Einige der gebräuchlichsten Methoden sind [8]:

- **GET** Dient dem Abrufen von Daten, ohne Änderungen auf dem Server vorzunehmen
- **POST** Wird verwendet, um neue Daten an den Server zu senden
- **PUT** Aktualisiert vorhandene Daten auf dem Server
- **DELETE** Entfernt Daten vom Server

Diese Methoden bilden die Grundlage des Representational State Transfer (REST)ful API-Designs, das in modernen Webanwendungen weit verbreitet ist [8].

2.2.2. FLASK

Für diese Studienarbeit ist keine Umfängliche WEB-API notwendig. Es soll lediglich eine einzige Hypertext Markup Language (HTML) Datei von der Python Anwendung an den Browser übertragen werden. Es ist für diese Anforderung kein Größeres Framework wie beispielsweise Django notwendig. FLASK ist ein Mikroframework für Python, das sich auf einfache und schnelle Entwicklung konzentriert. Es ist besonders gut geeignet für kleine bis mittelgroße Projekte, bei denen die Verwendung eines größeren Frameworks übertrieben wäre. FLASK bietet eine Vielzahl von Erweiterungen, die die Entwicklung von Webanwendungen erleichtern. Es ist einfach zu erlernen und bietet eine Vielzahl von Funktionen, die für die Entwicklung von Webanwendungen erforderlich sind.

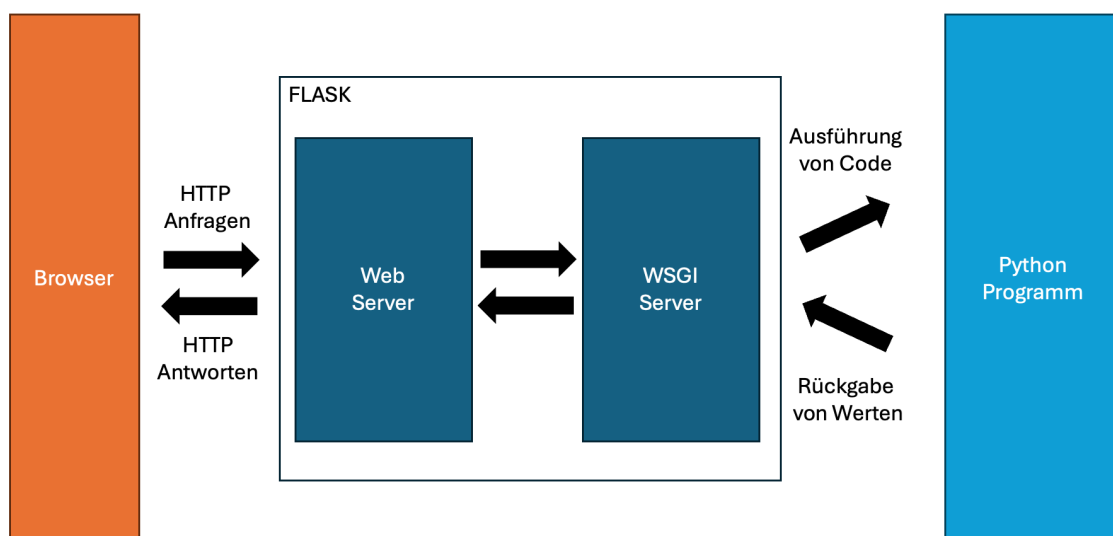


Abbildung 2.3.: Erweiterung der API Darstellung auf Basis von FLASK

FLASK Nutzt die Web Server Gateway Interface (WSGI) Schnittstelle von Python [9] und Abbildung 2.3 und Stellt in Verbindung mit der in dieser Studienarbeit Verwendeten Waitress Bibliothek den Webserver zur Verfügung.

Eine Besondere Anforderung der im Folgenden vorgestellten Webanwendung liegt in der Übertragung der neu erstellten Fotos von der Kamera des FESTO Cyber-Physical Lab (CP-Lab) an die Webanwendung. Um eine einfachere Benutzbarkeit zu gewährleisten soll der Browser nicht jedes mal neu geladen werden müssen, wenn ein Foto geschossen und klassifiziert wird.

Im Folgenden wird die neue Softwarearchitektur vorgestellt und auch die Implementierung der Webanwendung erläutert.

3. Implementierung

3.1. Ablauf der Implementierung

3.2. Installation im Labor

4. Softwaretests

5. Reevaluation des Modells

6. Fazit und Ausblick

Literaturverzeichnis

- [1] Finbridge.de. „Computer Vision für Finance [Teil 2]: Convolutional Neural Networks,“ Finbridge GmbH & Co KG. (8. Sep. 2022), Adresse: <https://www.finbridge.de/ml-artikel/2022/09/08/computer-vision-fuer-finance-teil-2> (besucht am 01.03.2025).
- [2] Intel. „Convolutional Neural Networks (CNN) und Deep Learning,“ Intel. (), Adresse: <https://www.intel.com/content/www/de/de/internet-of-things/computer-vision/convolutional-neural-networks.html> (besucht am 01.03.2025).
- [3] „Machine Learning Regression,“ Mailchimp. (), Adresse: <https://mailchimp.com/de/resources/machine-learning-regression/> (besucht am 10.11.2024).
- [4] H. Süße und E. Rodner, *Bildverarbeitung und Objekterkennung: Computer Vision in Industrie und Medizin*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, ISBN: 978-3-8348-2605-3 978-3-8348-2606-0. DOI: 10.1007/978-3-8348-2606-0. Adresse: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-8348-2606-0> (besucht am 15.10.2024).
- [5] S. Mittelstand. „Erste Schritte mit Python HTTP-Anfragen für REST-APIs.“ (), Adresse: <https://www.datacamp.com/tutorial/making-http-requests-in-python> (besucht am 01.03.2025).
- [6] K. Pykes. „Programmieren mit Python APIs: Ihr ultimativer Guide in einfachen Schritten.“ (), Adresse: <https://www.software-mittelstand.info/apis-mit-python-programmieren-eine-schritt-fuer-schritt-anleitung/> (besucht am 01.03.2025).
- [7] D. O. LLC. „Erste schritte mit der requests-bibliothek in python | DigitalOcean.“ (), Adresse: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-get-started-with-the-requests-library-in-python-de> (besucht am 01.03.2025).
- [8] C. Rodríguez, M. Baez, F. Daniel u. a., „REST APIs: A large-scale analysis of compliance with principles and best practices,“ in *Web Engineering*, A. Bozzon, P. Cudre-Maroux und C. Pautasso, Hrsg., Cham: Springer International Publishing, 2016, S. 21–39, ISBN: 978-3-319-38791-8. DOI: 10.1007/978-3-319-38791-8_2.

- [9] Flask. „Welcome to Flask — Flask Documentation (3.1.x).“ (), Adresse: <https://flask.palletsprojects.com/en/stable/> (besucht am 01.03.2025).

A. Anhang