



Fakultät für Informatik

Studiengang Informatik

Optische Positionserkennung von elektronischen Bausteinen
in der Prüfautomatisierung

Master Thesis

von

Benedikt Acker

Datum der Abgabe: tt.mm.jjjj

Erstprüfer: Prof. Dr.

Zweitprüfer: Prof. Dr.

EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG / DECLARATION OF ORIGINALITY

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Rosenheim, den tt.mm.jjjj

Vor- und Zuname

Kurzfassung

Um den Prüfprozess eines Moduls zu automatisieren, ist das Ziel dieser Arbeit die Objekterkennung und Positionserkennung von Modulen in aufgenommenen Bildern. Als grundlegende Technologie verwendet der Autor hierfür Methoden und Filter der Computer Vision sowie einen Polfilter für die Kamera sowie ein zusätzliches KI-Modell. Vorausgehend lag der Fokus der bisherigen Arbeiten auf KI-Methoden, um die Position der Module zu detektieren. Dieses Verfahren erzielte eine maximale Genauigkeit von 79%. Die resultierende Pipeline dieser Arbeit verwendet eine Kombination aus optischen Filtern und ein KI-Modell und erreicht eine Genauigkeit von bis zu 100%.

Schlagworte: Computer Vision, Optische Erkennung, Konturerkennung, Objekterkennung

Inhaltsverzeichnis

1 Ausgangssituation	1
1.1 Aufbau des Prototypen	1
1.1.1 Kamerasystem	1
1.1.2 Tray	2
1.2 Verwendete Hardware	2
2 Grundlagen zur optischen Erkennung	5
2.1 Polarisationsfilter	5
2.2 Farbraum	5
2.2.1 HSV-Farbraum	5
2.2.2 CIE-Lab-Farbraum	6
2.3 Schwellenwertverfahren	6
2.4 Optische Filter	7
2.4.1 Unschärfe-Filter	7
2.4.2 Schärfe-Filter	7
2.4.3 Morph-Filter	7
A Erstes Kapitel des Anhangs	12
Literaturverzeichnis	14

Abbildungsverzeichnis

1.1 Abbildung des Prototypen, aus [Nie22]	2
1.2 Bestandteile des Kamerasytems	3
1.3 Distanzdarstellung zwischen Kamera und den Modulen, aus [Nie22]	3
1.4 Modul zur Detektion und SoM für das Ausführen der Pipeline	4
1.5 Beispiel eines Trays mit Modulen	4
2.1 Funktionsweise des Polfilters, aus [Hal]	6
2.2 Visualisierung der Anwendung des Polfilters, aus [Hal]	6
2.3 Visualisierung der Anwendung des Polfilters auf ein Tray Bild	8
2.4 Veranschaulichung des HSV-Farbraums, aus [Bey16]	9
2.5 CIE-Lab-Farbraum, aus [Bey16]	9
2.6 Visualisierung der Farbräume mit einem Beispielbild	10
2.7 Anwendung von optischen Filtern	11

Tabellenverzeichnis

1 Ausgangssituation

Das Unternehmen DH electronics GmbH entwickelt Hard- und Software für die Industrie- und Gebäudeautomation und spezialisierte sich auf die Entwicklung von System on Moduls (SoM). Mitarbeiter von DH electronics prüfen manuell die Module, die extern die Firma BMK (BMK Group GmbH & Co.KG) herstellt.

Hierfür positioniert ein Mitarbeiter die Module in einem Prüfstand und startet die Testroutine. Anschließend entnimmt er das getestete Modul und legt es zurück. Das Ziel ist die Automatisierung dieses Prüfprozesses. Hierfür setzt das Unternehmen einen bereits bestehenden Prototypen ein.

Das Ziel ist die Ausarbeitung eines Algorithmus, welcher die Postion und Rotation des Moduls auf einem aufgenommenen Bild detektiert. Basierend auf den Ergebnissen des Algorithmus, kann der Roboterarm die Module aufnehmen.

Hierfür wurde in einer vorherigen Bachelorarbeit bereits ein Verfahren entwickelt, welches sich auf KI-Methoden stützt. In der erwähnten Arbeit verwendete der Autor zur Positionsdetektion Key-Point-Detection auf der Grundlage von neuronalen Netzen. Da die Genauigkeit dieser Software eine maximale Genauigkeit von 79% erzielte, war deren Einsatz zu unpräzise. Aus diesem Grund ist der Fokus dieser Arbeit die Verwendung von optischen Filtern für die Positionsbestimmung.

Im folgenden Kapitel stellt die Arbeit den Aufbau des Prototypen vor.

1.1 Aufbau des Prototypen

Der bereits existierende Prototyp ist in Abbildung 1.1 erkennbar. Dieser Prototyp besitzt ein Kamerasystem, im Bild mit 1 gekennzeichnet, einen Roboterarm, im Bild mit der Zahl 3 erkennbar und eine Anzeige der Kamera, in der Abbildung mit der Zahl 4 zu erkennen. Das sogenannte „Tray“ ist mit der Zahl 2 in der Abbildung markiert.

Der Roboterarm Panda der Firma Franka Emika GmbH ist ein kollaborativer 7-Achsen-Roboter. Die folgenden Kapiteln stellen die weiteren Bestandteile des Prototypen vor.

1.1.1 Kamerasystem

Das Kamerasystem besteht aus einer 12 MP Sony IMX477R Kamera mit einem 16 mm Teleobjektiv RPIZ und einem Raspberry-Pi-4. Die Bestandteile sind in Abbildung 1.2a veranschaulicht. Die Zahl eins kennzeichnet die Kamera, die Zahl zwei den Vakuumgreifer, die Zahl drei den Raspberry-Pi und die Zahl vier den oberen Teil des Roboterarms.

Für die Aufnahme der Bilder von den Modulen im Tray verwendete der Autor zusätzlich einen WS2812 LED-Ring mit einem Durchmesser von 85 mm und einen Polfilter für die Kamera und für den LED-Ring. Der verwendete LED-Ring ist in Abbildung 1.2b abgebildet. Der Polfilter des LED-Rings wurde für die beste Genauigkeit um 80 Grad von der Ursprungposition gegen den Uhrzeigersinn gedreht. Die Ursprungposition befindet sich bei 270 Grad mit dem Uhrzeigersinn. Die Funktionsweise eines Polfilter beschreibt die Arbeit im Kapitel

1 Ausgangssituation

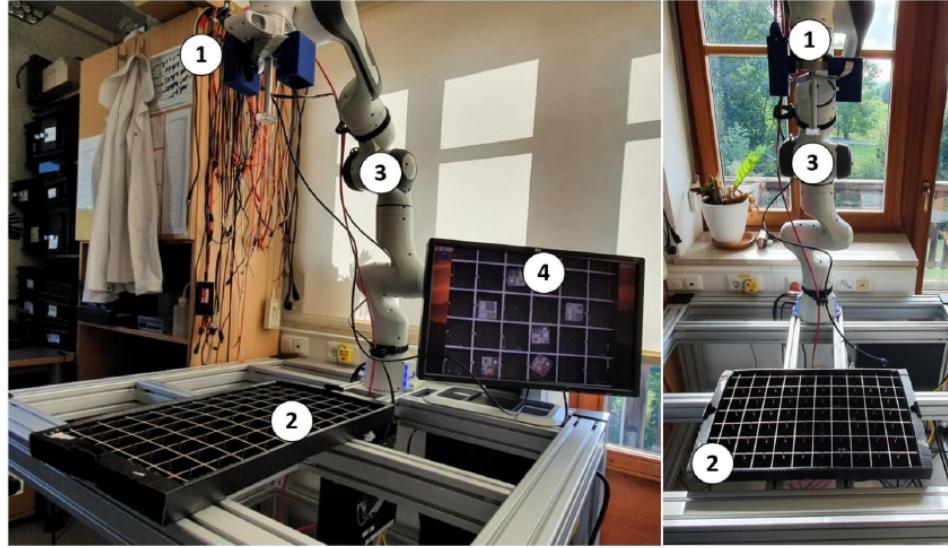


Abbildung 1.1 Abbildung des Prototypen, aus [Nie22]

2.1.

In Abbildung 1.3 ist die gewählte Distanz zwischen Kamera und den Modulen abgebildet. Sie beträgt 410 mm von Tray-Unterkante zur Vakuumgreifer-Unterkante. Für die Distanz ist der maximale Roboterarm-Radius und die Auflösung der Kamera entscheidend.

1.1.2 Tray

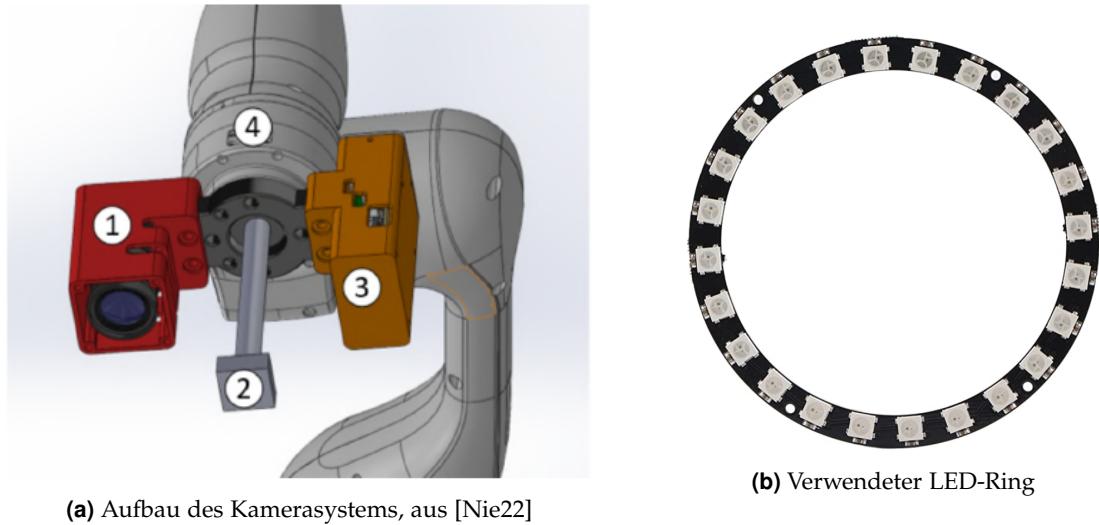
Das Tray dient als Ablage der Module nach der Herstellung von BMK. Ein Beispiel des verwendeten Trays ist in Abbildung 1.5, zu erkennen. Es besteht aus ESD geschützter Pappe mit den Maßen 550mm x 350mm. Der Platz für das Modul besitzt eine Fläche von 45mm x 45mm sowie einer Tiefe von 30mm.

Das zu detektierende DHCOR-Modul aus dem Sortiment von DH electronics ist in Abbildung 1.4a abgebildet. Das Modul besitzt die Maße 29mm x 29mm. An der Unterseite des Moduls befinden sich, in einem Muster angeordneten, Lötkugeln.

1.2 Verwendete Hardware

Da die Pipeline zur Positionsdetektion eines Moduls in Zukunft auf einem SoM von DH electronics ausführbar, stellt die Arbeit in diesem Kapitel die verwendete Hardware vor. Bei dieser handelt es sich um *DHCOM i.MX8M Plus*. Dieses Modul ist in Abbildung 1.4b erkennbar. Dieses SoM besitzt hierbei einen ARM Cortex Prozessor mit 4 Kernen sowie eine Neural Processing Unit (NPU) zur Beschleunigung der Ausführung von KI-Modellen.

1 Ausgangssituation



(a) Aufbau des Kamerasystems, aus [Nie22]

(b) Verwendeter LED-Ring

Abbildung 1.2 Bestandteile des Kamerasystems

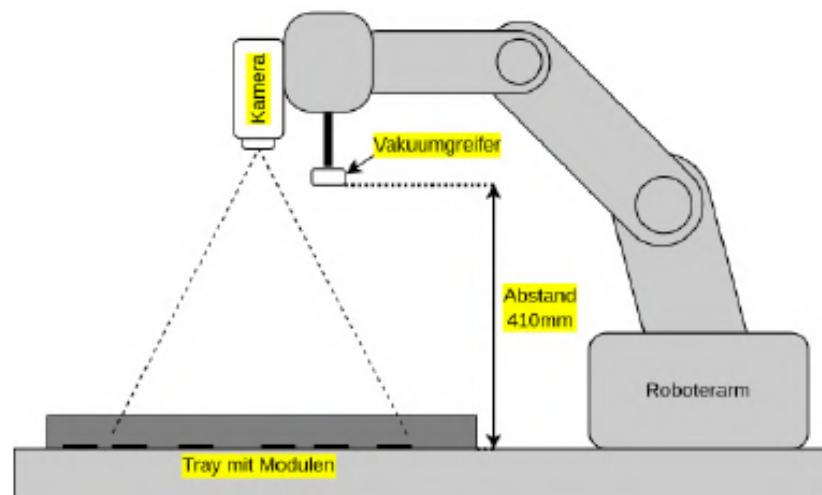


Abbildung 1.3 Distanzdarstellung zwischen Kamera und den Modulen, aus [Nie22]

1 Ausgangssituation

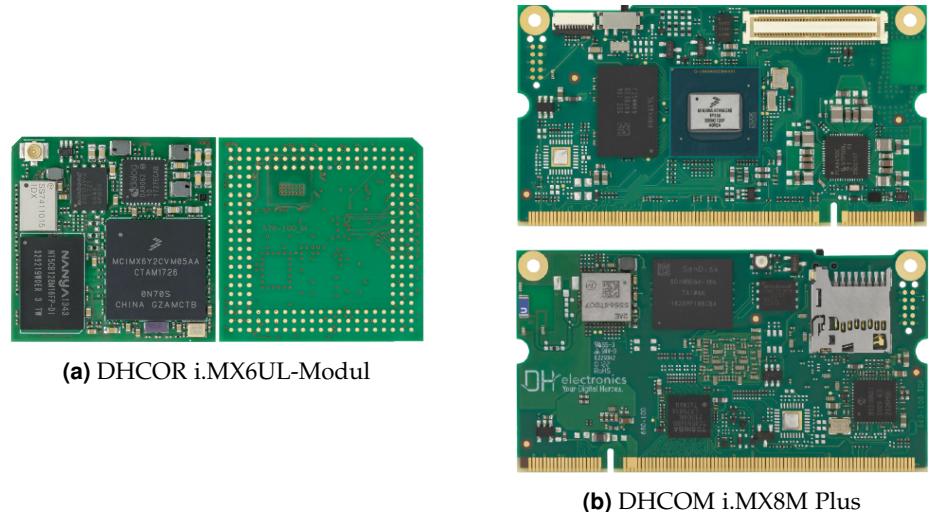


Abbildung 1.4 Modul zur Detektion und SoM für das Ausführen der Pipeline

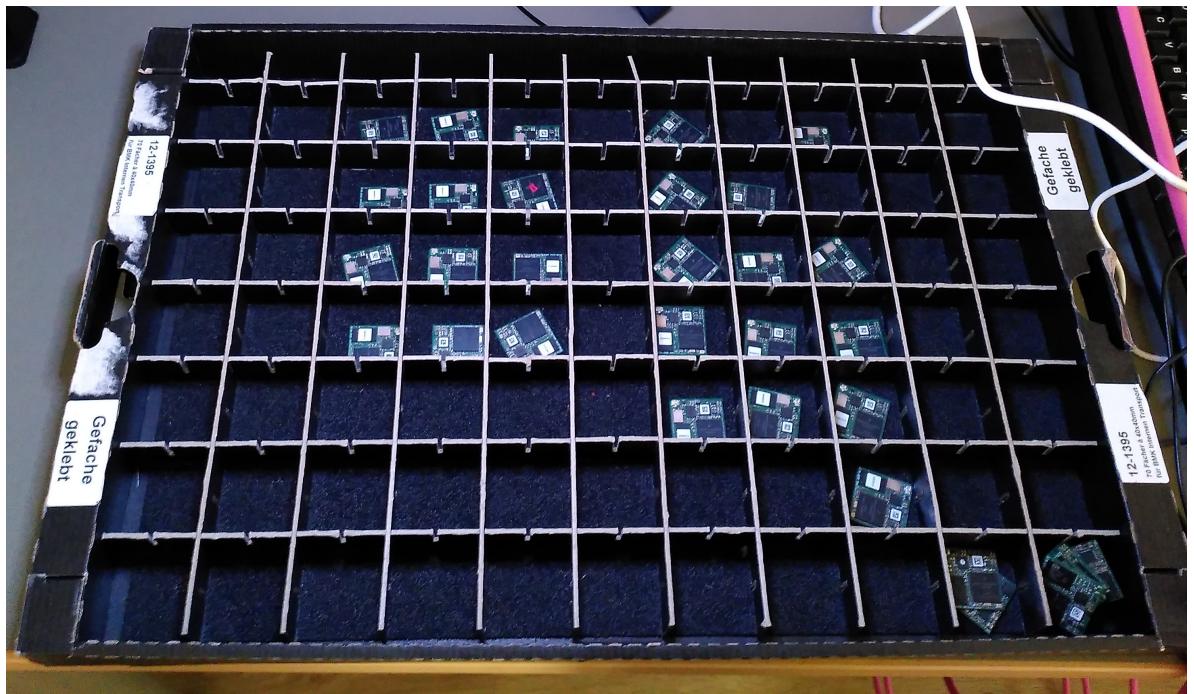


Abbildung 1.5 Beispiel eines Trays mit Modulen

2 Grundlagen zur optischen Erkennung

In den folgenden Kapiteln stellt die Arbeit Grundlagen der optischen Erkennung vor. Zu Beginn beschreibt der Autor die Funktionsweise eines externen Filters für die Kamera. Anschließend werden die verschiedenen Farbräume vorgestellt. Im Anschluss veranschaulicht die Arbeit die Anwendung von Filtern auf Bildern. Abschließend stellt der Autor die verwendete Methode der Kantenerkennung und das verwendete neuronale Netz vor.

2.1 Polarisationsfilter

Da in der Vorarbeit in [Nie22] bereits Reflexionen im Bild zu Verlusten der Genauigkeit führte, lag der Fokus in der Vorarbeit auf der Suche nach einem externen Filter für die Kamera, welcher die Reflexionen im Bild reduziert. Für diese Aufgabe fiel die Entscheidung auf den Polarisationsfilter, im Folgenden abgekürzt Polfilter.

Der Polfilter erhöht bei der Bildaufnahme den Dynamikumfang und die Kontraste und intensiviert die Farben, wohingegen Reflexionen im Bild reduziert werden. Die Funktionsweise des Polfilters veranschaulicht hierbei Abbildung 2.1. Das Licht schwingt im dreidimensionalen Raum und der Polfilter filtert je nach Rotation spezifische Lichtwellen.

Das Resultat der Anwendung des Polfilters zeigt die Abbildung 2.2. Nach der Anwendung ist in Abbildung 2.2b die Reduktion der Reflexion auf dem zentralen Felsen im Bild erkennbar. Des Weiteren sind helle Stellen im Wasser gesättigter. [Hal] [Der]

Die Auswirkungen auf Traybilder ist in 2.3 veranschaulicht. In Abbildung 2.3a ist auf den zentralen Modulen klar die Reflexion des LED-Ringes erkennbar. In Abbildung 2.3b ist hingegen nach der Anwendung des Polfilters keine Reflexion des LED-Ringes erkennbar und die Farben wirken gesättigter.

2.2 Farbraum

Da zur Detektion der Module auf den Bildern die Umwandlung in einen anderen Farbraum notwendig ist, soll dieses Kapitel einen kurzen Überblick über Farbräume geben.

Die Input-Bilder sind aus dem BGR-Farbraum. Hierbei handelt es sich um eine Umkehrung des RGB-Farbraums. Im RGB-Farbraum besteht eine Farbe aus der Kombination der drei Grundfarben. Aus diesem Grund kann man diesen Farbraum auch als dreidimensionales, kartesisches Koordinatensystem veranschaulichen.

2.2.1 HSV-Farbraum

Im Gegensatz zu dem RGB-Farbmodell besteht das sogenannte HSV-Farbmodell aus drei verschiedenen Variablen und verwendet eine Darstellung in Zylinderkoordinaten. Abbildung 2.4 visualisiert diesen Farbraum. In diesem Farbraum repräsentiert die Variable H die Färbung, S die Sättigung und V den Hellwert.

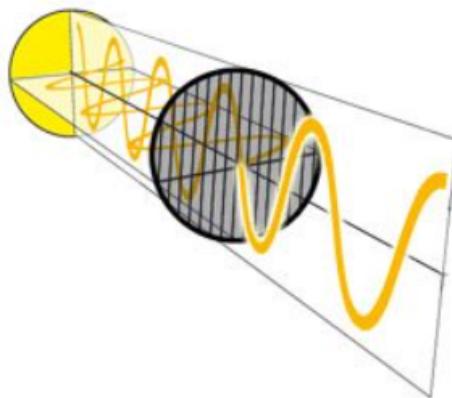


Abbildung 2.1 Funktionsweise des Polfilters, aus [Hal]



(a) Originalbild



(b) Anwendung des Polfilters

Abbildung 2.2 Visualisierung der Anwendung des Polfilters, aus [Hal]

2.2.2 CIE-Lab-Farbraum

Der CIE-Lab-Farbraum ist in Abbildung 2.5 visualisiert. In diesem Farbmodell steht der Wert der Variable L für die Helligkeit. Somit repräsentiert der Wert den Grauwert im Bild. Senkrecht zu dieser Achse verläuft die Koordinatenachse der Variable a. Hier visualisieren positive Werte rote und negative Werte grüne Farbtöne. Abschließend befindet sich die Koordinatenachse der Variable b ebenfalls senkrecht zu den bisherigen Koordinatenachsen. Positive Werte dieser Variable resultieren in gelben und negative Werte in blauen Farbtönen. Abschließend repräsentieren die Polarkoordinaten C den Radius und h den Farbtonwinkel. [Nis12]

Als Vergleich der unterschiedlichen Farträume dient die Abbildung 2.6.

2.3 Schwellenwertverfahren

Das Schwellenwertverfahren ist eine Methode für ein Bild in Graustufen, um als Resultat ein Binärbild zu erhalten. Dies ist ein notwendiger Schritt der Pipeline vor der Kantenerkennung. Dieses Verfahren lässt sich durch Formel 2.1 allgemein beschreiben. Hier steht f für den Grauwert des jeweiligen Pixels und t für den Schwellenwert. [Sze21]

$$\theta(f, t) = \begin{cases} 1 & \text{für } f \geq t, \\ 0 & \text{sonst,} \end{cases} \quad (2.1)$$

2.4 Optische Filter

Da verschiedene optische Filter für die Funktionsweise der Pipeline relevant sind, stellt dieses Kapitel die verwendeten Filter vor.

2.4.1 Unschärfe-Filter

Die Pipeline verwendet den Gaußschen Unschärfe-Filter. Hierfür wird für jeden Pixel abhängig von der Distanz zum Zentrum ein neuer Wert berechnet. Als Vorbild dient die Gaußsche Normalverteilung. Somit stellt diese Art des Filterns einen Integrationsprozess dar. Dieser Filter ist in der Lage, Bildrauschen zu reduzieren.

2.4.2 Schärfe-Filter

Der Schärfe-Filter hebt Kanten innerhalb des Bildes hervor. Im Gegensatz zum Unschärfe-Filter ist dieser Filter ein Ablauf der Unterscheidung, da diese Filter die Unterschiede in der Umgebung eines Pixels detektiert und sie anschließend vergrößert.

Die Unterschiede der Filter sind hierbei in 2.7 erkennbar. In Abbildung 2.7b verstärkt der Filter die äußeren Kanten des abgebildeten Moduls, wohingegen in Abbildung 2.7b der Filter das Bildrauschen reduziert.

2.4.3 Morph-Filter

2 Grundlagen zur optischen Erkennung

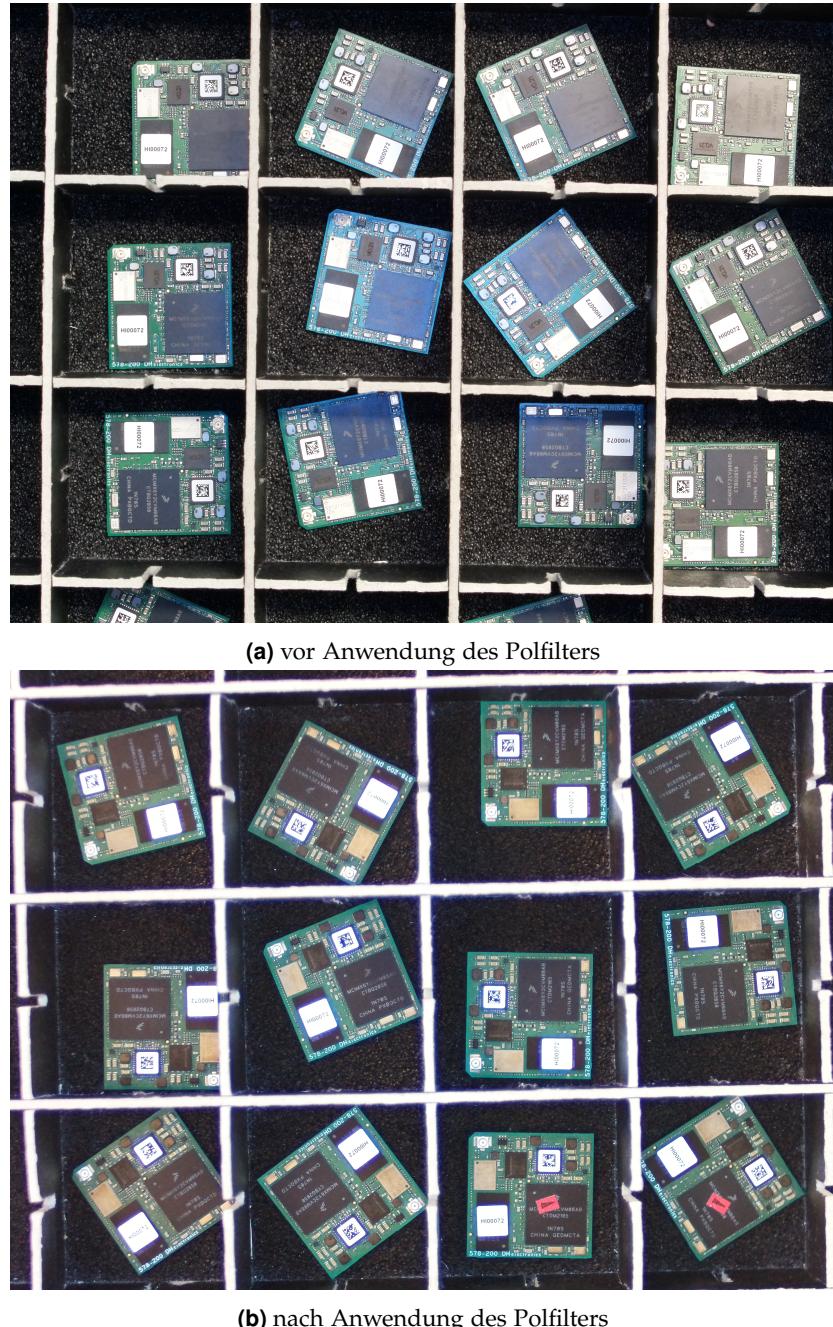


Abbildung 2.3 Visualisierung der Anwendung des Polfilters auf ein Tray Bild

2 Grundlagen zur optischen Erkennung

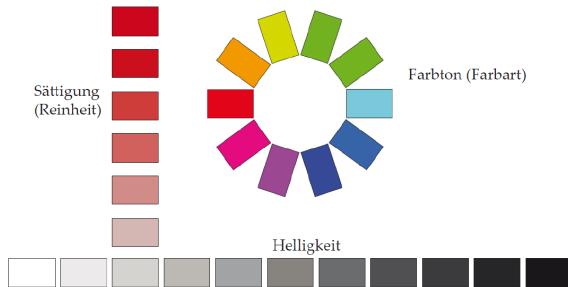


Abbildung 2.4 Veranschaulichung des HSV-Farbraums, aus [Bey16]

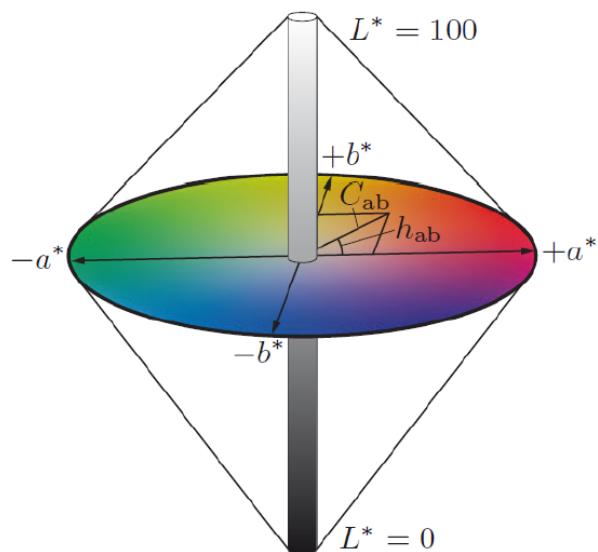


Abbildung 2.5 CIE-Lab-Farbraum, aus [Bey16]

2 Grundlagen zur optischen Erkennung

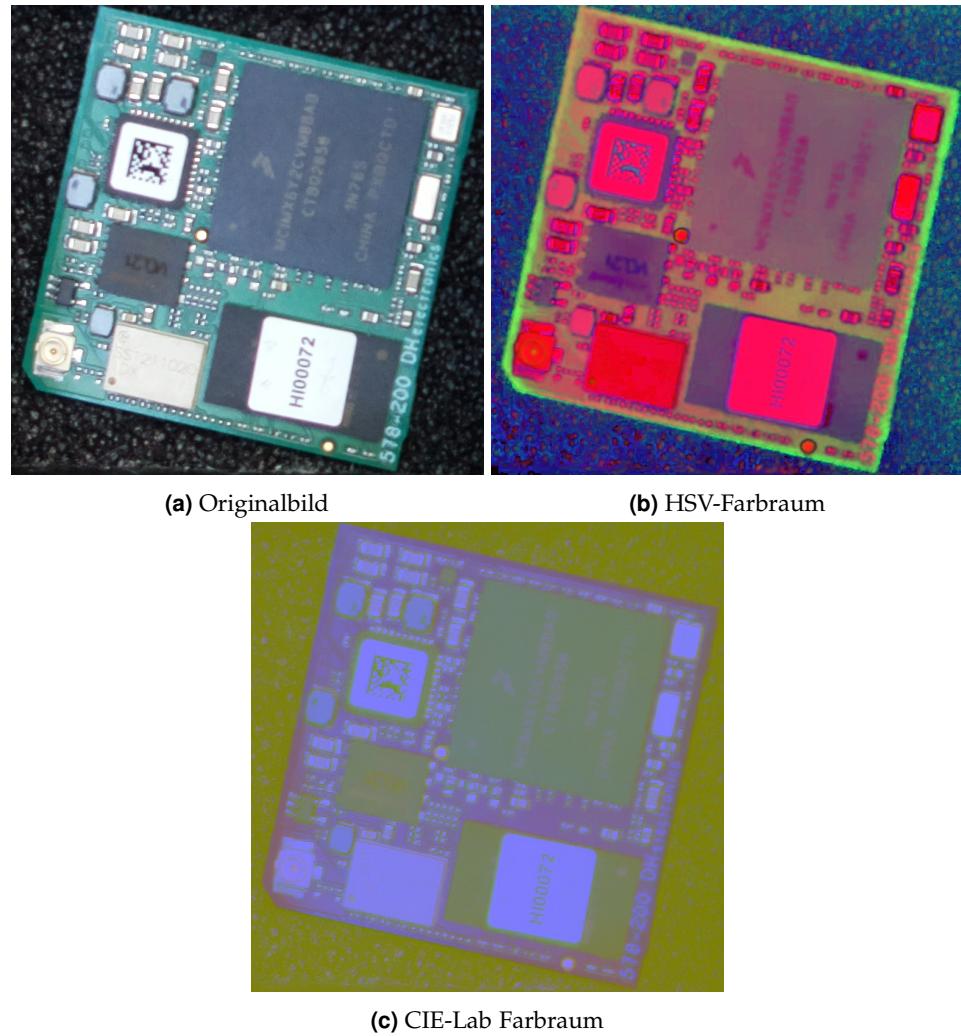


Abbildung 2.6 Visualisierung der Farträume mit einem Beispielbild

2 Grundlagen zur optischen Erkennung

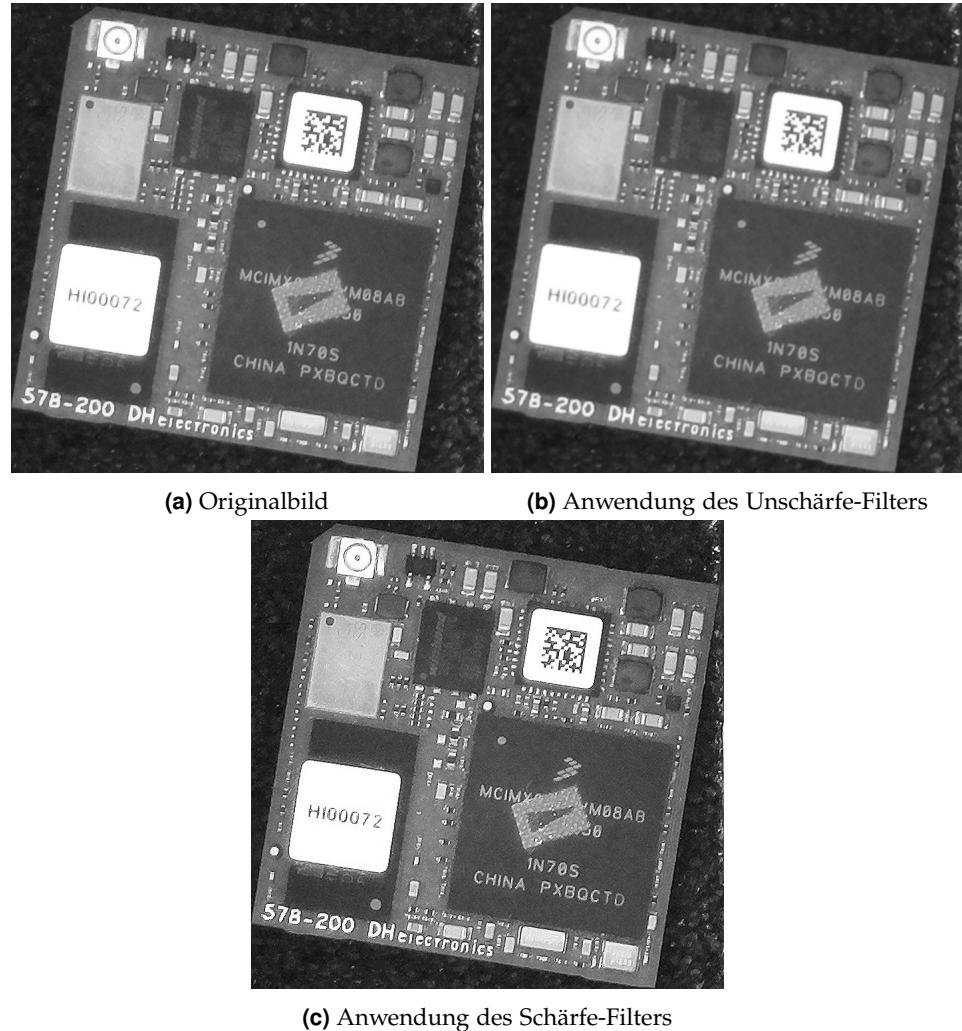


Abbildung 2.7 Anwendung von optischen Filtern

A Erstes Kapitel des Anhangs

Wenn Sie keinen Anhang benötigen, dann bitte einfach rausnehmen.

Abkürzungsverzeichnis

ARM Advanced RISC Machines

CIE Commission Internationale de l'Eclaire

KI Künstliche Intelligenz

LED Leuchtdiode

MP Megapixel

mm Millimeter

NPU Neural Processing Unit

SoM System on Moduls

Literaturverzeichnis

- [Bey16] J. Beyerer, F. P. León und C. Frese. *Automatische Sichtprüfung*. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg, 2016.
- [Der] D. Derbis. Polfilter Effekt, Anwendung und Vergleich. <https://www.matthiashaltenhof.de/tutorials/polfilter/>. Aufgerufen am 25.02.2023.
- [Hal] M. Haltenhof. Polfilter Test, Anwendung und Wissenswertes. <https://www.matthiashaltenhof.de/tutorials/polfilter/>. Aufgerufen am 25.02.2023.
- [Nie22] A. Niedl. Optische Erkennung elektronischer Komponenten in der Prüfautomatisierung mithilfe von KI-Methoden. 2022.
- [Nis12] A. Nischwitz, M. Fischer, P. Haberäcker und G. Socher. *Computergrafik und Bildverarbeitung*. Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden, 2012.
- [Sze21] R. Szeliski. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. 2021.