

# 11. Farbbildverarbeitung

Dieses Kapitel gibt eine Einführung in die Farbbildverarbeitung. Unter Farbbildverarbeitung verstehen wir die Auswertung der Farbinformation in Bildern für Anwendungen in der industriellen Bildverarbeitung. Obwohl Farbfernsehen schon seit vielen Jahrzehnten normal ist und im Consumer-Markt praktisch ausschließlich Farbkameras verfügbar sind, werden in der industriellen Bildverarbeitung nach wie vor die meisten Anlagen mit Graustufenkameras ausgerüstet und die Prüfaufgaben dem entsprechend nur mit der Auswertung der Helligkeitsinformationen gelöst. Das ist umso erstaunlicher, wenn man bedenkt, dass Farbe einen wesentlichen Teil der vom Menschen wahrgenommenen visuellen Information darstellt. Der Mensch kann laut (Russ 2007) lediglich 20–30 Graustufen unterscheiden, kann aber rund 1000 Farben und Farbnuancen unterscheiden, woraus offensichtlich wird, wie wichtig Farbinformationen für uns sind.

Es gibt aber einige Gründe, die gegen die Verwendung von Farbbildern in der Bildverarbeitung sprechen. Zunächst enthalten Farbbilder mehr Informationen über die aufgenommene Szene als Graustufenbilder, und dieses Mehr an Information bedeutet natürlich auch ein Mehr an Speicherplatzbedarf und Rechenaufwand. Einen Mehraufwand, den man wenn möglich vermeiden wird. Ein zweiter Grund ist, dass die meisten Bildverarbeitungsalgorithmen für Grauwertbilder entwickelt wurden und sich für die Auswertung von Grauwertbildern bewährt haben. Die Übertragung dieser etablierten Verfahren auf Farbbilder ist nicht immer ohne Weiteres möglich. Des Weiteren ist die Beschreibung von Farbe weitaus komplexer als die der Helligkeit. Während man die Helligkeit an einem Bildpunkt mit einem Wert beschreiben kann, benötigt man für die Beschreibung von Farbe im Allgemeinen drei voneinander unabhängige Werte, und dabei ist die Bedeutung der drei einzelnen Werte keineswegs festgelegt. Wie wir im ersten Anwendungsbeispiel sehen werden, gibt es verschiedene Modelle, mit denen Farben quantitativ beschrieben werden können, die jeweils ihre Vor- und Nachteile haben.

Trotzdem ist der Einsatz von Farbbildverarbeitung für manche Anwendungen notwendig. Dabei gibt es zwei typische Fragestellungen. Die eine Frage ist die nach der aktuellen Farbe eines bereits gefundenen Objekts. Dabei handelt es sich um eine Identifikationsaufgabe, die als Merkmal für die Klassifikation die Farbe des Objekts zugrunde legt. Dieser Fragestellung werden wir im ersten Anwendungsbeispiel begegnen.

Die andere typische Fragestellung ist die nach der Position oder Anwesenheit eines Objekts mit einer spezifischen Farbe. Dabei handelt es sich also um eine Segmentierung auf der Basis von Farbinformationen, bei der sich das Objekt durch die Farbe vom Hintergrund abhebt. Nach der Segmentierung können die Objekte natürlich genauso für Lageerkennung, Vermessung und Anwesenheits-

kontrolle verwendet werden wie die in Grauwertbildern segmentierten Objekte. Ein Beispiel für eine Farbsegmentierung zeigt die zweite Anwendung, die in diesem Kapitel präsentiert wird.

## 11.1 Farbidentifikation

Unser erstes Beispiel für die Farbbildverarbeitung kommt aus dem Bereich des Textileinzelhandels. Wahrscheinlich kennen wir alle die kleinen, bunten Größenringe aus Plastik, die an den Bügeln in Kaufhäusern und Bekleidungsgeschäften hängen, um die Größe der Kleidungsstücke zu bezeichnen. Wenn ein Kleidungsstück verkauft wird, wird der Größenring vom Bügel gelöst. Die dabei in großen Mengen anfallenden Größenringe sind natürlich völlig vermischt, wovon die Abbildung 11.1 einen Eindruck vermittelt. Um die Größenringe wieder verwenden zu können, müssen sie nach der von ihnen bezeichneten Größe sortiert werden, was die Aufgabe dieser Anwendung ist.

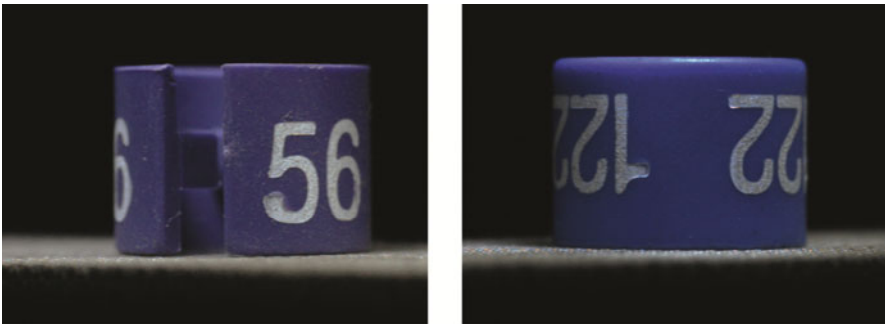


**Abbildung 11.1:** Größenringe vor der Sortierung (mit freundlicher Genehmigung der RNA Automation Ltd., Birmingham, UK)

### 11.1.1 Auswertestrategie

Das entscheidende Kriterium für die Sortierung ist die auf dem Größenring aufgeprägte und weiß lackierte Zahl oder Buchstabenkombination<sup>1</sup>. Es wäre natürlich denkbar, diese Aufgabe nur mit Klarschrifterkennung im Grauwertbild wie in Kapitel 5 beschrieben zu lösen, allerdings gibt es einige Gründe, die gegen dieses Vorgehen sprechen:

- Da die Objekte rund sind, kommt es immer zu perspektivischen Verzerrungen der eingepprägten Zahlen, wie man in Abbildung 11.2 sehen kann, was die Klassifikation weniger robust macht. Dies kann, da insgesamt rund 70 verschiedene Kleidergrößen identifiziert werden müssen, durchaus problematisch sein.



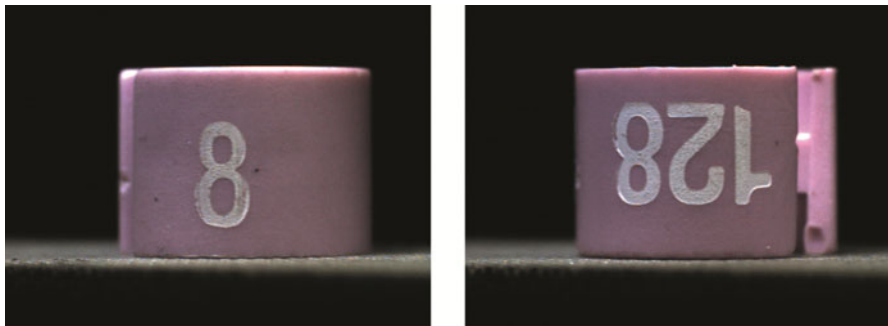
**Abbildung 11.2:** Perspektivische Verzerrung durch runden Objektkörper

- Die Zuführung der Größenringe stellt sicher, dass sich immer nur ein Objekt im Aufnahmebereich der Kamera befindet, allerdings ist die Orientierung des Rings zufällig, so dass in der Hälfte der Fälle die Beschriftung des Größenrings auf dem Kopf steht, wie man in Abbildung 11.2 ebenfalls sehen kann. Die Schrifterkennung muss also entweder auch auf dem Kopf stehende Zeichen lesen können, was die Anzahl der Klassen praktisch verdoppelt, oder aber man liest die Zahlen zweimal und dreht zwischen den Lesevorgängen das Bild auf den Kopf, wobei der zweimalige Lesevorgang natürlich auch doppelt so viel Rechenzeit in Anspruch nimmt.
- Wenn man Template Matching für die Identifikation der Größen einsetzt, bedeutet die große Anzahl verschiedener Klassen einen erheblichen Rechenaufwand, der bei der in dieser Anwendung geforderten hohen Taktrate von 300 Größenringen pro Minute durchaus kritisch werden kann.

Aus den genannten Gründen scheidet der naheliegende Ansatz, die Größe per Klarschrifterkennung zu identifizieren, aus. Das zweite hervorstechende Merkmal

<sup>1</sup> Da alle Größen außer S, M, L, und so weiter mit Zahlen bezeichnet werden, werden wir im Folgenden nur von Zahlen sprechen, was immer auch die mit Buchstaben bezeichneten Größen einschließt.

der Größenringe ist ihre Farbe, und so liegt es nahe, diese als Kriterium für die Identifizierung heranzuziehen. Die unterschiedlichen Konfektionsgrößen haben auch unterschiedliche Farben, woran man die einzelnen Größen beim Einkauf noch an der Stange hängend unterscheiden kann. Tatsächlich ist die Farbe der Größenringe keineswegs eindeutig. Zwar hat jede Größe nur eine Farbe, aber eine Farbe wird durchaus für unterschiedliche Konfektionsgrößen verwendet. Meistens kommen die Konfektionsgrößen, die die gleiche Farbe haben, nicht auf derselben Kleiderstange vor, da es sich bei der einen zum Beispiel um die englische Damengröße 8 (Abbildung 11.3 links) und bei der anderen um die Kindergröße 128 (Abbildung 11.3 rechts) handelt. Für unsere Identifikationsaufgabe bedeutet das aber, dass die Farbe der Größenringe keineswegs als alleiniges Kriterium ausreicht.



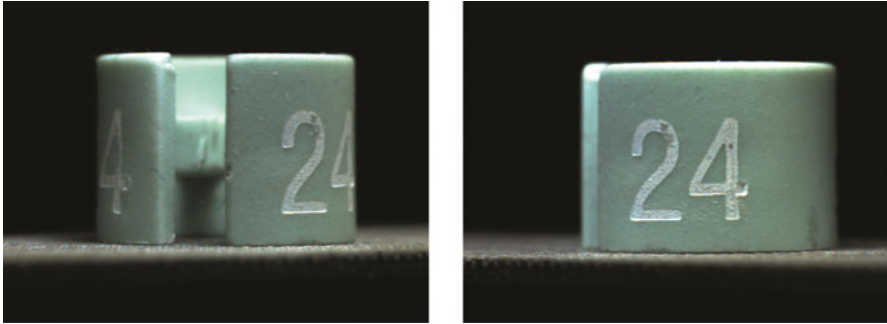
**Abbildung 11.3:** Verschiedene Größen auf Ringen identischer Farbe

Tatsächlich bietet es sich an, beide möglichen Kriterien kombiniert zu verwenden. In einem ersten Schritt kann mit der Identifizierung der Farbe beziehungsweise Farbklasse eine grobe Klassifizierung der Größenringe erfolgen. In einem zweiten Schritt muss bei der Klarschrifterkennung nur noch zwischen wenigen möglichen Größen unterscheiden werden. Durch die Kombination beider Identifikationsmethoden ist es möglich, die Größenringe mit ausreichender Zuverlässigkeit und hoher Geschwindigkeit zu sortieren.

### 11.1.2 Beleuchtung und Bildaufnahme

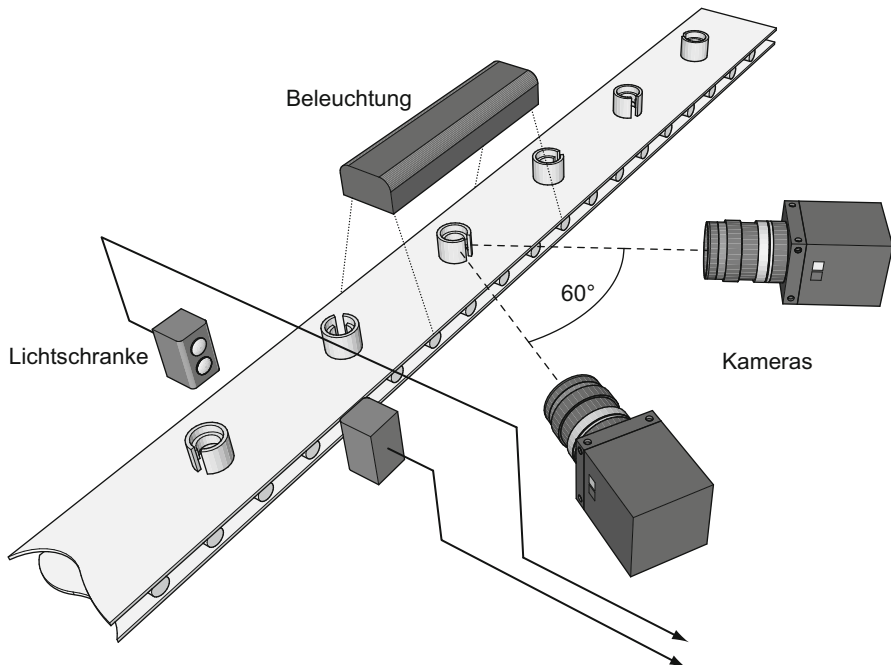
Die Größenringe werden auf einem Förderband liegend durch die Bildverarbeitungsstation transportiert. Um die Beschriftung möglichst gut erfassen zu können, sollten die Kameras waagrecht auf den Ring gerichtet sein. Da auf einem Größenring die Zahl dreimal aufgeprägt ist, schaut die Kamera im ungünstigsten Fall unter einem Winkel von  $60^\circ$  auf die Größe. Wie man in Abbildung 11.4 links gut sehen kann, ist unter einem Winkel von  $60^\circ$  die Beschriftung praktisch nicht mehr zu identifizieren. Aus diesem Grund werden die Größenringe von einer zweiten Kamera aufgenommen, deren Blickrichtung gerade um  $60^\circ$  gegenüber der ersten Kamera gedreht ist, wie in Abbildung 11.5 skizziert. Wie man auf der rechten Sei-

te von Abbildung 11.4 sehen kann, ist die Kamera damit direkt auf die Schrift gerichtet, wenn die andere Kamera mitten zwischen zwei Beschriftungen blickt. Bei dieser Konfiguration mit zwei Kameras ist die Beschriftung im ungünstigsten Fall um  $30^\circ$  gegenüber der Kameraachse verdreht, was kein Problem für die Identifikation darstellt.



**Abbildung 11.4:** Größenring aus Sicht zweier um  $60^\circ$  verdrehter Kameras

Die Bildaufnahme wird durch eine Lichtschranke getriggert, so dass die Lage des Objekts im Bildfeld der Kamera sehr konstant ist. Da die Schrift im Vergleich zum Objekt sehr groß ist, sind Farbkameras mit der sehr geringen Auflösung von  $640 \times 480$  Pixel völlig ausreichend.



**Abbildung 11.5:** Aufbau der Station zur Erkennung von Größenringen

Um eine Farberkennung zu ermöglichen, ist eine Auflichtbeleuchtung natürlich unerlässlich. Allerdings scheidet eine waagerechte Beleuchtung aus, denn durch die zylindrische Form der Größenringe würde das Licht immer irgendwo direkt in die Kameras reflektiert werden, was sowohl die Klarschriftlesung als auch die Farberkennung stören würde. Von daher bleibt praktisch nur noch eine Beleuchtung von oben. Diese sollte möglichst diffus sein, um eine Farberkennung auf der gesamten Ringbreite zu ermöglichen, und wird durch ein linienförmiges Leuchtelement aus Weißlicht-LEDs realisiert. Glücklicherweise ist der Kontrast zwischen der weißen Beschriftung und dem farbigen Ringkörper bei allen Farben groß genug, um eine Schrifterkennung bei der diffusen Auflichtbeleuchtung zu erlauben. Wenn für die Schrifterkennung eine Dunkelfeldbeleuchtung erforderlich wäre, wäre es kaum möglich, mit derselben Kamera und Beleuchtung auch die Farbe des Rings zu erfassen. Das intensive Licht der LEDs erzeugt am oberen Rand der Ringe bei manchen Farben einen helleren Kranz, der allerdings bei der Schrifterkennung nicht stört, da er weit genug von der Beschriftung entfernt ist, und bei der Farberkennung dieser Bereich von der Auswertung ausgenommen werden kann.

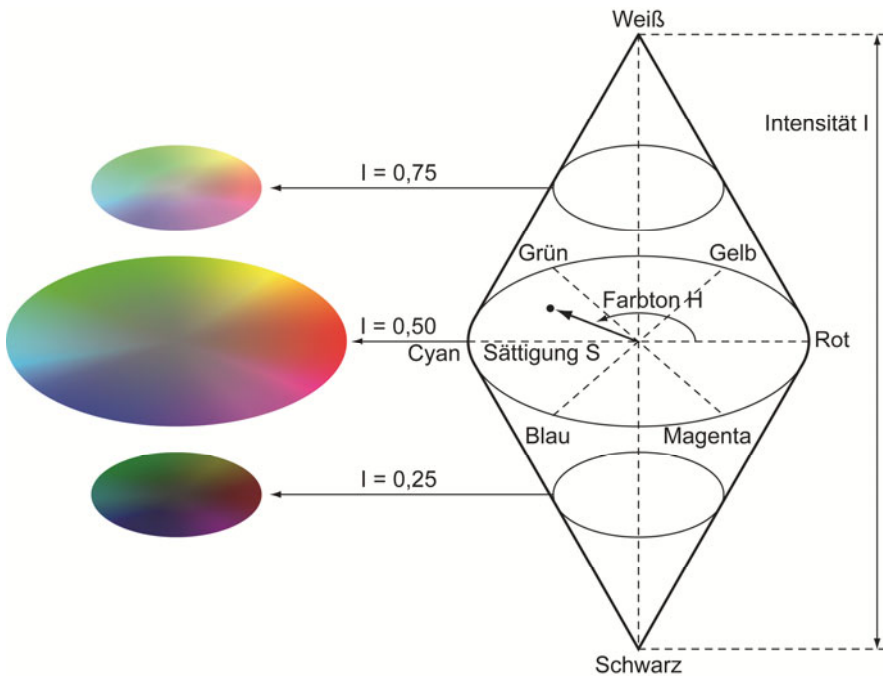
### 11.1.3 Farbklassifizierung

Der erste Schritt unserer Auswertung ist die Einteilung der Größenringe in Farbklassen. Dazu ist eine Farbbeschreibung notwendig, anhand der der Computer diese Trennung durchführen kann. Wir kennen wohl alle Fälle, in denen zwei Personen ein und dieselbe Farbe unterschiedlich bezeichnen; so ist beispielsweise für den einen ein Objekt gelb, das für den anderen orange ist. Für die Klassifizierung brauchen wir deshalb eine quantitative Beschreibung der Farbe.

Die einfachste Möglichkeit der Farbbeschreibung ist es, die RGB-Werte als Grundlage für die Klassifizierung zu nehmen. Der RGB-Farbraum ist sehr gut geeignet, um die Farbdaten zu beschreiben, die von einer Kamera aufgenommen werden. Es gibt allerdings zwei Gründe, die gegen die Verwendung des RGB-Farbraums sprechen: Zum einen entspricht die Darstellung nicht der menschlichen Wahrnehmung von Farbe, was die Interpretation der Werte sehr erschwert und zum anderen kann man die Beurteilung der Farbe nicht von der Helligkeit trennen. Der Mensch trennt im Allgemeinen die Farbe von der Helligkeit, so sind zum Beispiel ein helles Blau und ein dunkles Blau für uns die gleiche Farbe mit unterschiedlicher Helligkeit, während beispielsweise ein helles Blau und ein helles Grün zwar dieselbe Helligkeit, aber unterschiedliche Farbtöne haben. Mit dem Farbton und der Helligkeit lässt sich eine Farbe noch nicht vollständig beschreiben: Es fehlt noch eine Möglichkeit, zwischen einer kräftigen Farbe und einer Pastellfarbe zu unterscheiden. Diese Farbeigenschaft wird als Sättigung bezeichnet wobei kräftige, „satte“ Farben eine hohe Sättigung haben, während blasse oder „schmutzige“ Farben eine niedrige Sättigung haben.

Der sogenannte HSI-Farbraum beschreibt Farbe auf genau diese Weise, wobei der Name sich aus dem Farbton (englisch Hue), der Sättigung (englisch Saturati-

on) und der als Intensität (englisch *Intensity*) bezeichneten Helligkeit herleitet. Beim Farbton greift der HSI-Farbraum die traditionelle Vorstellung des Farbkreis auf und beschreibt den Farbton durch einen Winkel. Als Farbton für null Grad wurde Rot festgelegt, und von dort aus steigt der Winkel über Gelb, Grün, Blau und Violett an, um bei  $360^\circ$  wieder zu Rot zu gelangen. Der Farbkreis wird zur Farbscheibe, indem man die Sättigung der Farbe als Radius einführt. Im Mittelpunkt, also bei einer Sättigung von null, ist die Farbscheibe grau, während am Rand der Farbscheibe die vollständig gesättigten, eben „satten“ Farben sind. Derartige Farbscheiben sind für unterschiedliche Helligkeiten in Abbildung 11.6 dargestellt. Farbton als Winkel, Sättigung als Radius und Intensität als Höhe bilden zusammen ein Zylinderkoordinatensystem, mit dem der Farbraum beschrieben wird. Wie man in Abbildung 11.6 sehen kann, ist die Farbscheibe bei mittlerer Helligkeit am größten. Tatsächlich können Farben nur bei mittlerer Helligkeit voll gesättigt sein. In den Extremfällen der maximalen und minimalen Helligkeit ist gar keine Sättigung möglich, denn Weiß und Schwarz haben keinerlei Farbanteile.



**Abbildung 11.6:** Der HSI-Farbraum

Da die Bilddaten von Kameras meistens im RGB-Farbraum vorliegen, müssen die Farbdaten in den HSI-Farbraum transformiert werden. Laut (Gonzalez und Woods 2008) kann man RGB-Farbdaten mit



$$\begin{aligned}
 H &= \begin{cases} \theta & , \text{ falls } B \leq G \\ 360^\circ - \theta & , \text{ falls } G < B \end{cases} , \\
 S &= 1 - \frac{\text{Min}\{R, G, B\}}{R + G + B} \quad \text{und} \\
 I &= \frac{1}{3}(R + G + B)
 \end{aligned} \tag{11.1}$$

in den HSI-Farbraum transformieren, wobei

$$\theta = \arccos \left( \frac{2R - G - B}{2\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right).$$

Nachdem wir den HSI-Farbraum jetzt kennen, können wir uns der praktischen Durchführung der Prüfung zuwenden. Zunächst müssen wir den Bereich festlegen, in dem die Farbe bestimmt werden soll. Man könnte die Farbe natürlich über das gesamte Objekt hinweg messen, aber dabei geht die weiße Beschriftung mit in die Bewertung ein. Aus diesem Grund ist es besser, nur einen Teilbereich für die Farbbestimmung heranzuziehen. Im Bereich über der Beschriftung kann es durch die Beleuchtung zu Reflexen kommen, die die Farbbestimmung verfälschen würden, deshalb ist der Bereich unterhalb der Größenangabe am besten geeignet. Aufgrund der runden Form des Objekts erscheinen die Ränder des Größenrings dunkler als die Mitte des Rings. Zwar ist im HSI-Farbraum die Beschreibung der Farbe von der Helligkeit entkoppelt, allerdings können in sehr dunklen Bereichen Farben nicht mehr erkannt werden, so dass man mit dem Suchbereich auch zum linken und rechten Rand etwas Platz lassen wird. Als Auswertebereich bleibt somit ein Band unterhalb der Beschriftung.

Eine Positionierung des Arbeitsbereichs ist bei dieser Anwendung unnötig. Aufgrund der Triggerung der Bildaufnahme durch die Lichtschranke und die konstante Geschwindigkeit des Transportbands ist die horizontale Lage des Objekts ausreichend stabil. In vertikaler Richtung ist die Lage durch das Transportband völlig festgelegt. Dabei ist lediglich zu beachten, dass der Abstand zwischen der Beschriftung und dem oberen und unteren Rand des Größenrings unterschiedlich ist. Deshalb hängt die Höhe der Unterkante der Beschriftung davon ab, ob der Ring auf dem Kopf liegt oder nicht.

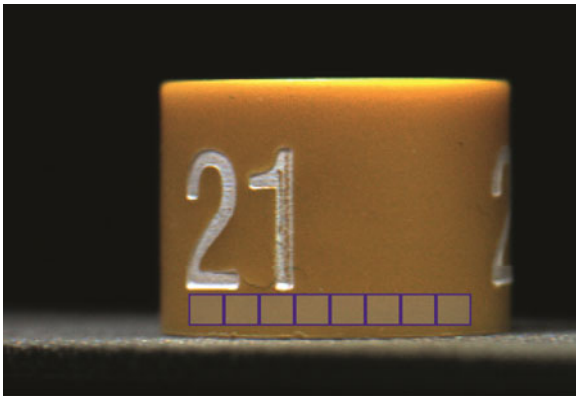
Die eigentliche Farbbestimmung besteht darin, das Bild in den HSI-Farbraum zu konvertieren und dann für jeden Kanal den mittleren Grauwert im Suchbereich zu bestimmen. Um die Auswirkung von Kamerarauschen und Verunreinigungen des Größenrings zu reduzieren, sollte man den Messbereich vor der Transformation in den HSI-Farbraum glätten.

Für jede Größenringfarbe muss der Bereich für die drei Farbkoordinaten hinterlegt werden, in dem sich die gemessenen Werte befinden dürfen. Bei 70 möglichen Farben bedeutet dies, dass die gemessenen Werte im ungünstigsten Fall 70-



mal mit vorgegebenen Werten verglichen werden müssen. Um die Anzahl der Vergleiche zu reduzieren, empfiehlt es sich, eine Vorklassifizierung durchzuführen. Diese teilt die Farben anhand des Farbtons in acht Klassen, die den Farbtonkreis in jeweils 45° breite Bereiche einteilen. Je nach Bereich sind dadurch für die Farbklassifizierung nur fünf bis zwanzig Vergleiche erforderlich.

Ein Problem bei der Farbklassifikation ist noch offen: Die Ringe haben eine Öffnung, um sie auf die Bügel stecken zu können. Diese Bereiche werden nicht gut beleuchtet, so dass sie erheblich dunkler sind als die sonstige Oberfläche des Größenrings. Diese Bereiche müssen von der Farbauswertung ausgenommen werden, daher werden statt eines großen Auswertebereichs mehrere kleine Auswertebereiche verwendet, wie in Abbildung 11.7 dargestellt. Damit können Auswertebereiche, die sich über der Ringöffnung befinden, vor der Farbbestimmung aussortiert werden. Die Auswertebereiche, die ausschließlich im Schatten liegen, sind anhand der geringen Helligkeit zu erkennen, während die Übergänge zwischen abgeschatteten Bereichen und der farbigen Oberfläche anhand des großen Helligkeitskontrasts zu erkennen sind. Vor der Bestimmung der Farbe sortiert man somit die Auswertebereiche aus, die entweder sehr dunkel sind oder einen sehr großen Kontrast haben. Damit gehen die abgeschatteten Bereiche der Öffnung nicht in die Farbauswertung ein.



**Abbildung 11.7:** Arbeitsbereich für die Bestimmung der Farbe

Die Verwendung von mehreren Auswertebereichen für die Farberkennung erlaubt es auch, zur Unterdrückung von Ausreißern die Auswertebereiche mit den größten und kleinsten Farbwerten vor der Auswertung auszuschließen. Die Farbauswertung wird in Tabelle 11.1 zusammengefasst.

**Beispielbeschreibung 11.1.** Die nachfolgende Tabelle fasst das Beispiel aus Abschnitt 11.1.3 zusammen.

Kategorie	Beschreibung
Verzeichnis	\Beispiele\Farbe
Beleuchtung	Auflichtbeleuchtung mit Weißlicht-LEDs
Prüfschritte	<p>Das Beispiel verwendet folgenden Prüfschrittablauf:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Bildaufnahme</i></li> <li>2. <i>Arbeitsbereiche definieren</i>, setzt mehrere kleine Arbeitsbereiche unterhalb der Beschriftung mit ausreichend Abstand zu den seitlichen Rändern.</li> <li>3. <i>Farbbild konvertieren</i>, konvertiert das Bild in ein Intensitätsbild.</li> <li>4. <i>Arbeitsbereiche Merkmale erzeugen</i>, ermittelt Helligkeit und Kontrast.</li> <li>5. <i>Arbeitsbereiche filtern</i>, schließt die Öffnung des Größenrings anhand der Helligkeit und des Kontrasts von der Farbauswertung aus.</li> <li>6. <i>Farbbild konvertieren</i>, konvertiert das Bild in ein Farbttonbild.</li> <li>7. <i>Arbeitsbereiche kopieren</i>, kopiert die Arbeitsbereiche für die Ermittlung des Farbttons.</li> <li>8. <i>Arbeitsbereiche Merkmale erzeugen</i>, ermittelt den Farbtton als mittleren Grauwert.</li> <li>9. <i>Arbeitsbereiche sortieren</i>, sortiert den Arbeitsbereich mit dem höchsten Farbtton aus, um Ausreißer zu unterdrücken.</li> <li>10. <i>Arbeitsbereiche sortieren</i>, sortiert den Arbeitsbereich mit dem niedrigsten Farbtton aus, um Ausreißer zu unterdrücken.</li> <li>11. <i>Farbbild konvertieren</i>, konvertiert das Bild in ein Sättigungsbild.</li> <li>12. <i>Arbeitsbereiche Merkmale erzeugen</i>, ermittelt die Sättigung als mittleren Grauwert.</li> <li>13. <i>Arbeitsbereiche sortieren</i>, sortiert den Arbeitsbereich mit der höchsten Sättigung aus, um Ausreißer zu unterdrücken.</li> <li>14. <i>Arbeitsbereiche sortieren</i>, sortiert den Arbeitsbereich mit der niedrigsten Sättigung aus, um Ausreißer zu unterdrücken.</li> <li>15. <i>Arbeitsbereiche kombinieren</i>, fasst die Arbeitsbereiche mit Farbtton und Sättigungswerten zusammen.</li> </ol>

#### 11.1.4 Auswahl des Kamerabildes für die Beschriftungserkennung

Die Identifizierung der Farbe des Größenrings ist wie gesagt nur der erste Schritt der Auswertung. Der zweite Schritt ist die Erkennung der Beschriftung. Es werden zwei Kameras verwendet, um sicherzustellen, dass die Schrift in mindestens einem Kamerabild gut erkennbar ist. Da man zunächst nicht weiß, in welchem, muss im nächsten Schritt bestimmt werden, in welchem Kamerabild die Beschriftung besser zu lesen ist. Die Beschriftung ist umso besser zu identifizieren, je direkter die Kamera darauf gerichtet ist. Wenn die Kamera direkt auf die Beschriftung gerichtet ist, ist diese wesentlich breiter, als wenn die Kamera die Beschriftung unter einem großen Winkel aufnimmt. Dies macht man sich zunutze

und wählt das Kamerabild für die Beschriftungsidentifizierung, in dem die Breite der Beschriftung am größten ist. Der nächste Schritt ist somit, die Breite der Beschriftung in beiden Kamerabildern zu messen und das Bild mit der größeren Breite für das Lesen der Konfektionsgröße auszuwählen. Um die Breite der Beschriftung zu messen, muss die Beschriftung als ein Objekt segmentiert werden, was bei Größenbezeichnungen, die aus mehreren Ziffern bestehen, bedeutet, die Ziffern zusammenzufassen.

Da die Beschriftung immer weiß ist, ist sie immer heller als die Farbe des Rings. Deshalb kann man die Messung der Beschriftungsbreite in einem Grauwertbild, das die Helligkeitsverhältnisse im Farbbild wiedergibt, durchführen. Um dieses Helligkeitsbild zu erhalten, könnte man das Bild in den HSI-Raum transformieren und dann nur den I-Kanal verwenden. Im Allgemeinen wird man aber den Aufwand dieser Transformation vermeiden und das Helligkeitsbild direkt aus dem RGB-Bild berechnen, indem man einen Mittelwert aus Rot-, Grün- und Blauwert bildet. Wenn man die drei Farbwerte gleich gewichtet addiert, entspricht das resultierende Helligkeitsbild nicht unserem Helligkeitsempfinden. Tatsächlich hat das grüne Licht für den Menschen einen wesentlich stärkeren Einfluss auf die empfundene Helligkeit als das rote oder blaue Licht. Aus diesem Grund lässt man die einzelnen Farbkanäle gewichtet in den Helligkeitswert eingehen. (Russ 2007) gibt folgende Gewichte für die Umwandlung an:

$$H(x, y) = 0,299 \cdot R(x, y) + 0,587 \cdot G(x, y) + 0,114 \cdot B(x, y) \quad (11.2)$$

Mit dieser Formel kann für jedes Pixel des Farbbildes direkt ein Helligkeitswert berechnet werden und damit das Farbbild in ein Grauwertbild umgewandelt werden. Aus der Formel 11.2 kann man entnehmen, dass der Grünwert mehr als die Hälfte zum Helligkeitswert beiträgt.

Aufgrund der unterschiedlichen Helligkeiten des Hintergrunds ist es empfehlenswert, die Schrift anhand der Kanten zum Hintergrund zu segmentieren. Dazu wird ein Kontrastfilter mit einer großen Filtermaske auf das Bild angewandt, dessen Ergebnis in Abbildung 11.8 links dargestellt ist. Damit erscheinen die Ränder der Beschriftung hell im Bild. Aber auch die Kanten des Rings werden hell dargestellt, da sich der Ring je nach Farbe mehr oder weniger stark vom Hintergrund unterscheidet. Auch die Stärke des Kontrastes zwischen Beschriftung und Ring hängt natürlich von der Ringfarbe ab. Um diese Unterschiede auszugleichen, wird das Bild normiert, was in Abbildung 11.8 rechts zu sehen ist.

Nach der Kontrastfilterung und der Normierung sind die Ränder der Ziffern vollständig hell im Bild zu sehen, während das Innere der Ziffern und der Rest des Größenrings dunkel sind. In diesem Kantenbild werden die Ziffern binär segmentiert, den Suchbereich kann man dabei so wählen, dass der obere und untere Rand des Größenrings außerhalb liegt. Bei der Segmentierung muss man darauf achten, dass die gefundenen Objekte gefüllt werden, da anderenfalls das dunkle Innere der Ziffern als Loch im Objekt verbleiben würde. Neben den gesuchten Ziffern werden auch der linke und rechte Rand des Rings als Objekt erzeugt. Da dieser Rand

höher und schmaler als die Ziffern ist, kann man ihn anhand dieser Merkmale herausfiltern.

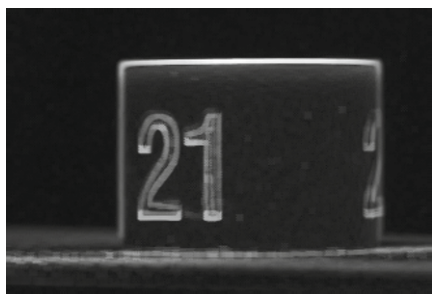
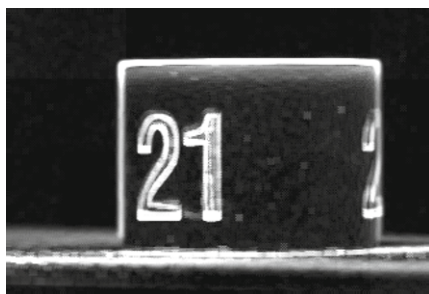


Bild nach Kontrastfilterung



Normiertes Bild

**Abbildung 11.8:** Mit Kontrastfilter bearbeitetes und normiertes Bild

Um die Ziffern einer Zahl zusammenzufassen, erzeugen wir ein künstliches Bild, in dem die gefundenen Objekte weiß eingezeichnet sind und der Rest schwarz ist, was in Abbildung 11.9 links dargestellt ist. Durch mehrfache Dilatation mit einer speziell angepassten Filtermaske werden die Ziffern breiter gemacht, so dass die Ziffern einer Zahl einen zusammenhängenden weißen Bereich bilden, was in der Abbildung 11.9 rechts zu sehen ist. Als Filtermaske wird ein waagrechtter Strich verwendet, der ein Pixel hoch ist und elf Pixel breit ist. Bei der Dilatation mit dieser Maske werden Objekte breiter, aber ihre Höhe ändert sich nicht. Bei den relativ nah beieinander stehenden Ziffern einer Konfektionsgröße bewirkt das, dass die einzelnen Ziffern zu einem hellen Bereich verschmelzen.



Binarisierte Ziffern



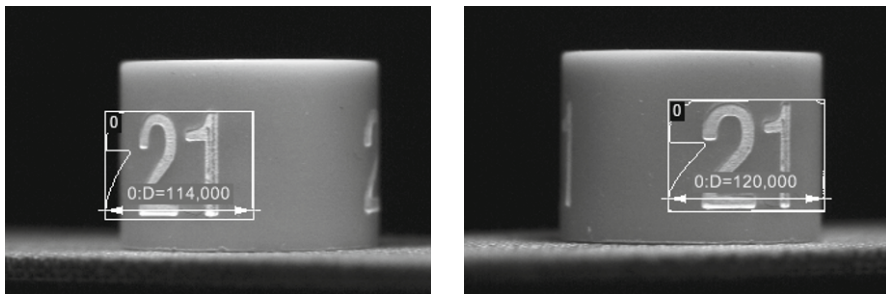
Zusammengefasste Ziffern

**Abbildung 11.9:** Gezeichnete und zusammengefasste Objekte

Die so zu einem Bereich verbundenen Ziffern können dann durch Binarisierung als ein Objekt segmentiert werden. Bei einem ungünstigen Blickwinkel der Kamera können zwei Beschriftungen im Bild sichtbar sein. In diesem Fall gilt natürlich das Gleiche für die beiden Beschriftungen in einem Bild wie für die Beschriftungen in den beiden verschiedenen Kamerabildern: Die breitere Beschriftung ist für

die Erkennung der Konfektionsgröße besser geeignet. Deshalb verwendet man für die Analyse nur das breiteste Objekt und kann das andere aussortieren.

Die Breite der verbliebenen Beschriftung kann dann vermessen werden und das Kamerabild mit der breiteren Beschriftung ausgewählt werden, was in dem Beispiel in Abbildung 11.10 das rechte Kamerabild ist. Durch die Dilatation ist die gemessene Breite natürlich wesentlich größer als die tatsächliche Breite der Beschriftung, was man in der Abbildung 11.10 ebenfalls gut sieht. Wenn man die tatsächliche Breite der Beschriftung messen müsste, wäre das hier beschriebene Verfahren ungeeignet. Für die Auswahl des richtigen Kamerabilds ist aber nur der Vergleich zwischen den beiden Breiten relevant. Die Bestimmung der Breite der Beschriftung für die Auswahl des besser geeigneten Kamerabilds ist in Tabelle 11.2 zusammengefasst.



Erste Kamera

Zweite Kamera

**Abbildung 11.10:** Breiten der erweiterten Beschriftung in beiden Kamerabildern

**Beispielbeschreibung 11.2.** Die nachfolgende Tabelle fasst das Beispiel aus Abschnitt 11.1.4 zusammen. Die Messung wird jeweils für beide Kamerabilder durchgeführt.

Kategorie	Beschreibung
Verzeichnis	\\Beispiele\Farbe
Beleuchtung	Auflichtbeleuchtung mit Weißlicht-LEDs
Prüfschritte	<p>Das Beispiel verwendet folgenden Prüfschrittablauf:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Bildaufnahme</i></li> <li>2. <i>Farbbild konvertieren</i>, wandelt das Bild in ein Helligkeitsbild um.</li> <li>3. <i>Bildgröße verändern</i>, halbiert die Größe des Bildes, um eine schnellere Auswertung zu ermöglichen.</li> <li>4. <i>Bild filtern</i>, hebt durch Filterung mit einem Kontrastfilter die Helligkeitsübergänge hervor.</li> <li>5. <i>Bild normieren</i>, verstärkt den Kontrast im Bild.</li> <li>6. <i>Arbeitsbereiche definieren</i>, definiert einen Suchbereich in Höhe der Beschriftung über die gesamte Bildbreite.</li> <li>7. <i>Binärschwelle erzeugen</i>, berechnet eine Schwelle für die Segmentierung der Schrift.</li> </ol>

8. *Arbeitsbereiche binär erzeugen*, segmentiert die Zahlen.
  9. *Arbeitsbereiche Merkmale erzeugen*, berechnet die Höhe, Breite und Fläche der Objekte, um den seitlichen Rand des Größenrings auszusortieren.
  10. *Arbeitsbereiche filtern*, filtert den seitlichen Rand des Größenrings und weitere Störungen aus.
  11. *Arbeitsbereiche zeichnen*, zeichnet ein künstliches Bild, bei dem die gefundenen Ziffern weiß sind und der Rest des Bilds schwarz ist.
  12. *Bild auf Arbeitsbereichen filtern*, dilatiert die künstlichen Ziffern, um sie zusammenwachsen zu lassen.
  13. *Arbeitsbereiche binär erzeugen*, erzeugt die zusammengewachsenen Ziffern als ein Objekt.
  14. *Arbeitsbereiche Merkmale erzeugen*, berechnet die Breite der Objekte, um die breiteste Zifferngruppe im Bild zu bestimmen.
  15. *Arbeitsbereiche sortieren*, sortiert alle Objekte außer dem Breitesten aus.
  16. *Maße erzeugen*, bestimmt die Breite der am besten erkennbaren Beschriftung im Bild.
  17. *Maßliste in Ablage kopieren*, kopiert die Breite der Beschriftung in die Ablage, um sie mit der Breite im anderen Kamerabild zu vergleichen.
- 

### 11.1.5 Erkennung der Beschriftung

Für die Erkennung der Beschriftung kann man entweder die Zeichen rastern und dann mit einem Klassifikator identifizieren oder die Zeichen direkt mit Template Matching suchen. Bei dieser Anwendung hat man sich für Template Matching entschieden. Gegen einen Klassifikator sprach, dass die Rasterung der Zeichen sehr empfindlich auf die Verzerrung durch die runde Objektform reagiert hat. Ein weiterer Grund war, dass aufgrund der vielen verschiedenen Konfektionsgrößen das Erzeugen von Trainingsdaten einen erheblichen Aufwand darstellt. Es zeigte sich, dass für Template Matching im Schnitt drei bis vier Muster für eine Konfektionsgröße völlig ausreichend sind. Um ein neuronales Netz zu trainieren, sind aber wesentlich mehr Muster notwendig, was den Aufwand noch weiter gesteigert hätte. Schließlich führen die sehr unterschiedlichen Breiten zwischen Konfektionsgrößen mit einer Ziffer und solchen mit drei Ziffern dazu, dass es schwierig ist, eine geeignete Rasterung der Zeichen zu finden. Natürlich hätte man jede Ziffer einzeln lesen können, allerdings hätte dies die Segmentierung verkompliziert.

Kritisch hätte bei dieser Anwendung die Laufzeit von Template Matching sein können. Allerdings ist die Anzahl der Templates, nach denen gesucht wird, gering genug, so dass die hohe Taktrate gehalten werden konnte. Die geringe Zahl von erforderlichen Templates hat zwei Gründe: Der erste Grund ist, dass es wie gesagt ausreicht, nach drei oder vier Templates pro Konfektionsgröße zu suchen. Der zweite Grund ist, dass durch die vorhergehende Farbklassifizierung die Zahl der möglichen Konfektionsgrößen mit meistens zwei bis drei sehr gering ist. Insgesamt muss pro Farbklasse im Schnitt nach zehn Templates gesucht werden.

Zwei weitere Aspekte wirken sich ebenfalls positiv auf die Laufzeit von Template Matching aus: Zur Bestimmung, welche Kamera die Konfektionsgröße besser lesen kann, haben wir in Abschnitt 11.1.4 bereits die Beschriftung binär erzeugt. Dieses Objekt eignet sich sehr gut als Positionsreferenz, um den Suchbereich für Template Matching zu positionieren. Dadurch kann der Suchbereich für Template Matching verhältnismäßig klein gewählt werden. Der andere Aspekt ist, dass die Beschriftung ein sehr großflächiges Objekt darstellt, was die Verwendung einer sehr großen Schrittweite für die Grobsuche erlaubt. Bei dieser Anwendung konnte man sogar noch einen Schritt weitergehen: Um den Rechenaufwand zu reduzieren, wurde bereits vor der Bestimmung der besseren Kameraperspektive die Bildgröße halbiert, d. h. jede zweite Spalte und Zeile des Bildes wurde weggelassen. Die übrig gebliebenen Pixel reichen sowohl für die Auswahl des Bildes als auch für die Erkennung der Beschriftung mit Template Matching völlig aus. Aufgrund dieser Rahmenbedingungen ist es möglich, bei dieser Anwendung mit Template Matching die Prüfung schnell genug durchzuführen.

Wir schrieben bereits, dass die Größenringe auch auf dem Kopf liegen können. Auf dem Kopf liegende Beschriftungen werden von Template Matching natürlich nicht erkannt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, mit diesem Problem umzugehen:

- Man kann gedrehte Templates hinterlegen, was die Zahl der Templates erhöht.
- Man kann die Templates zur Laufzeit drehen, was für jedes Template zu zusätzlichem Rechenaufwand führt.
- Man kann das Bild drehen und die Suche erneut durchführen, was für ein Bild nur einen einmaligen Rechenaufwand bedeutet.

Bei dieser Anwendung wird das Bild gedreht, um einerseits die Anzahl der Templates zu begrenzen, und weil sich andererseits das Bild schneller drehen lässt als zehn Templates.

Man kann Template Matching im Farbbild ausführen und dabei die Korrelation bezüglich des Farbwertes berechnen. In unserer Anwendung haben wir die Farbinformation aber schon für die Einteilung der Ringe in Klassen verwendet. Somit wird das Template Matching nur noch für Konfektionsgrößen gleicher oder sehr ähnlicher Farben ausgeführt, so dass die Korrelation im Farbbild keine zusätzlichen Informationen mehr gegenüber dem Helligkeitsbild enthält. Zudem bedeutet die Berechnung der Korrelation im Farbbild natürlich auch den dreifachen Rechenaufwand gegenüber der Korrelation im Grauwertbild. Aus diesen Gründen wird auch für die Erkennung der Konfektionsgröße das Helligkeitsbild verwendet, in dem die Breite der Beschriftung bestimmt wurde. In Tabelle 11.3 ist die Identifikation der Beschriftung zusammengefasst.

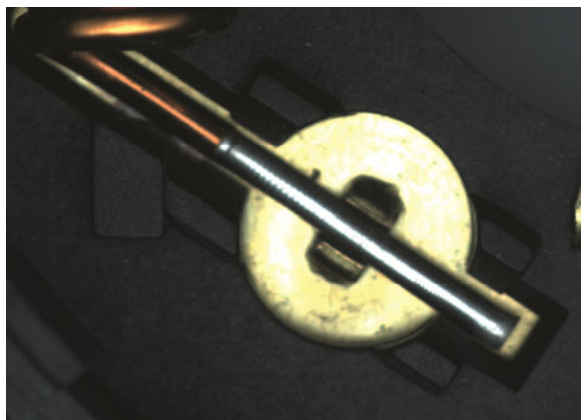


**Beispielbeschreibung 11.3.** Die nachfolgende Tabelle fasst das Beispiel aus Abschnitt 11.1.5 zusammen. Wenn keine Konfektionsgröße gefunden wird, wird das Bild gedreht und die Suche erneut ausgeführt.

Kategorie	Beschreibung
Verzeichnis	\\Beispiele\Farbe
Beleuchtung	Auflichtbeleuchtung mit Weißlicht-LEDs
Prüfschritte	Das Beispiel verwendet folgenden Prüfschrittablauf: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Bild aus Ablage kopieren</i>, das bei der Bestimmung der Beschriftungsbreite verkleinerte Bild wird hier weiter verwendet.</li> <li>2. <i>Arbeitsbereiche definieren</i>, definiert einen Suchbereich für die Schrifterkennung. Die Position wird von der Bestimmung der Beschriftungsbreite übernommen.</li> <li>3. <i>Template Matching</i>, sucht die für diese Farbe möglichen Konfektionsgrößen.</li> <li>4. <i>Arbeitsbereiche Anzahl überprüfen</i>, prüft ob eine passende Konfektionsgröße gefunden wurde.</li> </ol>

## 11.2 Farbsegmentierung

Dieses Beispiel stammt aus der Elektroindustrie. Es handelt sich um ein Relais, bei dem die Verzinkung der Spulendrahtenden geprüft werden muss. Der Draht besteht aus lackiertem Kupfer. Um diesen leitend mit dem Kontakt zu verbinden, wird das Ende verzinkt. Bei diesem Prozess verdampft der isolierende Lack, so dass die Oberfläche des Drahtendes elektrisch leitfähig wird. In Abbildung 11.11 sieht man eine Windung der Kupferspule und das verzinkte Drahtende, das auf dem Messingkontakt festgeklemmt ist.



**Abbildung 11.11:** Verzinktes Ende eines Kupferdrahtes auf Messingkontakt

Bei dieser Prüfaufgabe handelt es sich im wahrsten Sinne des Wortes um eine Anwesenheitskontrolle, denn es muss geprüft werden, ob ein verzinktes Drahtende auf dem Kontakt anwesend ist oder nicht. Das Besondere an dieser Prüfaufgabe ist, dass sich die Helligkeit zwischen verzinktem Draht, unverzinktem Draht und Kontakt für eine stabile Binarisierung zu wenig unterscheidet. Die drei Metalle unterscheiden sich aber deutlich in ihrer Farbe, und somit kann man die Aufgabe mittels Farbsegmentierung lösen.

### 11.2.1 Beleuchtung

Metallische Oberflächen zeichnen sich dadurch aus, dass sie Licht sehr stark reflektieren. Deshalb sind sie eher schwierig zu beleuchten, insbesondere wenn sie, wie bei einem Draht, gekrümmt sind. Dann wird das einfallende Licht fast immer von irgendeinem Punkt aus direkt in die Kamera reflektiert. Man kann versuchen, die Reflexe durch eine sehr flache Dunkelfeldbeleuchtung zu minimieren. Dies ist allerdings im vorliegenden Fall nicht möglich, da dafür der Rand des Relais zu weit über den Kontakt hinausragt. Damit liegt der Kontakt bei sehr flachem Licht im Schatten.

Da aber auch das reflektierte Licht den typischen Farbcharakter des jeweiligen Metalls hat, kann man eine Farbsegmentierung auch mit dem reflektierten Licht durchführen. Dazu muss die Belichtungszeit der Kamera entsprechend kurz eingestellt werden bzw. mit einer entsprechend großen Blende gearbeitet werden, damit das Bild nicht überstrahlt wird. Die Beleuchtung erfolgt damit mit einem Ringlicht mit Weißlicht-LEDs aus Richtung der Kamera.

### 11.2.2 Farbklassifikation

Bei der in Kapitel 4.3.1 vorgestellten Segmentierung mit Binarisierung war der erste Schritt, die Pixel in weiße und schwarze einzuteilen, also zu klassifizieren. Im zweiten Schritt, der eigentlichen Segmentierung, wurden die Pixel gleicher logischer Farbe zu Objekten zusammengefasst. Bei der Segmentierung im Farbbild ist das prinzipielle Vorgehen identisch: Im ersten Schritt wird jedes einzelne Pixel anhand seiner Farbe in eine Farbklasse eingeteilt, also klassifiziert. Im zweiten Schritt werden benachbarte Pixel einer Farbklasse zu Objekten zusammengefasst, was wir in Abschnitt 11.2.3 beschreiben.

Im vorherigen Beispiel haben wir bereits eine Farbklassifizierung vorgenommen. Dabei konnten wir durch die Mittelung über viele Pixel die Farbe sehr genau und stabil bestimmen, wodurch die Grenzen der zahlreichen Farbklassen sehr eng gefasst werden konnten. In der jetzt vorliegenden Anwendung hingegen liegen andere Rahmenbedingungen vor: Hier muss für jedes einzelne Pixel entschieden werden, ob es zu einem der drei Metalle, also Farbklassen, gehört oder zum Hintergrund. Die Farbwerte der einzelnen Pixel einer Farbklasse unterscheiden sich aber deutlich, im Gegensatz zu den mittleren Farbwerten der Arbeitsbereiche aus

dem vorherigen Beispiel. Die Streuung der Farbwerte ist bei dem Draht teilweise auf die Krümmung und den damit veränderten Winkeln zwischen Beleuchtung und Oberfläche sowie Oberfläche und Kamera an den Rändern zurückzuführen. Die raue Struktur der Kontaktplatte sorgt ebenfalls für sehr unterschiedliche Farben, die alle zum Messing gehören. Aus diesem Grunde ist eine Klassifikation basierend auf weitgehend frei definierbaren Klassengrenzen erforderlich.

Für solche Klassifikationsaufgaben haben wir in Kapitel 6.3 den Nächster-Nachbar-Klassifikator vorgestellt. Durch die Wahl der Referenzfarben – dies entspricht dem Prototypenmuster in der Nomenklatur von Kapitel 6.3 – lassen sich die Grenzen zwischen Klassen beliebig genau beschreiben, ohne dass eine analytische Beschreibung der Grenze existieren muss. Als Merkmalsvektor können direkt die RGB-Werte des Pixels verwendet werden. Der Wechsel in den HSI-Farbraum bringt in diesem Fall keinen Vorteil, da sich durch die gewählten Referenzfarben beliebige Klassengrenzen definieren lassen, unabhängig vom Farbraum. Im Gegenteil: Die für den Nächsten-Nachbar-Klassifikator erforderliche Abstandsrechnung zwischen zwei Merkmalsvektoren ist in einem Zylinderkoordinatensystem wie dem HSI-Farbraum aufwändiger als im kartesischen Koordinatensystem des RGB-Farbraums. Der Abstand  $d_j$  zwischen der Farbe eines Pixels  $i$  und einer Referenz  $p_j$  berechnet sich in Anlehnung an Gleichung 6.6 mit:

$$d_j = \sqrt{(i_R - p_{jR})^2 + (i_G - p_{jG})^2 + (i_B - p_{jB})^2} \quad (11.3)$$

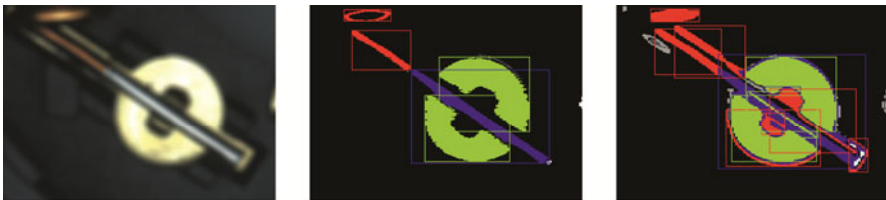
Die in diesem Beispiel relevanten Farben – Zink, Messing und Kupfer – nehmen nur einen kleinen Teil des gesamten Farbraums ein. Der große Rest ist Hintergrund, also vor allem Gehäusekunststoff, Schatten, usw. In Kapitel 6.3 haben wir bereits darauf hingewiesen, dass sich die Klassen an den Rändern weit über den durch die Referenzen abgedeckten Bereich hinaus ausdehnen, was zu völlig willkürlichen Ergebnissen führen kann. Aufgrund dieser Problematik wurde der Nächster-Nachbar-Klassifikator um eine Rückweisungsschwelle erweitert, wie in Kapitel 6.3.2 dargestellt. Diese Erweiterung wird auch für die Farbklassifikation verwendet.

Die Bestimmung der Farbklasse eines Pixels beginnt damit, den Abstand zur nächstgelegenen Referenzfarbe gemäß Formel 11.3 zu berechnen. Wenn dieser Abstand kleiner ist als die Rückweisungsschwelle, wird das Pixel der Klasse zugeordnet, zu der die Referenzfarbe gehört. Wenn der Abstand größer als die Rückweisungsschwelle ist, wird das Pixel als Hintergrund klassifiziert.

Der Bereich des Farbraums, der zu einer Klasse gehört, wird somit durch die ausgewählten Referenzfarben und die Rückweisungsschwelle definiert. Dabei ist die Rückweisungsschwelle nur relevant für die Trennung zwischen den Farben und dem Hintergrund. Die Trennung der Farben untereinander wird ausschließlich von den Referenzfarben bestimmt. Eine kleine Rückweisungsschwelle lässt die Grenze zwischen der Farbe und dem Hintergrund sehr nah an den Referenzpunkten entlang verlaufen, wodurch der Grenzverlauf sehr genau und detailliert vorgegeben werden kann. Allerdings ist damit auch eine hohe Dichte der Referenzpunk-

te erforderlich, was zu vielen Musterfarben führt, wenn zur Klasse ein größerer Farbbereich gehört. Wie in Kapitel 6.3 ausgeführt, steigt bei Nächster-Nachbar-Klassifikatoren die Rechenzeit mit der Zahl der Prototypen an, weshalb für eine schnelle Klassifizierung möglichst wenige Referenzfarben verwendet werden sollten.

Eine hohe Rückweisungsschwelle erlaubt es, die Referenzfarben mit größerem Abstand untereinander zu definieren. Damit kann also ein größerer Bereich des Farbraums mit weniger Referenzfarben einer Farbe zugeordnet werden. Dafür können aber die Grenzen des Bereichs weniger stark beeinflusst werden. Die Auswahl der Referenzfarben und die Einstellung der Rückweisungsschwelle ist also ein Kompromiss zwischen einer stabilen Klassifizierung durch möglichst exakte Bereichsgrenzen und einer schnellen Klassifizierung durch möglichst wenige Referenzfarben. Die Stabilität hängt natürlich nicht nur von der Anzahl der Referenzfarben ab, sondern auch davon, welche ausgewählt werden. Man kann unter Umständen durch Optimierung der Referenzfarbenauswahl die Geschwindigkeit steigern, ohne die Stabilität zu beeinträchtigen, was allerdings gegebenenfalls längeres Experimentieren erfordert. In Abbildung 11.12 sieht man Segmentierungsergebnisse mit acht Referenzfarben für Zink, zwei für Kupfer und achtzehn für Messing. Die hohe Anzahl von Referenzfarben für Messing ist aufgrund der strukturierten Oberfläche erforderlich. Die linke Abbildung zeigt das geglättete Bild. In der Mitte wird eine für die Referenzfarbenauswahl gut geeignete Rückweisungsschwelle verwendet. In der rechten Abbildung wird eine höhere Rückweisungsschwelle mit denselben Referenzfarben verwendet, wodurch viele Pixel, die bei der niedrigeren Schwelle als Hintergrund klassifiziert werden, fälschlich als Objekte segmentiert werden.



Geglättetes Bild

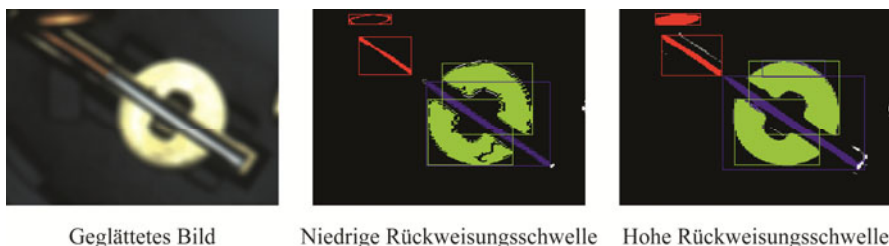
Niedrige Rückweisungsschwelle

Hohe Rückweisungsschwelle

**Abbildung 11.12:** Segmentierung mit unterschiedlichen Rückweisungsschwellen.

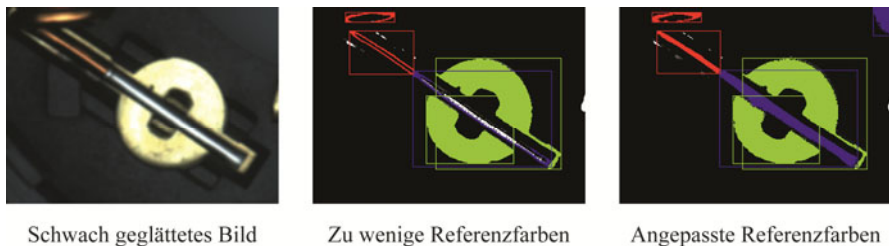
In Abbildung 11.13 sind die Ergebnisse der Segmentierung mit den gleichen Rückweisungsschwellen wie in Abbildung 11.12 dargestellt. Allerdings wurde die Anzahl der Referenzfarben deutlich reduziert auf vier für Zink, eine für Kupfer und acht für Messing. Wie man in der mittleren Abbildung sehen kann, passt die niedrige Schwelle nicht zu den Referenzfarben, da große Teile der Objekte nicht segmentiert werden und Löcher in den Objekten entstehen, wohingegen die hohe Schwelle sehr gut zu dieser Auswahl passt, wie in der rechten Abbildung zu sehen ist. Gegenüber der vorherigen Abbildung wurde die Anzahl der Referenzfarben ungefähr halbiert, und damit ist wie erwartet auch die Rechenzeit nur noch halb so

groß. An den Abbildungen 11.12 und 11.13 kann man gut sehen, dass die Referenzfarbenauswahl und die Rückweisungsschwelle zusammenpassen müssen und nicht isoliert optimiert werden können.



**Abbildung 11.13:** Segmentierung mit wenigen Referenzfarben

Wie bereits geschrieben, gibt es deutliche Farbunterschiede zwischen den einzelnen Pixeln einer Farbe. Dies lässt sich reduzieren, indem man das Bild glättet. Allerdings werden damit die Farbkanten ebenfalls verschmiert, so dass sich an den Grenzen Mischfarben bilden. Diese werden meistens als Hintergrund klassifiziert, so dass zwischen zwei Objekten unterschiedlicher Farbe bei starker Glättung ein schmaler Streifen als Hintergrund klassifiziert wird. Die Objekte werden also nicht bis zu den von uns klar erkennbaren Grenzen segmentiert, sondern sind etwas kleiner. Wenn die Objektgrenzen also sehr genau bestimmt werden sollen, muss man mit einer schwachen Glättung, einer kleinen Rückweisungsschwelle und vielen Referenzfarben klassifizieren. Abbildung 11.14 zeigt die Wirkung einer schwachen Glättung. Beide Bilder wurden mit der hohen Rückweisungsschwelle von Abbildung 11.12 und 11.13 segmentiert. In der Mitte wurde die Farbauswahl aus Abbildung 11.12 verwendet. Man sieht, dass im mittleren Bild von den Drähten nur ein schmaler Saum segmentiert wird. Durch die starke Glättung in den vorherigen Abbildungen und der geringen Breite des Drahts wurden die kräftigen Farben aus dem inneren Bereich abgeschwächt und deshalb auch nicht als Referenzfarben ausgewählt. Diese Farben müssen bei der schwachen Glättung als zusätzliche Referenzfarben definiert werden, wodurch für Zink und Kupfer erheblich mehr Muster nötig sind. Im rechten Bild von Abbildung 11.14 sieht man das Ergebnis einer Klassifikation mit einer speziell angepassten Farbauswahl mit siebzehn Zink-, sieben Kupfer- und achtzehn Messingmustern.



**Abbildung 11.14:** Segmentierung mit schwacher Glättung

### 11.2.3 Segmentierung

Bisher haben wir nur jeden einzelnen Pixel in Zink, Kupfer, Messing und Hintergrund klassifiziert, aber noch keine Objekte erzeugt. Der nächste Schritt ist daher die zusammenhängenden Pixel einer Klasse zu Objekten zusammenzufassen. Dies erfolgt genauso wie die in Kapitel 4.3.2 beschriebene Erzeugung von Objektkonturen. Der einzige Unterschied ist, dass in diesem Fall nicht zwischen Übergängen von Weiß nach Schwarz gesucht wird, sondern von der aktuellen Farbkategorie zu allen anderen Farben.

**Programmhinweis:** In *NeuroCheck* wird die Farbklassifikation der Pixel und die Zusammenfassung zu Objekten im Prüfschritt *Color Matching* durchgeführt. Dieser Prüfschritt arbeitet nicht mit einer Rückweisungsschwelle, sondern mit einer Trennschärfe. Dabei entspricht einer kleinen Rückweisungsschwelle eine große Trennschärfe und umgekehrt. Wenn man eine große Ähnlichkeit zu den Referenzfarben fordert, muss man also eine hohe Trennschärfe einstellen. Insofern verhält sie sich entsprechend der Mindestgüte bei *Template Matching* und *Arbeitsbereiche klassifizieren*.

### 11.2.4 Anwesenheitsprüfung

Die eigentliche Anwesenheitsprüfung ist jetzt relativ einfach durchzuführen. Nach der Bildaufnahme wird der Suchbereich definiert. Da vorher keine Positionskorrektur stattfinden kann, muss der Arbeitsbereich großzügig definiert werden. Wie beschrieben wird dann das Bild geglättet. Da für die Anwesenheitskontrolle eine grobe Bestimmung der Objektkonturen völlig ausreicht, wird das Bild in diesem Fall relativ stark geglättet. Für die darauffolgende Segmentierung wird man entsprechend mit dem kleineren Referenzfarbensatz auskommen und eine hohe Rückweisungsschwelle verwenden, wie auf der rechten Seite von Abbildung 11.13 dargestellt.

Der letzte Schritt ist, zu prüfen, ob die gefundenen Objekte auch tatsächlich die gesuchten sind. Das verzinkte und das unverzinkte Drahtstück kann man gut an ihrem minimalen und maximalen Feret-Durchmesser erkennen, da es sich um lange, schmale Objekte handelt. Die beiden Kontakthälften kann man gut an ihrer Fläche erkennen. Aufgrund dieser Merkmale lassen sich die irrelevanten Objekte, wie beispielsweise die erste Wicklung der Spule aussortieren. An dieser Stelle muss nur noch geprüft werden, dass ein Kupfer, ein Zink und zwei Messing Objekte gefunden wurden.

Als abschließende Prüfung, ob wirklich die richtigen Objekte segmentiert wurden, kann man die Lage der Objekte zueinander prüfen. Durch die Glättung kann die Segmentierung der beiden Teile nicht bis ganz aneinander reichen, aber der Abstand zwischen ihnen sollte in der Größenordnung der Glättungslänge liegen. Ebenso berühren sich die segmentierten Kontakthälften und der Draht aufgrund der Glättung nicht, aber der Abstand darf auch hier höchstens in der Größenord-

nung der Glättungslänge liegen. Damit ist sichergestellt, dass die richtigen Objekte segmentiert wurden und das Spulendrahtende korrekt auf dem Kontakt liegt. Die gesamte Anwesenheitsprüfung ist in Tabelle 11.4 zusammengefasst.

**Beispielbeschreibung 11.4.** Die nachfolgende Tabelle fasst das Beispiel aus Abschnitt 11.2 zusammen.

Kategorie	Beschreibung
Verzeichnis	\Beispiele\Farbe
Beleuchtung	Auflichtbeleuchtung mit Weißlicht-LEDs
Prüfschritte	Das Beispiel verwendet folgenden Prüfschrittablauf: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Bildaufnahme</i></li> <li>2. <i>Arbeitsbereiche definieren</i>, setzt einen Arbeitsbereich, in dem der Draht und der Kontakt gesucht wird.</li> <li>3. <i>Bildbereiche glätten</i>, glättet das Bild, um die Farbnuancen zu reduzieren.</li> <li>4. <i>Color Matching</i>, Klassifiziert die Pixel aufgrund ihrer Farbe und fasst sie zu Objekten zusammen.</li> <li>5. <i>Arbeitsbereiche Merkmale erzeugen</i>, ermittelt die Fläche und den minimalen und maximalen Feret-Durchmesser der Objekte.</li> <li>6. <i>Arbeitsbereiche filtern</i>, sortiert alle Objekte außer dem Kontakt und dem verzinkten und unverzinktem Draht aus.</li> <li>7. <i>Arbeitsbereiche Anzahl überprüfen</i>, stellt sicher, dass alle vier Objekte gefunden wurden.</li> <li>8. <i>Maße erzeugen</i>, ermittelt die geometrische Anordnung der Objekte zueinander.</li> <li>9. <i>Maße Toleranzen überprüfen</i>, prüft ob die gefundenen Objekte richtig zueinander stehen, um Fehlsegmentierungen auszuschließen.</li> </ol>

## 11.3 Zusammenfassung

**Farbbildverarbeitung:** Es gibt zwei typische Aufgabenstellungen in der Farbbildverarbeitung. Die Farbsegmentierung, bei der Objekte anhand ihrer Farbe gefunden und zusammengefasst werden und die Farbidentifikation, bei der bestehende Objekte in verschiedene Farbklassen eingeteilt werden.

**Farbraum:** Farbräume bieten verschiedene quantitative Beschreibungen von Farbe. Viele Farbräume basieren auf drei Kanälen, unterscheiden sich aber in der Bedeutung dieser Kanäle, im zugrundeliegenden Koordinatensystem und im Verwendungszweck.

**Farbklassifizierung:** Bei der Farbklassifizierung werden Arbeitsbereiche oder auch einzelne Pixel einer Farbklass zugeordnet. Dies kann entweder über den Vergleich des Farbwertes mit vorgegebenen Grenzen erfolgen oder durch einen Klassifikator. Das erste Verfahren bietet sich an, wenn die Bestimmung der Farbe



sehr stabil ist, beispielsweise durch Mittelung über einen Arbeitsbereich. Das zweite Verfahren kann beispielsweise bei der Klassifikation einzelner Pixel angewendet werden.

**RGB-Farbraum:** Der Farbraum, in dem digitale Bilder häufig vorliegen und der in Monitoren und Fernsehern verwendet wird. Die einzelnen Komponenten repräsentieren den roten, grünen und blauen Anteil des Lichts.

**HSI-Farbraum:** An der menschlichen Beschreibung von Farbe orientierter Farbraum. Beschreibt eine Farbe durch ihren Farbton (englisch Hue), ihre Sättigung (englisch Saturation) und ihre Intensität (englisch Intensity) bzw. Helligkeit. Der HSI-Farbraum basiert auf einem Zylinderkoordinatensystem.

**Template Matching:** Man kann die Korrelation zwischen einem Template und einer Bildposition auch in einem Farbbild berechnen. Dadurch kann man die Objekte einer Farbe und einer bestimmten Form suchen. Gegenüber der Suche im Grauwertbild ist der Rechenaufwand wesentlich höher.

**Farbsegmentierung:** Die Farbsegmentierung erfolgt in zwei Schritten: Im ersten Schritt werden alle Pixel des Suchbereichs anhand ihrer Farbe klassifiziert. Im zweiten Schritt werden zusammenhängende Pixel gleicher Farbklasse zu Objekten zusammengefasst.

## Industrielle Bildverarbeitung

Wie optische Qualitätskontrolle wirklich funktioniert

Demant, C.; Streicher-Abel, B.; Springhoff, A.

2011, XVIII, 412 S. 1952 Abb., 1720 Abb. in Farbe. Mit

Online-Extras., Hardcover

ISBN: 978-3-642-13096-0