

# Farbsensoren – Konkurrenz für unser Auge

**Leistungsfähige Farbsensoren erkennen Farben zuverlässig, schnell und für viele Anwendungen mit hinreichender Genauigkeit. Sie arbeiten objektiv und ausdauernd – anders als das menschliche Auge, das leicht ermüdet und Farben subjektiv beurteilt. Schnell ablaufende und wiederkehrende Farberkennungsaufgaben erfordern daher automatisierte Lösungen, die ähnliche Fähigkeiten wie das Auge aufweisen, dessen Schwächen aber eliminieren.**

- Immer kleinere Bauformen und eine robuste Ausführung der Sensoren (z. B. Temperaturfestigkeit) ermöglichen den Einsatz in nahezu jeder räumlichen Umgebung.
- Das Preis-/Leistungsverhältnis wird sich zukünftig auf Grund fallender Preise und steigendem Leistungsvermögen bei Rechnern und Elektronik weiter verbessern.

## 1 Aufgaben und Anwendungsbereiche

Farbige Oberflächen und Markierungen gehören heute zu den unverzichtbaren Gestaltungs- und Kennzeichnungsmitteln bei Produkten. Um die verwendeten Farben überprüfen oder für Sortierzwecke nutzen zu können, sind präzise arbeitende, optische Erfassungsinstrumente erforderlich. Sie müssen in der Lage sein, selbst kleinste Farbnuancen zu unterscheiden. War diese Aufgabe in der Vergangenheit häufig Rechneranlagen mit komplexen Bildverarbeitungssystemen vorbehalten, kommen inzwischen Farbsensoren mit eigener Prozessorintelligenz zum Einsatz. Dabei sind Miniaturbauweise, flexible Einsatzmöglichkeiten und Typenvielfalt gefragt.

Generell werden Farbsensoren in industriellen Abläufen mit hohem Automatisierungsgrad eingesetzt, bei denen die Farbe eines Fertigungs- oder Transportguts eine Rolle spielt. So können Farbsensoren einer Verpackung das entsprechende Etikett zuordnen, Aufdrucke kontrollieren, farbige Markierungen erkennen oder die Farbe von Oberflächen überprüfen. Typische Einsatzgebiete sind die Pharma-, Kosmetik- und Lebensmittelindustrie. Dort werden Farbsensoren häufig dazu genutzt, Produkte anhand von Farbmarkierungen zu identifizieren und gegebenenfalls zu sortieren. Ähnlichen Zwecken dienen sie in der Elektro- und Elektronikindustrie, beispielsweise bei der Erkennung und Zuordnung von farbigen Kabeln, bei der Bewertung oder auch Kalibrierung von selbstleuchtenden Objekten wie LEDs und Displays, zum automatischen Test montierter LED-Zeilen beziehungsweise Matrizen oder zum Prüfen und Sortieren von Bauelementen anhand ihrer charakteristischen Formen und Farben. In der Textilindustrie helfen Farbsensoren bei der Überwachung von Färbungsprozessen, in der Baustoffindustrie übernehmen sie die Steuerung von Mischanlagen.

## 2 Vorteile

Die automatisierte Farberkennung verfügt über verschiedene Vorteile, die sie für den industriellen Einsatz interessant machen:

- Sie arbeitet berührungslos, die Prüfung kann aus der Distanz erfolgen und ist schnell und leicht zu automatisieren.
- Der Einsatz von Farbsensoren zur Farberkennung verspricht eine erhebliche Rationalisierung und Objektivierung des Prüfvorgangs, denn Farbsensoren arbeiten, anders als das menschliche Auge, nicht nur schnell und effizient, sondern auch in hohem Maße zuverlässig.

## 3 Farbmessungen

Farbmessungen bilden die Grundlage für eine automatisierte Farberkennung. Sie haben das Ziel, unter bestimmten Bedingungen den visuellen Eindruck einer Farbe mit Farbzahlen objektiv zu beschreiben und zu quantifizieren. Damit gelingt es, Farben nach Zahlen festzulegen und die Farbinformationen ohne Farbmuster allein durch Zahlen zu übermitteln. Für diese Aufgaben stehen zwei Messverfahren zur Verfügung: das Spektralverfahren und das Dreibereichsverfahren.

### Farbeeigenschaften des Lichts

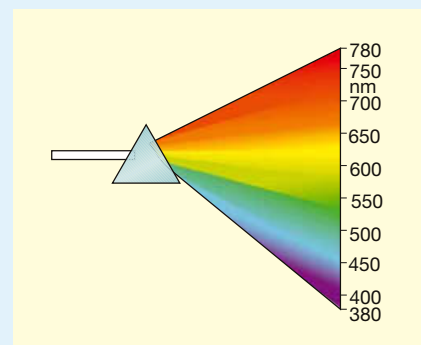
Licht ist Strahlung und zählt wie die Strahlung von Radio- und Fernsehsendern oder Röntgengeräten zu den elektromagnetischen Wellen.

Eine elektromagnetische Strahlung lässt sich anhand ihrer Wellenlänge beschreiben. Auf der einen Seite gibt es beispielsweise die Gammastrahlen mit einer Wellenlänge von  $10^{-14}$  m. Radiostrahlen auf der anderen Seite reichen bis in den Langwellenbereich mit einer Wellenlänge von  $10^6$  m. Dazwischen liegen die Röntgen-, UV-, Licht- und Infrarot-Strahlen. Die Wellenlänge des sichtbaren Lichts liegt zwischen 380 und 780 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Da der Mensch nur diese Strahlung über das Auge wahrnehmen kann, spricht man von optischer Strahlung.

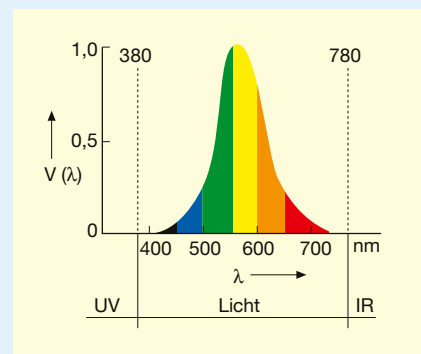
Das Tageslicht besteht immer aus einem Gemisch von Strahlen unterschiedlicher Wellenlänge. Führt man nun dieses sichtbare Licht durch ein Prisma auf eine Projektionsfläche, sieht man den vom Regenbogen bekannten Verlauf von Farben (Spektrum). Die sichtbare Anordnung der Farben beginnt mit Violett (bei 380 nm) und geht dann über Blau, Cyan, Grün und Gelb zu Rot (bei 780 nm). Jede Farbe ist durch eine bestimmte Wellenlänge definiert. Die Intensität der Farben nimmt der Mensch unterschiedlich wahr.

Das Licht der Sonne, das Tageslicht also, unterscheidet sich erheblich vom Licht künstlicher Lichtquellen. Das wird deutlich, wenn man es in seine Spektralfarben zerlegt und diese in einem Diagramm aufzeichnet: Im Tageslicht sind alle Wellenlängen gleichmäßig vertreten. Es hat also ein ausgewogenes Spektrum. Beim Licht einer

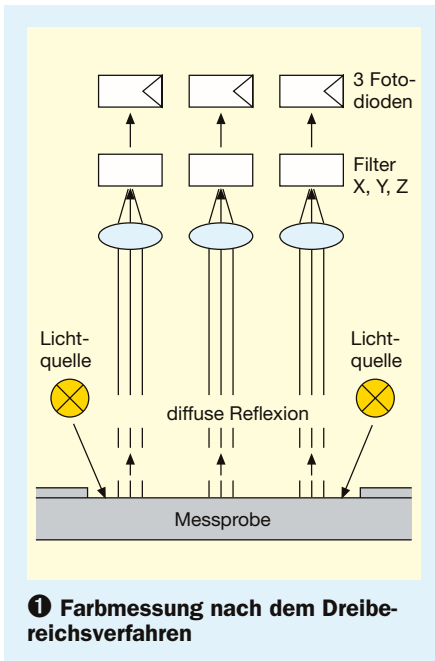
Glühlampe überwiegen die roten Bereiche im Spektrum. Daher wirkt dieses Licht auch wärmer. Dem roten Licht einer Verkehrsampel beispielsweise fehlt der Anteil von Violett bis Gelb.



Spektralfarben



Empfindlichkeitskurve  $V(\lambda)$  des menschlichen Auges  
 $\lambda$  Wellenlänge;  $V(555 \text{ nm}) = 1$



Für das Verständnis dieser Messprinzipien finden sich im Kasten auf Seite 610 einige grundlegende Betrachtungen zu den Fähigkeiten des menschlichen Auges in Bezug auf das Farbsehen und zu den Phänomenen der additiven beziehungsweise subtraktiven (absorptiven) Farbmischung. Dies ist insofern hilfreich, als dass die Farbmessung mit dem Dreibereichsverfahren der visuellen Wahrnehmung des Menschen nachgebildet ist. Während das menschliche Sehen jedoch lediglich die Wahrnehmung von Sinneseindrücken bedeutet, werden bei der industriellen Farbmessung genaue Werte definiert.

### 3.1 Farbmessung nach dem Spektralverfahren

Beim Spektralverfahren beleuchtet ein Spektralfotometer eine farbige Probe und erfasst das sichtbare Spektrum des reflektierten Lichts. Dabei wird das Spektrum in Abschnitte geteilt, deren Bandbreite je 10 bis 20 nm beträgt. Die spektrale Zerlegung des von der Probe reflektierten Messlichts erfolgt in Messgeräten durch so genannte Gitter-Dioden-Module oder Filter-Dioden-Module. Eine Elektronik verstärkt und digitalisiert die erfassten Lichtsignale und wertet sie aus. Das Verfahren ist in DIN 5033 festgelegt. Sie behandelt in ihrem Teil 4 die valenzmetrische Auswertung, die Bestimmung der Konstanten  $k$ , das Gewichtsordinaten-Verfahren und das Auswahlordinaten-Verfahren.

Das Spektralverfahren ist zwar sehr präzise, jedoch aufwändig, langsam und teuer. Deshalb wird es in der industriellen Messtechnik nur bei bestimmten Anwendungen eingesetzt. Preiswerter sind dagegen Farbsensoren, die nach dem Dreibereichsmessprinzip arbeiten.

### 3.2 Farbmessung nach dem Dreibereichsverfahren

Das Dreibereichsverfahren basiert auf dem Prinzip des menschlichen Auges. Es sind zwei Messmethoden zu unterscheiden: das herkömmliche und das aktive Verfahren.

Beim herkömmlichen Dreibereichsverfahren (Bild 1) beleuchtet ein Lichtsender, in den meisten Fällen eine Halogenlampe, ein Prüfobjekt. Das remittierte Licht gelangt von dort über eine Linse zu einem Empfängersystem und wird durch ein optisches Filtersystem in die Farben Rot, Grün und Blau zerlegt. Ihre Anteile werden anschließend mit Hilfe eines

Mikroprozessors ermittelt. Da Farbsensoren recht empfindlich sind in Bezug auf Fremdlicht und die Halogenlampe einen hohen Energieverbrauch und eine relativ geringe Lebensdauer von etwa 10000 Stunden hat, ist die Bedeutung dieses Verfahrens stark zurückgegangen.

Heutige Halbleiter-Farbsensoren arbeiten nach dem aktiven Dreibereichsverfahren, das auch als RGB-Verfahren bekannt ist. Als Sendelichtquelle dienen drei LEDs für die Wellenlängen Rot, Grün und Blau. Die vom Objekt reflektierte Strahlung wird nacheinander auf einem Fotodetektor abgebildet. Ein Mikroprozessor wertet die so erhaltenen Signalgrößen mit den gesamten Farbinformationen über Helligkeit, Farbton und Sättigung entsprechend den RGB-Farbanteilen aus. Bedingt durch die monochromatische Lichtaussendung (Rot, Grün, Blau) arbeiten Farbsensoren, die LEDs als Lichtquelle nutzen, äußerst erkenntungssicher und zuverlässig.

Auch das Dreibereichsverfahren ist genormt. DIN 5033 Teil 6 legt fest, wie die drei Farbwerte des zu messenden Farbeindrucks durch fotometrische Messungen zu bestimmen sind. Sie behandelt dabei unter anderem auch die so genannte Luther-Bedingung, die Anforderungen an Teilmessfilter sowie die Beleuchtung der Probe.

## 4 Aufbau und Funktion eines Farbsensors

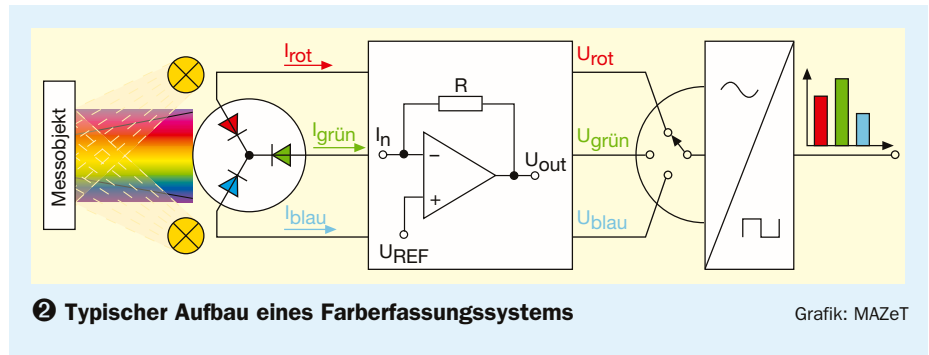
Ein typischer Vertreter eines Farbsensors ist der MCS3 von MAZeT, der nach einem speziellen Dreibereichsverfahren arbeitet. An seinem Beispiel wird nachstehend der prinzipielle Auf-

bau und die Funktionsweise eines Farbsensors erläutert.

**4.1 Aufbau**

Die Lichtquelle besteht aus Leuchtdioden. Als Lichtempfänger (Fotodioden) dienen drei Silizium-Halbleiter, die als PIN-Dioden ausgeführt sind. Deren besondere Eigenschaften ermöglichen Signalfrequenzen bis in den MHz-Bereich. Sie sind wie drei Segmente eines Kreises angeordnet und durch zusätzliche Strukturen voneinander getrennt, um ein Übersprechen (Überstrahlen des Lichts) möglichst zu verhindern.

Jede Fotodiode ist mit dielektrischen Farbfiltern versehen, vorzugsweise für die Grundfarben Rot, Grün und Blau. Sie sind direkt auf den Fotodioden aufgebracht, der Sensor bildet somit ein kompaktes optisches System. Ein mehrschichtiger Aufbau macht es möglich, die spektrale Charakteristik der Filter je nach Anwendung zu modifizieren. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Funktionen realisieren. Wegen ihrer Temperaturstabilität und Umweltbeständigkeit eignen sich dielektrische Farbfilter besonders für den Einsatz unter harten Umgebungsbedingungen. Darüber hinaus sind sie alterungsbeständig, da sie das Licht in den gesperrten Farb-



2 Typischer Aufbau eines Farberfassungssystems

Grafik: MAZeT

reichen nicht absorbieren, sondern reflektieren.

**4.2 Signalverarbeitung**

Bild 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines auf dem MCS3 basierenden Farberfassungssystems: Zu sehen ist eine Lichtquelle, die ein Prüfobjekt beleuchtet. Ein Farbsensor mit drei Fotodioden erkennt das reflektierte Licht für die drei Farbbereiche Rot, Grün und Blau. Ein anschließender mehrkanaliger Transimpedanzwandler setzt die von den Dioden kommenden Ströme in äquivalente Spannungen um und vergleicht sie mit zuvor gespeicherten Referenzspannungen für die einzel-

nen Farbbereiche. Liegen die Farbwerte innerhalb des eingestellten Toleranzbandes, aktiviert die integrierte Rechneinheit einen Schaltausgang. Als letzte Komponente der Schaltung folgt dann ein A/D-Wandler, der die Signale digitalisiert und weiterverarbeitet.

**4.3 „Teach In“-Funktion**

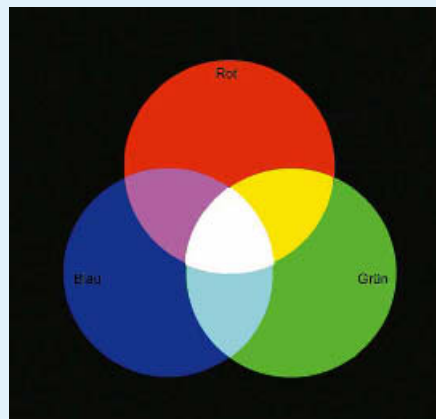
Der Begriff „Teach In“ bezeichnet das Einlernen von Merkmalen eines Prüfobjekts. Dieser Vorgang läuft folgendermaßen ab: Die Fotodioden des Farbsensors erfassen die vom Prüfobjekt zurück kommende Strahlung. Die daraus errechneten Wellenlängen der Farbanteile lassen sich per Knopfdruck im Prozessor

**Farbwahrnehmung des menschlichen Auges**

Das Auge setzt – zusammen mit Teilen des Gehirns – die auf die Netzhaut auftreffenden Lichtstrahlen in farbige Bilder um. Auf der Netzhaut befinden sich so genannte Rezeptoren, die das einfallende Licht in Nervenimpulse wandeln. Bei diesen „Lichtempfängern“ ist zwischen Stäbchen und Zapfen zu unterscheiden, wobei die lichtempfindlicheren Stäbchen die Impulse für das Schwarzweiß- und die Zapfen die für das Farbsehen aufnehmen.

Die Zapfen unterteilen sich wiederum in drei unterschiedliche Typen. Jedem ist eine Grund- oder Urfarbe (Rot, Grün und Blau) zugeordnet. Aus der Mischung dieser drei Urfarben entsteht im Gehirn ein farbiges Bild. Physikalisch gibt es zwei grundlegende Formmischformen:

**Additive Farbmischung.** Sie arbeitet mit drei farbigen Lichtquellen, die jeweils auf eine Zapfenart abgestimmt sind. Je nach Mischungsverhältnis der Lichtquellen lassen sich so alle vom Auge wahrnehmbaren Farben herstellen. Dazu die Beschreibung einer praktischen Demonstration: Drei Diaprojektoren enthalten je eine Lochblende, die mit je einer roten, grünen und blauen Farbfolie abgedeckt ist. Die entstehenden Farbkreise werden so auf einer Projektionsfläche abgebildet, dass sie sich teilweise überlappen. Zu sehen sind dann neben den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau die aus je zwei Farben



**Beispiel additiver Farbmischung:**

- Rot + Grün = Gelb
- Rot + Blau = Violett
- Blau + Grün = Blaugrün

entstehenden additiven Mischungen Gelb (R+G), Violett (R+B) und Blaugrün (B+G) sowie die in der Mitte entstehende Summenfarbe Weiß.

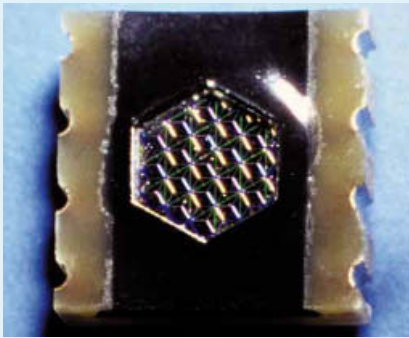
**Subtraktive (absorptive) Farbmischung.** Eine subtraktive (absorptive) Farbmischung kann durch eine Hintereinanderschaltung von Filtern, die jeweils bestimmte Teile des Spektrums absorbieren, erreicht werden. Ein Beispiel für die subtraktive (absorptive) Farbmischung ist das Farbdia. Es besteht aus



**Beispiel subtraktiver Farbmischung:**

- Magenta + Cyan = Blau
- Magenta + Gelb = Rot
- Gelb + Cyan = Grün

drei Filterschichten mit den Farben Cyan, Gelb und Magenta die im Zusammenspiel alle Farben erzeugen können. Beispiel: Ein lichtundurchlässiger Gegenstand, der von weißem Licht beschienen wird, erscheint in der Farbe Rot. Da der angestrahlte Gegenstand nur in der Farbe Rot erscheint, müssen einige Anteile des Lichts absorbiert worden sein. Man spricht von Subtraktion (Absorption), weil eine Farbe in diesem Fall alle Farbanteile außer den eigenen absorbiert.



**3 Detailansicht eines „True Color“-Sensors**

Foto: Mazet



**4 CMOS-Matrixkamera eines Bildverarbeitungssystems**

Foto: Basler

speichern. Sie dienen fortan als Referenzwerte für alle folgenden Messungen. Gegenüber der älteren Methode, nämlich Schaltschwellen per Potentiometer einzustellen, bietet die Justage über die Elektronik große Vorteile hinsichtlich des Aufwandes bei der Inbetriebnahme oder der Anpassung des Sensors an neue Anwendungen.

## 5 „True Color“-Farbsensoren

Neben den RGB-Farbsensoren drängt in jüngster Zeit eine neue Generation von Farberkennungssystemen auf den Markt: die „True Color“-Farbsensoren (Bild 3). Diese ebenfalls auf dem Dreibereichsprinzip basierenden Sensoren bilden die in DIN 5033 Teil 4 definierte Norm-Spektralwertfunktion nach, die als technisch realisierbare Funktion aus der Emp-

findlichkeit des durchschnittlichen menschlichen Auges abgeleitet ist. Sie haben also Eigenschaften, wie sie bislang nur von Farberkennungssystemen bekannt waren, die auf der Basis des Spektralverfahrens arbeiten. Damit sind normgerechte Farbmessungen möglich.

## 6 Farbsensoren oder Bildverarbeitungssysteme

Neben den besprochenen Farbsensoren haben sich seit langem auch Hochleistungs-Bildverarbeitungssysteme (Bild 4) als zuverlässige technische Lösungen zur Automatisierung von Erkennungsaufgaben bewährt. Der Montage- und Konfigurationsaufwand ist bei beiden Varianten überschaubar. Bei der Entscheidung für das eine oder andere System ist zu beachten:

Farbsensoren haben dort ihre Stärken, wo eindeutig definierte, konstante Mess- und Überwachungsaufgaben, auch mit höchsten Detektionsgeschwindigkeiten in sehr schnellen Prozessen, gestellt sind. Sie arbeiten weitgehend genau und störungssicher. Dabei sind sie nicht nur klein und lassen sich einfach montieren, sondern verfügen auch über eigene Prozessorintelligenz, die sie in Netzwerken kommunikationsfähig macht. Mit den neu entwickelten „True Color“-Sensoren, deren Farbumscheidungsvermögen an die Fähigkeiten des menschlichen Auges heranreicht, werden sich erweiterte Anwendungsmöglichkeiten bieten.

Steigt jedoch die Komplexität der Überwachungsaufgaben, schlägt die Stunde der digitalen Bildverarbeitungssysteme. Objekterkennung und Montagekontrolle, Fehlererkennung und Vollständigkeitsprüfung, Positionsbestimmung und Toleranzprüfung, Zeichen- und Barcodelesen – bei diesen Aufgaben wären Farbsensoren eindeutig überfordert. Ein Bildverarbeitungssystem könnte hingegen sogar die Kombination mehrerer der genannten Aufgaben und die gleichzeitige Prüfung mehrerer Parameter meistern.

Zu beachten ist, dass das technisch Machbare nicht immer die ökonomisch sinnvollste Lösung darstellt. Wichtig ist nur, die Möglichkeiten des jeweiligen Systems optimal zu nutzen und das Kosten-Nutzen-Verhältnis als Entscheidungsmerkmal heranzuziehen. Das könnte dann sogar zu dem Ergebnis führen, die zur Wahl stehenden Lösungen kombiniert einzusetzen.