

# Dem menschlichen Auge nahe

Technologie, Schwierigkeiten und Lösungen im Einsatz moderner Farbsensoren für die Industrieautomation



Ansgar Wego, Gundolf Geske

*Moderne Farbsensoren sind durch den Einsatz neuester Bauteil- und Fertigungstechnologien gekennzeichnet. Durch geschickte Signalverarbeitung können Störeinflüsse wie Bauteilalterung, Temperaturwechsel und Umgebungslichtschwankungen wirksam eliminiert werden. Dies macht sie im industriellen Umfeld robust und zuverlässig.*



Prof. Dr.-Ing. Ansgar Wego,  
Hochschule Wismar



Dr.-Ing. Gundolf Geske,  
Astech GmbH, Rostock

Farbsensoren bilden eine Untergruppe innerhalb der Optosensorik. Ihr Einsatzspektrum ist vielfältig und reicht von der Beschichtungskontrolle über Farbsortierungen bis hin zur Farb- und Druckmarkenerkennung und LED-Prüfung. Bei Farbsensoren wird der sichtbare Spektralbereich in drei oder mehr Bereiche unterteilt und selektiv ausgewertet.

Farbbegriffe und -messung sind in Normen geregelt [1]. Farbe ist demnach keine physikalische Messgröße, sondern eine Gesichtsempfindung des Menschen. Zur Farbmessung wird vom gesamten optischen Spektrum der Wellenlängenbereich zwischen 380 und 780 nm herangezogen. Die (Norm-) Farbwerte entstehen durch Bewertung der gemessenen spektralen Strahlungscharakteristik mit den sogenannten Normspektralwertkurven. Die Farbwerte entstehen durch Bewertung der Farbreizfunktion mit den sog. Normspektralwertkurven. Aus dieser Bestimmungsvorschrift für die Farbwerte leiten sich prinzipiell drei Messverfahren ab (Gleichheitsverfahren, Spektralverfahren, Dreibereichsverfahren), von denen heute bei Farbsensoren für die Industrieautomation in fast allen Fällen das Dreibereichsverfahren zur Anwendung kommt. Gründe hierfür sind die Baugröße, die Verarbeitungsgeschwindigkeit, der einfache und robuste Aufbau sowie der Preis.

## Anwendungen von Farbsensoren

Da jeder sichtbare Körper Licht reflektiert, besteht häufig sehr einfach die Möglichkeit, Farbe als Objektmerkmal direkt zu Erkennungszwecken heranzuziehen. Dies ist der Hauptgrund und Vorteil für die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von Farbsensoren. Dazu zählen in der Automation u. a.:

- Beschichtungskontrolle (z. B. Primer-Auftrag, Befettung)
- Lack- und Farbprüfungen (z. B. Einhaltung der Farbwerte beim Eloxieren, Lackieren)
- Farbcodeprüfung (z. B. Kfz-Sicherungen, Kappen von Blutprobenröhrchen)
- Farbsortierungen (z. B. Glasflaschenfarbe, farbige Kunststoffe)
- Anwesenheitskontrolle (z. B. O-Ring Bestückung, Verschlussdeckel)
- Materialübergangserkennung (z. B. Erkennung des Materialübergangs in transparenten Indikatorröhrchen zur Gasdetektion, Schnittkantenerkennung)
- Farb- und Druckmarkenerkennung (z. B.

Druckmarken auf Offsetdruckbögen, Farbmarken auf Kugellagerschalen)

- Lagekontrolle (z. B. Ober- und Unterseite von Folien oder einseitig beschichteten Dichtungen)
- Transmissionsmessungen (z. B. Farbumschläge in Flüssigkeiten, Filtergläser)
- Selbstleuchter (z. B. LED auf Farbe und Helligkeit testen)

## Anforderungen und Aufbau moderner Farbsensoren

An moderne Farbsensoren werden im Bereich der Industrieautomation hohe Anforderungen gestellt. Dazu zählen Robustheit, kompakte Bauform, Fremdlichtunempfindlichkeit, keine Temperatur- und Alterungsdrift, hohe Lebensdauer der Lichtquelle, Austauschbarkeit, natürliche Farbverarbeitung sowie Parametrierbarkeit und flexible Messgeometrien.

Die Kernkomponenten moderner Farbsensoren bilden eine integrierte Sendelichtquelle, zwei farbselektive Fotodetektoren sowie ein leistungsfähiger Mikrocontroller. Bild 1 zeigt im Blockbild den funktionellen Aufbau eines modernen Farbsensorgerätes. Als Sendelichtquelle dient eine Hochleistungs-Weißlicht-LED. Zwar haben Weißlicht-LEDs gegenüber Halogenlampen eine weniger geeignete spektrale Charakteristik, jedoch besitzen sie bezüglich Lebensdauer, Effizienz und Modularität deutliche Vorteile. Durch eine geschickte Wärmeabkopplung an das Sensorgehäuse (Alu) kann die

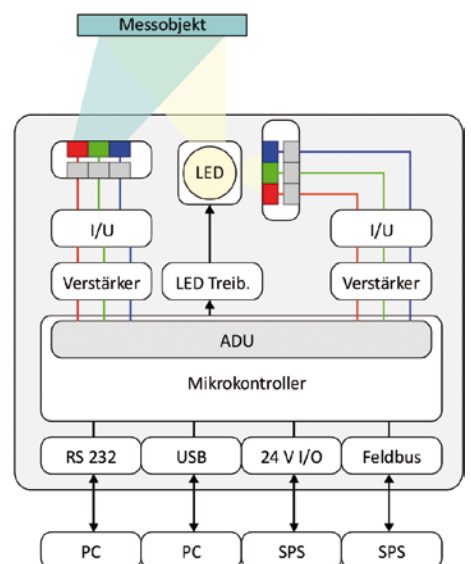


Bild 1: Blockschaltbild eines modernen Farbsensorgerätes

Leistungsfähigkeit von Hochleistungs-LEDs voll ausgeschöpft werden. Das Messlicht wird mithilfe von Normspektralwertfiltern in drei Kanäle (Rot, Grün, Blau) separiert. Das Licht gelangt anschließend auf Fotodioden, die einen zur Bestrahlungsintensität proportionalen Strom erzeugen. Nach I/U Wandlung und Verstärkung werden die drei Farbsignale hochauflösend digitalisiert und im Mikrokontroller weiterverarbeitet.

### Methode der differentiellen Fremdlichtkompensation

Da in den meisten Anwendungen Fremdlicht in der Messumgebung vorhanden ist, muss dieses kompensiert werden. Fremdlicht und Sendelicht überlagern sich additiv. Um das Fremdlicht vom Messlicht zu separieren, erweist sich eine differentielle Methode als besonders effektiv. Dazu wird das Sendelicht mit einer einstellbaren Frequenz und Pulsbreite gehoppert. Synchron zum Sendelichttakt wird das Messlicht abgetastet. Im Mikrokontroller wird das Farbsignal kanalweise als Differenz zwischen Beleuchtungs- und Dunkelphase berechnet. Bild 2 zeigt dies beispielhaft mit 1 kHz Sendelicht und 100 Hz moduliertem Fremdlicht.

Die differentielle Fremdlichtkompensation hat mehrere Vorteile. Durch eine geän-

derte Auswertung (Softwareeinstellung) kann auch Gleichlicht mit demselben Gerät vermessen werden. Weiterhin werden durch die Differenzbildung auch Dunkelströme und Schaltungsoffsets vollständig eliminiert. Kurze Einschaltimpulse ermöglichen eine effiziente Lichtausbeute bei geringer thermischer Belastung.

Für eine einwandfreie Funktion der Fremdlichtkompensation ist bei der Konstruktion

Dunkelphase. Eine Signalübersteuerung ist bei bestimmten Anwendungen aber zulässig. Hierzu ein Beispiel. Es soll eine dunkle Materialoberfläche erkannt werden. Gleichzeitig treten aber auch sehr helle und gut reflektierende Oberflächen auf. Bei entsprechender Umgebungshelligkeit kommt es bei den hellen Materialien leicht zu einer Übersteuerung des Sensors. Diese spielt allerdings keine Rolle, da nur die dunklen Mate-

*„Farbe ist eine Sinnesempfindung, deren korrekte sensorische Erkennung farbmetrisches Know-how erfordert“*

darauf zu achten, dass der Dynamikbereich des A/D Wandlers nicht verlassen wird (im Bild 2 z.B. 0...3 V). Dies kann geschehen, wenn die Summe aus Sende- und Fremdlichtamplitude größer als der max. zulässige Eingangssignalwert des A/D Umsetzers ist.

Da viele Faktoren aus der Anwendung wie Einbaulage, zu erkennende Farbe, Messabstand, Messfenstergröße, Reflexionseigenschaften der umgebenden Materialien usw. großen Einfluss auf die maximale Fremdlichtkompensationsfähigkeit haben, ist zur Einrichtung ein Signalmonitor notwendig. Der Signalmonitor gibt Auskunft über alle Messwerte während der Beleuchtungs- und

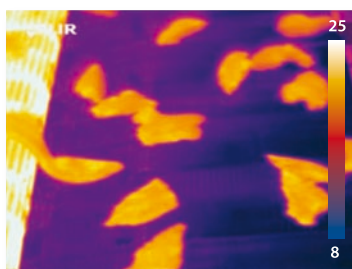
Materialien erkannt werden sollen. Die Aussteuerung kann also auf diesen Farben vorgenommen werden. Dadurch wird der Signalbereich des Sensors besser für die interessierenden Farben ausgenutzt.

### Farbwertkorrekturen für die Austauschbarkeit

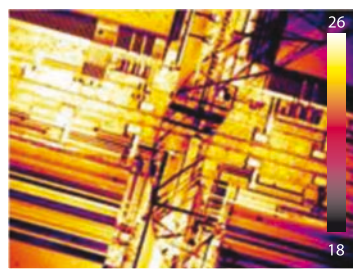
Eine häufig gestellte Anforderung an Farbsensoren besteht in der Austauschbarkeit. Dies erleichtert z.B. die Wartung von Maschinen erheblich. Direkten Einfluss auf die gemessenen Farbwerte haben die spektrale Charakteristik des Sende- und Empfangs-

▼ Weitere Informationen 19553270 [www.vfv1.de/#19553270](http://www.vfv1.de/#19553270)

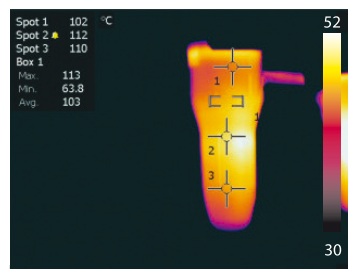
# Verbessern Sie die Produktivität, erhöhen Sie die Qualitätskontrolle!



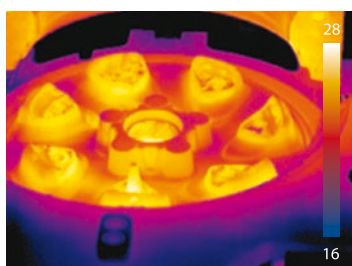
Lebensmittelüberwachung



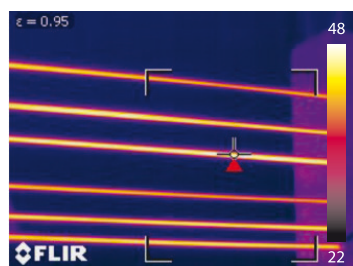
Halbleiter



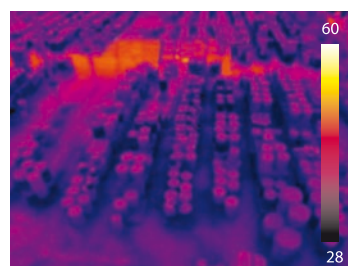
Formteilkontrolle



Aluminumguss



maschinelle Überwachung



Fernüberwachung

### FLIR A315 / A615

Bildqualität: bis zu 640 x 480 Pixel

**GiGE™ GEN*i*CAM**  
VISION

**FLIR Systems GmbH**  
Berner Strasse 81  
D-60437 Frankfurt am Main  
Germany  
Tel.: +49 (0)69 95 00 900  
Fax: +49 (0)69 95 00 9040  
e-mail: [info@flir.de](mailto:info@flir.de)  
[www.flir.de](http://www.flir.de)



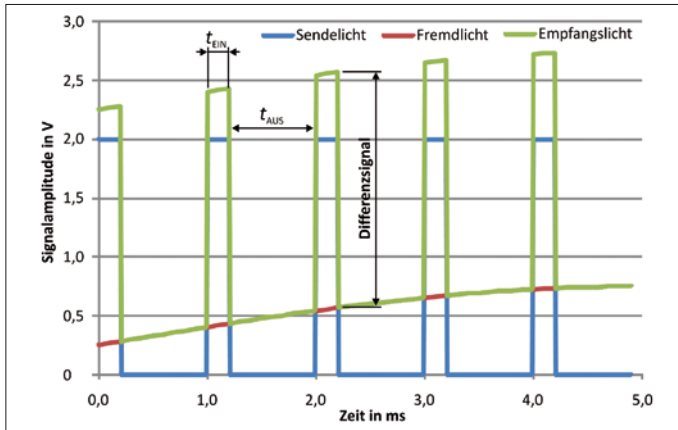


Bild 2: Differenzsignalbildung zur Fremdlichtkompensation

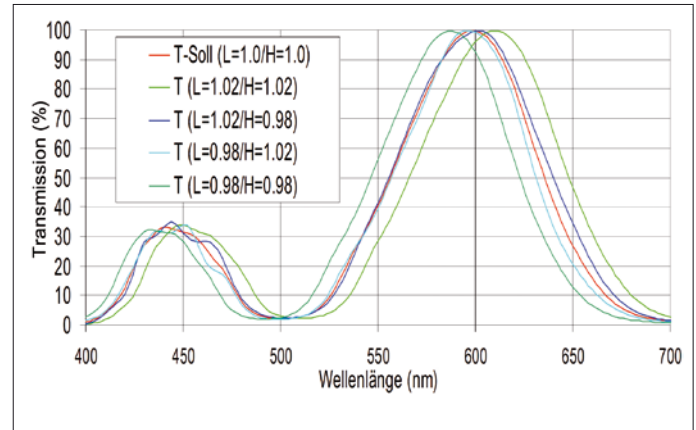


Bild 3: Spektrale Exemplarstreuung von Rotfilterkurven [2]

lichtpfades. Die bei anderen Sensoren selbstverständliche Möglichkeit der Austauschbarkeit wird bei Farbsensoren nach dem Dreibereichsverfahren durch große Exemplarstreuungen der Bauteile erschwert. Problematisch erweisen sich hier die verwendeten Weißlicht-LEDs. Die Hersteller messen Ihre LEDs daher aus und bieten diese in immer feiner werdenden Selektionen (sogenannten Binnings) an. Dennoch sind die spektralen Abweichungen zu groß, um eine Parameternaustauschbarkeit unter den Sensoren zu ermöglichen.

Auch für die Filterkurven der Fotodetektoren gilt eine große Exemplarstreuung. Hier treten Verschiebungen der Kurven bezüglich der Wellenlänge auf (Bild 3). Dies hat große Farbabweichungen zur Folge [2]. Eine gute Möglichkeit Exemplarstreuungen global auszugleichen und somit eine gute Übereinstimmung zwischen den Farbsensoren zu erzielen, besteht in einer targetbezogenen Kalibrierung. Dazu wird mit Ist- und Soll-Farbwerten eines definierten Kalibriertarget eine Korrekturmatri berechnet. Im Ergebnis werden die Exemplarstreuungen auf ein Niveau reduziert, das einen Austausch der Parameter der Farbsensoren für die meisten Anwendungen ermöglicht [3].

## Drifterscheinungen erfolgreich kompensieren

Temperatureinflüsse und Bauteilalterungen führen zum Driften der Farbwerte. Die temperaturbedingte Drift wirkt sich meist auf den kurzzeitigen Erkennungsprozess aus, während die Alterung der Bauteile eine langzeitige Drift zur Folge hat. Beide Effekte können die Funktion des Sensors erheblich stören.

Einige Hersteller versuchen diese Drifterscheinungen mit Korrekturtabellen oder ähnlichen Mitteln zu beseitigen. Diese Mittel scheitern meist, da die Exemplarstreuungen keine verallgemeinerte Korrekturfunktion zulassen. Auch sind alterungsbedingte Drifterscheinungen auf diese Weise nicht korrigierbar. Wesentlich besser eignen sich Methoden, bei denen ständig

Messwerte aus einem zusätzlichen Referenzmesspfad zur Korrektur herangezogen werden. Auf diese Weise können alle Drifterscheinungen erfolgreich kompensiert werden [4].

## Anforderungen an eine natürliche Farbverarbeitung

Eine wichtige Anforderung an Farbsensoren ist die natürliche (oder perzeptive – d. h. eine dem menschlichen Farbempfinden gerechte) Farbsignalverarbeitung. Dabei geht es darum, dass Farbabstände (und damit Farbunterschiede) vom Farbsensor genauso bewertet werden, wie ein menschlicher Beobachter dies tun würde. Andernfalls würden Entscheidungen des Farbsensors zu Fehlbewertungen führen [5].

Eine wichtige Voraussetzung für eine natürliche Farbverarbeitung besteht in der Transformation der XYZ Normfarbwerte in einen empfindungsgerechten Farbraum. Hier hat sich der CIELAB Farbraum bewährt. Die Koordinaten dieses Farbraums sind die Helligkeitsachse  $L^*$ , die Rot-Grün-Achse  $a^*$  und die Blau-Gelb-Achse  $b^*$ . Dieser Farbraum hat den zusätzlichen Vorteil, dass er nach der Gegenfarbtheorie aufgebaut ist und somit der menschlichen Farbsehphysiologie entspricht [6].

## Basis der Farberkennung

Die Hauptaufgabe von Farbsensoren besteht im Farbvergleich. Daraus resultieren die Aussagen „Farbe stimmt überein“ oder „Farbe stimmt nicht überein“. Die Schwellenwert wird dabei durch eine einstellbare Toleranz vorgegeben. Eine weitere Möglichkeit beim Vergleich mit mehreren zur Auswahl stehenden Farben besteht in der Aussage „Farbe stimmt am besten mit Farbe XY überein“.

Je nach Sensormodell kann ein Farbvergleich zwischen Farbprobe und realem Farbvergleichsmuster (bei zweikanaligen Farbsensoren) oder abgespeicherten Farbvergleichswerten (bei einkanaligen Farbsensoren) erfolgen. Der Vergleich erfolgt je-

doch immer auf Basis der Berechnung des Farbabstandes zwischen Farbprobe und Farbvergleichsmuster im zu Grunde liegenden Farbraum.

Aktuell verfügbare Farbsensoren sind in der Lage mehrere hundert Farbvergleichsmuster mit zugehörigen Toleranzwerten im Gerät zu speichern.

## Zusammenfassung

Moderne Farbsensoren sind durch den Einsatz neuester Bauteil- und Fertigungstechnologien gekennzeichnet. Sie verfügen über eine dem menschlichen Farbempfinden entsprechende Farbverarbeitung. Durch geschickte Signalverarbeitung können Störeinflüsse wie Bauteilalterung, Temperaturwechsel und Umgebungslichtschwankungen wirksam eliminiert werden. Dies macht sie im industriellen Umfeld robust und zuverlässig.

### Literaturverzeichnis

- [1] DIN 5033. *Farbmessung*. s.l.: Beuth-Verlag, 1976-2009.
- [2] Franke, K.-H., et al. TU Ilmenau: True-color fähige Farbsensoren – Probleme und Lösungsmöglichkeiten. s.n., 22.-25. September 2003. 48. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium.
- [3] Geske, G. und Wego, A. Rostock: Methode zur Verbesserung des Inter-Instrument-Agreements von Industriefarbsensoren. Universität Rostock, 08.-10.10.2007. 12. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. S. 53-57.
- [4] Strandt, D. und Wego, A. Rostock: Intermittierendes Verfahren zur Driftkompensation von Farbsensoren. Universität Rostock, 08.-10.10.2007. 12. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. S. 35-40.
- [5] Wego, A. Rostock: Perzeptive Farbsensorik für den industriellen Einsatz. Universität Rostock, 08.-10.10.2007. 12. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. S. 23-28.
- [6] DIN 6174. *Farbmetrische Bestimmung von Farbmaßzahlen und Farbabständen im angenähert gleichförmigen CIELAB-Farbraum*. s.l.: Beuth-Verlag, 2007.