

# Präzise Farberkennung unter industriellen Einsatzbedingungen

Farberkennung ist eine etablierte Methode zur Automation industrieller Prozessabläufe. Optische Sensorik muss hierfür besonderen Anforderungen entsprechen: Temperaturschwankungen, Dauereinsatz, wechselnde Fremdlichteinflüsse und variierende Messabstände sind zu berücksichtigen.

Ansgar Wego, Hochschule Wismar  
Gundolf Geske, Astech

Bei der Automation von Produktionsabläufen ist häufig eine Erkennung des Produktes und seiner qualitativen Eigenschaften erforderlich. Optische Sensoren bieten den Vorteil einer berührungslosen und weitgehend materialunabhängigen Erkennung. Farbeigenschaften können einerseits zur Identifikation herangezogen werden. Andererseits ist die Farbgestaltung des Produktes selbst in vielen Fällen hinsichtlich ihrer Qualität zu überprüfen. Daraus ergeben sich für Farberkennungssysteme im industriellen

Umfeld typische Anwendungen wie beispielsweise (Bild 1):

- Beschichtungskontrollen (z. B. Primer-Auftrag)
- Lack- und Farbprüfungen (z. B. Automobilteile)
- Farbcodeprüfungen (z. B. Kfz-Sicherungen, Kappen von Blutprobenröhrchen)
- Farbsortieraufgaben (z. B. Glasflaschenfarbe, farbige Kunststoffe)
- Anwesenheitskontrollen (z. B. O-Ring-Bestückung, Verschlussdeckel)
- Materialgrenzerkennung (z. B. Schichtgrenzen in Dräger-Röhrchen, Schnittkanten)
- Farb- und Druckmarkenerkennung (z. B. auf Offsetdruckbögen)
- Lagekontrollen (z. B. Orientierung von Folien)
- Transmissionsmessungen (z. B. Farbumschläge in Flüssigkeiten, opt. Filter)
- Selbstleuchter (z. B. LED-Test, Leuchtmittel)

## Farbe als besondere Messgröße

Bei Farbe handelt es sich um eine sogenannte menschliche Gesichtsempfindung und demzufolge nicht um eine echte physikalische Messgröße. Daher ist es für die Beschreibung und quantitative Erfassung von Farben erforderlich, alle relevanten Begriffe und Bedingungen in Normen zu definieren. Die DIN 5033 ist dazu die maßgebende Norm. Einer auf die menschliche Empfindung abgestimmten Farbverarbeitung kommt also eine besondere Bedeutung zu. Sie muss perceptiv (d. h. empfindungsgerecht) arbeiten. Die perzeptive Arbeitsweise des Farbsensorsystems ermöglicht somit in hohem Maße eine korrekte technische Erkennung und Bewertung von Farben. Ohne Perzeptivität kommt es insbesondere bei der Bewertung von Farbunterschieden zwischen Farbobjekten zu fehlerhaften Erkennungsergebnissen.

Um Perzeptivität zu erreichen, werden dafür geeignete gleichförmige Farbräume in das Farbsensorsystem implementiert. Insbesondere der in der DIN 6174 definierte  $L^*a^*b^*$ -Farbraum (Bild 2) besitzt weitgehende Gleichförmigkeit, weswegen er sich in der Farbmess-technik durchgesetzt hat.

Das hier vorgestellte Farbsensorsystem arbeitet nach dem sogenannten Dreibereichsverfahren (DIN 5033, Teil 6). Hierbei werden mit Hilfe von drei Fotodioden und entsprechenden Farbfiltern Primärfarbwerte für die



Bild 1: Typische Applikationen für Farberkennungssysteme

Spektralbereiche Rot, Grün und Blau gewonnen und den normierten Farbkoordinaten X (Rot), Y (Grün) und Z (Blau) zugeordnet. Damit eine Transformation der XYZ-Werte in den  $L^*a^*b^*$ -Farbraum erfolgen kann, müssen die spektralen Empfindlichkeitskurven der verwendeten Rot-, Grün-, und Blaufilter den Normspektralwertfunktionen (DIN 5033, Teil 2) entsprechen. Die Transformationsvorschriften für den gleichförmigen  $L^*a^*b^*$ -Farbraum sind nicht-linear. Sie ergeben sich nach Gl. (1) bis (3).

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_N}} - 16 \quad (1)$$

$$a^* = 500 \left( \sqrt[3]{\frac{X}{X_N}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_N}} \right) \quad (2)$$

$$b^* = 200 \left( \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_N}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_N}} \right) \quad (3)$$

Aufgrund der gleichabständigen Eigenschaft des  $L^*a^*b^*$ -Farbraums ist eine einfache Farbabstandsrechnung nach Gl. (4) möglich:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (4)$$

Der Farbabstand  $\Delta E$  repräsentiert somit ein Maß für den vom Menschen empfundenen Unterschied zwischen zwei Farben.

### Kompensation schwankender Messabstände

In industriellen Anwendungen von Farbsensorsystemen lässt sich in den meisten Fällen kein fester Messabstand zwischen Messobjekt und Sensortastkopf einrichten. Zudem wird eine berührungsfreie Abtastung gefordert, weshalb taktile Verfahren ausscheiden. In Ermangelung wirksamer Methoden zur Kompensation von Abstandsschwankungen war der Einsatz von Farbsensoren in der Vergangenheit oft auf spezielle Fälle beschränkt, bei denen entweder eine exakte maschinelle Führung des Messobjektes gewährleistet war oder wo laborähnliche Messverhältnisse vorlagen. Der breitere Einsatz von Farbsensoren im industriellen Einsatzumfeld wurde verhindert, weil der Nutzen der Sensoren für viele Applikationen eingeschränkt war.

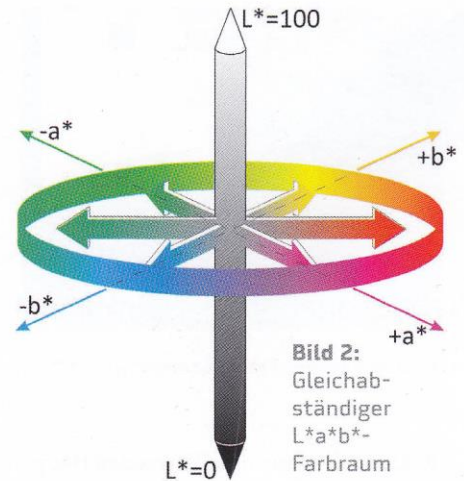
Im hier vorgestellten Farbsensorsystem wird ein neuartiges Verfahren zur

Kompensation von Abstandsschwankungen eingesetzt, das sich besonders durch seine Wirksamkeit und seine einfache sowie kostengünstige technische Umsetzbarkeit auszeichnet [1]. Damit sind nun beispielsweise Anwendungen lösbar, bei denen

- sich das Messobjekt z. B. auf einem schwankenden Förderband befindet oder
- ein Messobjekt mit unebener Oberfläche erkannt werden muss oder
- ein Messobjekt mit unterschiedlicher Größe erkannt werden muss oder
- das Messobjekt keine Führung hat.

Zur Abstandskompensation ist das Sensorsystem mit einer speziellen Faseroptikkonfiguration ausgestattet. Das Verfahren beruht auf der Nutzung zwei verschiedener Intensitätsgängen von Empfangsfaseroptikbündeln.

**Bild 3** zeigt das Blockbild des Sensorsystems. Implementiert sind zwei Dreibereichsfotodioden als spektralselektive Lichtempfänger sowie eine Weißlicht-LED als Lichtquelle. Die beiden Dreibereichsfotodioden sind je einem Haupt- und einem Nebenempfangskanal zugeordnet. Haupt- und Nebenempfangskanal müssen in ihren elektronischen, optischen sowie spektralen Eigenschaften übereinstimmen. Entscheidend für das Prinzip ist, dass die beiden Empfangskanäle bezüglich ihrer Abstandsempfindlichkeit eine unterschiedliche charakteristische Funktion aufweisen.



**Bild 2:** Gleichabständiger  $L^*a^*b^*$ -Farbraum

Die im System eingesetzte und speziell konfigurierte Faseroptik bestimmt wesentlich die Eigenschaften und die Qualität der Kompensation. Die Faseroptik besitzt eine koaxiale Anordnung der Empfängerfasern mit fixem Versatz im Faseroptiktastkopf (**Bild 4**). Die Faseroptik besteht aus vielen einzelnen Glasfasern. Die Einzelfasern der Optik werden auf der Sensorseite in drei Faserbündel aufgeteilt. Ein Bündel wird für die Beleuchtung, ein Bündel für den Hauptempfangskanal und ein Bündel für den Nebenempfangskanal verwendet. An der Tastkopfseite der Faseroptik erfolgt eine Aufteilung der Einzelfasern in zwei Faserbündel. Ein Faserbündel befindet sich in der Tastkopfmitte und enthält einen Teil der Fasern der Beleuch-

**Bild 3:** Funktionsschema des Farbsensorsystems

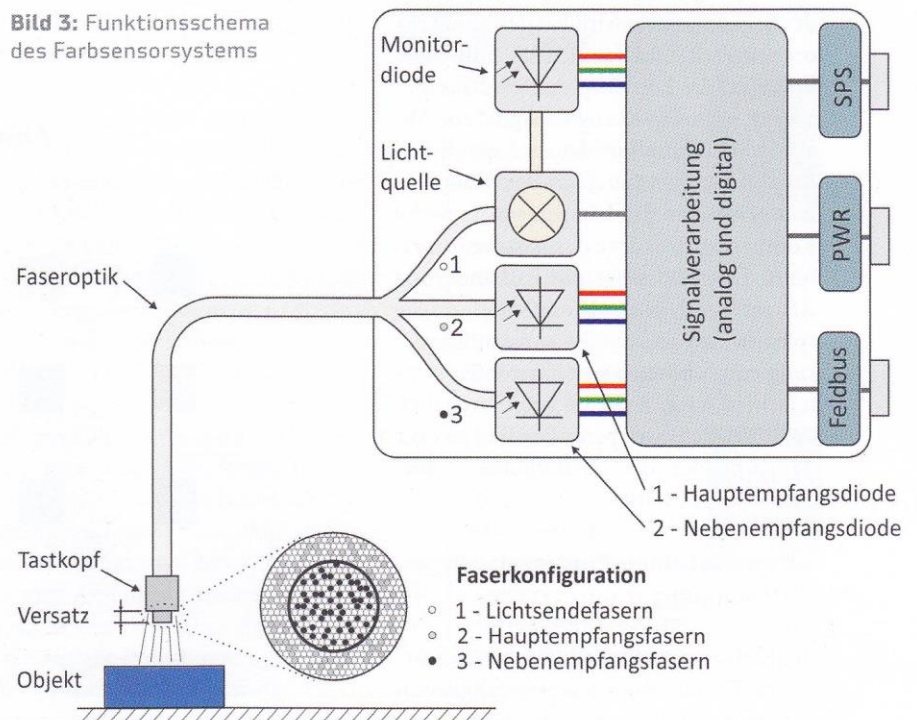




Bild 4: Tastkopf der Faseroptik

tungsoptik sowie alle Fasern des Hauptempfangskanals. Das zweite Faserbündel ist koaxial und um wenige Millimeter zurückgesetzt im Tastkopf der Faseroptik angeordnet und enthält den anderen Teil der Fasern der Beleuchtungsoptik sowie alle Fasern des Nebempfangskanals. Die Anordnung der Einzelfasern im Tastkopf erfolgt statistisch gemischt.

Die Abstandsempfindlichkeitsfunktion der beiden Empfangskanäle wird durch die Intensitätsgänge der Empfangsfasern festgelegt. Von den gemessenen Intensitätswerten der beiden Empfangskanäle ( $I_N$  und  $I_H$ ) wird der Quotient gebildet:

$$Q(z) = \frac{I_N(z)}{I_H(z)} \quad (5)$$

Die Kernidee des Verfahrens basiert darauf, dass dieser Quotient nur eine Funktion des Abstandes und somit weitgehend unabhängig von den reflektiven Eigenschaften des Messobjektes selbst ist [2]. Die spezifische Abstandsfunktion des Sensorsystems wird bei der Kalibration ermittelt und im Sensor hinterlegt. Während der Betriebsphase wird aus dieser Funktion ein Korrektursignal zur Abstandskompensation der drei spektralen Empfindlichkeitsbereiche des Hauptkanals gewonnen. Bild 5 zeigt eine typische Kompensationskurve des Farbsensorsystems. Das Bild zeigt die Farbänderung  $\Delta E$  mit und ohne Kompensation. Sie spiegelt den durch die Abstandsänderung empfundenen scheinbaren Farbunterschied wieder. Bild 6 zeigt zusätzlich die typischen Kompensationskurven für 24 Farbfelder der Testfarbtafel ColorChecker von X-Rite.

### Langzeitstabiler Einsatz durch Driftkompensation

Bei Farbsensorsystemen für den industriellen Einsatz stoßen Notwendigkeiten zur häufigen Wartung und Neujustage

durch den Anwender auf wenig Akzeptanz. Insbesondere Drifterscheinungen, die mit schwankenden Temperaturen und der Alterung der Lichtquelle einhergehen, müssen daher durch das System zuverlässig kompensiert werden, um einen wartungs- und eingriffsfreien langzeitstabilen Betrieb zu ermöglichen.

Für die Langzeitstabilisierung der Messwerte wird im hier beschriebenen Farbsensorsystem eine Driftkompensationsmethode implementiert, die auf einem zusätzlichen Messkanal und einer Korrekturrechnung basieren. Ein dritter Dreibereichsempfänger, der als Monitor die Lichtquelle überwacht (Bild 3), liefert entsprechende Farbsignale ( $F_M$ ). Damit sind Aussagen über den aktuellen Zustand der Lichtquelle möglich. Abweichungen gegenüber im Sensor hinterlegten Referenzwerten ( $F_{MR}$ ) werden zur Berechnung von Korrekturfaktoren ( $K_F$ ) herangezogen.

$$K_F = \frac{F_{MR}}{F_M} \quad (6)$$

$$F_K = K_F \cdot F \quad (7)$$

Die kompensierten Farbsignale ( $F_K$ ) ergeben sich dann aus der Multiplikation der Korrekturfaktoren mit den aktuellen Farbsignalen ( $F$ ). Gl. (6) und (7) zeigen die Rechnungen.

Die Kompensation arbeitet effizient. Driftbedingte Farbabweichungen sind nach der Kompensation für den Menschen nicht mehr wahrnehmbar. Bild 7 zeigt die Wirkung der Kompensation beispielhaft für die Aufwärmphase des Sensorsystems.

### Kompensation von Fremdlichteinflüssen

Fremdlicht aus der Umgebung der Messstelle überlagert sich mit dem Messlicht und stört damit die präzise Erkennung von Farben. Fremdlicht lässt sich im industriellen Umfeld allerdings nicht ver-

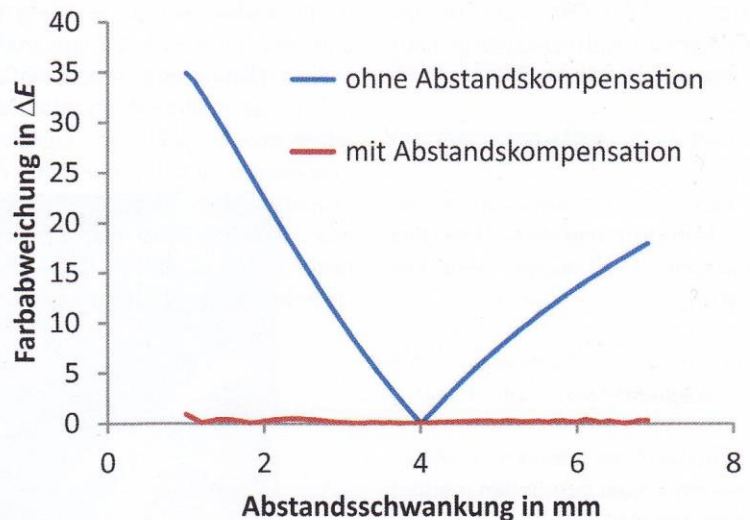


Bild 5: Typische Abstandskompensationskurve des Farbsensorsystems

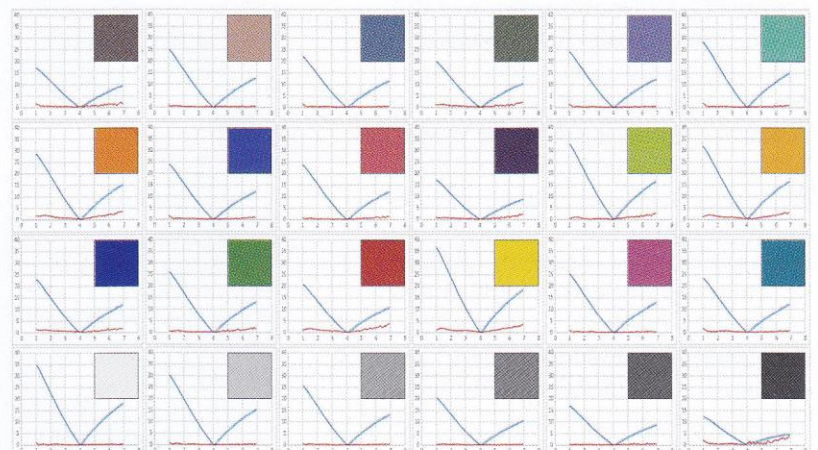
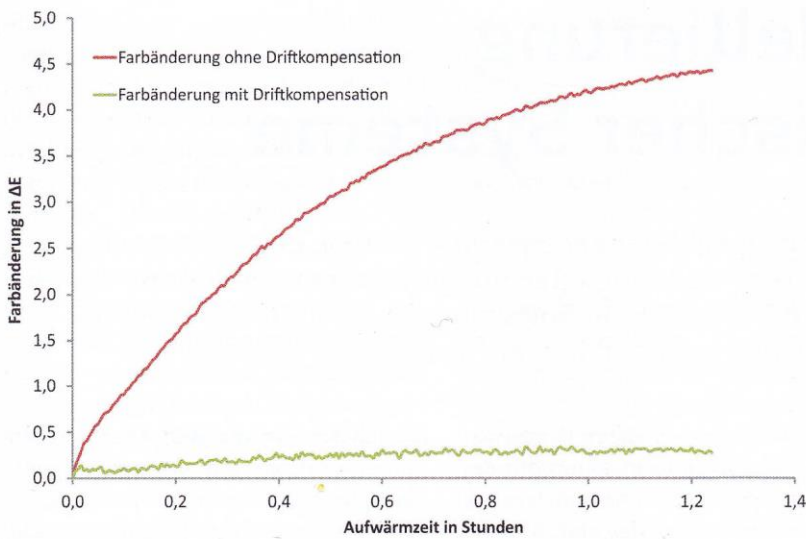
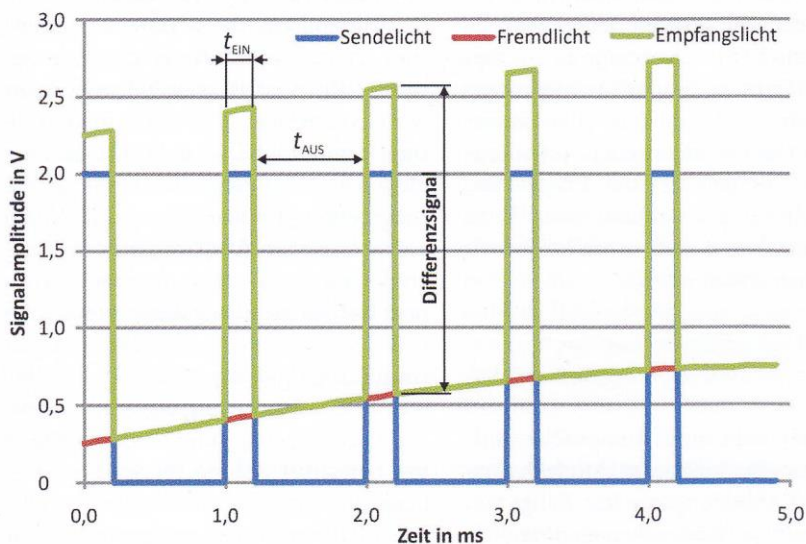


Bild 6: Abstandskompensationskurven auf ColorChecker Testfarbtafel



**Bild 7:** Typische Kompensationskurve für die Aufwärm drift des Farbsensorsystems



**Bild 8:** Fremdlicht-Kompensationsschema

meiden. Eine Kompensation ist somit für die korrekte Funktion des Systems erforderlich. Zur Fremdlichtkompensation wird im Farbsensorsystem eine Choppermethode eingesetzt [3]. Aus zwei zeitlich aufeinanderfolgenden Messungen mit und ohne Messlicht wird durch Differenzbildung das Fremdlicht herausgefiltert. Voraussetzung für die Wirksamkeit dieser Methode ist, dass zum einen die Chopperfrequenz hoch genug ist,

damit auch Wechsellicht aus der Umgebung (typ. im 100 Hz Bereich) kompensiert werden kann. Zum anderen darf die Gesamtintensität von Fremd- und Messlicht den Dynamikbereich des Systems nicht verlassen. **Bild 8** zeigt die Methode in einem Diagramm.

**Ausblick**

Das vorgestellte Farbsensorsystem ermöglicht eine perzeptive, langzeitstabile und speziell abstandsunabhängige Erkennung und Bewertung von Farben im Umfeld der industriellen Automation. Durch die Abstandsunabhängigkeit ist das Sensorsystem von einer starren Tastkopf-Messobjekt-Positionierung befreit, was das System für viele, in der Praxis häufig vorkommende Farberkennungs-



**Bild 9:** Farbsensorsystem von Astech

anwendungen qualifiziert. Alterungs- und temperaturbedingte Drifterscheinungen werden zuverlässig durch einen zusätzlichen Monitorkanal kompensiert. Damit ist ein Dauereinsatz des Systems ohne störende Wartungseingriffe möglich. Mit der Implementierung von gleichförmigen Farbräumen wird die Perzeptivität des Farbsensorsystems gewährleistet, wodurch eine präzise Farbbewertung nach menschlichen Gesichtspunkten sichergestellt wird.

**Hinweise zum Farbsensorsystem**

Das beschriebene Farbsensorsystem wurde von der Astech GmbH in dem Produkt CROMLAVIEW CR500 (**Bild 9**) umgesetzt. Auch auf die Verfahren zur Abstands- und Driftkompensation bestehen Schutzrechte beim Unternehmen.

**Kontakt**

Prof. Dr.-Ing.  
Ansgar Wego  
Hochschule Wismar  
Fakultät für  
Ingenieurwissen-  
schaften  
Philipp-Müller-Str. 14  
23966 Wismar  
ansgar.wego@hs-wismar.de  
www.et.hs-wismar.de



Dr.-Ing.  
Gundolf Geske  
Astech GmbH  
Manager Color  
Sensors  
Rostock  
Tel. +49 381 44073-17  
Fax +49 381 44073-20  
g.geske@astech.de  
www.astech.de

