

Korrekte Erkennung von Farben und Oberflächen mit Farbsensoren

Ansgar Wego, Hochschule Wismar
Gundolf Geske, Astech Angewandte Sensortechnik GmbH, Rostock

Farben und Oberflächen von Objekten müssen in verschiedenen technischen Bereichen, wie bspw. der Qualitätssicherung oder der Prozesssteuerung, sicher identifiziert werden. Hierfür stehen dem Anwender heute eine Fülle an spezialisierten Sensoren – die Farbsensoren¹ – zur Verfügung. Allerdings werden bei vielen dieser Geräte grundlegende Bedingungen für eine korrekte Farberkennung missachtet. Dies führt häufig zu einer fehlerhaften Erkennung und erhöht somit unnötig die Kosten in der Qualitätssicherung bzw. Produktion.

Wichtige Voraussetzung für eine korrekte und zuverlässige Farberkennung ist zum einen die Anwendung der höheren Farbmetrik und zum anderen eine stabil arbeitende optosensorische Messeinrichtung. Einsatzbereiche für Farbsensoren sind überwiegend im industriellen Umfeld zu sehen. Neben einer hohen Erkennungsgeschwindigkeit zeichnen sich Farbsensoren dementsprechend durch eine robuste und kompakte Bauweise aus (typischerweise eloxiertes Aluminiumgehäuse mit 50 x 50 x 20 mm³). Häufig befinden sich die Geräte in direkter Produktionsnähe, wodurch sich bei stark wechselnden Temperatur- und Umgebungslichteinflüssen hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit ergeben. Da eine ständige Wartung und Nachjustierung auf Grund der Einbausituation oftmals kaum möglich ist, müssen Farbsensoren über lange Zeit ohne Eingriff farbstabile Erkennungen gewährleisten.

1 Einsatzbereiche

1.1 Prozessüberwachung

Viele Stoffe verändern durch Einwirkung ihre Farbe. Die Art der Einwirkung kann chemischer (z.B. Farbumschläge bei Reaktionen), thermischer (z.B. bei Zersetzungsprozessen), mechanischer (z.B. durch Druckbeaufschlagung) oder strahlungsphysikalischer (z.B. durch UV-Licht) Natur sein. Die farbliche

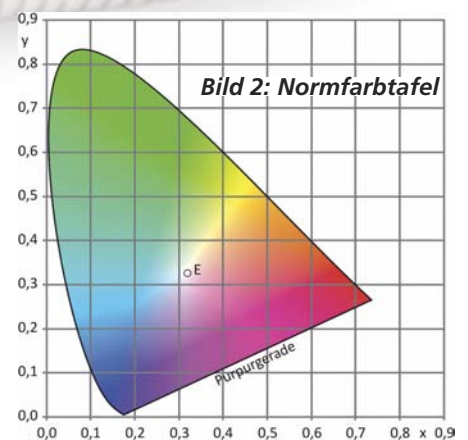
Veränderung ist häufig ein Indiz für eine qualitative Veränderung des Stoffes. Um die Qualität im Prozess zu sichern oder um auf das Ereignis der Farbänderung zu reagieren werden daher Farbüberwachungen der entsprechenden Stoffe durchgeführt.

1.2 Farbqualitätssicherung

Bei der äußeren Gestaltung von Produkten spielt die Farb Wahrnehmung für Hersteller eine wesentliche Rolle. Dies hängt mit der ausgeprägten psychologischen Wirkung von Farben beim Menschen zusammen. Bekannt ist, dass Farben Assoziationen, Erinnerungen und Gefühle hervorrufen. Dieser Zusammenhang wird von den Produzenten gezielt ausgenutzt, um den jeweiligen Erzeugnissen eine bestimmte Qualität zuzuordnen oder um ihre eindeutige Wiedererkennung sicher zu stellen. Das Interesse der Hersteller an einer gleichbleibenden farblichen Erscheinung ihrer Produkte ist daher sehr hoch. Im gesamten Herstellungsprozess werden zur Sicherstellung der Farberscheinung Qualitätskontrollen durchgeführt. Der Umfang der Maßnahmen reicht von Wareneingangskontrollen über Inline-Überwachungen bis hin zu aufwendigen stichprobenartigen Laboruntersuchungen.

1.3 Farbmarkenerkennung

Da jeder sichtbare Körper eine Farb Wahrnehmung hervorruft, kann seine Farbe als Merkmal zur Erkennung des Gegenstandes herangezogen werden. Diese Tatsache wird vielfach zur Prozesssteuerung ausgenutzt. Durch Aufbringung einer farblichen Markierung (Farbmarke) auf den Gegenstand kann eine eindeutige Erkennung der markierten Stelle zu einem späteren Zeitpunkt im Prozess erfolgen. Auf diese Weise wird beispiels-



weise eine Ausschleusung von „Schlecht“-Teilen realisiert. Eine weitere Anwendung von Farbmarken besteht in der exakten Positionierung im Verarbeitungsprozess. Häufig ist das Aufbringen einer Farbmarke gar nicht erforderlich, da der Gegenstand selbst eindeutige farbliche Bereiche für die Wiedererkennung besitzt.

2 Farbbegriff und Farbmetrik

Farbe ist eine menschliche Sinnesempfindung. Sie ist keine physikalische Eigenschaft. Jeder sichtbare Körper erzeugt aufgrund seiner Reflexionseigenschaften einen Farbreiz (Farbreizfunktion) und in der Folge eine Farb Wahrnehmung beim Beobachter. Sichtbar ist nur der Bereich elektromagnetischer Wellen zwischen 380 nm und 780 nm. Sonstige optische Wahrnehmungen wie Struktur (Licht-Schatten-Wirkungen), Glanz, Rauigkeit sind vom Begriff der Farbe abzugrenzen. Auch psychologische Effekte und Phänomene, die sich auf den Sehsinn beziehen (etwa Umstimmung oder Adaption), sind nicht der Farb Wahrnehmung zuzuordnen [1,2].

2.1 Farbmetrik

Um Farben technisch zu erfassen bedarf es einer Messeinrichtung. Da es sich bei Farbe aber um eine Sinnesempfindung und nicht

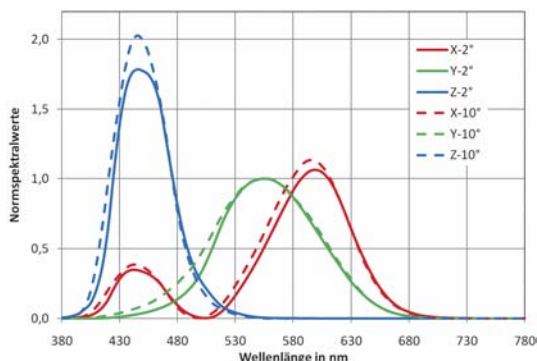
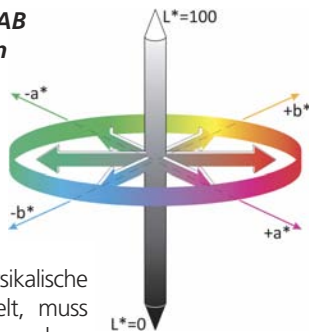


Bild 1: Normspektralwertfunktionen für 2° und 10° Beobachter

¹ Als Farbsensoren werden oft auch die reinen Fotodioden mit vorgeschalteten Farbfiltern bezeichnet. Hier soll unter Farbsensor ein komplettes Gerät inklusive Optik und Auswertung verstanden werden.

**Bild 3: CIELAB
Farbenraum**



um eine physikalische Größe handelt, muss hierfür ein besonderes Maßsystem eingeführt werden, welches die Farbmeterik begründet und grundsätzlich in Normen definiert wird. Ziel der Farbmeterik ist die eindeutige Bestimmung von Farben durch Farbmaßzahlen [1]. Die Basis der Farbmeterik bilden die sogenannten Normspektralwertfunktionen (**Bild 1**). Sie definieren die drei spektralen Wirkfunktionen des farbmeterischen Normalbeobachters, mit denen die Farbreizfunktion bewertet werden muss. Die Normspektralwertfunktionen wurden für zwei Gesichtsfeldgrößen (2° und 10°) normiert. Zur eindeutigen Bestimmung der Farbmaßzahlen sind weitere definierte Messbedingungen notwendig, die ebenfalls in Normen festgelegt sind [2].

2.2 Farbräume

Farben können mit Farbmaßzahlen in unterschiedlichen Farbräumen gekennzeichnet werden. Die Basis bildet das Normvalenzsystem mit den Normfarbwerten X (Rot), Y (Grün) und Z (Blau). Aus den Normfarbwerten entsteht durch Bildung der Normfarbwertanteile x (Rotanteil) und y (Grünanteil) die bekannte Normfarbtafel (**Bild 2**) [2]. Ein wesentlicher Nachteil des Normvalenz-Farbraums ist, dass die geometrischen Farbabstände sehr stark von den empfundenen Farbabständen abweichen. Mit dieser Problematik befasst sich die sogenannte höhere Farbmeterik. Es wurden verschiedene Farbräume definiert, die eine möglichst gute Übereinstimmung zwischen geometrischem und empfundenem Farbabstand bieten (sogenannte gleichförmige bzw. gleichabständige Farbräume). Der am häufigsten verwendete angenähert gleichabständige Farbraum ist der CIELAB-Farbraum mit den Farbmaßzahlen L^* , a^* und b^* (**Bild 3**) [2,3].

3 Farben messen

Zur messtechnischen Bestimmung der Farbmaßzahlen von Farben existieren heute zwei normierte Verfahren. Daneben existieren weitere nicht normierte Verfahren, die aber auf das Normvalenzsystem bezogen werden müssen.

3.1 Dreibereichsverfahren

Beim normierten Dreibereichsverfahren [2] trifft Licht auf einen Empfänger, dessen

spektrale Empfindlichkeit den Normspektralwertfunktionen entspricht. Mit Hilfe von Photoempfängern (Photodioden) wird die „Helligkeit“ des einfallenden Lichtes photometrisch erfasst. Die so ermittelten Werte entsprechen der Farbvalenz. Zur Erkennung von Körperfarben ist eine Beleuchtungsquelle notwendig. Zu Messzwecken müssen Lichtquellen mit genormten Strahlungsfunktionen verwendet werden (z.B. Lichtart D 65). Die praktisch erreichbare Messgenauigkeit ist geringer als beim Spektralverfahren und hängt entscheidend von der spektralen Empfindlichkeitskurve der verwendeten Farbfilter und Lichtquelle ab. Der technische Aufwand ist niedrig. Es kann eine sehr hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit erreicht werden. Das Dreibereichsverfahren wird heute weniger zur Bestimmung von Farbmaßzahlen verwendet. Am häufigsten kommt es in Sensoren zur Farberkennung zum Einsatz (s.u.).

3.2 Spektralverfahren

Die Messung von Farbmaßzahlen nach dem normierten Spektralverfahren ist in [2] festgelegt. Jeder Farbreiz setzt sich als Summe über seine (monochromatischen) Spektralanteile zusammen. Zur Ermittlung der Farbmaßzahlen wird über den sichtbaren Wellenlängenbereich das Spektrum (d. h. die zugehörigen Intensitäten) der zu untersuchenden Licht- oder Körperfarbe ausgemessen. Bei Körperfarben muss auch das Spektrum der beleuchtenden Lichtart einbezogen werden. Anschließend erfolgt eine Bewertung des gemessenen Spektrums mit den Normspektralwertfunktionen. Das Spektralverfahren erreicht eine höhere absolute Messgenauigkeit als das Dreibereichsverfahren. Es können zudem Farbmaßzahlen von Körperfarben weitgehend unabhängig von der real verwendeten Lichtquelle bestimmt werden. Das Verfahren ist verglichen mit dem Dreibereichsverfahren apparativ aufwändiger und kostenintensiver. Es erreicht nur eine geringe Verarbeitungsgeschwindigkeit. Geräte, die dieses Verfahren verwenden, heißen Spektralphotometer. Das Spektralverfahren mit angeschlossener Rechentechnik ist das heute leistungsfähigste und am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Ermittlung von Farbmaßzahlen.

3.3 Farbdetektion

Mit Hilfe der Farbmessverfahren ist es also möglich, einer Farbe eindeutige Maßzahlen zuzuordnen. In vielen technischen Anwendungen ist die Kenntnis der eigentlichen Farbmaßzahlen einer Farbe aber nicht erforderlich bzw. von untergeordnetem Interesse. Für diese Fälle reicht die bloße Feststellung aus, ob zwei Farben gleich (bzw. innerhalb einer festgelegten Toleranz gleich) sind oder nicht. Die Aufgabe des Farbvergleichs übernehmen typischerweise Farbsensoren. In Abgrenzung

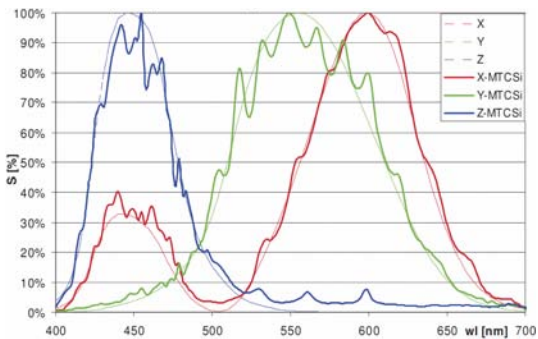


Bild 4: Spektrale Empfindlichkeitskurven eines Dreibereichsphotoelementes mit Interferenzfiltern nach [6]

zum Begriff Farbmessung soll bei Farbsensoren daher im Folgenden von Farbdetektion (oder Farberkennung) gesprochen werden. Zur eindeutigen Farbdetektion sind aber auch bei Farbsensoren grundsätzlich die gleichen Bedingungen wie zur Farbmessung zu erfüllen. Auch hier bildet das Normvalenzsystem die Basis. Allerdings kann auf die Ausgabe bzw. Darstellung der Farbmaßzahlen verzichtet werden. Die Erfassung der Farbmaßzahlen dient bei Farbsensoren dem Farbvergleich. Dazu sind Farbabstandsberechnungen im Sinne der höheren Farbmessung durchzuführen. Die absolute Genauigkeit der Farbmaßzahlen, die bei Farbmessgeräten für deren Qualität maßgebend ist, spielt bei der Farberkennung innerhalb desselben Sensors allerdings keine zentrale Rolle. Daher ist bei Farbsensoren die Anwendung des Dreibereichsverfahrens meist ausreichend, und nicht normierte Lichtarten finden als Beleuchtungsquellen Verwendung. Die Geräte profitieren somit von der hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit und den geringen Kosten für die technische Umsetzung des Verfahrens.

4 Aufbau von Farbsensoren nach dem Dreibereichsverfahren

Farbsensoren müssen in der Lage sein, Farbmaßzahlen einer Farbe zu erfassen und mit Vergleichswerten zu vergleichen. Das Ergebnis des Farbvergleichs gibt eine Aus-

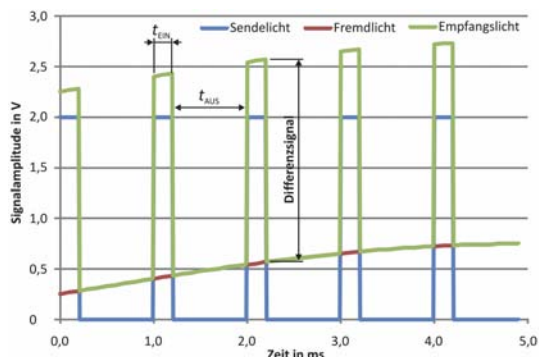


Bild 5: Chopperung des Sendelichtes zur Fremdlichtkompensation

sage darüber, ob und wenn ja mit welcher der in einer Farbtabelle hinterlegten Vergleichsfarbe die aktuell gemessene Farbe übereinstimmt. Zudem wird die ähnlichste Farbe aus der Farbtabelle (d. h. die Farbe mit dem geringsten Farbabstand zum Messwert) als Farbnummer ermittelt. Darüber hinaus geben farbmetrisch korrekt arbeitende Geräte ein Maß für die empfundene Farbabweichung (Farbabstand) aus.

Die optischen Signalwege spielen für die Erkennungsqualität der Farbsensoren eine wichtige Rolle. Hier werden von den Herstellern verschiedene Ansätze verfolgt: Neben den typischen Sensoren mit fest eingebauten Linsenoptiken haben sich vor allem flexible lichtleiterbasierte Systeme mit Vorsatzoptiken bewährt. Damit sind auch entfernte Messstellen auf engstem Raum erreichbar und verschiedene Messabstände sowie Messfleckgrößen möglich.

5 Objektbeleuchtung

Die Eigenschaften der verwendeten Lichtquelle zur Objektbeleuchtung haben maßgeblichen Einfluss auf die Erkennungsergebnisse. Aus messtechnischer Sicht wäre die Verwendung einer normierten Lichtart ideal (z.B. Lichtart D 65 [2]), die keine Temperaturabhängigkeit sowie keine alterungsbedingten Veränderungen zeigt. Für den Einsatz in Farbsensoren werden außerdem eine kompakte Bauform, eine hohe Lebensdauer, eine hohe Lichtausbeute (gemessen in Lumen/Watt) und ein geringer Preis gefordert. Um das Fremdlicht aus der Messumgebung vom eigentlichen Messlicht zu trennen werden üblicherweise Modulationsverfahren verwendet. Zu diesem Zweck muss die Intensität der Lichtquelle im oberen kHz-Bereich veränderbar sein.

Den wichtigsten Anforderungen nach hoher Lebensdauer, hoher Lichtausbeute, kompakter Bauweise und Modulierbarkeit werden derzeit am besten Hochleistungs-Weißlicht-LEDs gerecht: Abmessungen liegen im Millimeterbereich, es werden Lichtausbeuten von mehr als 100 lm/W [4] erreicht, das Licht kann einfach moduliert werden und die Lebensdauer beträgt bis zu 50 000 Betriebsstunden. Weißlicht-LEDs weisen allerdings auch einige Nachteile auf. Sie bestehen aus einer im blauen Spektralbereich emittierenden LED, die mit einer im gelben Spektralbereich fluoreszierenden Lichtkonversionsschicht überzogen sind. Die Lichtmischung erscheint als weißes Licht. Besonders im Bereich

380 - 420 nm fehlen Spektralanteile, die für eine Detektion der Farbe von entscheidender Bedeutung sein können. Zudem streuen die spektralen Energieverteilungen herstellungsbedingt, was zu deutlichen Abweichungen der Farbmaßzahlen verschiedener Farbsensoren führen kann. LEDs unterliegen außerdem einer Temperaturdrift, weshalb die Lichtausbeute mit steigender Temperatur abnimmt [4], und sie zeigen einen alterungsbedingten Intensitätsverlust, die Alterungsdrift [5]. Ein messtechnischer Nachteil ist, dass es sich um keine Normlichtart handelt. Daher sind die resultierenden Farbmaßzahlen nicht ohne weiteres mit absoluten Normfarbmaßzahlen vergleichbar.

6 Dreibereichsfotodetektor

Eine Voraussetzung für die Anwendung des Dreibereichsverfahrens ist die Bewertung des vom Messobjekt reflektierten Lichtes mit den Normspektralwertfunktionen. Dabei ist immer die spektrale Charakteristik der Kombination aus fotosensitivem Empfänger-element und vorgeschaltetem Lichtfilter zu berücksichtigen. Heute werden überwiegend halbleiterbasierte Fotoempfänger mit vorgeschalteten Farbfiltern eingesetzt. Technisch erweist sich die normgerechte Nachbildung der Filterkurven als schwierig. Die Qualität der Farbdetektion hängt aber entscheidend von der Einhaltung der Normspektralwertkurvenform ab. Heute werden überwiegend Siliziumfotodioden als Empfänger-elemente eingesetzt. Moderne Farbfilter basieren auf dielektrischen Interferenzfilterschichten, die direkt auf den Siliziumdioden aufgebracht werden [6]. Zwar ist die erreichbare Anpassungsgüte derartiger Empfänger-elemente geringer als bei den aufwendigeren Partialfilterpaketen [7], für Farbsensoren i.d.R. jedoch ausreichend (Bild 4). Ein weiteres Problem besteht in der Exponentialstreuung der Interferenzfilter. Auch kleine spektrale Verschiebungen der Filterkurven führen zu deutlichen Abweichungen der resultierenden Farbmaßzahlen [8]. Prinzipbedingt zeigt der Fotostrom von Siliziumdioden eine exponentielle Temperaturabhängigkeit [9]. Bei der Signalverarbeitung ist daher zwingend eine Kompensation der Temperaturdrift vorzusehen.

7 Fremdlichtkompensation

Eine sehr effektive Methode zur Kompensation von Fremdlicht besteht in der Differenzmessung. Dazu wird das vom Sensor zur Objektbeleuchtung gesendete Messlicht (Sendelicht) gechoppert. Es werden Messwerte (Empfangslicht) aus der beleuchteten (t_{ein}) und unbeleuchteten (t_{aus}) Messphase gewonnen. Durch eine nachfolgende Differenzbildung verschwinden alle Fremdlichtanteile,

Dunkelstromanteile und Nullpunktverschiebungen (**Bild 5**). Ein geringes Tastverhältnis ($< 10\%$) bei gleichzeitig hohen LED-Stromimpulsen bewirkt ein großes Differenzsignal und damit besseres Signal-Rauschverhältnis. Auch die thermische Belastung der LED wird damit reduziert und somit deren Lebensdauer erhöht. Die Chopperfrequenz muss zur Einhaltung des Abtasttheorems mindestens doppelt so hoch sein, wie die zugrundeliegende Schaltfrequenz des Sensors.

8 Driftkompensation

Hochleistungs-Weißlicht-LED als auch der siliziumbasierte Dreibereichsfotoempfänger zeigen eine ausgeprägte Temperaturabhängigkeit. Bei der LED kommt eine deutliche alterungsbedingte Drift hinzu. Im Vergleich zu den Einflüssen der LED und der Fotodiode leistet die Drift der im Sensor eingesetzten analogen Signalverarbeitungselektronik zwar nur einen geringen Beitrag zur Gesamtdrift, aber auch dieser Beitrag kann für einen stabilen Betrieb unter praktischen Umgebungsbedingungen nicht vernachlässigt werden. Der Kompensation aller Drifterscheinungen im Farbsensor kommt daher eine zentrale Bedeutung zu. Eine gängige Methode ist die Kompensation der Temperaturdrift auf Basis eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Temperatur und Farbmaßzahländerung. Diese wird durch Messung von Temperatur und Farbmaßzahlen mittels Kalibrierkurve hergestellt. Naturgemäß hat diese Methode entscheidende Schwächen. Zum einen muss ein hoher Aufwand zur Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs getätigt werden, da jeder Sensor individuelle Parameter besitzt. Andererseits wirkt diese Methode nicht mehr bei veränderten Zusammenhängen, die z.B. durch alterungsbedingte Drift der Parameter entstehen. Wesentlich besser ist eine auf kontinuierlicher Referenzmessung basierende Methode zur Driftkompensation bei Farbsensoren geeignet (**Bild 6**).

9 Farbraumtransformation

Die Anwendung der höheren Farbmetrik als Bedingung für eine korrekte Farberkennung liegt in der Forderung nach einem empfindungsgemäß gleichabständigen Farbraum begründet. Mit Hilfe der Transformationsgleichungen **(1)**, **(2)** und **(3)** nach [3] lässt sich das Normvalenzsystem in den angenähert gleichabständigen CIELAB-Farbraum mit den Maßzahlen L^* , a^* und b^* überführen. In diesem Farbraum gelten für gleiche geometrische Abstände angenähert gleiche Farbunterschiedsempfindungen. Daher ist es möglich, aus den geometrisch berechneten Farbabständen Rückschlüsse über Ähnlichkeiten von Farben zu ziehen (Gleichung **(4)**).

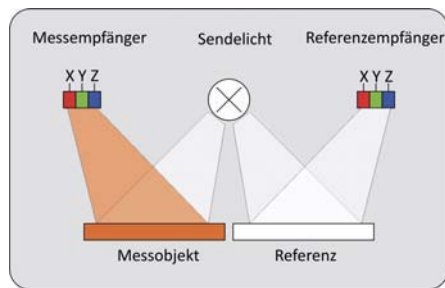


Bild 6: Prinzip der Driftkompensation auf Basis kontinuierlicher Referenzmessungen

Dies ist eine der Grundvoraussetzungen für eine korrekte Farberkennung und ermöglicht eine einfache Toleranzfestlegung (z.B. in Form von Kugelradien).

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

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

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

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

Im CIELAB-Farbraum wird häufig eine Klassifizierung für die Farbunterschiedsbewertung von Farbabständen vorgenommen. Mithilfe der Farbunterschiedsbewertungen können Toleranzen für den Farbvergleich mit Farbsensoren definiert werden, die sicherstellen, dass eine Ähnlichkeit der verglichenen Farben unter Einhaltung gewünschter Kriterien gewährleistet ist.

10 Farberkennungsalgorithmus

Der Farberkennungsalgorithmus vergleicht aktuell gemessene Farbmaßzahlen mit den im Sensor hinterlegten Vergleichsmaßzahlen aus der Farbentabelle. Die Basis des Vergleichs ist immer eine Abstandsberechnung im empfindungsgemäß gleichabständigen Farbraum laut Gleichung **(4)**. Zu jeder in der Farbentabelle des Sensors gespeicherten Vergleichsfarbe wird der entsprechende Farbabstand ermittelt.

10.1 Farberkennung ohne Toleranzprüfung

Ein typischer Erkennungsmodus von Farbsensoren wird mit der Ausgabe der Farbnummer der ähnlichsten Farbe ohne Berücksichtigung einer Toleranzvorgabe realisiert. Angewendet wird diese Methode z.B. bei Farbsortiervorgängen. Hier können nicht alle im Prozess vorkommenden Farben mit entsprechenden Farbmaßzahlen und Toleranzen hinterlegt werden, da sie im Allgemeinen vorher nicht bekannt oder zu vielfältig sind. Daher werden im Farbsensor nur generische Farbmaßzahlen entsprechend der zu erkennenden Farbkategorien (z.B. Rot, Grün, Blau, Gelb) hinterlegt. Die empfindungsgemäße Farbabstandsbe-

rechnung sorgt dann für eine korrekte Farbzuzuordnung der unbekanntenen Messobjekte zu den definierten Farbkategorien.

Diese Erkennungsmethode eignet sich auch zur Kontrolle aller Arten von Farbübergängen. Soll bpsw. die geometrische Position einer Schichtgrenze zwischen zwei Stoffen erkannt werden, deren Übergang nicht scharf sondern mit einem gewissen Verlauf behaftet ist, so reicht es aus, die Farbmaßzahlen der beiden reinen Stoffe in der Farbtabelle zu hinterlegen. Beim sensorischen Überfahren der Stoffschichten wird exakt in der Mitte der Grenzschicht die Farberkennung den Farbübergang signalisieren. Damit kann deren geometrische Position genau bestimmt werden.

10.2 Farberkennung mit Toleranzprüfung

Wird die Berechnung des geringsten Farbabstandes um die Überprüfung des dazugehörigen Toleranzwertes erweitert, so kann mit dem Farbsensor festgestellt werden, ob die gemessenen Farbmaßzahlen genau (im Rahmen der Toleranz) mit den hinterlegten Farbvergleichswerten übereinstimmen. Dieser Modus funktioniert daher im Vergleich zum oben beschriebenen Verfahren auch mit nur einer hinterlegten Vergleichsfarbe sinnvoll. Alle Anwendungen die eine Detektion der genauen Übereinstimmung mit den Farbvergleichswerten erfordern, setzen diesen Erkennungsmodus voraus. Die Vorgabe von Toleranzwerten erfolgt letztendlich zwar immer empirisch auf der Grundlage von Erfahrungswerten. Dennoch bieten die Farbunterschiedsbewertungen eine grobe Orientierung für die Parametrierung.

11 Zusammenfassung und Ausblick

Technische Farberkennungssysteme, wie sie mit Farbsensoren nach dem Dreibereichsverfahren bekannt sind, müssen für ihre bestimmungsgemäße Funktion der Sinnesempfindung des Menschen genügen. Deswegen ist für eine korrekte und stabile Farberkennung eine Vielzahl an Maßnahmen erforderlich. Den Kern bilden dabei

- Signalverarbeitung auf Basis des Normvalenzsystems
 - Umsetzung der höheren Farbmatrik durch Verwendung empfindungsgemäß gleichabständiger Farbenräume
 - Wirksame Kompensation aller Umgebungseinflüsse und Drifterscheinungen
- Farbsensoren, die diese Verarbeitungsschritte aussparen, sind im praktischen Einsatz nicht für anspruchsvolle Erkennungsaufgaben geeignet. Insbesondere die Farberkennungen ohne Beachtung von gleichabständigen Farbenräumen führen zwangsweise zu Falscherkennungen. Für weitere Entwicklungen sind vor allem folgende Problemstellungen zu bearbeiten:

- Schließung der spektralen „Lücken“ der LED-Beleuchtungsquelle für eine verbesserte Farberkennung in diesen Bereichen
 - Reduzierung der alterungs- und temperaturbedingten Drift der Bauteile
 - Reduzierung der Parameterstreuungen für eine bessere Geräteübereinstimmung
- Unabhängig von der Farbsensorentwicklung auf Basis des Dreibereichsverfahrens sollte perspektivisch der Einsatz spektraler Verfahren für diese Geräteklasse nicht aus dem Auge verloren werden. Wenn bei bestimmten Anwendungen die absolute Genauigkeit der Farbmaßzahlen gefordert ist und keine hohen Geschwindigkeitsanforderungen gestellt werden, sich aber teure und für den Industrieeinsatz ungeeignete Laborspektrofotometer nicht rentieren, kann sich die Entwicklung von Farbsensoren mit Spektralverfahren lohnen.

Literaturhinweise:

- [1] M. Richter, *Einführung in die Farbmatrik*, De Gruyter, Berlin, New York, 1981, ISBN 3-11-008209-08
- [2] DIN 5033, *Farbmessung*
- [3] DIN 6174, *Farbmatische Bestimmung von Farbmaßzahlen und Farbabständen im angenähert gleichförmigen CIELAB-Farbenraum*, Beuth-Verlag, Berlin, 2007
- [4] Philips Lumileds Lighting Company, *Technical Data-sheet DS63 - LUXEON Rebel*, 2009
- [5] N. Narendran et al., *Performance characteristics of high-power light-emitting diodes*, Proceedings of SPIE 5187, pp. 267-275, 2004
- [6] F. Grunert, *Integrierte Farbsensoren für Anwendungen in Industrie, Medizin & Umwelt*, 7th Leibnitz Conference of Advanced Science - Sensoren, Lichtenwalde (Sachsen), 10.16, 2008
- [7] G. Geutler, *Zur Herstellung und Verwendung lichtelektrischer Farbmeßgeräte nach dem Dresler-Prinzip*, Die Farbe, 1958, 7, S. 153-162
- [8] K.-H. Franke et al., *True-color fähige Farbsensoren - Probleme und Lösungsmöglichkeiten*, 48. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (WK), Ilmenau, 22.-25.09.2003
- [9] Hamamatsu Corporation, *Photodiode Technical Guide* (Online, cited: 09.08.2010), http://sales.hamamatsu.com/assets/applications/SSD/photodiode_technical_information.pdf

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Ansgar Wego
Hochschule Wismar
Bereich Elektrotechnik
und Informatik
Philipp-Müller-Str. 14
D-23966 Wismar
Tel. 03841/753-474
Fax 03841/753-130
ansgar.wego@hs-wismar.de
Internet: www.et.hs-wismar.de



Dr.-Ing. Gundolf Geske
Astech Angewandte
Sensortechnik GmbH
Schonenfahrerstr. 5
D-18057 Rostock
Tel. 0381/44073-17, Fax -20
eMail: geske@astech.de
Internet: www.astech.de

