

Farben richtig vermessen

MESSGENAUIGKEIT VON DREIBEREICHSFARBSSENSOREN IN DER INDUSTRIE-AUTOMATION

Körperfarbmessungen werden heute wegen der erreichbaren farbmetrischen Genauigkeit und wegen der Unabhängigkeit von der verwendeten Lichtquelle überwiegend mit Spektralphotometern durchgeführt. Die Farbmaßzahlen von Dreibereichsfarbsensoren gelten dagegen als ungenau und sind darüber hinaus untrennbar mit der verwendeten Lichtquelle verbunden.

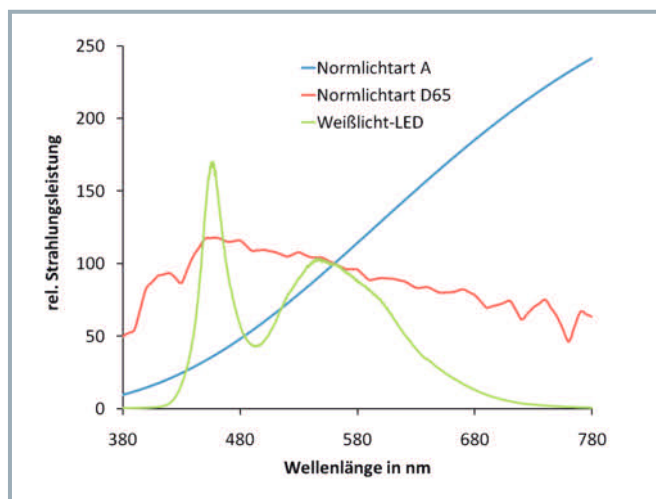
**ANSGAR WEGO
GUNDOLF GESKE
VOLKER AHRENDT**

Körperfarbmessungen sind ein wichtiges Instrument zur objektiven Bestimmung von Farberscheinungen und tragen somit wesentlich zur Qualitätssicherung bei der Herstellung hochwertiger Produkte (zum Beispiel lackierter Autoteile) bei. Die Farbmessung wird dabei heute überwiegend mit Spektralphotometern vorgenommen [1]. Der Grund hierfür liegt zum Teil in der erreichbaren absoluten Genauigkeit der Geräte. Spektralphotometer bieten aber auch die Möglichkeit, Farbmaßzahlen unabhängig von der spektralen Charakteristik der verwendeten Lichtquelle auszugeben. Für die Angabe von Farbmaßzahlen verwenden Spektralphotometer von der internationa-

len Beleuchtungskommission (CIE) genormte Lichtarten (zum Beispiel Lichtart A oder D65), die rein rechnerisch in das Messergebnis eingehen und somit für eine

Vergleichbarkeit auf absoluter Basis geeignet sind [2].

Farbmaßzahlen von industriell eingesetzten Farbsensoren nach dem Drei-



1 Gemessenes Spektrum einer Weißlicht-LED im Vergleich zu den Normlichtarten A und D65



bereichsverfahren sind dagegen von den spektralen Eigenschaften der verwendeten Lichtquelle abhängig. Dies liegt daran, dass keine spektral aufgelöste Information, sondern nur das integrale Ergebnis vorliegt. Eine Trennung zwischen dem Spektrum der Lichtquelle und dem Reflexionsspektrum des Messobjekts ist hier nicht möglich.

In den meisten Fällen werden bei modernen Farbsensoren Weißlicht-LEDs als Lichtquellen eingesetzt [3]. **Bild 1** zeigt die gemessene relative spektrale Strahlungsleistungsverteilung einer Weißlicht-LED im Vergleich zu den für Farbmessungen häufig verwendeten Normlichtarten A und D65.

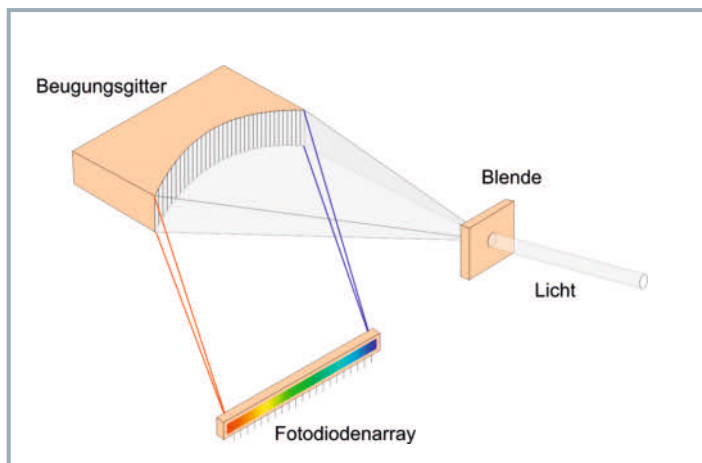
Die Strahlungsfunktion von Weißlicht-LEDs ist nicht genormt. Dies ist der Grund dafür, dass eine Vergleichbarkeit mit den Farbmaßzahlen von Spektralphotometern im Allgemeinen nicht gegeben ist. Damit

ist aber noch keine Aussage über die erreichbare Messgenauigkeit von Dreibereichsfarbsensoren zulässig. Erst bei Verwendung derselben Lichtart beziehungsweise einer Lichtquelle mit gleicher spektraler Strahlungsleistungsverteilung für beide Geräteklassen ist eine Vergleichbarkeit der Messwerte gegeben.

Farbmessetechnik

Moderne Spektralphotometer verwenden Beugungsgitter für die Zerlegung des Lichts. Als Lichtdetektoren finden entweder Photodiodenarrays oder CCD-Zeilen Anwendung (**Bild 2**). Die gesamte Datenverarbeitung erfolgt numerisch. Wegen der besseren spektralen Charakteristik kommen oft Temperaturstrahler (zum Beispiel Halogenlampen) mit entsprechend geringer Lebensdauer als Lichtquellen zum Einsatz. Die spektrale Auflösung kann

2 Prinzip eines Spektralphotometers



KONTAKT

ASTECH Angewandte
Sensortechnik GmbH
18057 Rostock, Deutschland
Tel. +49 (0)381 44073-0
info@astech.de
www.astech.de

Bereich Elektrotechnik und
Informatik, Hochschule Wismar
23952 Wismar, Deutschland
Tel. +49 (0)3841 753-474
ansgar.wego@hs-wismar.de
www.et.hs-wismar.de

bei unter 1 nm liegen. Die Messrate ist gering und erreicht maximal einige Hertz. Die Geräte sind meist für den Laboreinsatz konzipiert. Da für die notwendige messtechnische Genauigkeit hochwertige optische Komponenten zum Einsatz kommen, sind Spektralphotometer vergleichsweise teuer.

Farbsensoren nach dem Dreibereichsverfahren verwenden drei einfache PIN-Photodioden mit vorgeschalteten Interferenzfiltern als Lichtdetektoren. Die Geräte sind für den industriellen Einsatz in der Automation gedacht und besitzen daher entsprechende konstruktive Merkmale wie einbaufähiges robustes Aluminiumgehäuse mit hoher Schutzart, 24 V Spannungsversorgung, SPS-Schnittstelle sowie eine integrierte langlebige Lichtquelle (**Bild 3**). Weiterhin werden bei ▶

► modernen Farbsensoren verschiedene Kompensationsmechanismen zur Minimierung von Fremdlicht-, Alterungs- und Temperaturdrifterscheinungen angewendet, um einen eingriffs- und wartungsfreien Dauerbetrieb zu gewährleisten. Die Geräte sind preiswert und erreichen hohe Messraten im zweistelligen Kilohertzbereich [4].

Genauigkeitstest

Für den Genauigkeitstest stand ein »Cromlaview«-Farbsensor vom Typ »CR200« mit integrierter Hochleistungs-Weißlicht-LED zur Verfügung. Zur Gewinnung der Farbmaßzahlen für den Genauigkeitstest wurde als Messobjekt eine weitverbreitete Testfarbtafel mit 24 Farbfeldern (Typ »ColorChecker«) gewählt. Als Messgeometrie kam die genormte »8/d-Anordnung« zur Anwendung, die mithilfe einer Ulbrichtkugel realisiert wurde. Hierbei wird die Probe unter einem Einfallswinkel von 8° beleuchtet. Die Reflexionsbewertung erfolgt dagegen diffus halbräumlich.

Von den 24 Farbfeldern der Testfarbtafel wurden zunächst mit einem Spektralphotometer die Reflexionsspektren im Bereich zwischen 380 und 780 nm mit einer Schrittweite von 0,32 nm aufgenommen. Aus den Reflexionsspektren wurden anschließend

3 Industrietaugliche Farbsensoren nach dem Dreibereichsverfahren



Farbmaßzahlen im »L*a*b*-Farbenraum« bei den Normlichtarten A und D65 sowie bei der Anwendung des Weißlicht-LED-Spektrums des Farbsensors berechnet. Anschließend wurden die 24 Farbfelder unter Verwendung desselben optischen Zubehörs und derselben Messgeometrie mit dem Farbsensor ausgemessen. Der Farbsensor wurde dazu lediglich auf einem »Spectralon«-Weißstandard abgeglichen.

Die Ergebnisse der Messungen zeigt **Bild 4** als Balkendiagramm. Dargestellt sind die Farbabweichungen je Farbfeld in ΔE bezogen auf die spektralphoto-

metrisch ermittelten Farbmaßzahlen bei Anwendung des Weißlicht-LED-Spektrums. Zu erkennen sind die großen Abweichungen bei den Lichtarten A und D65. Dagegen sind die Abweichungen des Farbsensors ohne Korrektur recht moderat. Der Mittelwert liegt bei $\Delta E=3,9$ und das Maximum bei $\Delta E=9,0$.

Wendet man auf die Messergebnisse ein einfaches lineares Korrekturverfahren entsprechend den Gleichungen (1) und (2) an [5], dann sinken die Abweichungen erheblich auf einen mittleren Wert von $\Delta E=1,07$ und einen maximalen Wert von $\Delta E=2,34$.

INFO: Farbsensoren

Farbsensoren werden häufig prozessnah in der Automation eingesetzt. Bei vielen Anwendungen werden allerdings keine sehr genauen Farbmaßzahlen benötigt. Typischerweise findet ein relativer Farbvergleich mit abgespeicherten Mustern statt. Beispiele für diese Anwendungsfelder sind:

- Beschichtungskontrolle (zum Beispiel Primer-Auftrag, Befettung),
- Farbcodeprüfung (Kfz-Sicherungen, Kappen von Blutprobenröhrchen),
- Farbsortierungen (Glasflaschenfarbe, farbige Kunststoffe),
- Anwesenheitskontrolle (Verschlussdeckel, O-Ring-Bestückung),
- Farb- und Druckmarkenerkennung (Druckmarken auf Offsetdruckbögen oder Farbmarken auf Kugellagerschalen),
- Lagekontrolle (Ober- und Unterseite von Folien oder einseitig beschichteten Dichtungen),

- Transmissionsmessungen (Filtergläser, Farbumschläge in Flüssigkeiten),
- Selbstleuchter (LED auf Farbe und Helligkeit testen).

Sind die farblichen Eigenschaften von Objekten dagegen von direktem Interesse, dann werden genaue Farbmaßzahlen in der Qualitätssicherung gefordert. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Farbe der Produkte ein Wiedererkennungsmerkmal darstellt. Bekannte Beispiele sind die Produktfarben von »Coca Cola«, »Milka« oder »Nivea«. Weiterhin werden im Automobilbereich – zum Beispiel bei der Lackierung von Fahrzeugkarosserieteilen – sehr hohe Qualitätsansprüche an die Genauigkeit der Farbmessung gestellt. Ähnliche Genauigkeitsforderungen bestehen in den Anwendungsbereichen Pulverbeschichtungen, farbige Eloxierungen sowie im Kunstdruck.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_{Ist} \\ Y_{Ist} \\ Z_{Ist} \end{pmatrix}$$

$$\underline{A} = \underline{XYZ}_{Soll} \cdot \underline{XYZ}_{Ist}^T \cdot \left(\underline{XYZ}_{Ist} \cdot \underline{XYZ}_{Ist}^T \right)^{-1}$$

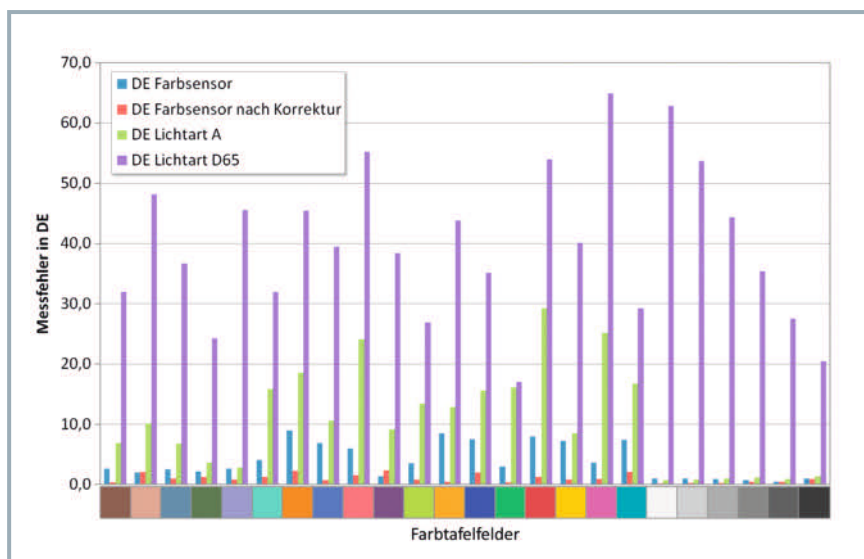
Fazit

Wenn man berücksichtigt, dass die Wahrnehmungsschwelle für Farbabweichungen bei einer durchschnittlichen normalsichtigen Person bei $\Delta E \approx 1$ liegt, dann ist eine akzeptable Messgenauigkeit des Farbsensors zu erkennen. Von einer uneingeschränkten Eignung als Farbmessgerät für anspruchsvolle Farbmessaufgaben kann aber sicher nicht gesprochen werden. Dennoch sind mit diesen Geräten – gerade unter den Einsatzbedingungen der industriellen Automatisierungstechnik –

viele Farbmessanwendungen zu günstigen Preisen lösbar. Problematisch bleibt allein die Abhängigkeit der ermittelten Farbmaßzahlen von der nicht genormten Weißlicht-LED. Eine Normung des Spektrums von Weißlicht-LEDs – und somit die Einführung einer neuen Lichtart – durch die internationale Beleuchtungskommission (CIE) wäre daher ein wünschenswerter Schritt.

LITERATUR

- 1 Wego, A., Geske, G., Ahrendt, V.: 'Farbsensor versus Spektralfotometer', messtec drives Automation, Ausgabe 7-8, 2011, S. 138-140
- 2 Richter, M.: 'Einführung in die Farbmatrik', Berlin, New York : de Gruyter, 1981
- 3 Wego, A., Geske, G.: 'Dem menschlichen Auge nahe', MSR Magazin, Ausgabe 11, 2010, S. 38-40
- 4 Wego, A., Geske, G.: 'Korrekte Erkennung von Farben und Oberflächen mit Farbsensoren', Photonik, Ausgabe 5, 2010, S. 38-42
- 5 Kempe, H., Kollhoff, D.: 'Verfahren zur farbmatischen Kalibrierung', Proceedings 1. Workshop Farb-bildverarbeitung, Hrsg. V. Rehrmann, Uni Koblenz, Tagungsband, 1995, S. 5-8



4 Messfehler des Farbsensors vor und nach der Korrektur sowie Farbabweichungen bei den Lichtarten A und D65

AUTOREN

ANSGAR WEGO ist Professor für Allgemeine Elektrotechnik an der Hochschule Wismar. GUNDOLF GESKE ist Leiter des Bereichs Farbsensorik und VOLKER AHRENDT ist Geschäftsführer bei Astech Angewandte Sensortechnik in Rostock.

■ www.laser-photonik.de

Diesen Artikel finden Sie online unter der Dokumentennummer **LP110122**

■ www.laser-photonics.eu

You can find this article online by entering the document number **eLP110122**