

# Perzeptiver Dreibereichsfarbsensor vs. Spektralfotometer

Auswahlkriterien für Messgeräte zur Farbmaßzahlerfassung in der Industrieautomation

Die Erfassung von Farbeigenschaften wird bei vielen industriellen Prozessen immer häufiger zu einer wichtigen Aufgabenstellung. Als Beispiele seien hier der Bereich der Qualitätssicherung von Produkten oder die Steuerung von Produktionsabläufen mittels Farbeigenschaften genannt. Zur Erfassung von Farbeigenschaften gibt es grundsätzlich zwei Geräteklassen. Spektralfotometer liefern bei geringer Messrate genaue Farbmaßzahlen und spektrale Informationen. Sie sind aber aufwendiger und teuer als die alternativen perzeptiven Farbsensoren, die sich durch eine hohe Messrate und ein sehr einfaches Prinzip auszeichnen. Welche Gerätekategorie für welche Anwendung geeignet ist, soll in diesem Beitrag geklärt werden.

Alle sichtbaren Objekte besitzen aufgrund ihrer spezifischen Reflexionseigenschaften eine für den Menschen definierte farbliche Erscheinung. Die farblichen Eigenschaften der Objekte sind auf der einen Seite von direktem Interesse, wenn es beispielsweise um die Qualität eines Produktes geht. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die spezielle Farbe des Produktes ein Wiedererkennungsmerkmal darstellt. Auf der anderen Seite werden farbliche Eigenschaften von Objekten zunehmend auch zur Steuerung von Prozessabläufen oder als Überwachungsmöglichkeit verwendet. Bei dieser Anwendungsgruppe ist das Interesse an der eigentlichen Objektfarbe eher indirekt. Beispiele sind die Farbmarkenerkennung, die Beschichtungsprüfung oder die Anwesenheitskontrolle. Auch bei der Analyse von Stoffen wird das Merkmal Farbe häufig als Identifikationsmerkmal herangezogen.

Zur Erfassung von farblichen Objekteigenschaften im industriellen Bereich stehen mit den Spektralfotometern und den perzeptiv (d.h. wahrnehmungsrichtig) arbeitenden Farbsensoren heute zwei Geräteklassen zur Verfügung, welche prinzipiell für die genannten Anwendungen geeignet sind, sich aber hinsichtlich Ihrer Leistungsmerkmale und der Preise deutlich voneinander unterscheiden. Da die Anforderungen an die Farberfassung, die sich aus der jeweiligen Applikation ergeben, nicht immer klar erkannt werden, fällt es Anwendern oftmals schwer, die richtige Entscheidung bei der Auswahl der Messeinrichtung zu treffen. Aus den folgenden exemplarischen Fragestellungen wird deutlich, wie viele Parameter die Auswahl beeinflussen.

- Ist eine kontinuierliche oder eine stichprobenartige Farberfassung notwendig?
- Soll die Farberfassung im Prozess (z. B. in einer Maschine) oder unter Laborbedingungen erfolgen? Wenn prozessnah, welche Anforderungen werden an den Schutzgrad und die Baugröße des Gerätes gestellt?
- Ist die Farbe des Objektes direkt oder nur als Hilfsgröße von Interesse?

- Welche Anforderungen werden an die Messgeschwindigkeit gestellt?
- Sind mehrere Messstellen zur Farberfassung vorzusehen?
- Stehen Referenzobjekte als Vergleichsbasis zur Verfügung?
- Werden Farbmaßzahlen zur Lösung der Applikation benötigt? Wenn ja, mit welcher absoluten Genauigkeit?
- Ist eine spektrale Information vom Messobjekt zur Lösung der Applikation erforderlich? Wenn ja, mit welcher spektralen Auflösung?
- Welches Budget steht zur Verfügung?

Schon mit der Beantwortung dieser Fragen ist eine Tendenz zur Wahl einer bestimmten Gerätekategorie möglich. Bei korrekter Analyse der Applikationsaufgabe und unter Beachtung der Randbedingungen für die Anschaffung eines Gerätes ist eine klare Entscheidungsfindung dann aber sicher gegeben.

**VERFAHREN DER FARBMESSUNG.** Die Grundlage aller genannten Anwendungen bildet die Erfassung der farblichen Eigenschaften. Bei dieser Aufgabe muss die Tatsache in Erinnerung gerufen werden, dass Farbe keine physikalische

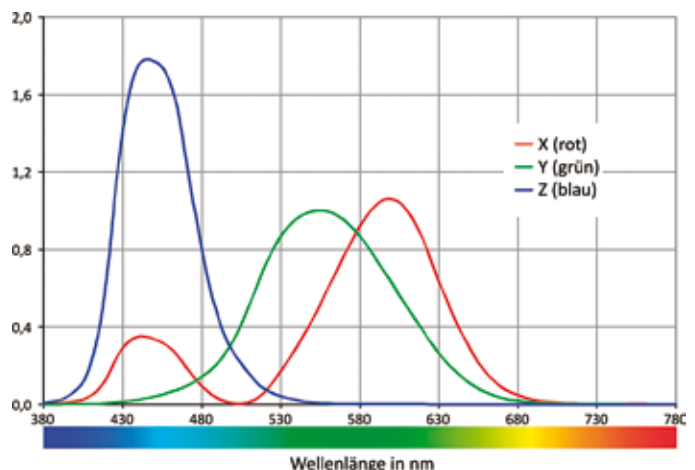


Bild 1: Normspektralwertfunktionen für 2° Gesichtsfeldgröße

Messgröße, sondern eine menschliche Sinnesempfindung ist [1]. Alle Aspekte, welche die Farbmessung betreffen, sind in der DIN 5033 geregelt. Hier werden auch die zwei technisch relevanten Farbmessverfahren – das Spektral- und das Dreibereichsverfahren – aufgezeigt.

Beim Spektralverfahren wird das vom Messobjekt ausgehende Licht im Gerät spektral zerlegt. Das Spektrum des Messobjektes ist charakteristisch und wird bei vielen Analyseverfahren zur direkten Identifikation herangezogen. Um aus dem Spektrum Farbmaßzahlen zu gewinnen, müssen die spektralen Anteile mit den Spektralwertfunktionen des menschlichen Auges bewertet werden. Für vergleichbare Farbmaßzahlen wurden hierfür in der DIN 5033 die so genannten Normspektralwertfunktionen festgelegt (Bild 1).

Durch die Bewertung des Spektrums mit den Normspektralwertfunktionen erhält man die Normfarbwerte für X (Rot), Y (Grün) und Z (Blau). Bei nicht selbst leuchtenden Objekten (Körperfarben) muss bei der Bewertung des Spektrums des Messobjektes auch die Strahlungsfunktion der Lichtquelle mit einbezogen werden. Dies erfolgt rechnerisch und ermöglicht daher beleuchtungsunabhängige Farbwerte. Die DIN 5033 legt für verschiedene Lichtarten normierte Strahlungsfunktionen fest (z. B. Lichtarten A oder D65).

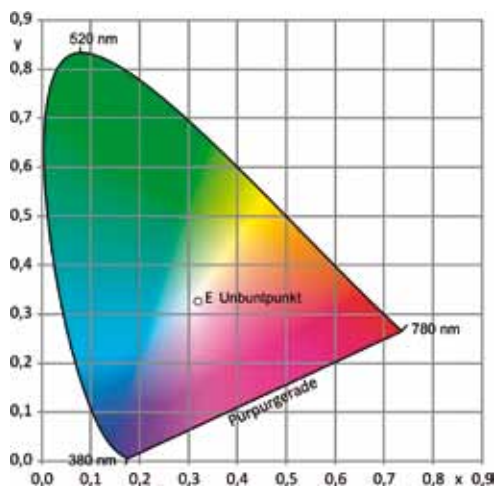


Bild 2: Normfarbtabelle

Beim Dreibereichsverfahren wird das empfangene Licht nicht spektral zerlegt, sondern direkt durch Filter geleitet, die in Ihrer spektralen Charakteristik den Normspektralwertfunktionen entsprechen. Auf diese Weise werden die drei Farbmaßzahlen X, Y und Z direkt erfasst. Da keine spektrale Information vorliegt, kann kein Rückschluss auf die spektralen Eigenschaften der Lichtquelle erfolgen. Die Farbwerte sind beim Dreibereichsverfahren daher untrennbar mit der verwendeten Beleuchtung verbunden.

Für die Vergleichbarkeit von Farbmaßzahlen ist bei der Vermessung eine definierte Messgeometrie einzuhalten. Die Messgeometrie beschreibt die Strahlführung zur Messobjektbeleuchtung und zum Empfang. Genormte Messgeometrien sind der DIN 5033 zu entnehmen.

**FARBENRÄUME.** Die Normfarbwerte X, Y, Z bilden die Basis für weitergehende Farbmaßsysteme. Als grundlegend gilt die Darstellung von Farbwerten in der so genannten Normfarbtabelle (Bild 2). Zu dieser Darstellung werden die Normfarbwertanteile  $x=X/(X+Y+Z)$  sowie  $y=Y/(X+Y+Z)$  verwendet.

Da Farbunterschiede in der Normfarbtabelle nicht perceptiv (d. h. nicht empfindungsgerecht) wiedergegeben werden, verwendet man insbesondere für die Angabe von Farbabständen so genannte gleichabständige Farbräume. Die Überführung erfolgt mit Hilfe von Koordinatentransformationen. In der DIN 6174 wurden für diese Zwecke die Transformationen in die Farbräume mit den Koordinaten  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  sowie  $L^*$ ,  $u^*$  und  $v^*$  genormt (Bild 3).

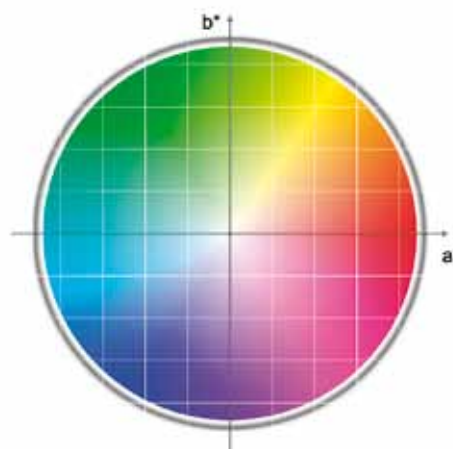


Bild 3: Gleichabständiger Farbraum mit  $L^*a^*b^*$ -Koordinaten

**GERÄTETECHNIK.** Farbmessgeräte, die auf Basis des Spektralverfahrens arbeiten, werden Spektralfotometer genannt. Zur spektralen Zerlegung des Lichtes werden heute meist Beugungsgitter verwendet. Als Empfänger dienen entweder CCD- oder Fotodiodenzeilen. Bild 4 zeigt symbolisch den Strahlengang eines Spektralfotometers.

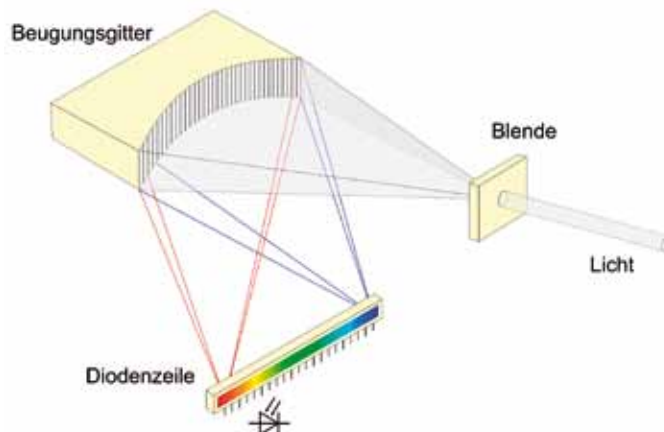


Bild 4: Strahlengang beim Spektralfotometer

Spektrale Auflösungen unter 1 nm sind möglich. Die zur Berechnung der Farbwerte notwendigen Normspektralwertfunktionen und Lichtartenfunktionen sind in den Geräten gespeichert. Moderne Spektralfotometer bieten die Ausgabe von Farbmaßzahlen in allen gebräuchlichen Farbenräumen an. Spektralfotometer erreichen prinzipbedingt nur geringe Messraten, die zudem von der spektralen Auflösung abhängen. Typisch sind Messraten im Sekundenbereich. Der große Vorteil der Geräte liegt in der vom Messobjekt gewonnenen spektralen Information. Spektralfotometer sind damit unabhängig von der eigentlich verwendeten Beleuchtungsquelle. Die ermittelten Farbmaßzahlen besitzen somit «absoluten» Charakter. Es können Farbmaßzahlen unter verschiedenen normierten Lichtarten ausgegeben werden, die einen Vergleich mit anderen Geräten ermöglichen. Da das Spektralverfahren einen präzisen optischen Aufbau und hochwertige Bauteile erfordert, sind Geräte dieser Klasse vergleichsweise teuer (mehrere tausend Euro). Ihr Einsatzort ist aufgrund der Empfindlichkeit der Bauteile oftmals auf das Labor beschränkt.



Bild 5: Beispiel für perzeptiven Farbsensor (Quelle: ASTECH GmbH)

Die als perzeptiven Farbsensoren (Bild 5) bezeichneten Geräte basieren überwiegend auf dem Dreibereichsverfahren. Ein typischer Farbsensor besteht nur aus wenigen Komponenten. Das empfangene Licht wird über drei Filter geführt und auf Fotodioden geleitet. Bei Einhaltung der Normspektralwertfunktionen als Filterkurven sind die Fotoströme direkt proportional zu den Normfarbwerten. Bei den perzeptiv arbeitenden Farbsensoren erfolgt eine anschließende Transformation in gleichabständige Farbenräume. Bei modernen Farbsensoren bilden Farbfilter und Fotodioden eine Einheit. Die Messraten liegen im oberen Kilohertzbereich. Als Lichtquelle finden fast ausschließlich Weißlicht-LEDs Verwendung [2]. Der entscheidende Vorteil der Farbsensoren liegt in der hohen Messgeschwindigkeit. Dazu kommt der kompakte und robuste Aufbau der Geräte, wodurch kaum Einschränkungen hinsichtlich des Einsatzortes zu erwarten sind. Ein niedriger Preis macht sie zu häufig eingesetzten Geräten in der industriellen Sensorik. Die spektrale Charakteristik der verwendeten Weißlicht-LEDs ist nicht genormt. Die Farbwerte von Farbmaßzahlen haben daher keinen absoluten Charakter und sind nicht mit den Farbmaßzahlen von Spektralfotometern vergleichbar. Hier liegt ein Nachteil der Geräte. Dazu kommt, dass die spektralen Eigenschaften der Weißlicht-LEDs

stark streuen und daher nur die Anwendung von Korrekturfverfahren zu vergleichbaren Farbwerten führt [3].

**SCHRITTE ZUR GERÄTEWAHL.** Anhand der zu Beginn aufgeführten Fragestellungen zur Applikationsanalyse ist eine Auswahl des richtigen Gerätes zur Lösung einer Farbanwendung möglich. Die Fragen werden nun im Einzelnen erläutert. Dabei ist klar, dass die Fragen oft nicht unabhängig voneinander beantwortet werden können. Vielmehr ist in der Beantwortung einer Frage oft auch schon die Antwort einer anderen Frage enthalten. Dennoch sind die Fragen sinnvoll, da sie eine unterschiedliche Herangehensweise an die Anwendung aufzeigen. Selbstverständlich sind aber auch eine andere Reihenfolge oder Gewichtung der Fragen und somit auch andere Schlussfolgerungen möglich.

**PROZESS ODER LABORBEDINGUNGEN.** Der Einbau in einer Maschine setzt die Eignung des konstruktiven Aufbaus des Gerätes hierfür voraus. So ist zu klären welchen Schutzgrad (Feuchtigkeit, Staub) das Gerät besitzen muss. Auch die Platzverhältnisse am Einbauort begrenzen oftmals die Auswahlmöglichkeiten. Wenn wenig Platz vorhanden ist, hilft oft eine Lichtleiterkopplung zwischen Messstelle und Gerät. Tendenziell sind Farbsensoren für einen prozessnahen Einbau eher geeignet.

### KONTINUIERLICH ODER STICHPROBENARTIG?

Eine kontinuierliche Farberfassung setzt die Tauglichkeit für den Dauerbetrieb voraus. Die Geräte müssen über Schutz- und Kompensationsmechanismen gegen Fremdlicht, Alterung und Drift verfügen. Spektralfotometer müssen meist zyklisch kalibriert werden. Hierfür sind Wartungsintervalle einzuplanen. Die Lebensdauer von Temperaturstrahlern (Glühlampen), die oft von Spektralfotometern zur Objektbeleuchtung verwendet werden, ist deutlich geringer als von Weißlicht-LEDs bei Farbsensoren.

### FARBE DIREKT ODER ALS HILFSGRÖSSE?

Ist die Farbe des Objektes von direktem Interesse (z. B. bei Autolacken), dann bietet der Einsatz von Spektralfotometern Vorteile. Farbmaßzahlen können damit geräteunabhängig ermittelt und zu Vergleichszwecken verwendet werden. Aufgrund der hohen absoluten Genauigkeit der Spektralfotometer, werden diese den Qualitätsansprüchen bei der Farbmessung eher gerecht. Farbsensoren bieten dagegen bei Anwendungen Vorteile, bei denen die Objektfarbe nur als Hilfsgröße (z. B. bei Farbmarken oder der Anwesenheitsprüfung) verwendet wird, da hier nur vergleichende Farbmessungen durchgeführt werden.

### MESSGESCHWINDIGKEIT?

Die Frage nach der Messgeschwindigkeit führt zu einer eindeutigen Gerätewahl. Nur Farbsensoren ermöglichen eine Farberfassung im oberen Kilohertzbereich.

### MEHRERE MESSSTELLEN?

Werden zur Kopplung zwischen Messobjekt und Gerät Lichtleiter verwendet, so kann durch eine Aufspaltung des Lichtleiters das Licht von mehreren Messstellen gleichzeitig erfasst und zur Mittelwertbildung verwendet werden. Eine Lichtleiterkopplung ist häufiger bei Farbsensoren anzutreffen.

**REFERENZOBJEKTE VORHANDEN?** Referenzobjekte sind für die Bewertung eines Farbunterschiedes elementar. Der direkte Vergleich mit einer Farbreferenz ist sicherer, als nur eine Angabe von absoluten Farbmaßzahlen. Stehen Referenzfarbobjekte zur Verfügung, dann ist der Einsatz von Farbsensoren auch bei der direkten Farbqualitätsprüfung gut möglich, da Farbabweichungen von perzeptiv arbeitenden Farbsensoren korrekt detektiert werden.

**FARBMASSZAHLEN ERFORDERLICH?** Farbmaßzahlen sind beispielsweise bei der Qualitätsprüfung von lackierten Autoteilen sinnvoll, wenn die Produktion der Teile in verschiedenen Werken und an verschiedenen Standorten erfolgt. Hier sind Spektralfotometer mit hoher absoluter Genauigkeit erforderlich, um die hohen Qualitätsansprüche zu erfüllen.


**Spektrale Information erforderlich?** Die spektrale Information stellt eine Art Fingerabdruck der Reflexionseigenschaften eines Objektes dar, und kann zur Identifikation herangezogen werden. Anwendungen, die spektrale Informationen erfordern können demnach nur mit Spektralfotometern gelöst werden. Aber auch die Beurteilung der Farberscheinung unter verschiedenen Lichtarten (Metamerie-Index) kann nur mit spektraler Information erfolgen.

**Budget?** Auch wenn nach Auswertung aller Fragen eine Tendenz in Richtung Spektralfotometer zu erkennen ist, kann die Frage nach den Anschaffungskosten zu einer Umorientierung führen. Dies ist immer dann der Fall, wenn die geplante Anwendung beispielsweise nicht zwingend spektrale Information vom Messobjekt verlangt. Da der preisliche Abstand zwischen Farbsensoren auf der einen und Spektralfotometern auf der anderen Seite nach wie vor deutlich ist, überdeckt die Frage nach den Kosten leider oft die technischen Aspekte.

Die folgende Tabelle stellt die beiden Geräteklassen hinsichtlich Ihrer Eignung bei den erläuterten Anwendungsfragen gegenüber. Die Bewertung erfolgt dabei auf einer Punkteskala von 0 (ungeeignet) bis 4 (sehr gut geeignet).

APPLIKATION	SPEKTRAL-FOTOMETER	FARB-SENSOR
Prozessnah	1	4
Kontinuierlicher Betrieb	1	4
Farbe von direktem Interesse	4	2
Hohe Messrate	1	4
Mehrere Messstellen	1	3
Referenzobjekt vorhanden	4	3
Absolute Farbmaßzahlen	4	1
Spektrale Information erforderlich	4	0
Kosten	1	4

**FAZIT.** Durch eine gezielte Analyse der geplanten Farbmessanwendung ist eine Entscheidungsfindung zur Auswahl des

passenden Gerätes möglich. Eine Hilfestellung leisten hierzu die passenden Fragen zur Applikation. Bei genauer Betrachtung der Anforderungen an ein Gerät zur Farberfassung sind bei entsprechender Herangehensweise oftmals Kosteneinsparungen möglich, wenn beispielsweise nicht zwingend spektrale Informationen benötigt werden. In diesem Fall reicht oftmals die Anschaffung eines perzeptiv arbeitenden Farbsensors. Bei allen Anwendungen dagegen, die absolute Farbmesswerte oder spektrale Informationen erfordern, müssen die Kosten für Spektralfotometer eingeplant werden.  #L116108

**LITERATUR.**

- [1]. Richter, Manfred. Einführung in die Farbmeterik. Berlin, New York: de Gruyter, 1981. S. 172–189. ISBN 3-11-008209-08.
- [2]. Wego, Ansgar und Geske, Gundolf. Korrekte Erkennung von Farben und Oberflächen mit Farbsensoren. Photonik. 2010, 5, S. 38–42.
- [3]. Wego, Ansgar und Geske, Gundolf. Dem menschlichen Auge nahe. MSR Magazin. 2010, 11, S. 38–40.

**AUTOREN.** Ansgar Wego, Professor an der Hochschule Wismar, Fakultät für Ingenieurwissenschaften ([www.et.hs-wismar.de](http://www.et.hs-wismar.de))  
 Gundolf Geske, Bereichsleiter Farbsensorik bei der Astech Angewandte Sensortechnik GmbH  
 Volker Ahrendt, Geschäftsführer bei der Astech Angewandte Sensortechnik GmbH ([www.astech.de](http://www.astech.de))