

# Elektronik

FACHZEITSCHRIFT FÜR INDUSTRIELLE ANWENDER UND ENTWICKLER

Beitrag aus Elektronik 13/2005

Über kein anderes Sinnesorgan nimmt der Mensch so viele Informationen auf, wie über das Auge. Entsprechend hoch ist der Anteil der visuellen Eindrücke bei der Beurteilung von Produkteigenschaften. Hierbei ist die Farbinformation oft ein wichtiges Qualitätsmerkmal. Die zuverlässige Kontrolle und Steuerung des Produktmerkmals „Farbe“ ist aus diesem Grund eine Aufgabe, die in vielen Branchen – meist in der Produktion/Fertigung – gelöst werden muss. Hierzu zählen:

- Lackierung von Karosserie-Teilen,
- LED-Produktion und Assemblierung (z.B. zu 7-Segment-Anzeigen),
- industrielle Druckprozesse,
- Kalibrierung von Bildschirmfarben und Druckfarben,
- Herstellung von Textilien,
- Fügung von Kunststoff-Teilen.

Hierbei ist das menschliche Farbempfinden oft das entscheidende Kriterium zur Beurteilung, ob eine Farbe „korrekt“ ist. Der Anwender oder Verbraucher urteilt über die Farbqualität. Dies geschieht in der überwiegenden Zahl der Fälle ohne jedes technische Hilfsmittel, allein auf Basis des visuellen Eindrucks. Für den Hersteller eines Produktes ist es daher wichtig, diesen „visuellen Eindruck“ des Menschen zuverlässig nachbilden zu können. In der Vergangenheit geschah dies nicht selten durch eine Sichtprüfung, wurde also durch einen Menschen vorgenommen, da sich die Farbprüfung nur mit ungenügender Zuverlässigkeit automatisieren ließ. Das Klassifikationsergebnis „Gut/Schlecht“ fällt in einer signifikanten Zahl von Prüfereignissen anders aus, als der Mensch dies beurteilen würde.

## Farben sehen wie der Mensch

Ein perzeptives Farbsensor-System für den industriellen Einsatz

**Das menschliche Farbempfinden ist oft das entscheidende Kriterium für die Beurteilung, ob eine Farbe „korrekt“ ist. Herkömmliche Farbsensoren „sehen“ Farbe jedoch anders als der Mensch. Ein neues Farbsensor-System, das in seiner Farbwahrnehmung dem menschlichen Farbempfinden entspricht, ermöglicht eine empfindungsgemäße Farbklassifikation durch einfache Berechnung der euklidischen Distanz im Farbraum.**

Von Dr. Frank Stüpmann, Dr. Fred Grunert und Dr. Ansgar Wego

### Verfahren zur Farbmessung und -prüfung

Das oben angesprochene Verfahren der visuellen Farbprüfung wird unter dem Begriff Gleichheitsverfahren in der DIN 5033 Teil 5 [1] erläutert. Es beruht auf Sichtprüfung – ggf. unterstützt durch technische Hilfsmittel – und steht daher einer Automatisierung entgegen. Es ist für den Hersteller von Produkten bedeutsam, da jeder Anwender oder Verbraucher des Produktes dieses Verfah-

ren – unbewusst und nicht unter Normbedingungen – zur Beurteilung der Farbqualität einsetzt. Zur Automatisierung der Farbprüfung bieten sich folgende Verfahren an: spektroskopische Verfahren und das Dreibereichs- bzw. RGB-Verfahren (siehe *Tabelle 1*).

Spektroskopische Verfahren werten jeweils die gesamte vom Messgerät erfasste spektrale Verteilung des vom Messobjekt (passiv) zurückgestreuten oder (aktiv) emittierten Lichtes aus. Sie werden in der DIN 5033 Teil 4 erläu-

	Spektroskopische Verfahren	Dreibereichs-(RGB)-Verfahren
Vorteile:	hohe Genauigkeit, für Absolutwertmessungen geeignet	preiswert, klein, schnell
Nachteile:	aufwendig/voluminös, langsam, teuer	eingeschränkte Genauigkeit, ohne Kalibrierung nur Relativmessungen möglich

Tabelle 1. Vergleich der spektroskopischen Verfahren mit Dreibereichs-(RGB)-Verfahren

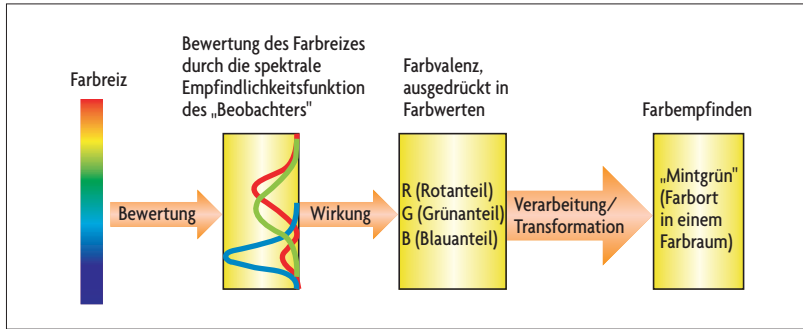


Bild 1. Die drei Stufen der „Farbstehung“.

tert. Auf diese Verfahren wird aufgrund der genannten Eigenschaften in diesem Beitrag nicht näher eingegangen.

Das Dreibereichsverfahren ist in der DIN 5033 Teil 6 erläutert, es entspricht der Farbsignalverarbeitung des Menschen. Hierbei wird die Tatsache ausgenutzt, dass sich mit drei unabhängigen Farbkomponenten grundsätzlich jede für das menschliche Auge sichtbare Farbe darstellen lässt. Denn auch das Auge besitzt lediglich spektrale Empfindlichkeitsverteilungen mit Empfindlichkeitsmaxima in den Bereichen Rot (R), Grün (G) und Blau (B) (Bild 1).

**(Norm-)Spektralwertfunktion und Farbraum**

Grundlage des RGB-Verfahrens ist ein „Beobachter“ (Auge, Sensor), der in drei verschiedenen, voneinander unabhängigen Wellenlängenbereichen (Rot, Grün und Blau) des sichtbaren Spektrums empfindlich ist. So entsteht ein dreikomponentiges Signal (RGB), das ausgewertet und mit dem die Farbinformation dargestellt werden kann (Bild 2). Die drei voneinander unabhängigen spektralen Empfindlichkeitsverteilungen werden als Spektralwertfunktion bezeichnet. Die Empfindlichkeitsverteilung des „Beobachters menschliches Auge“ für die Komponenten R, G und B erzeugt also für eine bestimmte Farbe die Werte  $r_i$ ,  $g_i$  und  $b_i$ . Es ist nach-

vollziehbar, dass die (andere) Empfindlichkeitsverteilung des „Beobachters halbleiterbasierter RGB-Sensor“ nicht zwangsläufig die gleichen Farbwerte erzeugt. Die Konsequenzen daraus werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

Um die Aussagen beider „Beobachter“ vergleichen zu können, ist es notwendig, die Spektralwertfunktionen zu normieren. Die CIE (Commission Internationale de l’Eclairage) hat solche Normspektralwertfunktionen durch Mittelwertbildung aus einer ausrei-

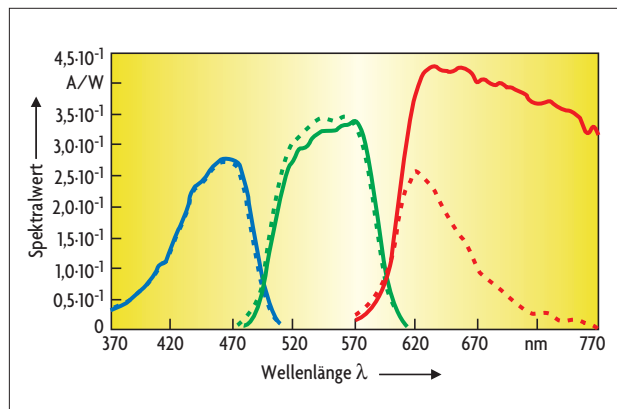


Bild 2. Die Spektralwertfunktion aus den drei unabhängigen Empfindlichkeitsverteilungen für einen Sensor (durchgezogene Linie) und für das menschliche Auge (punktierte Linie).

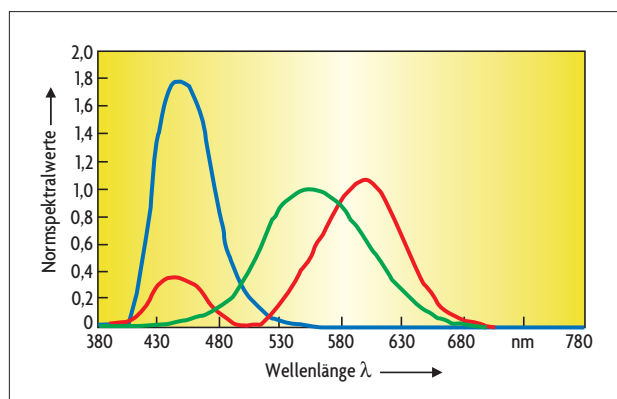


Bild 3. Normspektralwertfunktion für einen 2°-Normalbeobachter.

chenden Anzahl von individuellen Spektralwertfunktionen farbnormsichtiger Beobachter ermittelt und in den Standards CIE1931 und CIE1964 festgelegt (Bild 3). Die Normfarbwerte werden mit X, Y und Z bezeichnet, um sie von nicht-normierten RGB-Werten zu unterscheiden.

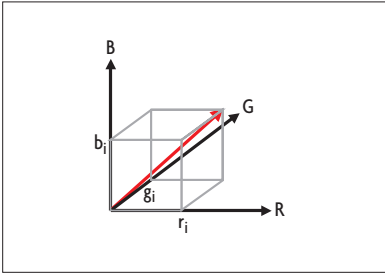
**Farbräume**

Die drei Farbkomponenten R, G und B spannen einen dreidimensionalen Vektorraum auf: den Farbraum. Das Wertetripel  $r_i$ ,  $g_i$ ,  $b_i$  bestimmt den Farbort. Die Werte für R, G und B lassen sich dann als Komponenten eines Vektors interpretieren, die dessen Lage im Vektorraum eindeutig bestimmen (Bild 4). Eine Farbe lässt sich dann durch die Angabe der unabhängigen Koeffizienten  $r_i$ ,  $g_i$  und  $b_i$  beschreiben. Die Dimensionen R, G und B werden als Primärvalenzen bezeichnet. Folgende drei Aussagen sind dabei gleichbedeutend:

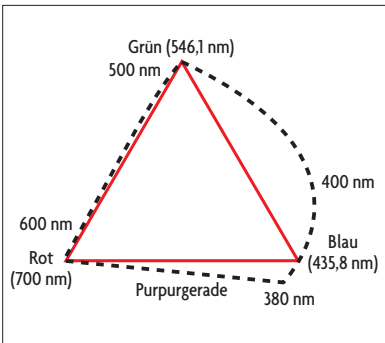
- Die Empfindlichkeitsverteilung der Dimensionen R, G und B bestimmt die Gestalt des entstehenden Farbraumes und damit, wie eine Farbe interpretiert wird.
- Die Art und Weise, wie die Koordinaten des Farbraumes definiert werden, hat entscheidenden Einfluss darauf, wie eine Farbe interpretiert wird.
- Die Wahl der Primärvalenzen bestimmt, welche Farbe durch die drei Werte  $r_i$ ,  $g_i$  und  $b_i$  repräsentiert wird.

Eine grundlegende Forderung an die Wahl der Koordinaten ist die lineare Unabhängigkeit, d.h., keine der Grundfarben darf sich durch Mischung der anderen erzeugen lassen. Um darüber hinaus systemunabhängig eine objektive Aussage über eine Farbe treffen zu können, muss der Farbraum unabhängig von den verwendeten Geräten sein (Geräteunabhängigkeit) und alle Farben enthalten (Vollständigkeit).

Eine abgeschlossene Menge von Farben wird



**Bild 4. Farbraum aus den Komponenten R (rot), G (grün) und B (blau).**



**Bild 5. Dreiecks-Koordinat mit dem Körper aller existierenden Farben.**

auch als Farbkörper bezeichnet. Zeichnet man die Menge aller existierenden Farben in ein Dreiecks-Koordinat ein, das durch die Primärvalenzen mit den angegebenen Wellenlängen aufgespannt wird, erhält man eine Fläche, die größer ist als das von den Primärvalenzen gebildete Dreieck (Bild 5). In den zusätzlichen Bereichen sind die Farben enthalten, die nur mit negativen Farbanteilen darstellbar sind. Um den Körper aller realen Farben im positiven Koordinatenbereich darstellen zu können, wurden so genannte „virtuelle Primärvalenzen“ mit den Bezeichnungen X, Y und Z eingeführt. Dadurch können alle realen Farben dargestellt werden, ohne negative Vorzeichen benutzen zu müssen. Das so entstehende transformierte Dreiecks-Koordinat umschließt die Fläche mit dem Spektralfarbenzug vollständig. Die Umrechnung der RGB-Werte in die XYZ-Werte erfolgt durch eine lineare Koordinatentransformation, z.B. mit folgenden Koeffizienten:

$$\begin{aligned} X &= + 2,365 R - 0,515 G + 0,005 B \\ Y &= - 0,897 R + 1,426 G - 0,014 B \\ Z &= - 0,468 R + 0,089 G + 1,009 B \end{aligned}$$

Hierbei sind X virtuelles Rot, Y virtuelles Grün, Z virtuelles Blau.

### Der CIE-XYZ-Farbraum

Erfolgt die Berechnung der Werte X, Y und Z nach dem Standard CIE1931, ergeben sich die Normspektralwerte der jeweiligen Farbe. Diese normierten virtuellen Primärvalenzen X, Y und Z sind die Dimensionen des von der CIE standardisierten und in der Norm DIN 5033 verankerten Farbraumes CIE-XYZ. Dieser Farbraum erfüllt die Forderung nach Vollständigkeit, d.h., er erfasst alle realen Farben. Er bildet die Grundlage für alle weiteren Überlegungen.

### CIE-xyY-Farbraum

Zur vereinfachten, zweidimensionalen Darstellung von Farbkörpern wird der CIE-XYZ-Farbraum durch eine lineare Transformation in den CIE-xyY-Farbraum überführt und zwar nach den folgenden Formeln:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad (1)$$

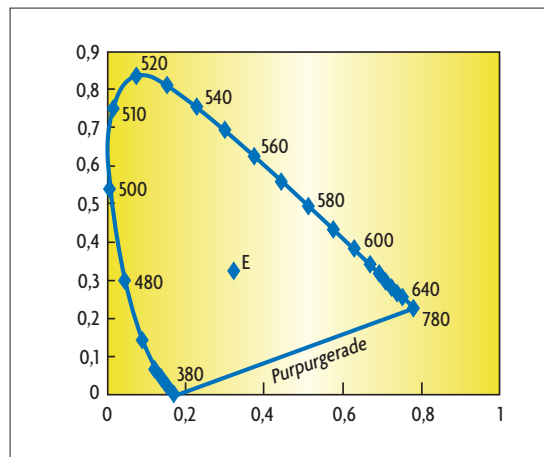
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (2)$$

$$Y=Y \quad (3)$$

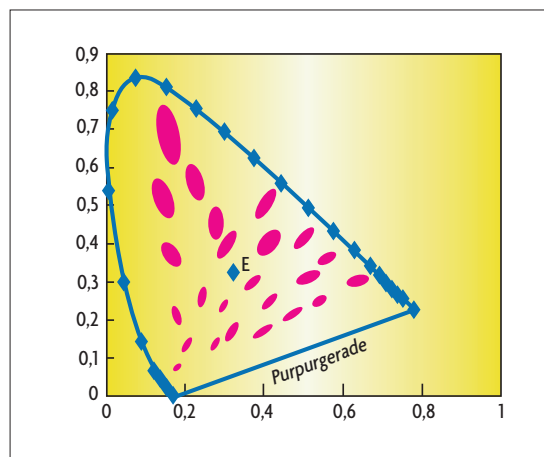
Hierbei sind x Rotanteil, y Grünanteil, Y Hellbezugswert.

Dieser Farbraum ist die Grundlage der bekannten CIE-Normfarbtafeln. Er entsteht durch einen zweidimensionalen Schnitt durch den CIE-xyY-Farbraum bei konstantem Hellbezugswert Y. Ein Beispiel ist in Bild 6 dargestellt. Die gebogene äußere Linie – der so genannte Spektralfarbenzug – stellt die Wellenlänge dar. Die gerade Linie, die die Enden des Spektralfarbenzuges verbindet, stellt die Mischungen aus Rot

und Blau dar, sie wird als Purpurgerade bezeichnet. Die so genannte Mittelpunktwalenz hat die Koordinaten  $x = 0,333$  und  $y = 0,333$ . Auf jeder Verbindung zwischen Spektralfarbenzug und Mittelpunktwalenz ändert sich die Farbe nicht und die Sättigung nimmt von innen nach außen zu. Die Spektralfarben sind die Farben mit dem höchsten Sättigungsgrad, die in den einzelnen Farbtönen erzeugt werden können. Diese liegen am Rand der Normfarbtafel.



**Bild 6. CIE-Normfarbtafel bei konstantem Hellbezugswert. Die dritte, hier nicht dargestellte Dimension ist das Y des CIE-xyY-Farbraumes.**



**Bild 7. Die MacAdam-Ellipsen im CIE-xyY-Farbraum zeigen, welche Farben visuell den gleichen Abstand zu der im Farbraum festgelegten Ausgangsfarbe haben.**

### MacAdam-Ellipsen

Der CIE-xyY-Farbraum hat einen weiteren Nachteil für die automatisierte Farberkennung: Zwei Farbpaaere mit dem gleichen geometrischen Farbstand erscheinen dem menschlichen Betrachter oft als unterschiedlich verschieden. Wird eine beliebige Farbe im Farbraum ausgewählt



**Bild 8. Der „MTCSi TrueColor“-Sensor mit Normspektralwertfunktion.**

(Bild: MAZeT GmbH)

und dann eingezeichnet, welche Farben visuell den gleichen Abstand zu dieser Ausgangsfarbe haben, dann ergibt sich nicht – wie es wünschenswert wäre – ein Kreis um die ursprüngliche Farbe, sondern eine Ellipse. Die nach ihrem Entdecker MacAdam-Ellipsen genannten Flächen sind unterschiedlich groß und verschieden orientiert (Bild 7). Eine dem menschlichen Empfinden entsprechende automatisierte Farbklassifikation in diesem Farbraum erfordert daher die Berechnung verhältnismäßig komplexer Klassengrenzen.

**CIE-L\*a\*b\*- und CIE-L\*u\*v’-Farbräume**

Es ist daher notwendig, einen Farbraum zu entwickeln, in dem gleiche geometrische Abstände gleichen empfindungsgemäßen Farbabständen entsprechen. Dies wird erreicht durch eine Verzerrung des CIE-xyY-Farbraumes. Um empfindungsgemäße Farbabstände zu erhalten, muss dies für selbstleuchtende Objekte (Lichtfarben) und nicht-selbstleuchtende Objekte (Körperfarben) auf unterschiedliche Weise erfolgen.

Die so definierten Farbräume CIE-L\*a\*b\* für nicht-selbstleuchtende Ob-

jekte und CIE-L\*u\*v’ für selbstleuchtende Objekte werden durch die in den folgenden Formeln beschriebenen erforderlichen Raumtransformationen erzeugt. Für CIE-L\*a\*b\* gilt:

$$L^* = 116 \cdot f\left(\frac{Y}{Y_R}\right) - 16 \tag{4}$$

$$a^* = 500 \cdot \left[ f\left(\frac{X}{X_R}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_R}\right) \right] \tag{5}$$

$$b^* = 200 \cdot \left[ f\left(\frac{Y}{Y_R}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_R}\right) \right] \tag{6}$$

$$f\left(\frac{X}{X_R}\right) = \begin{cases} \sqrt[3]{\frac{X}{X_R}} & \text{wenn } \frac{X}{X_R} > \left(\frac{24}{116}\right)^3 \\ \frac{29}{108} - \frac{16}{116} + \frac{X}{X_R} \left(\frac{108}{29}\right)^3 & \text{sonst} \end{cases} \tag{7}$$

bzw.

$$f\left(\frac{X}{X_R}\right) = \begin{cases} \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{X}{X_R}\right) + \frac{16}{116} & \text{wenn } \frac{X}{X_R} \leq \left(\frac{24}{116}\right)^3 \\ \sqrt[3]{\frac{X}{X_R}} & \text{sonst} \end{cases} \tag{8}$$

$Y/Y_R$  und  $Z/Z_R$  sind entsprechend zu berechnen.  $X_R$ ,  $Y_R$  und  $Z_R$  sind die Farbwerte des Referenzweiß.

Für CIE-L\*u\*v’ gilt:

$$L^* = 116 \cdot f\left(\frac{Y}{Y_R}\right) - 16 \text{ mit } Y_R = 100 \tag{9}$$

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \tag{10}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \tag{11}$$

Diese Transformationen wandeln die unterschiedlich großen MacAdam-Ellipsoide in annähernd gleich große Kugeln um. Dadurch entsprechen die geometrischen Abstände in etwa den empfindungsgemäßen Abständen. Dann kann mit Hilfe einer einfachen euklidischen Abstandsformel angegeben werden, wie verschieden

zwei Farben für das menschliche Auge sind:

$$\Delta E_{L^*a^*b^*} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \tag{12}$$

Die Unterschiedlichkeit von Farben kann dann auf einfache Weise klassifiziert werden (Tabelle 2).

Der CIE-L\*a\*b\* Farbraum ist weiterhin akzeptiert als geräteunabhängiger Farbraum. Das beabsichtigte Ziel, einen der menschlichen Wahrnehmung angepassten, visuell gleichabständigen Farbraum zu schaffen, wird damit nur eingeschränkt erreicht [2]. Um diese Unzulänglichkeiten zu kompensieren, gibt es zwei Möglichkeiten. Eine besteht darin, die zur Klassenbildung eingesetzte Formel für die Abstandsberechnung zu modifizieren. Dies wurde schrittweise getan, über die CMC- und die CIE94- bis hin zur komplexen CIEDE2000-Formel. Die Klassengrenzen einer Farbklassifikation müssen sich aber bei einem Sensor-System auf einfache Weise bilden lassen, daher ist dieser Weg nicht praxisgerecht.

**DIN-99-Farbraum**

Bei der anderen Möglichkeit wird der zugrundeliegende Farbraum durch eine Transformation besser an das menschliche Farbempfinden angepasst. Dies führte zur Entwicklung des verbesserten DIN-99-Farbraumes, der in der Norm DIN 6176 verankert ist. Dieser Farbraum wird aus dem CIE-L\*a\*b\*-Farbraum durch folgende Transformation erzeugt:

$$L_{99} = 105,51 \cdot \ln(1 + 0,0158 \cdot L^*) \tag{13}$$

$$e = a^* \cdot \cos 16^\circ + b^* \cdot \sin 16^\circ \tag{14}$$

$$f = 0,7(b^* \cdot \cos 16^\circ - a^* \cdot \sin 16^\circ) \tag{15}$$

$$g = 0,045 \cdot \sqrt{e^2 + f^2} \tag{16}$$

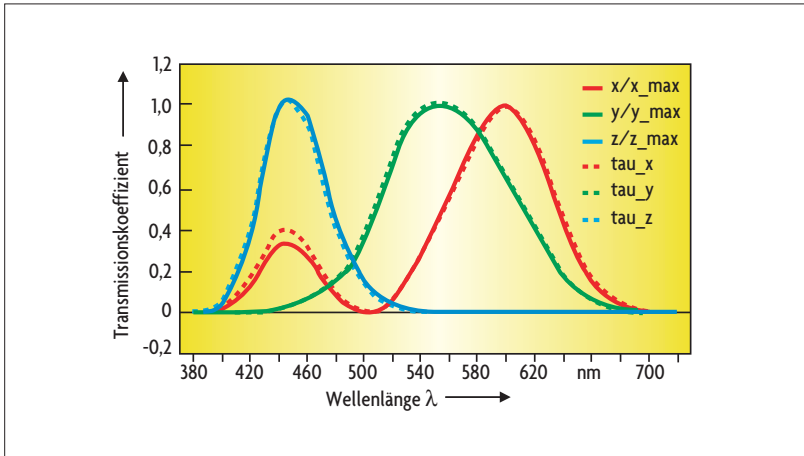
$$k = \frac{\ln(1 + g)}{g} \tag{17}$$

$$a_{99} = k \cdot e \tag{18}$$

$$b_{99} = k \cdot f \tag{19}$$

$\Delta E_{lab}$ zwischen 0 und 1	nicht sichtbare Abweichung
$\Delta E_{lab}$ zwischen 1 und 2	sehr geringe, in der Regel nur von einem geschulten Auge erkennbare Abweichung
$\Delta E_{lab}$ zwischen 2 und 3,5	mittlere Abweichung, auch von einem ungeschulten Auge erkennbar
$\Delta E_{lab}$ zwischen 3,5 und 5	deutliche Abweichung
$\Delta E_{lab}$ über 5	starke Abweichung

**Tabelle 2. Klassifizierung der Unterschiedlichkeit der Farben nach dem euklidischen Abstand im CIE-L\*a\*b\*-Farbraum**



**Bild 9. Transmissionsfunktion der Interferenzfilter des „MTCSi TrueColor“-Sensors.**

Durch diese Transformation wird die visuelle Gleichabständigkeit perfektioniert, so dass die visuelle Verschiedenheit zweier Farben mit großer Genauigkeit wieder durch den euklidischen Abstand der Farborte beschrieben werden kann. Dies unterstützt die außerordentlich einfache Anwendung im industriellen Einsatz und damit die Akzeptanz eines auf diesen mathematischen Grundlagen aufgebauten Sensor-Systems.

► **Farberkennung und Farbmessung**

Ausgehend von den zuvor entwickelten Begriffen des Farbraumes, des Farb-

ortes und des Abstandes zweier Farben lassen sich nun verschiedene Fälle der Farberkennung und Farbmessung unterscheiden. Dabei geht es darum, Klassengrenzen möglichst einfach empfindungsgemäß für die Klassifikation einstellen zu können. Dies geschieht nach den oben beschriebenen Transformationen einfach durch die Angabe des euklidischen Abstands  $\Delta E$ .

**Farbsortierung (Farbklassifikation)**

Bei der Farbsortierung wird der aktuelle Farbmesswert mit abgespeicherten Farbmustern verglichen und dem am besten passenden Farbmuster zugeordnet. Dabei erfolgt immer eine Zuordnung unabhängig von der Ähnlichkeit

der Farben. Anwendung findet dieses Verfahren bei schnellen Sortiervorgängen von farbigen Objekten.

**Farbprüfung (Farberkennung)**

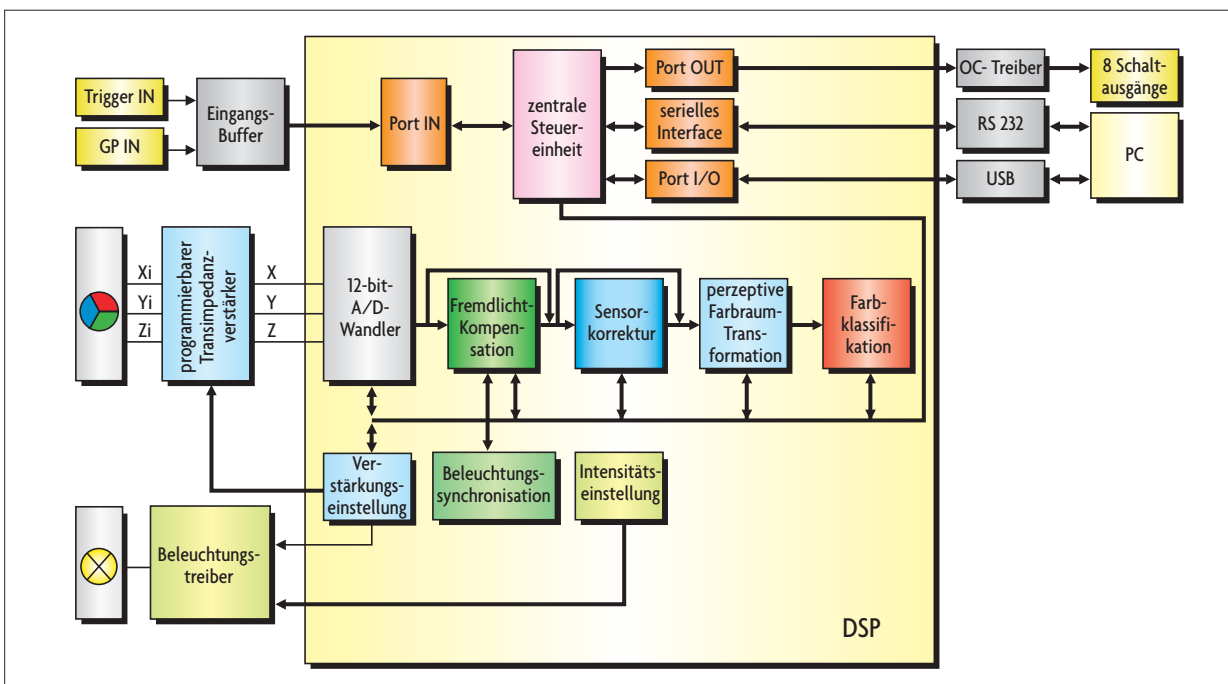
Bei der Farbprüfung wird festgestellt, ob Farbtoleranzen eingehalten werden. Die Toleranzen können in farbmatischen  $\Delta E$ -Einheiten vorgegeben werden. Wird die Farbtoleranz überschritten, so gilt die Prüfung als nicht bestanden (bzw. Farbe nicht erkannt). Diese Variante wird für die Qualitätssicherung farbiger Produkte verwendet. Außerdem kann hier auf einfache Weise ein Ereignis-Trigger erzeugt werden; dies ermöglicht in der Produktion eine schnelle Qualitätsprüfung nach festgelegten Toleranzvorgaben.

**Farbmessung**

Bei der Farbmessung werden die absoluten Farbwerte einer Farbe in einem genormten Farbraum ermittelt. Dies ermöglicht die exakte Bestimmung einer Farbe ohne vorheriges Teach-in von Vergleichswerten. Dazu ist im Allgemeinen eine Kalibrierung des Mess-Systems erforderlich.

► **Der Primär-Sensor des „perzeptiven“ Farbsensor-Systems**

Dreibereichs-Sensoren mit nicht-normierten Spektralwertfunktionen sind



**Bild 10. Prototyp des „perzeptiven“ Farbsensor-Systems.**

(Quelle: Silicann Technologies)

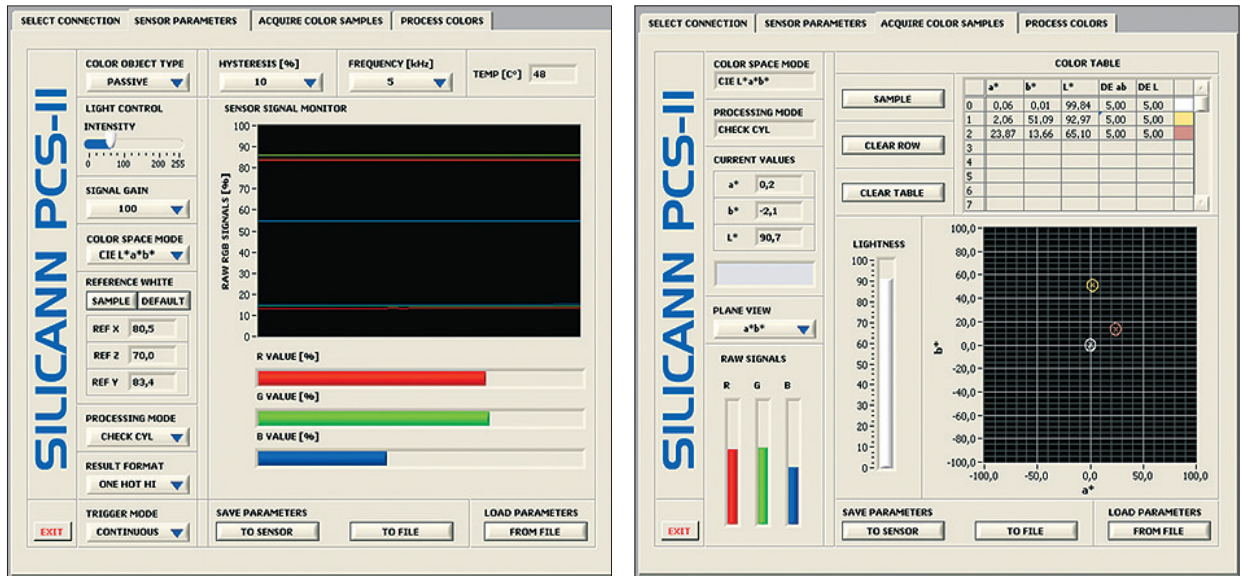


Bild 11. Oberfläche der PC-Software für den Parametriermodus zur Einstellung der Sensorsignale und der verschiedenen Verarbeitungsvarianten (links) sowie den „Teach in“-Modus (rechts). Das „Einlernen“ von Farben erfolgt per Mausclick.

im Markt weit verbreitet und werden bereits in großem Umfang zur Farbprüfung eingesetzt. Die fehlende Implementierung der Normspektralwertfunktion gemäß CIE1931 hat jedoch den gravierenden Nachteil, dass sämtliche oben beschriebenen mathematischen Ansätze zur Erzeugung von Farbräumen mit visueller Gleichabständigkeit – die alle auf der Normspektralwertfunktion aufbauen – nicht anwendbar sind. Die MAZeT GmbH [3] hat nun erstmals einen Primär-Sensor entwickelt, der die Normspektralwertfunktion realisiert. Diese unter der

Marke „JENCOLOUR“ angebotenen Sensoren verbinden die qualitativen Vorteile der direkt auf dem Silizium-Wafer abgeschiedenen Interferenzfilter mit einer für den visuellen Wellenlängenbereich optimierten PIN-Diodentechnologie (Bild 8).

Die spektrale Transmissionsfunktion der Interferenzfilter ergibt zusammen mit der spektralen Empfindlichkeit des Basismaterials die Normspektralfunktion; diese stellt die resultierende Sensor-Empfindlichkeit dar (Bild 9). Durch eine targetbezogene lineare Korrektur kann beim neuen „JENCOLOUR

MTCSi True Colour“-Sensor der mittlere Fehler für die DIN-Testfarben auf  $\Delta E < 1$  reduziert werden.

### Das Farbsensor-System PCS-II

Der „MTCSi True Color“-Sensor ist Grundlage des „perzeptiven“ Farbsensor-Systems der Silicann Technologies GmbH [4]. Die Blockschaltung des Farbsensor-Systems zeigt Bild 10. Die Stromsignale des MTCSi werden mittels Transimpedanzwandler in Spannungen überführt und vom A/D-Umsetzer mit 12 bit pro Farbkanal digitalisiert. Die Verstärkung des Transimpedanzwandlers ist in vier Stufen programmierbar, so dass ein weiterer Eingangssignalebereich abgedeckt wird.

Um eine robuste Verarbeitung der Signale durch das Sensor-System im realen Betrieb zu erreichen, wurde eine dynamische Störlichtunterdrückung implementiert. Diese erfolgt durch Differenzsignalbildung und eine zweiphasige Objektbeleuchtung. Auf diese Weise wird der Störlichtanteil eliminiert, der in beiden Phasen der Objektbeleuchtung vorhanden ist. Die eingebaute Weißlichtquelle zur Objektbeleuchtung liefert bei ca. 1 W elektrischer Leistung einen Lichtstrom von mindestens 18 lm. Die Intensität der Lichtquelle ist per Software steuerbar. Zur Prüfung von selbstleuchtenden Objekten wie LEDs oder Glühlampen kann die eingebaute Lichtquelle abgeschaltet

<b>Farbmodi</b>	Körperfarben – CIE1931 XYZ – CIE1931 xyY – DIN 6176 $L_{99}a_{99}b_{99}$ – CIE1976 $L^*a^*b^*$ – CIE1976 $L^*u^*v^*$
<b>Anzahl Farbklassen</b>	bis zu 255
<b>Farbverarbeitungsmodi</b>	– Farbprüfung (Farberkennung) – Farbklassifikation
<b>Farbmessfunktion (optional)</b>	nach Kalibrierung Farbkoordinatenausgabe und Farbabstandsausgabe am PC in CIE-Farbräumen
<b>PC-Software</b>	– Visualisierung der Farbsignale in Farbdigrammen – Teach in – Farbabstandsausgabe – Parametrierung des Farbsensors – Farbmesswertdarstellung
<b>Temperatur</b>	Temperaturerfassung –20 bis +80 °C

Tabelle 3. Zusammenstellung der Funktionen des „perzeptiven“ Farbsensor-Systems



**Bild 12.** Durch den Anschluss an vorkonfektionierte Lichtwellenleiter-Kabel lässt sich das „perzeptive“ Farbsensor-System PCS-22 flexibel in die Anwendungsumgebung integrieren.

(Bild: Silicann Technologies)

werden. In diesem Fall kann eine Störlichtkompensation erfolgen, indem das Schaltsignal zum Einschalten des Prüflings gleichzeitig dem Trigger-Eingang des Farbsensor-Systems zugeführt wird.

Das Farbsensor-System realisiert – ausgehend von der Normspektralwertfunktion des Primär-Sensors – alle gängigen Farbraumtransformationen, insbesondere auch die DIN-99-Transformation (siehe *Tabelle 3*). Um die Signalverhältnisse der Normspektralwertfunktionen zu erfüllen, wird eine Signalkorrektur durchgeführt. Die Farbraumtransformationen dienen der empfindungsgemäßen Verzerrung des XYZ-

Farbraumes des Primär-Sensors. Daher eignet sich das Sensor-System für eine dem menschlichen Farbempfinden angepasste Farbklassifikation. Parametrierung und „Teach in“ der Farbwerte erfolgen mit Hilfe einer PC-Software über RS-232- oder USB-Schnittstelle (*Bild 11*). Der Sensor arbeitet nach erfolgtem

„Teach in“ und nach Parametrierung unabhängig vom PC. Das Prüf- oder Klassifikationsergebnis steht an acht „Open Collector“-Ausgängen und zusätzlich an den Kommunikationsschnitt-

stellen zur Verfügung. Bei geeigneter Kalibrierung des Sensor-Systems mit „Farbtargets“ können auch absolute Farbmessungen vorgenommen werden.

Das System ist auf kleinem Raum in einem Industriegehäuse aus eloxiertem Aluminium untergebracht. Der Messkopf ist durch ein vorkonfektioniertes Lichtwellenleiter-Kabel vom Sensor und der Auswerteeinheit abgesetzt (*Bild 12*); die optischen Kennwerte zeigt die *Tabelle 4*. jw

**Literatur und Links**

- [1] DIN 5033: Farbmessung.
- [2] Buring, H.: Eigenschaften des Farbenraumes nach DIN 6176 (DIN-99-Formel) und seine Bedeutung für die industrielle Anwendung. 8. Workshop Farbbildverarbeitung der German Color Group, Ilmenau, Oktober 2002, S. 11ff., ISSN 1432-3346.
- [3] MAZeT GmbH – [www.mazet.de](http://www.mazet.de)
- [4] Silicann Technologies GmbH – [www.silicann.com](http://www.silicann.com)

<b>Lichtführung zur Mess-Signaleinkopplung</b>	per Lichtwellenleiter
<b>Lichtführung zur Objektbeleuchtung</b>	per Lichtwellenleiter
<b>Objektbeleuchtung</b>	– Weißlicht-LED – Farbtemperatur (CCT) 5500 K – Lichtstrom mindestens 18 lm
<b>Messgeometrie</b>	45/0 für Farbmessoption
<b>optische Empfangsdynamik (Strahlungsleistung für Rotsignal bei 600 nm)</b>	0,8 bis 8 µW (bei Verstärkungsfaktor 1)

**Tabelle 4.** Optische Kennwerte des „perzeptiven“ Farbsensor-Systems



**Dr.-Ing. Frank Stüpmann**

studierte Elektrotechnik an der Universität Rostock, wo er von 1994 bis 2000 als Assistent arbeitete und auf dem Gebiet der integrierten neuronalen Netze in analoger Schaltungstechnik im Jahre 2000 promovierte. 1999 gründete er die Silicann Technologies GmbH Rostock, die er seit 2000 als Geschäftsführer leitet.

► E-Mail: [stuepmann@silicann.com](mailto:stuepmann@silicann.com)



**Dr. Fred Grunert**

studierte an der TU Ilmenau Nachrichtentechnik und Elektronische Schaltungs- und Messtechnik. Er arbeitet seit 1992 in der MAZeT GmbH und bekleidet die Funktion des Geschäftsführers.

► E-Mail: [grunert@mazet.de](mailto:grunert@mazet.de)



**Dr.-Ing. Ansgar Wego**

studierte Elektrotechnik an der Universität Rostock und promovierte 2001 auf dem Gebiet der Elektronik-Technologie. 2002 begann er seine Tätigkeit bei der Silicann Technologies GmbH mit dem Schwerpunkt Entwicklung elektronischer Systeme.

► E-Mail: [wego@silicann.com](mailto:wego@silicann.com)