

Einfache Farbmessung mit JenColour-Farbsensoren

Dipl.-Ing. Gunter Sieß Dipl.-Ing. Frank Krumbein

MAZeT GmbH
Göschwitzer Str. 32
07745 Jena

siesz@mazet.de krumbein@mazet.de
<http://www.mazet.de>

Abstract

Ob in der industriellen Fertigung oder in Konsumeranwendungen, das Bewerten von Farben spielt mittlerweile überall eine Rolle. Dabei ist Farbe nicht nur ein tragender Parameter im Design, sondern auch ein wichtiges Merkmal für die Steuerung und Kontrolle automatisierter Prozesse, als direkte oder auch nur als indirekte Messgröße Mittel zum Zweck. Mit den JenColour-Farbsensor-IC's sind neue Lösungen möglich, wo schnell, kompakt und zuverlässig Farbinformationen gewonnen werden müssen. Der nachfolgende Beitrag beschreibt eine Applikation für spezifische Interferenzfilter on-Chip, die die MAZeT in ihrem Geschäftsfeld Optoelektronik auch als kundenspezifische Entwicklung anbietet.

Farberfassung mit JenColour Farbsensoren

In vielen Anwendungen ist das Erkennen von Farben und deren Sättigung, Helligkeit oder Differenz zum Sortieren, Positionieren und allgemein zur Qualitäts- und Betriebskontrolle erforderlich. Oft lassen sich solche Applikationen auf Vergleichsmessungen zurückführen. So wird beim sogenannten *Anlernen* (*teach in* bei industriellen Farbsensoren) eine vor der Messung eingelernte Farbe wiedererkannt bzw. die Abweichung zu dieser bewertet. Während der Messung werden also aktuelle Messwerte ständig mit dem Vorbild verglichen, bis relative Identität eintritt. Die Ausgabe der Zustände „identisch“, „nicht identisch“ oder der abweichenden Werte ist abhängig vom Nutzer und seiner Applikation.



Abbildung 1: Die JenColour-Farbsensor-IC's sind kompakte Sensoren zur Farberfassung und -messung

Erweitert man die angelernten Farben durch definierte Farbwerte mit bekannten Farbkoordinaten, so können entsprechende Stützstellen im Farbraum angelernt werden. Auf diese Art und Weise sind auch Farbmessaufgaben im Bereich der angelernten Farben ggf. mit Interpolation unter Beachtung von konstanten Messbedingungen möglich.

Diese Applikationen oder auch Alternativen sind mit den Sensor-IC's der JenColour-Reihe einfach umsetzbar. Diese stellen kompakte Empfängerlösungen dar, die eingehendes Licht in RGB-Signale wandeln und als Fotostrom bereitstellen. Die Systemfunktionalität, die Leistungsfähigkeit und Parameter zur Farbdetektion werden maßgeblich durch die nachfolgende Geräteelektronik bzw. allgemein dem Systemaufbau zur Messaufgabe bestimmt. Egal, ob bei Tageslicht oder Kunstlicht, ob bei Reflexion oder Transmission, ob bei beleuchteten oder selbstleuchtenden (luminiszierenden) Objekten gemessen wird, die Farbsensor-IC's stellen eine optimale Lösung für Geräteentwickler dar.

Die Farberkennung erfolgt bei den JenColour-IC's nach dem Dreibereichsverfahren mittels aufgebrachtener Interferenzfilter auf Fotodioden (Filter on Chip). Die Si-PIN Fotodioden bestehen aus je 3 Einzeldioden (Diodentripel), die zusammen einen Kreis bilden.

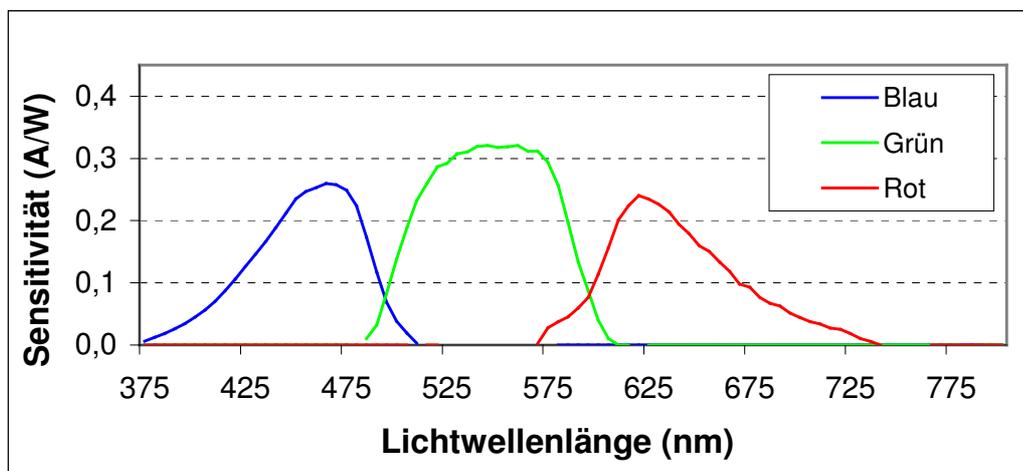


Abbildung 2: Typische Spektralkurve des 3-Element Farbsensors mit IR-Filter (MCS3BT)

Das sehr geringe Übersprechen der Fotodioden wurde durch spezielle konstruktive Maßnahmen erreicht. Jede Diode im Tripel ist mit einem dielektrischen Farbfilter beschichtet. Diese Farbfilter sind im Speziellen für die Farbbereiche Rot, Grün und Blau (RGB) ausgelegt und decken damit den für das menschliche Auge sichtbaren Bereich des Lichtes ab.

Aufgrund der dem menschlichen Farbempfinden angepassten Sensorik ermöglichen Dreibereichs-Farbsensoren gegenüber spektralen Messverfahren durch eingeschränkte spektrale Auflösung eine relativ einfache Verarbeitung und Interpretation der Messergebnisse.

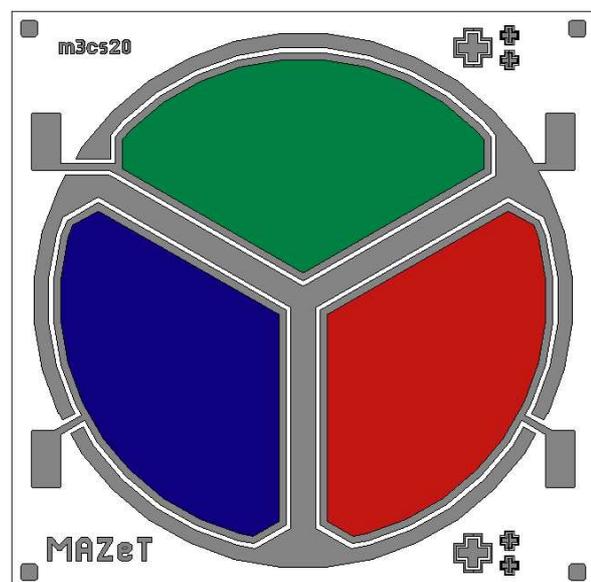


Abbildung 3: Interferenzfilter on Chip

Kundenspezifisches Design der Fotodioden und der Interferenzfilter

Für kundenspezifische Sensorkonfigurationen, wie z.B. die Umsetzung spezieller Empfängergeometrien und der Begrenzung auf einen kleinen Spektralbereich, besteht neben den kundenspezifischen Fotodiodendesign auch die Möglichkeit, die spektrale Charakteristik der Filter bzw. ihre Anzahl anwendungsspezifisch anzupassen. (zum Beispiel schmalbandige Filter, V-Lambda, o.ä.).

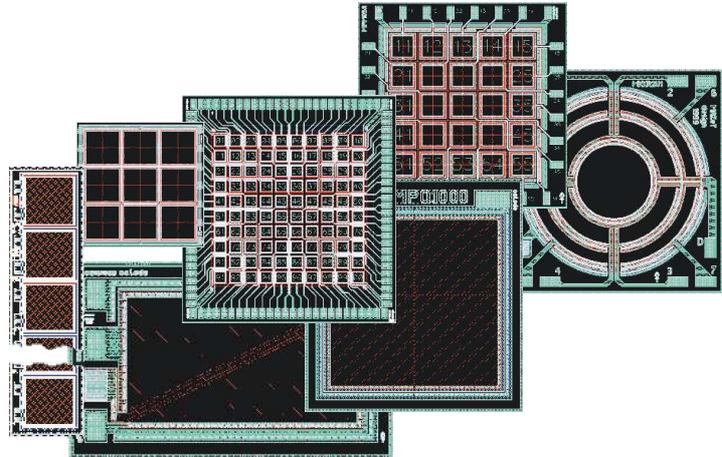


Abbildung 4: Kundenspezifische Fotodiodendesigns

Die bei den JenColour-Sensoren verwendeten Farbfilter arbeiten als spektrale Bandpassfilter. Sie bestehen aus einer Vielzahl transparenter Einzelschichten mit abwechselnd hohen und niedrigen Brechzahlen. An jeder Grenzfläche werden durch die unterschiedlichen Brechungsindizes Teile des Lichtes reflektiert. In Abhängigkeit der Wellenlänge und Schichtdicke haben die reflektierten Wellen bestimmte Phasenbeziehung, die zu Interferenzeffekten führen.

Interferenzfilter arbeiten wellenlängenabhängig und erreichen schmalbandige Transmissionskurven mit steilen Filterkanten. Sie besitzen eine wesentlich bessere Alterungsbeständigkeit als nach dem Absorptionsprinzip arbeitende Farbfilter und garantieren eine hohe Temperaturstabilität und Umweltbeständigkeit. Das prädestiniert sie für den Einsatz unter harten Umgebungsbedingungen.

Bei den JenColour-Sensoren sind die Interferenzfilter direkt auf den Diodenchips aufgebracht. Der gehaute Sensor ist dadurch kompakt und unempfindlich gegenüber äußeren Einflüssen, erfordert keine aufwendige Justage und erlaubt zugleich das parallele Erfassen aller durch die Filter bestimmten Farben bzw. Wellenlängen.

Farbsensor-IC's speziell für jede Anwendung

Die JenColour Farbsensor-IC's werden derzeit in zwei Basisausführungen mit alternativen Gehäusen und Zubehör angeboten, Basisversionen sind die 3-Element-Sensor-IC's MCS3 und die integralen Varianten MCSi. Zu beiden gibt es Ausführungen im Gehäuse (SO8, TO5), mit/ohne Optik und Infrarotblocker.

Die 3-Elementfarbsensor-IC's MCS3 bestehen aus dem bereits erwähnten einfachen Farbtripel, enthalten also drei Fotodioden mit je einem Farbanteil aus Rot, Grün oder Blau (RGB).

Die kreisförmige Anordnung der Dioden unterstützt eine einfache Einkopplung des Messsignals mittels einer Glasfaser über einen Adapter. Die MCS3 werden standardmäßig in den drei Varianten - TO5-Gehäuse mit Glop-Top, mit Infrarotfilter oder Optik je als Deckglas - angeboten. Eine weitere Bauform sind die klarverplasteten SO8-Gehäuse.

Bei den T05-Gehäusen stehen als externe Kontakte die Anoden der einzelnen Farbbereiche, sowie die gemeinsame Kathode zur Verfügung. Bei der SO8-Ausführung wird die Trenndiode noch als externes PIN herausgeführt. Diese kann optional bei geringem Übersprechen auch als Funktionsdiode genutzt werden.

Bei den integralen Farbsensor-IC's MCSi wurden 19 Farbtupel im Sensor hexagonal angeordnet, wobei alle gleichfarbigen Pixel am Ausgang zusammengeschaltet worden. Dadurch ist eine integrale Farberkennung möglich, z.B. im Einsatz mit kleinem Abbildungsdurchmesser, bei Messungen mit dezentraler Abbildung oder dezentrierter Einkopplung (z.B. LWL) oder bei Messung von inhomogenen Farbflächen.

Im einzelnen zählen folgende Sensor-IC's zum Standardprogramm der JenColour-Familie, die durch passende mehrkanalige Transimpedanzverstärker MTI04xx und einem Evaluationboard MCS-EB1 ergänzt werden.

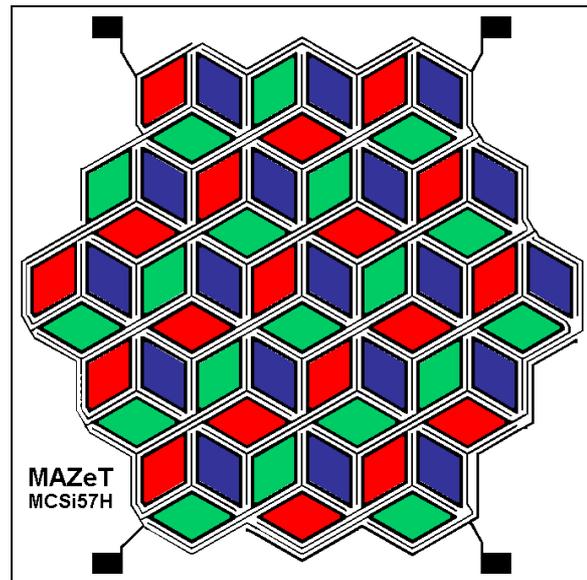


Abbildung 5: Die integralen Farbsensoren-IC's MCSi enthalten 19 hexagonal angeordnete RGB-Farbtupel

Alle Farbsensoren der JenColour Familie zeichnen sich neben ihrer Kompaktheit insbesondere durch eine hohe Empfindlichkeit und Farbbereichsselektivität aus. Die geringe Chipfläche garantiert kleine Kapazitäten und eine hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit. Die verwendeten Farbfilter besitzen im Durchlassbereich eine bis zu 30% geringere Dämpfung gegenüber herkömmlichen Absorptionsfiltern. Farbhelligkeitsunterschiede werden damit besser erkannt. Der kompakte Aufbau der Farbsensoren mit Filter on Chip und Vorsatzoptik bzw. Sensorabdeckung ist gegenüber Umwelteinflüssen robust. Die Farbfilter selbst besitzen keine nennenswerten Alterungserscheinung. Eine ständige Nachkalibrierung im laufenden Betrieb ist damit nicht notwendig.

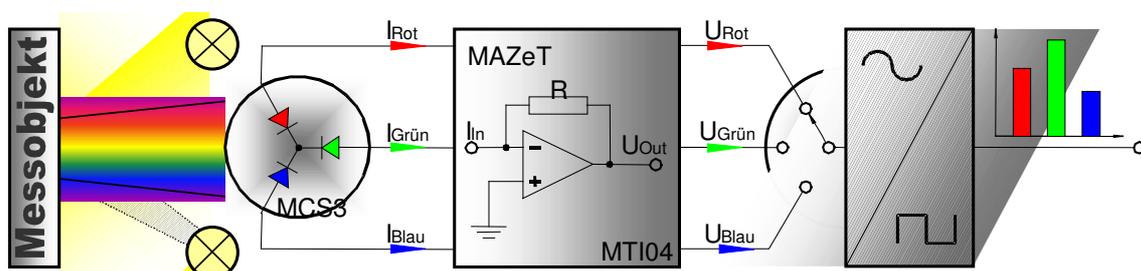


Abbildung 6: Schaltungskonzept der JenColour Farbsensoren

12...16 Bit Auflösung pro Farbkanal

Das System- und Schaltungskonzept zum Aufbau von Farbsensoren auf Basis JenColour ist denkbar einfach. Durch einfache Verstärkerschaltungen (hier stellt die MAZeT mit den Transimpedanzverstärker-IC's fertige Lösungen bereit) kann der Fotostrom, wie bei einer herkömmlichen Fotodiode erfasst und weiterverarbeitet werden. Die Ausführung als Si-PIN-Fotodioden ermöglicht dabei Signalfrequenzen bis in den MHz Bereich. Ob mit 8 bis 12 Bit AD-Wandlung pro Farbkanal im dynamischen Betrieb oder auf Basis einer 16-Bit Farbauflösung pro Kanal mittels zeitintegrierendem Verfahren, die JenColour Sensoren erlauben sowohl low-cost RGB-Sensoren als auch Farbmessung unter Nutzung von Farbstandards.

Universell einsetzbar in vielen Branchen

Einsatzgebiete für die JenColour Farbsensor-IC's ergeben sich überall dort, wo mit geringem technischen Aufwand Farben erkannt bzw. Farbvergleichsmessungen durchgeführt werden. Durch die hochwertigen Filter und die hohen Signalfrequenzen eignen sich die MAZeT-Farbsensoren besonders für die kontinuierliche Kontrolle schnell ablaufender Erfassungsprozesse. Auf Grund Ihrer kleinen Bauweise verbunden mit hoher Umweltstabilität kommen sie dort zum Einsatz wo wenig Platz ist und/oder hohe Stabilität gefordert wird. Ob als Colorimeter, Hand-Held zur Farbdetektion oder Farbsensor in der Automation – die universellen JenColour Farbsensor-IC's empfehlen sich als Standardkomponente für viele Anwendungen in der Farberkennung bzw. sind je nach Kundenwunsch im Filter und Gehäuse leicht anpassbar.



Abbildung 7: Beispielapplikationen der JenColour Farbsensoren

Die Firma PocketSpec Technologies Inc.™ in Denver, Colorado hat auf Basis des 3-Element-Farbsensors MCS3 der MAZeT eine Reihe neuer Farbmessgeräte der Reihe PocketSpec™ Hand-Held Color Analyzer entwickelt. Das sind tragbare Geräte zur Farbmessung von Objekten und Lichtemissionen, die beispielsweise als HandHeld-Gerät in der Plastik-, Textil- sowie in der Kosmetikindustrie ihre Anwendung finden bzw. in Variation auch überall dort eingesetzt werden können, wo farbempfindliche Produktionsabläufe überwacht werden sollen.



Abbildung 8, Hand-Held Color Analyzer

Druckfarben-Überwachung

Dipl.-Ing. (FH) Robert Mudri

Dipl.-Ing. (FH) Markus Wolf

ARC Seibersdorf research GmbH
A-2444 Seibersdorf

robert.mudri@arcs.ac.at

<http://www.machine-vision.at>

Abstract

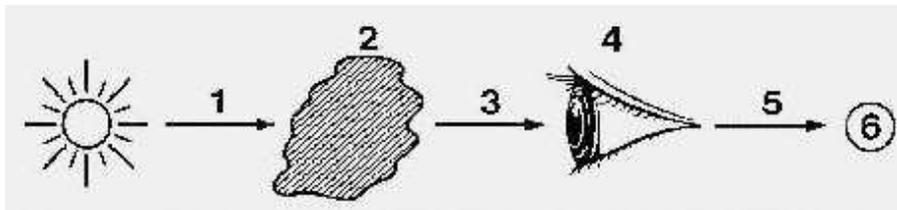
Vor allem in der Druckbranche gibt es immer wieder den Wunsch, feinste Farbschwankungen inline in der Produktion zu messen und zu erkennen.

Eine weitere Forderung besteht nach hoher geometrischer Auflösung und kleiner Messpunktgröße, um auch Textfelder und ähnlich hochauflösende Bereiche auf Farbtreue überprüfen zu können.

Grundsätze der Farbe

Farbe ist keine physikalische Größe, sondern ein Sinneseindruck, eine Wahrnehmung. Dieser Sinneseindruck entsteht im Gehirn eines menschlichen Beobachters, wenn Licht im sichtbaren Wellenlängenbereich auf das Auge des Beobachters trifft. Das Auge dient dabei nur als Empfänger der Strahlung, der diese in Nervenreize umwandelt.

Somit besteht die Wirkungskette zum Zustandekommen des Sinneseindrucks „Farbe“ aus folgenden Teilen:



Wirkungskette zum Entstehen des Sinneseindrucks „Farbe“

- eine Lichtquelle, welche die Grundmenge des gesamten zur Verfügung stehenden Lichtes (1) liefert,
- ein Objekt (2), welches das Licht durch Reflexion, Absorption oder Transmission verändert (bei der direkten Beobachtung von Lichtquellen entfällt das Objekt),
- das Auge (4) als Empfänger der vom Objekt veränderten Strahlung (3),
- das Gehirn (6), in welchem die Nervenreize (5) verarbeitet und interpretiert werden.

Um den Eindruck einer Farbe durch Zahlenwerte vergleichbar und klassifizierbar zu machen, hat die CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, bzw. internationale Beleuchtungskommission) eine Reihe von Lichtquellen sowie die Charakteristik des Beobachters durch Normen bzw. Empfehlungen festgelegt.

Diese Festlegung von Beleuchtung und Empfänger ist die Basis dafür, um Farbeindrücke objektiv messbar und damit vergleichbar zu machen.

Anforderung an das System

Die ARC Seibersdorf research GmbH hat seit vielen Jahren Erfahrung auf dem Gebiet der Druckbildkontrolle. Dabei gilt es, kleinste Fehler im Druckbild auch bei großen Kontrollbereichen zu erkennen.

Neben dieser Forderung nach Vollständigkeit des Druckbildes gibt es in der Druckbranche immer wieder den Wunsch, feinste Farbschwankungen inline in der Produktion zu messen und zu erkennen. Durch diese Inline-Messung ist es möglich, Farbabweichungen rechtzeitig zu erkennen und zu korrigieren, um sicherzustellen, dass vorgegebene Toleranzbereiche eingehalten werden.

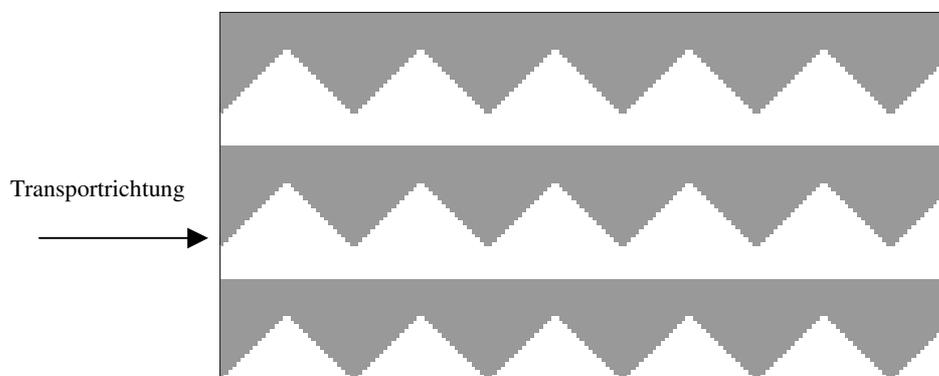
Eine weitere Forderung besteht nach hoher geometrischer Auflösung und kleiner Messpunktgröße, um auch Textfelder und ähnlich hochauflösende Bereiche auf Farbtreue überprüfen zu können. Diese hohe Auflösung soll gewährleisten, dass auch in jenen Bereichen des Druckbildes eine Kontrolle der Farbe erfolgen kann, in denen keine großflächigen Prüfflächen vorhanden sind.

Eine spezielle Herausforderung stellt die in der Druckbranche übliche hohe Produktionsgeschwindigkeit dar. Druckgeschwindigkeiten von mehr als 100 m/min erfordern entsprechend hohe Abtastraten und auch entsprechend hohe Rechenleistungen für die Verarbeitung der anfallenden Messdaten.

Lösungsansatz

Die manuelle Bewertung der Druckfarben erfolgt über sogenannte Farbfächer, die vom Kunden freigegeben werden und auf denen im Regelfall Muster mit der „Sollfarbe“ und auch Muster mit der maximalen und der minimalen „Sollfarbe“ dargestellt sind. Die Beurteilung der „Richtigkeit“ der Farbe erfolgt durch geschulte Prüfer, die die bedruckten Produkte unter Tageslichtbedingungen manuell mit den freigegebenen Farbfächern vergleichen.

Da sich die Farbe des Druckbildes normalerweise nicht schlagartig ändern kann, ist eine vollflächige Überprüfung des Druckes nicht notwendig. Es genügt eine punktförmige Abtastung des Druckbildes. Durch die Bewegung des zu prüfenden Objektes ergibt sich eine zeilenförmige Abtastung in Bewegungsrichtung.



Ist der Sensor quer zur Transportrichtung verschiebbar, können durch geschickte Positionierung des Messensors mehrere Farben mit einem einzelnen Sensor überwacht werden.

Zur Überprüfung breiterer Kontrollbereiche können auch mehrere Sensoren eingesetzt werden, die vom Prüfsystem parallel ausgelesen werden.

Messsensor

Der Sensor besteht aus drei Fotodioden mit vorgesetzten dielektrischen Filtern in einem Gehäuse und einer nachgeschalteten schnellen Auswerteelektronik. Das Signal wird in die Grundfarben Rot, Grün und Blau zerlegt und die jeweiligen Intensitätswerte der einzelnen Farbkanäle werden ausgewertet. Die Vorteile beim Einsatz eines solchen Sensors liegen in der im Vergleich zu einer Kamera wesentlich kleineren Datenmenge. Dadurch ist die Auswertegeschwindigkeit auch mit üblicher PC-Hardware hoch genug, um die Daten inline in der Produktion auszuwerten.

Ein weiterer Vorteil des Einzelpunktsensors liegt in der hohen Dynamik des Sensors, die eine Digitalisierung mit 12 bit je Farbkanal ermöglicht. Der Sensor bietet weiters einen großen Frequenzbereich wodurch die für den Einsatz in der Druckbranche notwendigen Abtastraten von mehr als 50 kHz pro Kanal sichergestellt werden können.

Beleuchtung

Wesentlich für eine Farbbewertung ist auch die Stabilität und Art der Beleuchtung. Um die Bewertung mit der manuellen Prüfung vergleichen zu können, ist eine Lichtquelle mit tageslichtähnlicher Charakteristik notwendig. Weiße LEDs mit dem entsprechenden Lichtspektrum sind am Markt in zahlreichen Formen erhältlich, scheiden jedoch aufgrund der zu geringen Helligkeit aus.

Sowohl von der Intensität als auch vom Spektrum her ideal sind Xenon-Kaltlichtquellen, die in ihrer Charakteristik weitgehend dem Spektrum des Tageslichtes entsprechen. Geringe Intensitätsschwankungen sowie Änderungen der Farbtemperatur, die beispielsweise durch Alterung der Lampe auftreten, durch werden durch eine Referenzierung ausgeglichen. Diese Referenzierung wird in der Form durchgeführt, dass ein Teil des Lichtes ausgekoppelt und auf einen zusätzlicher Sensor geführt wird, der für eine Online-Weißreferenzierung verwendet wird.

Optik

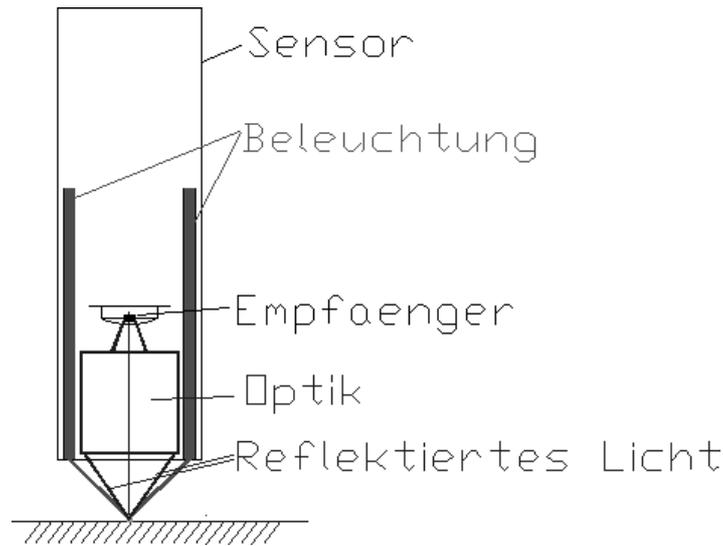
Eine wesentliche Anforderung an das Farbmesssystem ist die Realisierung eines Messpunktdurchmessers in der Größenordnung von $< 0,1\text{mm}$, um auch bei Strichstärken von $0,1\text{ mm}$ noch eine eindeutige Farbbestimmung zu ermöglichen.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Verwendung eines optischen Systems, welches sicherstellt, dass ein Messfleck dieser Größenordnung auf die Sensorfläche von ca. 2 mm abgebildet wird. Um dabei eine ausreichende Aussteuerung des Sensors zu erreichen, muss auch das Licht der Beleuchtungsquelle auf eine derart kleine Fläche gebündelt werden.

Um direkte Reflexionen der Lichtquelle auf den Sensor zu verhindern, ist sicherzustellen, dass die Beleuchtung im Dunkelfeldmodus erfolgt.

Da handelsübliche Optikkomponenten diese Anforderungen kaum, oder nur ungenügend erfüllen, musste für das System eine eigene Optik mit integrierter Beleuchtungseinkopplung entwickelt werden.

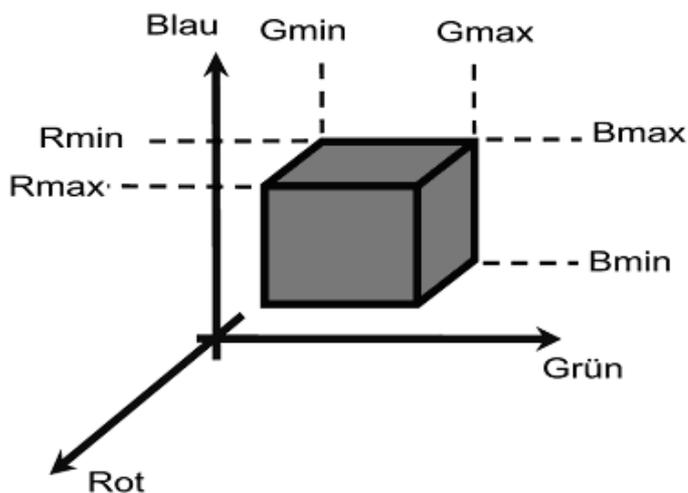
Die folgende Abbildung zeigt das Prinzip der verwendeten Optik:



Auswertung

Eine bedienerfreundliche Software erlaubt eine einfache Parametrierung und Referenzierung des Systems. Um dem Benutzer die Verwendung der freigegebenen Farbfächer weiter zu ermöglichen, ist das System teachbar ausgeführt. Dabei werden sowohl Sollfarben als auch minimale und maximale Toleranzgrenzen eingelernt oder vorgegeben. Sollwerte und auch Toleranzen sind für jeden Farbkanal individuell teachbar und/oder parametrierbar. Die Auswertung und Überwachung erfolgt getrennt in den drei Spektralbereichen rot, grün und blau. Jede Parametrierung kann in einer Datenbank abgelegt werden und ist für jeden Prüfling nur einmal zu erstellen.

Dabei können für jede einzelne Linie mehrere Farben eingegeben werden, die dann an jedem Prüfling kontrolliert werden. Das folgende Bild zeigt dieses Prinzip:



In Praxistests wurde nachgewiesen, dass das Messsystem Farbunterschiede bis zu einem ΔE -Wert von 0,6 zuverlässig auch bei hohen Geschwindigkeiten erfassen kann. Dadurch ist sichergestellt, dass auch im laufenden Produktionsbetrieb Farbunterschiede erfasst werden können, lange bevor das menschliche Auge Unterschiede feststellen kann.