

Farbbasierte Druckbildinspektion an Rundkörpern und farbmetrische Überwachung der Lichtquelle

Autoren:

Dipl.-Ing. Dietmar Kollhoff, Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung mbH, Ilmenau, www.gbs-ilmenau.de

Dipl.-Inf. Tim Langner, Technische Universität Ilmenau

Dipl.-Inf. Daniel Kreutzer, Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung mbH, Ilmenau

Kurzfassung

Die Druckbildinspektion ist eine seit längerem etablierte Methode, um im Bedruckungsprozess von Postern, Etiketten und Verpackungen eine gleichbleibende Qualität zu gewährleisten. Die meisten Inspektionsverfahren beschränken sich dabei auf die Prüfung von planaren Oberflächen. Drucke, welche direkt auf verschiedenartig geformte Objekte aufgebracht werden, erfordern teilweise andere Herangehensweisen. In diesem Beitrag wird ein Druckbildinspektionssystem vorgestellt, welches für die Inspektion von Rundkörpern und Bahnware konzipiert wurde und die sich dabei ergebenden Schwierigkeiten löst.

Eine wesentliche Komponente zur Gewährleistung einer hohen Systemstabilität ist die Überwachung und Korrektur von Beleuchtungsschwankungen, wozu mit einem Multispektralsensor das Strahlungsspektrum der Lichtquelle erfasst wird und mit einer modellgestützten Steuerung Korrekturwerte für die Farbsignale der Kamera ermittelt werden.

Druckbildinspektion

Aufgabenstellung

Zielstellung war die Entwicklung eines Druckbildinspektionssystems zur Kontrolle von Bedruckungen von zylindrischen Flaschen und Tuben. Dabei teilt sich der Inspektionsvorgang in die Fehlererkennung von Druck- und Materialfehlern durch Vergleich mit einem „Golden Template“ und die Prüfung auf korrekten Farbdruck mittels Farbklassifikation. Folgende Fehler müssen sicher erkannt werden:

1. Druck- und Materialfehler
 - Oberflächenfehler (Dellen, Kratzer, Einschlüsse)
 - Spritzer, Verläufe, Versatz, Verwischungen
 - Zu starke, blasse oder fehlende Bedruckung
2. Farbfehler
 - Fehlfarben
 - Farbverläufe
 - Farbabweichungen vom Sollmuster



Abb.1 Beispiele für Delle, Druckfehler und Kratzer

Probleme bei der Inspektion von zylindrischen Körpern

Für die Aufnahme der zu prüfenden Bilder mit einer Zeilenkamera muss das Prüfobjekt gedreht werden. Die abgewinkelte Oberfläche kann dann mit der Kamera erfasst werden. Hierfür wurde ein Hardwareverbund aus Antriebssystem, Beleuchtung und Kamerakopf konstruiert. Als Beleuchtung dient eine faseroptische Linienbeleuchtung in Verbindung mit einer HQI-Kaltlichtquelle.

Bei dieser Art der Bildaufnahme ergeben sich jedoch Probleme, welche größtenteils auf Schlupf im Antriebssystem und Unrundheiten zurückzuführen sind.

Schlupf äußert sich im Bild durch Verzüge wie Stauchung und Streckung des Druckmusters entlang der Aufnahme-richtung. Er entsteht durch unzureichend straffe Einspannung der Flasche / Tube und durch Vibrationen im Antriebsstrang. Aus technischen Gründen wird statt einem Direktantrieb ein Riemenantrieb eingesetzt.

Untersuchungen haben gezeigt, dass durch die Verwendung eines Drehgebers zur Triggerung der Kamera und Optimierung der Hardwarekomponenten der Schlupf minimiert werden kann. Weitere Verzerrungen werden durch einen ungleichmäßigen Rundlauf (dezentrierte Einspannung bzw. Formfehler der Flasche) verursacht, die nicht restlos beseitigt werden können. Die Auswertung der Druckbilder erfordert also ein Maß an Verzugstoleranz der Algorithmen gegenüber Stauchung, Streckung und Scherung.

Ein weiteres Problem bei der Inspektion von zylindrischen Objekten ist das Finden eines Startpunktes für den verzugstoleranten Golden-Template-Vergleich im Bild. Bedingt durch Druckprozess und Transport der Prüflinge, gibt es keinen zur Bedruckung synchronen Startpunkt der Bildaufnahme, so dass die aufgenommenen Druckbilder eine Translation in Aufnahme-richtung aufweisen. Die teilweise verwendete 360°-Bedruckung der Objekte erfordert deshalb ein geeignetes Offsetkorrekturverfahren zur Bestimmung eines reproduzierbaren Startpunktes. Von dem Rundkörper werden zwei vollständige Umdrehungen aufgenommen, so dass bezüglich eines definierten Startpunktes mindestens eine vollständige Abwicklung im Bild vorhanden ist.

Probleme bei der Inspektion von Farbdrucken

Für die Aufnahme der Farbbilder wird eine trilineare Farbzeilenkamera verwendet. Diese stellt einen guten Kompromiss zwischen Auflösung und Kosten dar. Die hier auftretenden Probleme resultieren zum Großteil aus dem Abstand der Farbzeilen des Sensors zueinander und der Rotation des Prüfobjektes.

Um die dadurch entstehenden Farbsäume an Kanten zu vermeiden, muss eine genaue Kalibrierung von Antrieb, Drehgeber, Belichtungszeit und Zeilenverzögerung erfolgen.

Eine weitere Fehlerquelle ist die Beleuchtung von nicht planaren Oberflächen. Bedingt durch den Abstand der Farbzeilen muss ein relativ breiter Streifen homogen ausgeleuchtet werden. Durch die Wölbung der Oberfläche ergeben sich deshalb für jede Zeile unterschiedliche Reflektionswinkel.

Das Resultat sind auszugleichende Schwankungen der Intensität und Farbverfälschungen. Des Weiteren muss die Kurzzeit- und Langzeit-Stabilität der Lichtquelle beachtet werden. Um die Einflüsse von Schwankungen im Beleuchtungssystem auszugleichen, wurde eine Online Farb-Kalibrierung mittels Drei- oder Mehrbereichssensoren entwickelt, die im zweiten Teil beschrieben wird.

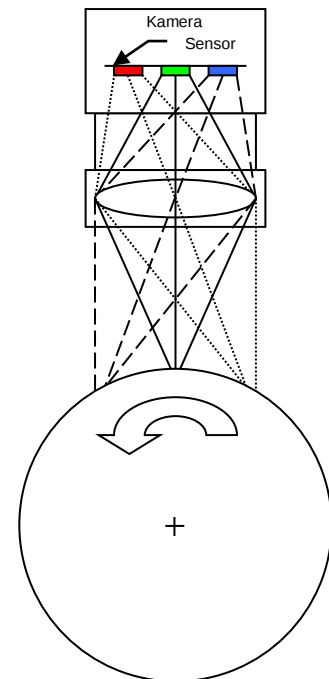


Abb.2 Abbildungsprinzip

Hardware

Für die Suche nach der optimalen Kombination der Hardwarekomponenten wurde ein intensiver Test von Farbzeilenkameras verschiedener Hersteller durchgeführt. Um Flaschen und Tuben unterschiedlicher Höhe inspizieren zu können, musste ein breiter Aufnahmebereich mit hoher Auflösung abgedeckt werden.

Um das Auftreten von Farbsäumen zu minimieren und den Einfluss der gewölbten Oberfläche auf die Beleuchtung so klein wie möglich zu halten, musste eine Kamera mit einem sehr kleinen Abstand der Farbzeilen gewählt werden.

Die Entscheidung fiel aufgrund einer Auflösung von 4096 Pixeln und einem Zeilenabstand von $30\mu\text{m}$ auf die Dalsa Piranha Color PC-30-04K60 Kamera.

Für die Normierung des Helligkeitsverlaufes bietet diese zusätzlich eine eingebaute Shadingkorrektur, wodurch sich softwareseitig ein Verarbeitungsschritt einsparen lässt.

Um auf die sich ergebende Verschiebung der Fokusebene bei Änderung des Flaschendurchmessers reagieren zu können, wurde ein Aufbau konstruiert, welcher eine Höhenverstellung des gesamten Aufnahmesystems ermöglicht.

Lösungsansätze am Beispiel der Offsetkorrektur

Für die Korrektur des Offsets zweier Bilder muss ein gegenüber Fehlern im Druck tolerantes Verfahren zum Einsatz kommen. Herkömmliche Korrelationsansätze oder Vergleiche direkt im Bildmaterial sind daher ungeeignet. Aus diesem Grund werden aus den Aufnahmen mittels Förstner-Algorithmus [1] Merkmale in Form von Eckpunkten mit den Parametern Position (x,y), Betrag und Orientierung extrahiert. Das zu matchende Bild enthält nun zwei volle Umdrehungen des Rundkörpers, während das Referenzbild nur eine Umdrehung umfasst. Außerdem werden bei

Druckfehlern (z.B. fehlende Farben) nicht alle Eckpunkte wieder gefunden. Die Offsetkorrektur lässt sich daher als Problem des Matchings zweier partiell übereinstimmender Punktmengen charakterisieren. Zur Lösung dieses Problems wird deshalb eine optimierte Form des Point-Pattern-Matchings verwendet.

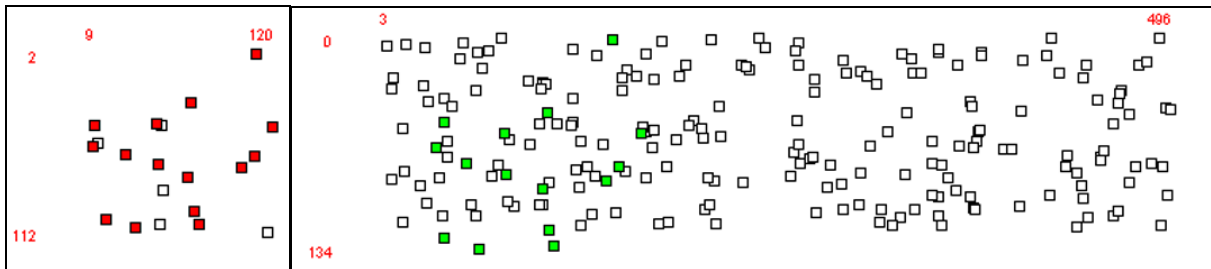


Abb.3 Punktmengen A und B mit gefundener Korrespondenz (mittlerer Distanzfehler = 3,6)

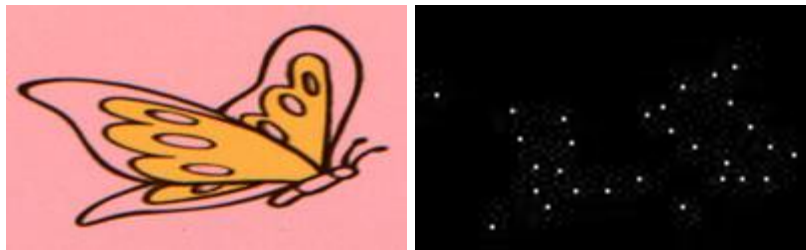


Abb.4 Druckmuster und daraus extrahierte Eckpunkte

Sind zwei Punktmengen A und B gegeben, dann löst das Verfahren folgende Aufgaben:

- Finde die korrekten Punktkorrespondenzen zwischen den Mengen A und B und berechne daraus die Transformation T .
- Löse das Minimierungsproblem: Suche die Transformation T , so dass der Abstand zwischen den Punktmengen $T(A)$ und B minimal wird.

Als Suchstrategie kommt hier der Vergleich von Nachbarschaften nach *Wamelen* [2]

mit einer Komplexität $O\left(m(\log n)^{\frac{3}{2}}\right)$ (m = Anzahl der Elemente in der

Suchpunktmenge, n = Anzahl der Elemente in der Referenzpunktmenge) zum Einsatz. Einen Überblick über weitere Strategien geben *Cox und Jager* [3].

Der Algorithmus arbeitet wie folgt:

- Suche nach lokalen Transformationen, die alle nächsten Nachbarn der Punkte aus A auf die nächsten Nachbarn der Punkte aus B abbilden
- Auswahl der, den Suchkriterien entsprechenden, besten globalen Transformation aus den lokalen Transformationen

Um die Laufzeit des Verfahrens zu optimieren und die Geschwindigkeit bei der Suche nach den nächsten Nachbarn zu erhöhen, wurden einige Erweiterungen vorgenommen.

- Für eine schnelle Nachbarschaftssuche werden kD-Bäume verwendet.
- Es können Toleranzgrenzen für die einzelnen Transformationen festgelegt werden, um die Suche vorzeitig abubrechen (es tritt nur geringe Translation senkrecht zur Aufnahme auf, keine Rotation oder Skalierung).
- In die Distanzberechnung zweier Eckpunkte fließen neben ihren Koordinaten weitere Eigenschaften, wie z.B. die Intensität der Ecke, ein (die Wahrscheinlichkeit ist hoch, dass in den zwei Aufnahmen markante Punkte wiedergefunden werden)

Versuche führten wir mit zufallsgesteuert generierten Testdaten durch, wobei zwischen einem Referenzpunktsatz und einem Suchpunktsatz Manipulationen wie affine Transformation, Hinzu- und Wegnahme von Punkten und Verrauschen der Punktkoordinaten vorgenommen wurden. Dabei ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der vorgegebenen und der ermittelten Transformation. Es zeigte sich aber eine Empfindlichkeit des Algorithmus bezüglich der Parametrierung. Durch die zufallsgesteuerte Paarsuche entstehen nicht reproduzierbare Ergebnisse, die teilweise erheblich von den Erwartungen abweichen. Deshalb wurde die Registrierung als mehrstufiges Verfahren ausgebaut. In der Stufe findet eine schnelle Profilkorrelation der Projektion des Bildes auf die x-Achse statt, die die Startparameter für das Point Pattern Matching liefert. Nach dem Point Pattern Matching wird durch lokale Korrelation in kleinen Fenstern das Ergebnis nochmals verbessert, um den Startpunkt möglichst genau festzulegen. In der Praxis wurden aufgrund der nichtlinearen Verzerrungen des Bildes und des Versatzes der einzelnen Farbdrucke gegeneinander Abweichungen unterhalb von 4 Pixeln erreicht, die für die weitere Verarbeitung ausreichend sind.

Golden Template Vergleich auf der Basis von Farbbildern

Bei der Berechnung der Abweichung zwischen Golden Template Bild und dem aufgenommenen Ist-Bild steht die Frage nach der Definition des Distanzmaßes. Diese Definition kann man in zwei Teile zerlegen:

- Definition des verwendeten Farbraumes,
- Definition des Abstandsmaßes,

wobei ein lineares Abstandsmaß in einem Farbraum einem nichtlinearen Abstandsmaß in einem anderen Farbraum entsprechen kann, wenn die Transformation zwischen den Farbräumen nichtlinear ist. In unserer Lösung haben wir als Farbraum den RGB-Farbraum der Kamera und ein lineares Abstandsmaß gewählt, weil damit aufwendige Farbtransformationen entfallen und der Wertebereich und das Signal-Rausch-Verhältnis in allen Kanälen im wesentlichen identisch ist. Als Nachteil nimmt man in Kauf, dass die Differenzbildung nicht empfindungsgemäß gleichabständig erfolgt, wie das im $L^*a^*b^*$ -Farbraum der Fall ist, aber in der Praxis fällt dieser Nachteil nicht ins Gewicht.

Für die Detektion von Fehlern muss das Abstandsmaß mit einem Schwellwert bewertet werden. Hierzu wird der Schwellwert dynamisch an die zugrunde liegende Bildinformation, insbesondere deren Streuung innerhalb verschiedener Gutbilder, angepasst. In homogenen Bildregionen, in denen eine Druckfarbe vollflächig gedruckt wird, ist die Streuung klein und demzufolge auch der Schwellwert sehr niedrig. Im Kantenbereich, strukturierten Regionen (Text) und Rasterbildern ist durch die Fertigungstoleranzen und die Abtastung bedingt die Streuung wesentlich höher, weshalb sich hier ein höherer Schwellwert ergibt. Zusätzlich kommt im Kantenbereich eine Relokation des Templates zum Einsatz, um die Verzugstoleranz sicherzustellen. Dabei ist eine Relokation nur senkrecht zur Kante und nicht in Richtung der Kante zulässig. Während der Generierung des Golden Templates wird für jede Bildregion ein Streuungstensor berechnet, der den Suchbereich für die zulässige Verschiebungen festlegt.

Fehlerklassifikation unter Einbeziehung der Farbinformation

Für den Drucker ist es eine gute Hilfestellung, wenn das Prüfsystem eine festgestellte Abweichung einem konkreten Druckwerk zuordnen kann, wo dann ein Eingriff durch den Bediener erfolgen muss. Dazu ist es erforderlich, die Grundfarbe

und die Druckfarben in der Reihenfolge ihres Aufbringens anzulernen, so dass ein Stack der Farbschichten vorliegt. Das System analysiert in festgestellten Fehlerregionen die Sollfarb- und die Istfarbwerte und versucht, diese den angelernten Farbklassen zuzuordnen. Aus der Position dieser Farben im Stack kann geschlussfolgert werden, ob eine Farbe nicht gedruckt wurde, eine Farbe einen Versatz aufweist, eine Farbe verschmiert wurde oder eine Fremdfarbe (Verschmutzung) vorliegt.

Farbmetrische Überwachung der Lichtquelle

Als Beleuchtung setzen wir eine Kaltlichtquelle mit HQI-Lampe ein. Der Vorteil von HQI-Lampen gegenüber Weißlicht-LEDs liegt in der höheren Lichtleistung und der besseren spektralen Charakteristik. Die Glasfaser-Lichtleiter haben zudem den Vorteil, dass die Wärmequelle vom Ort der Beleuchtung und damit vom Prüfling räumlich getrennt ist, so dass mehr Freiheiten bzgl. der Wärmeabfuhr bestehen.

Das Licht der HQI-Lampe wird durch Überlagerung der Emissionen der einzelnen Leuchtstoffe in der HQI-Lampe gebildet. Zu den Stoffen zählen: Natrium, Thallium, Lithium, Indium, Quecksilber und die Lanthanoiden Dysprosium, Holmium, Thullium. Bei Temperaturschwankungen des Brenners bzw. bei Alterung ändern sich die Intensitäten der Emissionen der einzelnen Stoffe unabhängig voneinander. Damit ändern sich auch das emittierte Spektrum und somit die Farbe des Lichtes.

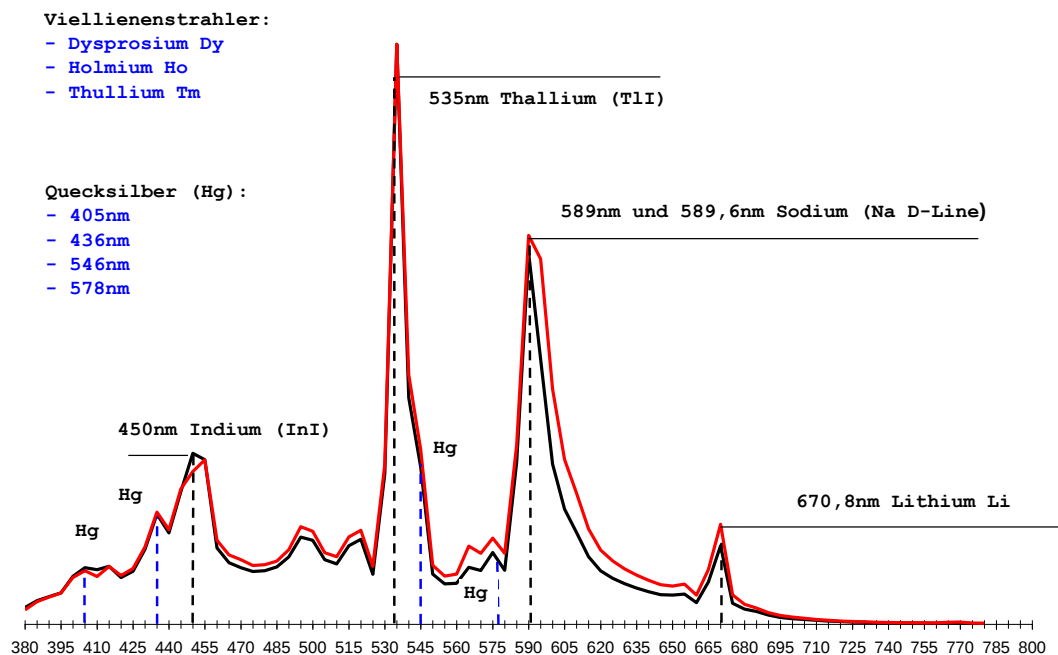


Abb.5 Spektrum einer HQI-Lampe

Die Stoffe bzw. ihre Spektren lassen sich zu 6 Gruppen zusammenfassen. Dies ist wichtig für die Eindeutigkeit der spektralen Rekonstruktion bei einer Messung des Spektrums mit dem Multispektralsensor.

Vorbereitung

Zunächst wurden drei verfügbare HQI-Strahler unterschiedlichen Alters mehrfach mit einem Doppelmonochromator spektral vermessen.

Weiterhin wurde die spektrale Empfindlichkeit der eingesetzten Zeilenkamera ermittelt. Dazu griffen wir auf die Herstellerangaben zurück. (Eine eigene Messung mit dem Doppelmonochromator ist geplant.)

PC-30 4K Sensor Responsivity

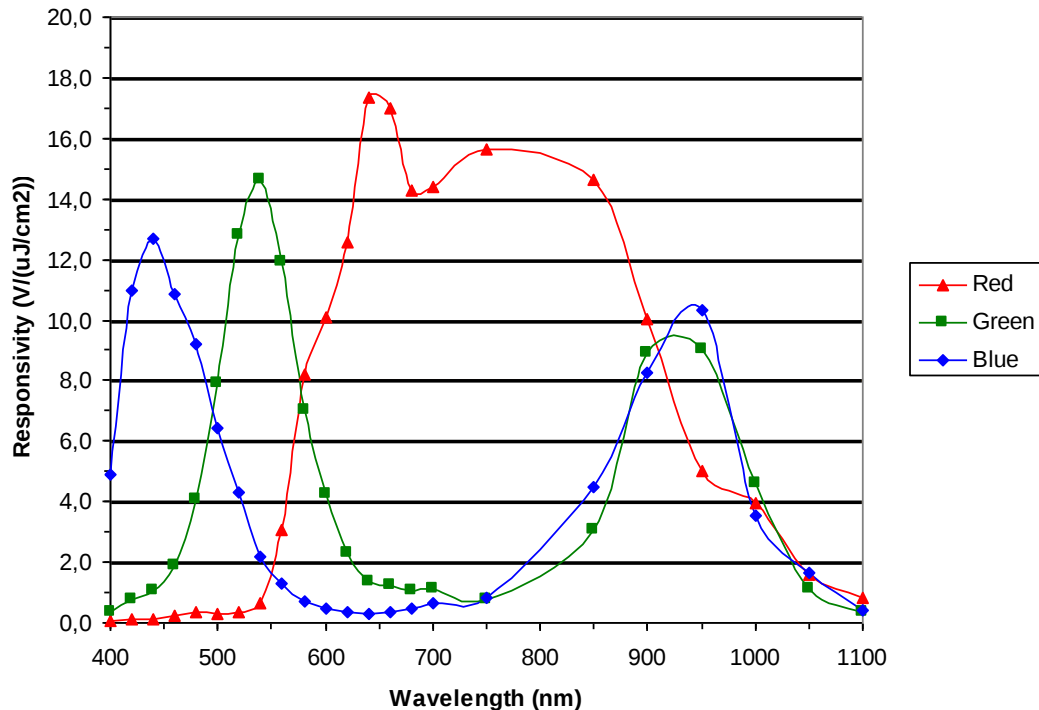


Abb.6 Empfindlichkeit des CCD-Zeilensensors der Kamera

Methodik

Grundidee zur Überwachung der Lichtquelle mittels einer Farbsensorik

Eine Aufgabe des Druckbildkontrollsystems ist die Überwachung der Farbkonstanz der Bedruckung. Aus der multiplikativen Verknüpfung von Lichtquellenspektrum und Remissionsspektrum des Prüflings folgt, dass man nicht sicher feststellen kann, ob eine gemessene Farbabweichung von einer Veränderung der aufgetragenen Farbe oder der Beleuchtung herrührt.

Deshalb ist die unabhängige Überwachung der Lichtquelle unumgänglich. Aus der Überwachung der Farbtemperatur und Lichtstärke der Lichtquelle ergeben sich folgende Ansätze für die Kompensation von Abweichungen:

- Regelung der Lichtquelle selbst zur Konstanthaltung der Parameter (möglich bei Lichtquellen mit spektraler Synthese)
- Berücksichtigung der Abweichungen der Lichtquelle anhand von Korrekturwerten im Soll-Ist-Vergleich (Softwarelösung)
- Wenn keine Möglichkeit besteht, aufgrund ihres Funktionsprinzips die Lichtquelle selbst zu beeinflussen, die Kameraparameter zu regeln, so dass das System aus Lichtquelle und Kamera als relativ konstant angenommen werden kann (die Empfindlichkeitskurven der Kamera können nicht verändert werden, möglich ist nur eine Matrizierung der Farbwerte)

In dieser Arbeit wird der 3. Ansatz verfolgt.

Verfahren zur Überwachung der Lichtquelle wurden schon früher beschrieben. So besteht bei einigen Anwendungen die Möglichkeit, eine Weißreferenz in das Bildfeld

der Kamera einzubringen. Damit misst die Kamera indirekt die Farbwerte der Beleuchtung. Es muss nur sichergestellt werden, dass die Weißreferenz nicht verschmutzt. Dies ist in der Druckindustrie teilweise eine nur schwer realisierbare Forderung.

In unserem Ansatz soll die Messung der Lichtfarbe direkt in der Lichtquelle erfolgen, wo die Verschmutzung eine geringere Rolle spielt.

Verwendung eines Dreibereichssensors zur Bestimmung des Lichtquellen-Farbortes

Im ersten Schritt wurde die Verwendung eines Dreibereichssensors untersucht. Dazu diente der True-Color-Sensor MTCS der Fa. MAZeT. Der Sensor ermittelt entsprechend der Charakteristik der Interferenzfilter die XYZ-Werte des auftreffenden Spektrums.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{s(\lambda)} = k_{s(\lambda)} \cdot \int_{\lambda=380nm}^{780nm} s(\lambda) \cdot \begin{bmatrix} x(\lambda) \\ y(\lambda) \\ z(\lambda) \end{bmatrix} \cdot d\lambda$$

mit $s(\lambda)$ Farbreiz eines Selbstleuchters

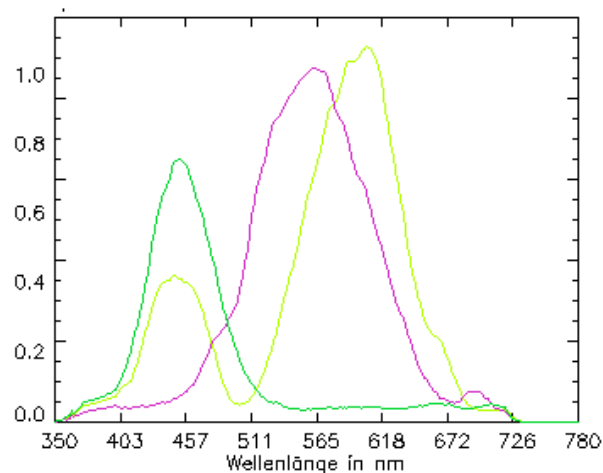


Abb.7 Sensorempfindlichkeiten des True-Color-Sensors

Bei Dreibereichssensoren kann die Korrektur nur anhand der gemessenen Farbwerte, d.h. ohne spektrale Analyse, erfolgen. Eine direkte Übertragung der Lichtquellenfarbwerte bzw. entsprechender Differenzen in eine Kamerakorrektur setzt die Ermittlung einer Transformationsmatrix voraus. Entsprechend den bekannten Ansätzen für das Ausgleichsverfahren ist dazu eine bestimmte Zahl von Testfarben zu vermessen, d.h. Referenzfarben werden gleichzeitig mit Farbsensor und Kamera vermessen. Weiterhin muss die Messung bei verschiedenen Lichtspektren vorgenommen werden. Dazu dient die Einschaltphase der Lichtquelle. Unsere Ergebnisse waren jedoch nicht befriedigend. Die Farbräume der Kamera und des Sensors sind offensichtlich so verschieden, dass keine geeignete lineare Matrizierung ermittelt werden konnte. Insbesondere bei geringen Lichtintensitäten traten erhebliche Abweichungen zwischen Messung und Schätzung auf. Andere Korrekturansätze wurden nicht untersucht, weil die Korrektur der Kameradaten in Echtzeit in der Kamera nur mit einer linearen Matrizierung möglich ist. Die Farbwiedergabe der Kamera konnte also mit den Sensorergebnissen nicht modelliert werden.

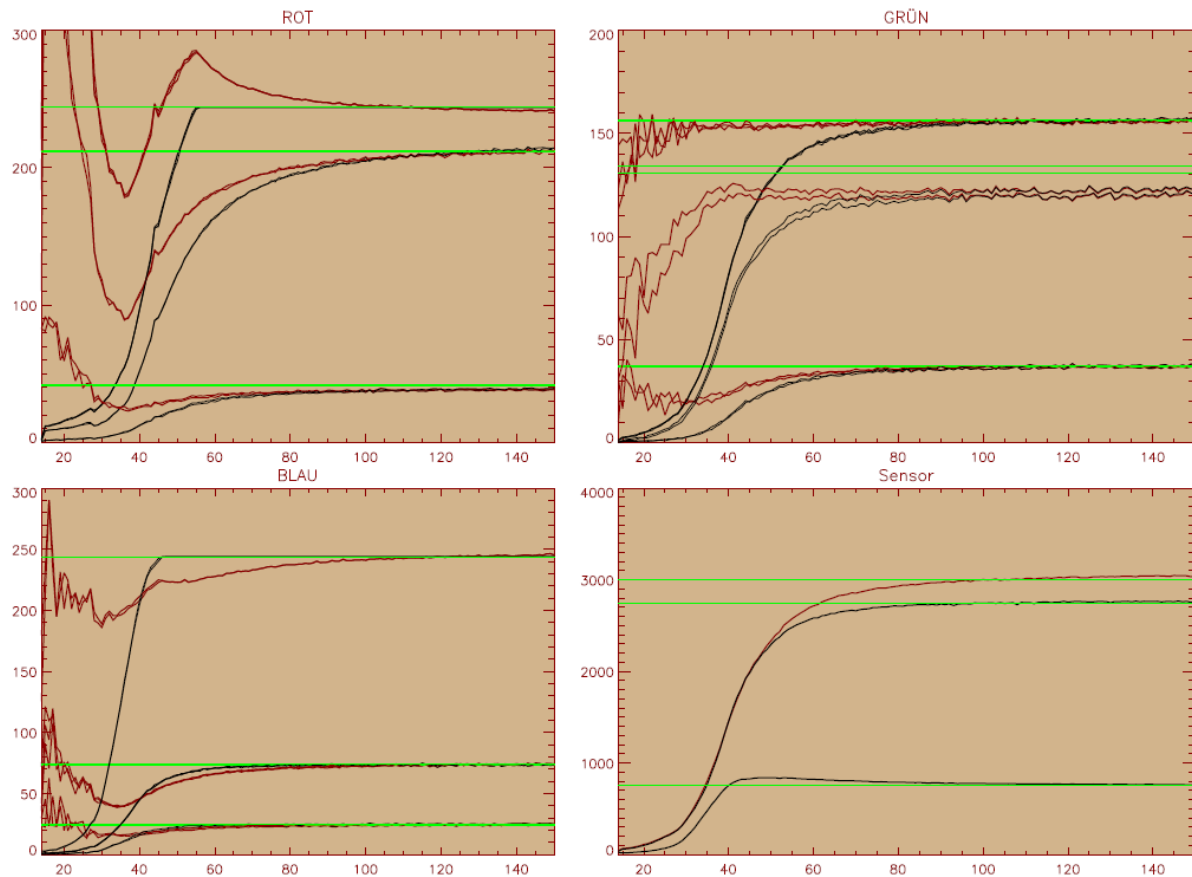


Abb.8 Gemessene und geschätzte Farbverläufe mit Dreibereichssensor (schwarz = Messwerte, rot = Schätzung)

Verwendung einer Mehrbereichssensorik und anschließende Schätzung der spektralen Charakteristik

Zur Messung dient der Multispektralsensor MMCS6 der Fa. MAZeT mit 6 spektralen Kanälen und einem panchromatischen Kanal. Der MMCS6 ist ein neu entwickelter monolithischer Sensor mit schmalbandigen Metallinterferenzfiltern und eröffnet durch die höherer Kanalzahl gegenüber dem Dreibereichssensor die Möglichkeit der quasi-spektralen Rekonstruktion [1] bei einem vergleichbaren Preisniveau.

Wie bereits in einem früheren Beitrag [2] dargestellt, können mit 6 spektralen Kanälen 6 unabhängige Parameter eindeutig geschätzt werden. Dies steht nicht im Widerspruch zur quasispektralen Rekonstruktion, bei der die Dimension des Merkmalsraums erweitert wird, wobei durch die Rekonstruktionsvorschrift unter allen möglichen Rekonstruktionen nur eine ausgewählte berechnet wird. Die Qualität der Rekonstruktion hängt dabei von der Größe und Qualität der zur Berechnung der Rekonstruktionsvorschrift verwendeten spektralen Targetsätze ab. Bei einem stark eingeschränkten Targetsatz, wie es bei der HQI-Lampe der Fall ist, muss durch a priori-Wissen das der Rekonstruktion zugrunde liegende Modell verfeinert werden und die Berechnung der Rekonstruktionsvorschrift regularisiert werden.

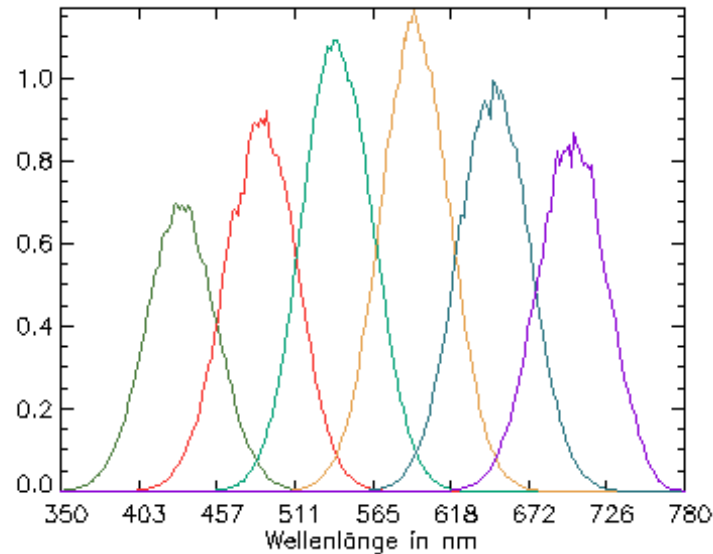


Abb.9 Sensorempfindlichkeiten des Multispektralsensors

Das Spektrum der HQI-Lampe musste demnach durch 6 unabhängige Parameter beschrieben werden. Dies haben wir mittels Zusammenfassung einzelner Spektrallinien zu Gruppen erreicht. Die Gruppen bilden dabei die Spektren der einzelnen Stoffe nach. Da die HQI-Lampe mehr als 6 Leuchtstoffe enthält, wurden die Elemente mit geringem Masseanteil und damit geringem Strahlungsanteil zusammengefasst. Jede Gruppe wird durch eine Summe von Gauß-Funktionen mit fester Mittenwellenlänge beschrieben, deren Amplitude und Streuung während der Modellbildung ermittelt wird.

$$\varphi(\lambda) = \sum_{k=1}^6 \sum_{j=1}^{j_k} a_{k,j} \cdot \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \lambda_{k,j}}{\sigma_{k,j}} \right)^2 \right)$$

Wie bereits oben beschrieben, ändert sich die spektrale Verteilung der Lichtquelle überwiegend durch Änderungen der Strahlungsanteile der einzelnen Stoffe. Dieses Verhalten wird in erster Linie durch die unterschiedlichen Verdampfungstemperaturen der Stoffe und damit unterschiedliche Konzentrationen verursacht. Die Temperaturabhängigkeit der Strahlung der Gase selbst übt dagegen einen wesentlich kleineren Einfluss auf das emittierte Spektrum aus. Somit können alle auftretenden Spektren als Linearkombination der spektralen Gruppen beschrieben werden, d.h. die Parameter der Gauß-Funktionen innerhalb einer Gruppe werden als konstant angenommen. Es ergibt sich:

$$\varphi(\lambda) = \sum_{k=1}^6 c_k \cdot \varphi_k(\lambda)$$

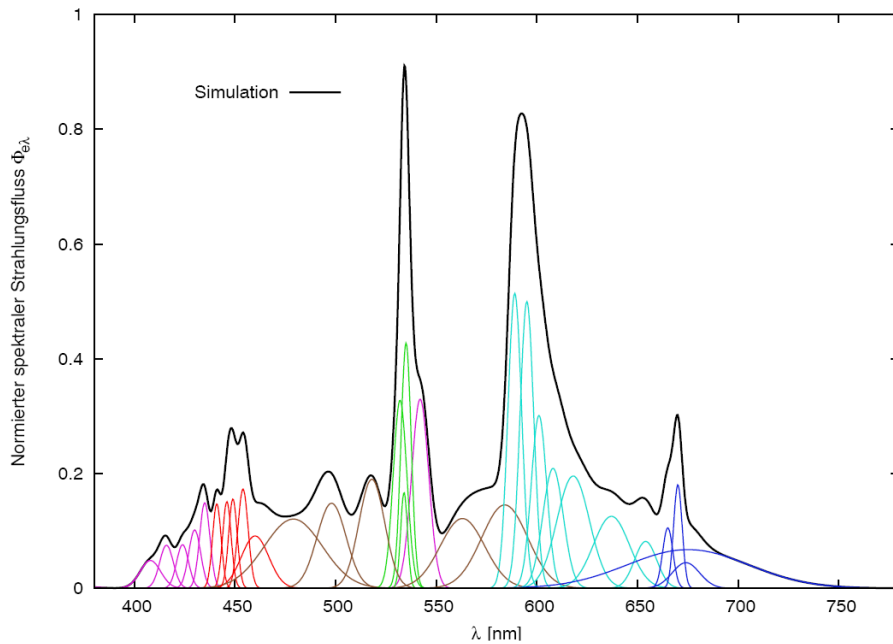


Abb.10 Approximation des HQI-Spektrums durch gruppierte Gaußfunktionen

Für die spektrale Rekonstruktion hoher Güte ist es erforderlich, wie bereits in [1] vorgestellt, einen optimalen Interpolator mittels des von uns entwickelten Verfahrens der iterativen targetbezogene Pseudo-Inverse zur Schätzung der spektralen Charakteristik aus den Messwerten des Multispektralsensors zu berechnen. Dazu wurde mit Hilfe der Modellbeschreibung durch zufällige Variation der c_k eine Vielzahl von Spektren gebildet, so dass eine ausreichende Datenbasis zur Verfügung steht. Zur Verifikation der Ergebnisse dienten die gemessenen Spektren der HQI-Lampe.

Modellierung der Farbwiedergabe der Kamera

Das aus den Messwerten des Multispektralsensors rekonstruierte, approximierte Spektrum dient nun als Eingangswert für die Simulation der von der Kamera gelieferten Farbwerte. Die RGB-Farbwerte für den Weißpunkt ergeben sich als Bewertung des Spektrums mit den spektralen Empfindlichkeitskurven der Kamera.

Berechnung einer Korrekturmatrix aus Soll- und Istfarbwerten

Zu einem bestimmten Zeitpunkt t_0 wird die Weißkalibrierung der Kamera vorgenommen, d.h. das Spektrum der Lichtquelle wird als Referenzspektrum erfasst und die Kanalverstärkungen der Kamera einmalig festgelegt.

In regelmäßigen Abständen wird nun das Spektrum der Lichtquelle erfasst und mit dem Referenzspektrum verglichen. Wenn die Abweichung der Spektren bzw. der resultierenden RGB-Farbwerte über einem Schwellwert liegt, muss die Kamera nachgestellt werden. Es werden neue Kanalverstärkungen berechnet und zur Kamera übertragen. Leider lässt die verwendete Kamera nur eine Verstärkungssteuerung in den Farbkanälen zu, eine Matrizierung ist nicht möglich.

Software

Zur Modellierung dieser Abläufe dient die im ZBS e.V. entwickelte Applikation SpecWorks und speziell das im Rahmen des Projektes entstandene Modul zur Lichtquellenüberwachung.

Danksagung

Die in diesem Beitrag präsentierten Arbeiten sind Teil des durch den Freistaat Thüringen geförderten Projektes **ADI** (2006 FE 0164), das durch Mittel der Europäischen Union im Rahmen des Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung kofinanziert wurde.

Literatur

- [1] Nestler, R; Franke K.-H., *Quasi-spektraler Mehrbereichsmessansatz durch Einsatz eines iterativ regularisierten, targetbezogenen Interpolators*, Vortragsband zum 12. Workshop Farbbildverarbeitung 2006 Ilmenau, ISSN 1432-3346, Hrsg. ZBS e.V. Ilmenau, S.: 33-43
- [2] Hufeland, C.; Franke, K.-H.; Jahn, R.; Nestler, R.: *Methodischer Ansatz einer LED-Normlichtquelle für Farbmesssysteme nach dem Dreibereichsverfahren*, Vortragsband zum 13. Workshop Farbbildverarbeitung 2007 Koblenz, ISBN 978-3-89959-627-4, (2007) 3–12