

Kompensation von Farbmesswertveränderungen infolge von Abstandsschwankungen des Messobjektes

Ansgar Wego, Hochschule Wismar

ansgar.wego@hs-wismar.de

Gundolf Geske, ASTECH GmbH

g.geske@astech.de

Zusammenfassung

Dieser Beitrag stellt eine Methode zur Kompensation von Signaländerungen eines Farbsensors infolge von Abstandsänderungen des Messobjektes zum Sensortastkopf vor. Die Abstandsänderung wird mittels einer zweikanaligen Reflexfaseroptik mit spezieller Messkopfgeometrie detektiert. Bei der Methode wird ausgenutzt, dass das Intensitätsverhältnis der mit den beiden Kanälen empfangenen Signale für den jeweiligen Objektabstand charakteristisch ist. Die charakteristische Abstandskurve der Faseroptik wird aufgezeichnet und zur Korrektur der Farbmesswerte herangezogen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Methode prinzipiell geeignet ist, Farbdetektionsaufgaben mit der Genauigkeit der menschlichen Farbwahrnehmung fehlerfrei durchführen zu können.

1 Einführung

1.1 Motivation

Die farblichen Eigenschaften von Produkten können einerseits zu deren Identifikation im Fertigungsprozess dienen. Andererseits ist die Farbe selbst oft ein Gestaltungsmerkmal eines Produktes und somit qualitätsrelevant. Einer korrekten Erfassung der farblichen Eigenschaften kommt daher eine stetig wachsende Bedeutung zu [1, 2].

Zur Erfassung von Farbwerten werden in der industriellen Automation überwiegend spektralselektive Sensoren – sogenannte Farbsensoren – eingesetzt. Farbsensoren arbeiten meist nach dem Dreibereichsverfahren. Danach liefern sie Intensitätswerte für die Spektralbereiche Rot, Grün und Blau. Die spezifische Kombination der drei gemessenen Intensitätswerte repräsentiert die vom Menschen wahrgenommene Farbe. Da immer Intensitäten des Lichtes in den jeweiligen drei Spektralbereichen gemessen werden, gehen alle Faktoren der Messgeometrie in die Messung mit ein [3]. Die Messgeometrie beschreibt die konkrete Anordnung aller optischen Bauteile im gesamten Lichtweg. Das Licht wird vom Lichtsender über das Messobjekt bis zum Empfänger geführt. Änderungen in der Anordnung

– insbesondere Abstandsänderungen des Messobjektes – führen unweigerlich zu Veränderungen des Farbmesswertes. Im Laboreinsatz werden zur Einhaltung der Messgeometrie oft Messköpfe zum Aufsetzen auf das Objekt verwendet.

Für viele Anwendungen im industriellen Umfeld ist eine Messobjektberührung aber nicht zulässig. Die Forderung nach einer fixen Messgeometrie stellt somit eine große Hürde für die praxistaugliche Farberfassung dar. Der Messabstand zum Objekt schwankt dabei aus verschiedenen Gründen. Beispielsweise weil

- sich das Messobjekt auf einem höhenveränderlichen Förderband befindet.
- das Messobjekt selbst aufgrund seiner unebenen Oberfläche den Abstand zum Sensorsystem beeinflusst.
- unterschiedliche Größen des Messobjektes zur Abstandsvariation beitragen.
- das Messobjekt keine Führung hat und deswegen den Sensor in unterschiedlichem Abstand passiert.

Um die Farberfassung für mehr industrielle Anwendungen zugänglich und somit praxistauglicher zu machen, zielen die Bestrebungen auf eine Kompensationsmethode ab, die Abstandsschwankungen in gewissen Grenzen ausgleichen kann.

1.2 Stand der Technik

Farbsensoren im industriellen Umfeld werden häufig mit Lichtleitern (auch als Faseroptiken bezeichnet) ausgeführt. Eine Lichtführung mit Lichtleitern ermöglicht das Absetzen der Sensoreinheit vom eigentlichen Messort. Dies verschafft Vorteile besonders bei geringen Platzverhältnissen und bei besonderen Schutzanforderungen (z. B. bezüglich Temperatur, Feuchtigkeit, Explosionsschutz etc.) am Ort der Messung. Reflexfaseroptiken bieten dabei besonders kompakte Lichtführungen, da Beleuchtungs- und Empfangsfasern in einem gemeinsamen Tastkopf und Mantel gebündelt sind. Linsenoptiken, die auf den Lichtleiter-Tastkopf aufgesetzt werden können, erhöhen bei Bedarf den Messabstand bzw. verkleinern den Messpunkt.

Zur Lösung des Abstandsproblems sind aus der Literatur verschiedene Ansätze bekannt. Dabei wurden bislang im Wesentlichen folgende prinzipielle Wege verfolgt:

- a) Messung des Objektabstandes mit separaten optischen Messmethoden und Korrektur der Farbwerte [4]
- b) Überbeleuchtung des Messobjektes mit homogener Leuchtdichte [5]
- c) Ausnutzung der Eigenschaften von Linsenoptiken zur Abschwächung des Abstandseffektes

Zu a): Bei den Abstandsmessenden Prinzipien kommen z. B. Triangulationsverfahren zur optischen Abstandserfassung zum Einsatz. Die Intensitätsfunktion eines jeden Farbkanals

wird in Abhängigkeit des Abstandes im Sensor gespeichert und später zur Korrektur herangezogen. Neben den zusätzlich benötigten Komponenten für den Triangulationssensor stellen auch die prinzipbedingt nicht deckungsgleichen optischen Achsen für Farbmessung und Abstandsmessung einen Nachteil dieses Ansatzes dar.

Zu b): Eine gewisse Abstandsunabhängigkeit kann dadurch erreicht werden, dass das Messobjekt mit einem deutlich größeren Lichtfleckdurchmesser beleuchtet wird, als für den Empfänger messfleck erforderlich ist (sogenannte Überbeleuchtung). Die Objektbeleuchtung erfolgt in einem festen Winkel, während der Empfang senkrecht zum Messobjekt orientiert ist. Der Beleuchtungsfleck besitzt eine homogene Flächenleuchtdichte. Bewegt sich der Empfänger messfleck abstandsbedingt innerhalb der Grenzen des Beleuchtungsflecks, so ändert sich das Intensitätssignal nur moderat. Der sichtbare Lichtfleck stimmt aber wegen der starken Überbeleuchtung nicht mit dem eigentlichen Messpunkt überein.

Zu c): In geringem Maße unempfindlich gegenüber Abstandsänderungen sind Sensoren, die den „Totpunkt“ einer Linsenoptik ausnutzen. Im „Totpunkt“ liegt ein Intensitätsmaximum bei einem bestimmten Arbeitsabstand für die Optik vor. Der Intensitätsabfall in einem schmalen Bereich zu beiden Seiten des „Totpunktes“ ist mehr oder weniger gering (vgl. Abbildung 1). Eine brauchbare Abstandsunabhängigkeit ist nach diesem Prinzip nicht gegeben.

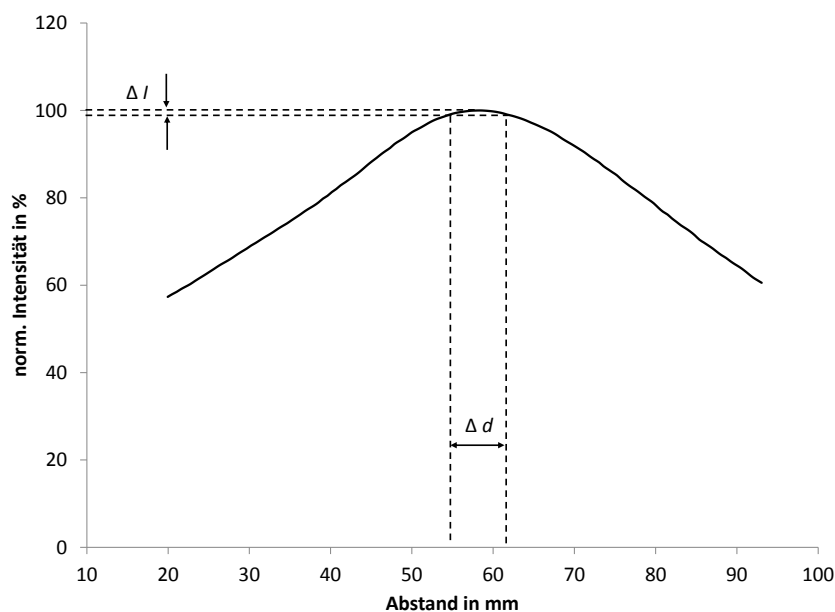


Abbildung 1: Intensitätsgang einer Lichtleitervorsatzoptik

2 Methode der Abstandskompensation

2.1 Prinzip

Es wurde eine neue Methode zur Abstandskompensation entwickelt, welche auf der Nutzung von zwei verschiedenen Intensitätsgängen von Empfangslichtleitern beruht. Den grundsätzlichen Aufbau eines solchen Farbsensors mit entsprechenden Lichtleitern zeigt Abbildung 2. Der Farbsensor enthält eine Weißlicht-LED als Lichtquelle sowie zwei Dreibereichsfotodioden als Lichtempfänger. Die Dreibereichsfotodioden sind je einem Haupt-

und einem Nebenempfangskanal zugeordnet. Haupt- und Nebenempfangskanal müssen hinsichtlich ihrer elektrischen, optischen sowie spektralen Eigenschaften identisch sein. Entscheidend für das Prinzip ist, dass die beiden Empfangskanäle bezüglich ihrer Abstandsempfindlichkeit eine unterschiedliche charakteristische Funktion aufweisen.

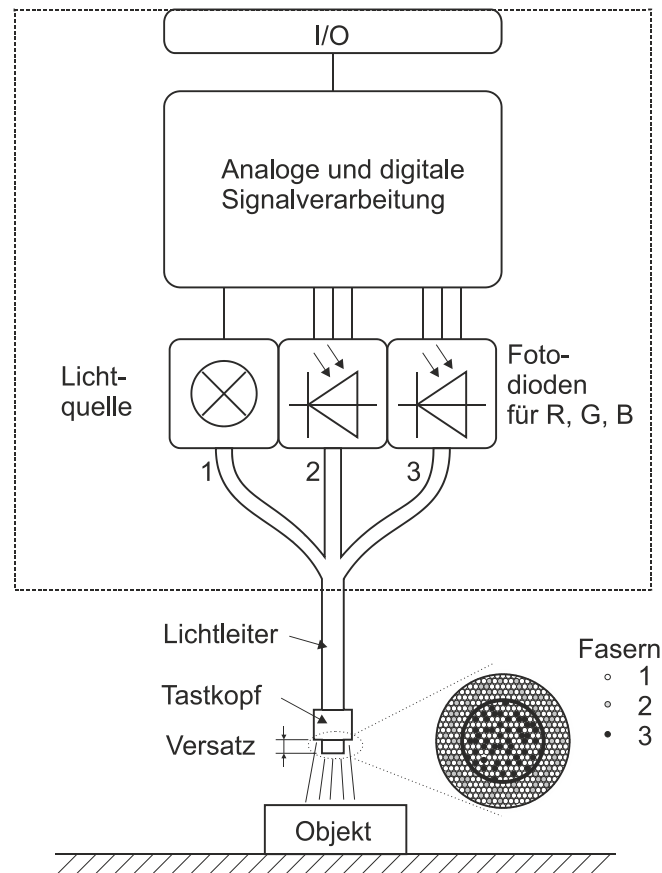


Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines kompensierten Farbsensors

Die Abstandsempfindlichkeitsfunktion der beiden Empfangskanäle wird dabei durch die Intensitätsgänge der eingesetzten Empfangslichtleiter festgelegt. Von den gemessenen Intensitätswerten der beiden Empfangskanäle wird der Quotient gebildet. Als Intensitätswert wird der Mittelwert der drei Spektralbereiche der Dreibereichsfotodioden verwendet. Der Quotient der Intensitätswerte ist eine Funktion des Abstandes und weitgehend unabhängig von den reflektiven Eigenschaften des Messobjektes [6]. Die spezifischen Abstandsfunktionen des Sensorsystems werden bei der ersten Inbetriebnahme für die beiden Empfangskanäle ermittelt und im Mikrokontroller in einer LUT abgespeichert. Aus der abgespeicherten Funktion wird dann während der Betriebsphase des Farbsensors ein Korrektursignal zur Kompensation der abstandsvariationsbedingten Messwertänderungen der drei spektralen Empfangssignale des Hauptkanals gewonnen. Im Anschluss wird aus den korrigierten Signalen des Hauptkanals der Farbwert berechnet.

Die abstandsvariationsbedingte Messwertabweichung, bezogen auf den Anfangsmesswert zu Beginn der Abstandsänderung, ist nach der Kompensation gering. Zur Beurteilung der Qualität der Kompensationsmethode wird die Farbabweichung im $L^*a^*b^*$ -Farbraumsystem bestimmt.

2.2 Aufbau des Sensorlichtleiters

Der im Farbsensor eingesetzte Lichtleiter bestimmt wesentlich die Eigenschaften und die Qualität der Kompensation. Erprobt wurde eine koaxiale Anordnung der Empfängerlichtleiter mit fixem Versatz im Lichtleitertastkopf (siehe Abbildung 2 unten). Der Lichtleiter besteht aus vielen einzelnen Glasfasern mit ca. 50 μm Durchmesser. Alle Einzelfasern haben gleiche optische Eigenschaften. Die Einzelfasern des Lichtleiters werden auf der Sensorseite in drei Faserbündel geteilt. Ein Bündel wird für die Beleuchtung (Ziffer 1), ein Bündel für den Hauptempfangskanal (Ziffer 3) und ein Bündel für den Nebenempfangskanal (Ziffer 2) verwendet. An der Messobjektseite des Lichtleiters erfolgt eine Aufteilung der Einzelfasern in zwei Faserbündel. Ein Faserbündel befindet sich in der Tastkopfmitte und enthält 50 % der Fasern vom Beleuchtungslichtleiter sowie 100 % der Fasern vom Hauptempfangskanal. Das zweite Faserbündel ist koaxial und um 2 mm zurückgesetzt im Tastkopf des Lichtleiters angeordnet. Es enthält die übrigen 50 % der Fasern vom Beleuchtungslichtleiter sowie 100 % der Fasern vom Nebenempfangskanal. Die Anordnung der Einzelfasern im Tastkopf erfolgt statistisch gemischt. Die statistische Mischung hat eine Homogenisierung des Beleuchtungs- und Empfangslichtflecks auf dem Messobjekt zur Folge und wirkt sich somit positiv auf die Messung aus. Ein Foto des beschriebenen Tastkopfes zeigt Abbildung 3. Der Tastkopf ist für einen praxistauglichen Einsatz mit einem Gewinde zur einfachen Befestigung versehen.



Abbildung 3: Tastkopf mit koaxialer Faseranordnung

3 Ergebnisse

3.1 Charakteristik des Lichtleiters

Der Versatz von Haupt- und Nebenempfangsfasern im Tastkopf des Lichtleiters hat eine unterschiedliche charakteristische Abstandsfunktion (Intensitätsfunktion) für die beiden Kanäle zur Folge. Die Abstandsfunktionen wurden automatisiert mit einem dreiachsigen Koordinatentisch aufgenommen. Die Vermessung der zugehörigen Abstände erfolgte mit einem Lasertriangulationssensor. Die Genauigkeit der verwendeten Abstandsschritte zur Aufzeichnung der Kurven lag im unteren Mikrometerbereich. Abbildung 4 zeigt die Funktionen für einen variierenden Objektabstand z im Bereich von $z = 5 \dots 15$ mm.

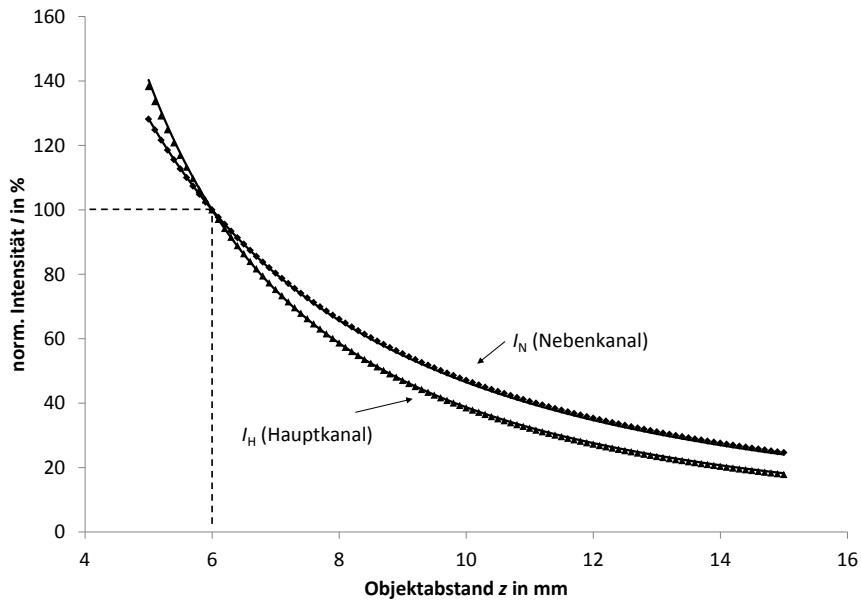


Abbildung 4: Intensitätsfunktionen des Lichtleiters

Die Normierung der Intensitäten beider Empfangskanäle erfolgte bei einem Objektabstand von $z = 6$ mm. Der Abstand von $z = 6$ mm korrespondiert mit einer Aussteuerung des Sensor von 70 %. Somit wird eine Aussteuerreserve bei Abstandsverringerung des Messobjektes bis herab auf $z = 5$ mm von 30 % gewährleistet. Die Gefahr einer sofortigen Signalübersteuerung bei Abstandsverringerung wird hierdurch verhindert.

Durch Verhältnisbildung der beiden Intensitätsfunktionen entsprechend Gl. (1) erhält man eine neue Funktion, welche charakteristisch für den Objektabstand ist.

$$Q(z) = \frac{I_N(z)}{I_H(z)} \quad (1)$$

In Abbildung 5 ist diese charakteristische Funktion des Intensitätsverhältnisses in Abhängigkeit des Objektabstandes ($Q = f(z)$) dargestellt.

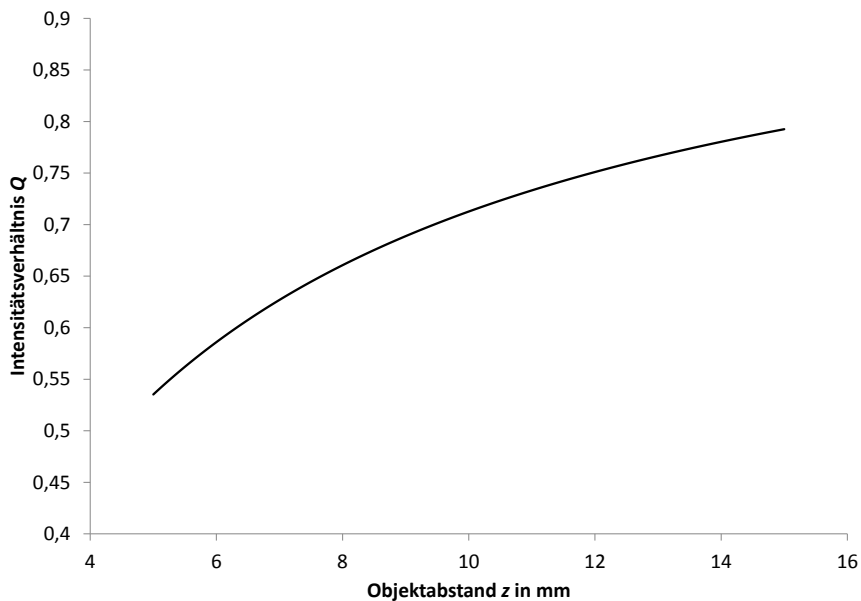


Abbildung 5: Charakteristische Abstandsfunction

3.2 Kompensationsverhalten

Die Funktion $C = f(Q)$, mit der die aktuellen Intensitätswerte des Rot-, Grün- und Blaukanals des Hauptempfangskanals kompensiert werden, zeigt Abbildung 6. Die Kompensationskurve ist die reziproke Kurve zur entsprechenden Intensitätsfunktion in Abhängigkeit des Intensitätsquotienten ($I = f(Q)$).

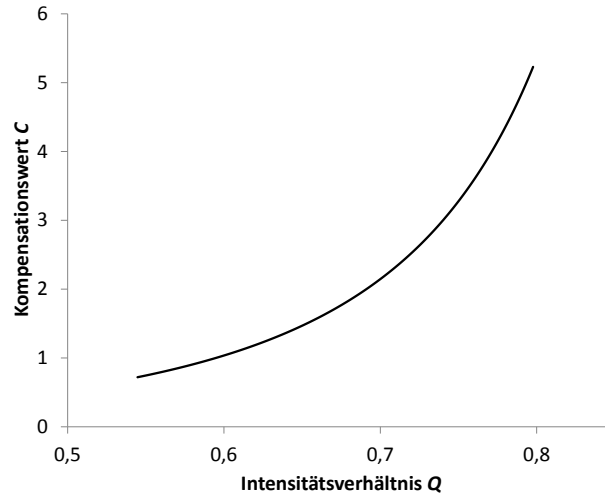


Abbildung 6: Kompensationsfunktion

Zur Beurteilung der Qualität der Kompensationsmethode wurden Messungen auf verschiedenfarbigen Messobjekten durchgeführt und die entsprechenden $L^*a^*b^*$ -Farbwerte berechnet. Für die Berechnung von $L^*a^*b^*$ -Farbwerten sind CIE¹-konforme XYZ-Farbwerte erforderlich. XYZ-Farbwerte sind die Intensitätswerte für den Rot-, Grün- und Blaubereich. Durch den Einsatz von speziellen Farbfiltern im Sensor, welche die sogenannten Normspektralwertfunktionen entsprechend den Vorgaben der CIE erfüllen, sind die Voraussetzungen für die Berechnungen gegeben.

Die Abweichung des $L^*a^*b^*$ -Farbwertes (Berechnung nach Gl. (2)) wurde mit der Änderung des Objektabstandes z aufgezeichnet ($\Delta E = f(z)$). Dies ermöglicht eine der Farbwahrnehmung angepasste Beurteilung der Kompensationsqualität. ΔE -Werte unter 1 sind allgemein nicht sichtbar und stellen somit einen sinnvollen Schwellwert dar.

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (2)$$

Abbildung 7 zeigt die Messergebnisse für verschiedene Farben. Zum Vergleich sind die unkompensierten Farbabweichungen in das Diagramm mit eingetragen worden. Es ist gut zu erkennen, dass sich die kompensierten Farbwerte im gesamten Arbeitsbereich von $z = 5 \dots 15$ mm nur wenig ändern und dass die Sehschwelle von $\Delta E = 1$ nicht wesentlich überschritten wird. Dagegen weichen die unkompensierten Farbwerte ober- und unterhalb des Bezugsabstandes von $z = 6$ mm stark ansteigend ab. Durch die Kompensation kann demnach eine nach menschlichem Empfinden fehlerfreie Farberkennung auch bei variierenden Messabständen gewährleistet werden.

¹ CIE - Commission internationale de l'éclairage (Internationale Beleuchtungskommission)

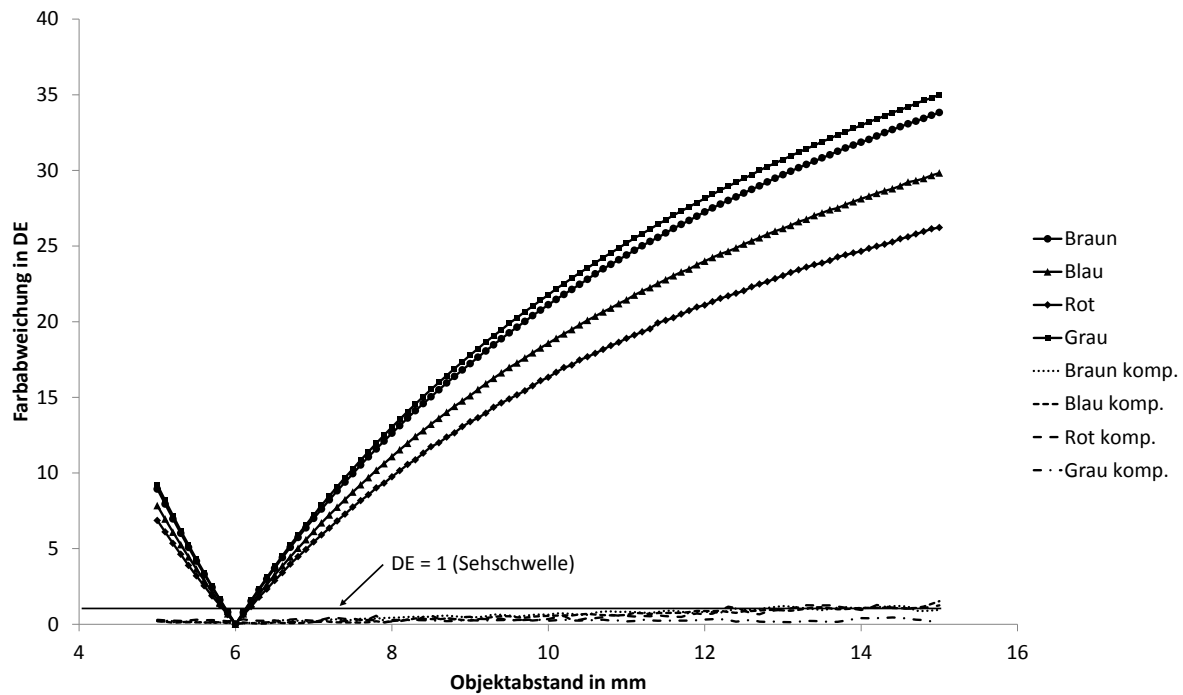


Abbildung 7: Farbabweichung in ΔE mit und ohne Kompensation

Literatur

- [1] Wego, Ansgar; Geske, Gundolf: *Korrekte Erkennung von Farben und Oberflächen mit Farbsensoren*, Photonik, Ausgabe 5/2010, S. 38 - 42, 2010
- [2] Wego, Ansgar; Geske, Gundolf; Ahrendt, Volker: *Accurate color measurement - Measuring accuracy of tristimulus color sensors in industrial automation*, LASER+PHOTONICS 05/2011, S. 54 - 57, 2011
- [3] Richter, Manfred: *Einführung in die Farbmeterik*, S. 140 ff., Walter de Gruyter, 1981
- [4] Shigeru, Yasuda; Hayami, Hosokawa: *Reflection Type Sensor*, Patentschrift JP 2000131243, 1998
- [5] Xu, Zhiling; Vander Jagt, Peter; Peterson, Steven Henry: *Industrial robust non-contact color measurement device*, Patentschrift EP 2169368
- [6] Li, Xisheng; Nakamura, Kentaro; Ueha, Sadayuki: *Reflectivity and illuminating power compensation for optical fibre vibrometer*, Meas. Sci. Technol. 15, S. 1773 – 1778, 2004