

Moderne Farbsensoren für die Industrieautomation

Prof. Dr.-Ing. Ansgar Wego, Hochschule Wismar

Dr.-Ing. Gundolf Geske, ASTECH Angewandte Sensortechnik GmbH, Rostock

Farbsensoren bilden eine Untergruppe innerhalb der Optosensorik. Optosensoren wandeln allgemein optische Strahlung in elektrische Signale. Sie lassen sich in bildgebende (Kameras) und signalgebende Sensoren (z. B. Photometer) einteilen. Weiterhin erfolgt eine Einteilung nach dem erfassten Spektralbereich. Farbsensoren gehören danach zu den signalgebenden Optosensoren, die im sichtbaren Spektralbereich arbeiten. Speziell wird bei Ihnen der sichtbare Spektralbereich in drei oder mehr Bereiche unterteilt und selektiv erfasst sowie ausgewertet.

Der Farbbegriff und die Farbmessung sind in Normen geregelt [1]. Farbe ist demnach keine physikalische Messgröße, sondern eine Gesichtsempfindung des Menschen. Zur Farbmessung wird vom gesamten optischen Spektrum der Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm herangezogen. Die (Norm-) Farbwerte entstehen durch Bewertung der gemessenen spektralen Strahlungscharakteristik mit den sogenannten Normspektralwertkurven. Aus dieser Bestimmungsvorschrift für die Farbwerte leiten sich prinzipiell drei Messverfahren ab (Gleichheitsverfahren, Spektralverfahren, Dreibereichsverfahren), von denen heute bei Farbsensoren für die Industrieautomation in fast allen Fällen das Dreibereichsverfahren zur Anwendung kommt (Bild 1). Gründe hierfür sind folgende:

- Baugröße
- Verarbeitungsgeschwindigkeit
- Einfacher Aufbau
- Robustheit
- Preis

Anwendungen von Farbsensoren

Da jeder sichtbare Körper Licht reflektiert, besteht häufig sehr einfach die Möglichkeit, Farbe als Objektmerkmal direkt zu Erkennungszwecken heranzuziehen. Dies ist der Hauptgrund und Vorteil für vielfältig Anwendungsmöglichkeiten von Farbsensoren. Einige in der Automation vorkommende Anwendungen sollen exemplarisch genannt werden.

- Beschichtungskontrolle (z. B. Primer-Auftrag, Befettung)
- Lack- und Farbprüfungen (z. B. Einhaltung der Farbwerte beim Eloxieren, Lackieren)
- Farbcodeprüfung (z. B. KFZ-Sicherungen, Kappen von Blutprobenröhrchen)
- Farbsortierungen (z. B. Glasflaschenfarbe, farbige Kunststoffe)
- Anwesenheitskontrolle (z. B. O-Ring Bestückung, Verschlussdeckel)
- Materialübergangserkennung (z. B. Erkennung des Materialübergangs in transparenten Indikatorröhrchen zur Gasdetektion, Schnittkantenerkennung)
- Farb- und Druckmarkenerkennung (z. B. Druckmarken auf Offsetdruckbögen, Farbmarken auf Kugellagerschalen)

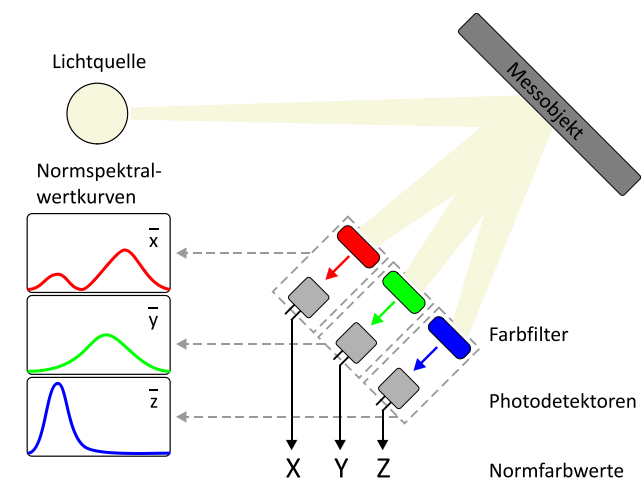


Bild 1: Prinzip des Dreibereichsverfahrens

- Lagekontrolle (z. B. Ober- und Unterseite von Folien oder einseitig beschichteten Dichtungen)
- Transmissionsmessungen (z. B. Farbumschläge in Flüssigkeiten, Filtergläser)
- Selbstleuchter (z. B. LED auf Farbe und Helligkeit testen)

Anforderungen an Farbsensoren

An moderne Farbsensoren werden im Bereich der Industrieautomation hohe technische Anforderungen gestellt, die sich aus den typischen Einsatzbedingungen der Sensoren ergeben. Wichtige Anforderungen sind:

- Robustheit
- Kompaktheit (kleine Bauform)
- Fremdlichtunempfindlichkeit
- Keine Temperaturdrift
- Keine Langzeitdrift
- Hohe Lebensdauer der internen Lichtquelle
- Austauschbarkeit
- Hoher Schutzgrad
- Eine dem menschlichem Farbempfinden entsprechende Farbverarbeitung
- Parametrierbarkeit für einen breiten Anwendungsbereich
- Flexible Anpassung an Messabstände und Messfleckgeometrien

Die Erfüllung der genannten Anforderungen stellt die Entwickler vor schwierige technische Aufgabenstellungen, die letztlich nur durch den Einsatz modernster Technologien, Entwicklungswerkzeuge sowie entsprechendes Know-how gelöst werden können.

Aufbau moderner Farbsensoren

Die Kernkomponenten moderner Farbsensoren bilden eine integrierte Sendelichtquelle, ein farbselektiver Photodetektor sowie ein leistungsfähiger Mikrokontroller. Bild 2 zeigt im Blockbild den funktionellen Aufbau eines modernen Farbsensorgerätes. Als Sendelichtquelle dient heute bei den modernsten Geräten eine Hochleistungs-Weißlicht-LED. Zwar haben Weißlicht-LEDs gegenüber Halogenlampen eine für die Farbdetektion weniger geeignete spektrale Charakteristik. Jedoch besitzen Sie bezüglich Lebensdauer, Effizienz und Modularität deutliche Vorteile. Durch eine geschickte Wärmeankopplung (an das bei hochwertigen Sensoren verwendete Metallgehäuse) kann die Leistungsfähigkeit dieser Hochleistungs-LEDs voll ausgeschöpft werden. Das Messlicht muss beim Dreibeereichsverfahren mit Hilfe von optischen Filtern, die in ihrer spektralen Charakteristik den Normspektralwertkurven entsprechen, in drei Kanäle für Rot (X), Grün (Y) und Blau (Z) separiert werden. Das Licht der drei Kanäle gelangt anschließend auf Photodetektoren, die einen elektrischen Strom proportional zur Bestrahlungsintensität erzeugen. Nach Filterung und Strom/Spannungswandlung werden die drei Farbsignale hochauflösend digitalisiert und stehen im Mikrokontroller zur digitalen Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Fremdlichtkompensation

Im ersten digitalen Verarbeitungsschritt wird das Fremdlicht eliminiert. Dies ist notwendig, da in den allermeisten Anwendungen Fremdlicht (Tageslicht und/oder Kunstlicht) unvermeidlich in der Umgebung der Messung vorhanden ist. Das Fremdlicht der Umgebung und das Sendelicht des Sensors überlagern sich additiv zum Messlicht. Kunstlicht ist typischerweise mit 100 Hz moduliert (doppelte

Netzfrequenz). Um das Fremdlicht vom Messlicht zu separieren gibt es mehrere Möglichkeiten. Als besonders effektiv erweist sich eine differentielle Methode.

Dazu wird das Sendelicht mit einer einstellbaren Frequenz und Pulsbreite getaktet (Chopperung). Synchron zum Sendelichttakt wird das Messlicht 3-kanalig abgetastet. Im Mikrokontroller des Sensorsystems wird kanalweise das Farbsignal als Differenz zwischen EIN- (Beleuchtungsphase) und AUS- Werten (Dunkelphase) berechnet. Bild 3 zeigt beispielhaft die Differenzbildung zur Fremdlichtkompensation bei Überlagerung des mit 1 kHz gechopperten Sendelichtes mit 100 Hz moduliertem Fremdlicht.

Dieses Messprinzip hat mehrere Vorteile. Durch eine geänderte Auswertung (Softwareeinstellung) kann auch Gleichlicht mit dem selben Gerät vermessen werden. Dazu wird die Differenzbildung lediglich ausgesetzt. Weiterhin werden durch eine Differenzbildung auch Dunkelströme und Schaltungsoffsets vollständig eliminiert. Zusätzlich ermöglichen kurze Einschaltimpulse eine effiziente Lichtausbeute bei geringer thermischer Belastung.

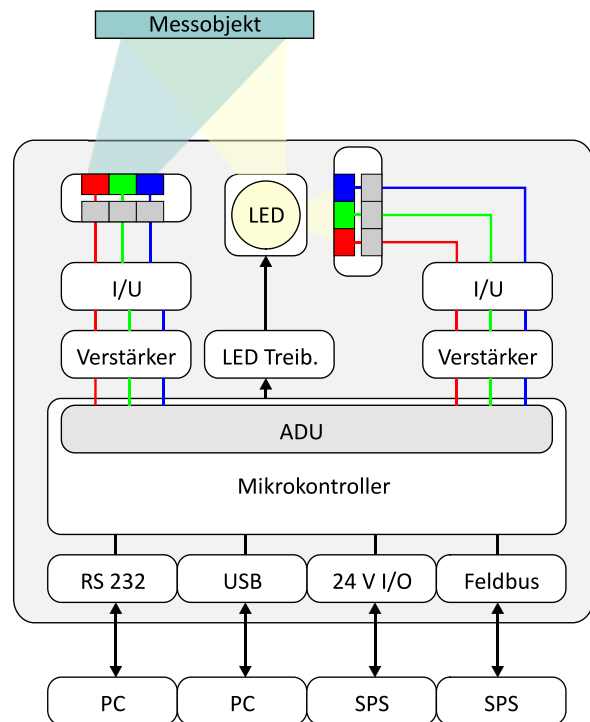


Bild 2: Blockschaltbild eines modernen Farbsensorgerätes

Für eine einwandfreie Funktion der Fremdlichtkompensation ist bei der Konstruktion darauf zu achten, dass der Dynamikbereich des A/D Wandlers nicht verlassen wird (im Bild 3 z. B. 0...3 V. Dies kann geschehen, wenn die Summe aus Sende- und Fremdlichtamplitude größer als der max. zulässige Eingangssignalwert des A/D Umsetzers ist. Da viele Faktoren aus der Anwendung wie Einbaulage, zu erkennende Farbe, Messabstand, Messfenstergröße, Reflexionseigenschaften der umgebenden Materialien usw. großen Einfluss auf die maximale Fremdlichtkompensationsfähigkeit haben, ist zur Einrichtung ein Signalmonitor notwendig.

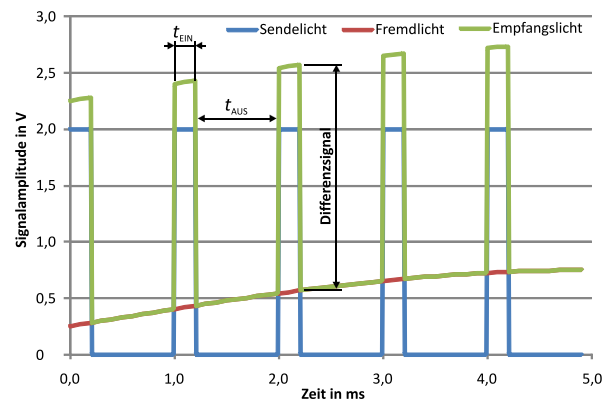


Bild 3: Differenzsignalbildung zur Fremdlichtkompensation

Der Signalmonitor gibt Auskunft über alle Messwerte während der Beleuchtungs- und Dunkelphase. Eine Signalübersteuerung ist bei bestimmten Anwendungen aber zulässig. Hierzu ein Beispiel. Es soll eine dunkle Materialoberfläche erkannt werden. Gleichzeitig treten aber auch sehr helle und gut reflektierende (glänzende) Oberflächen auf. Bei entsprechender Umgebungshelligkeit kommt es bei den hellen Materialien leicht zu einer Übersteuerung des Sensors. Diese spielt allerdings keine Rolle, da nur die dunklen Materialien erkannt werden sollen. Die Aussteuerung kann also auf diesen Farben vorgenommen werden. Dadurch wird der Signalbereich des Sensors besser für die interessierenden Farben ausgenutzt.

Farbwertkorrekturen

Eine häufig gestellte Anforderung an Farbsensoren besteht in dem Wunsch, Parametersätze unter den Sensoren (eines Typs) austauschen zu können. Dies erleichtert z. B. die Wartung von Maschinen wesentlich, bei denen ein Sensor ausgetauscht werden muss. Beim verwendeten Dreibereichsverfahren entstehen die gemessenen Farbwerte durch spektrale Bewertung (Filterung) des Messlichtes mit dem farbselektiven Photodetektor. Direkten Einfluss auf die gemessenen Farbwerte haben neben den analogen Schaltungseigenschaften also die spektrale Charakteristik des gesamten Sende- und Empfangspfades. Die bei anderen Messgeräten und Sensoren selbstverständliche Möglichkeit der Austauschbarkeit (Parameter oder Geräte selbst) wird bei Farbsensoren nach dem Dreibereichsverfahren durch große Exemplarstreuungen der Bauteile erschwert. Problematisch erweisen sich hier die verwendeten Weißlicht-LEDs. Die Hersteller messen Ihre LEDs daher aus und bieten diese in immer feiner werdenden Selektionen (sogenannten Binnings) an. Dennoch sind die spektralen Abweichungen zu groß, um eine Parameternaustauschbarkeit unter den Sensoren zu ermöglichen (siehe Bild 4).

Auch für die Filterkurven der Photodetektoren gilt eine große Exemplarstreuung. Hier treten Verschiebungen der Kurven bezüglich der Wellenlänge auf (Bild 5). Dies hat große Farbwertabweichungen zur Folge [2].

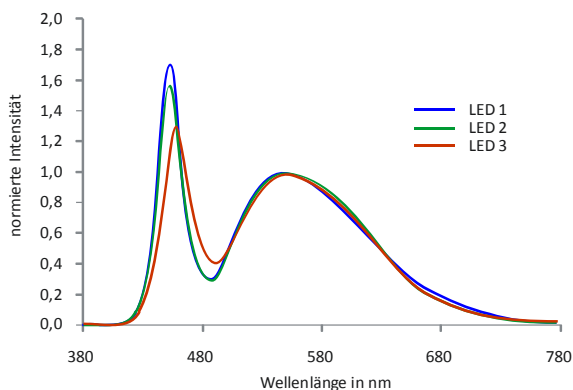


Bild 4: Spektrale Exemplarstreuung von Weißlicht-LEDs

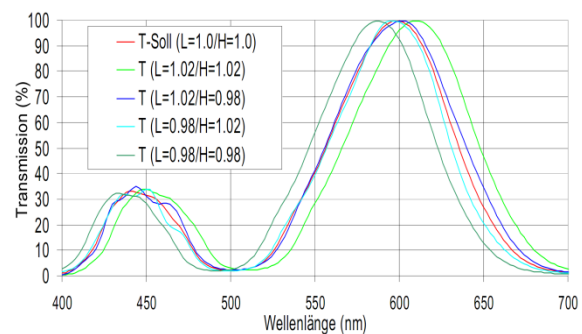


Bild 5: Spektrale Exemplarstreuung von Rotfilterkurven [2]

Eine gute Möglichkeit die Parameterstreuungen global auszugleichen und somit eine Methode, eine gute Übereinstimmung zwischen den Farbsensoren zu erzielen, besteht in der targetbezogenen Kalibrierung. Dazu wird mit Ist- und Soll-Farbwerten aus einem definierten Kalibriertarget eine lineare Korrekturmatrix berechnet. Im Ergebnis werden die Exemplarstreuungen auf ein Niveau reduziert, welches einen Austausch der Parameter der Sensoren für die meisten Anwendungen ermöglicht [3].

Driftkompensation

Temperatureinflüsse und Bauteilalterungen führen zum Driften der Farbwerte. Die temperaturbedingte Drift wirkt sich meist auf den kurzzeitigen Erkennungsprozess aus, während die Alterung der Bauteile eine langzeitige Drift zur Folge hat. Beide Effekte können die Funktion des Farbsensors erheblich stören. Einige Hersteller versuchen diese Drifterscheinungen mit Korrekturtabellen oder ähnlichen Mitteln zu beseitigen. Diese Mittel scheitern meist, da die Exemplarstreuungen keine verallgemeinerte Korrekturfunktion zulassen und die Ermittlung der korrekten Temperatur schwierig ist. Außerdem sind alterungsbedingte Drifterscheinungen auf diese Weise nicht korrigierbar. Wesentlich besser eignen sich Methoden, bei denen ständig Messwerte aus einem zusätzlichen Referenzmesspfad zur Korrektur herangezogen werden. Auf diese Weise können alle Drifterscheinungen erfolgreich kompensiert werden [4]. Bild 6 zeigt die Driftkurve eines kompensierten und eines

unkompensierten Farbsensors im Vergleich. Deutlich zu erkennen sind die einsetzende Alterung der Weißlicht-LED nach etwa einem Monat Dauerbetrieb. Ohne Kompensation wäre die Funktion des Sensors stark eingeschränkt.

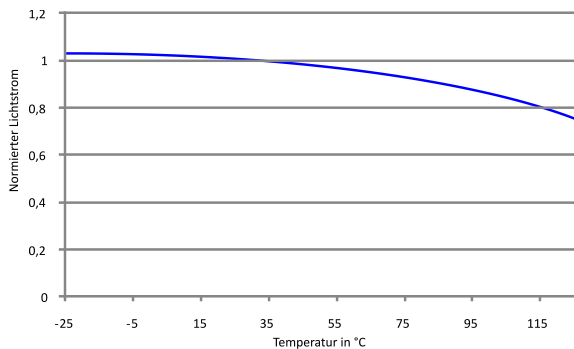


Bild 6: Lichtstromverlust einer Weißlicht-LED bei steigender Temperatur

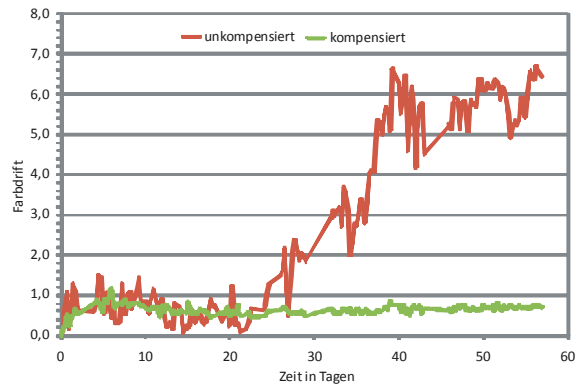


Bild 7: Farbdrift mit und ohne Kompensation [4]

Natürliche Farbverarbeitung

Eine wichtige Anforderung an Farbsensoren ist die natürliche (oder perzeptive - d. h. eine dem menschlichen Farbempfinden gerechte) Farbsignalverarbeitung. Dabei geht es darum, dass Farbabstände (und damit Farbunterschiede) vom Farbsensor genauso bewertet werden, wie ein menschlicher Beobachter dies tun würde. Andernfalls würden Entscheidungen des Farbsensors zu Fehlbewertungen führen [5]. Eine wichtige Voraussetzung für eine natürliche Farbverarbeitung besteht in der Transformation der Normfarbwerte XYZ in Farbkoordinaten eines empfindungsgerechten Farbraums. Hier hat sich der CIELAB Farbraum bewährt. Die Koordinaten dieses Farbraums sind die Helligkeitsachse L^* , die Rot-Grün-Achse a^* und die Blau-Gelb-Achse b^* . Dieser Farbraum hat den zusätzlichen Vorteil, dass er nach der Gegenfarbtheorie aufgebaut ist und somit der menschlichen Farbsehphysiologie entspricht [6].

Farberkennung

Die Hauptaufgabe von Farbsensoren besteht im Farbvergleich. Aus dem Vergleich resultieren die Aussagen „Farbe stimmt überein“ oder „Farbe stimmt nicht überein“. Die Schaltschwelle wird dabei durch eine einstellbare Toleranz vorgegeben. Eine weitere Möglichkeit beim Vergleich mit mehreren zur Auswahl stehenden Farben besteht in der Aussage „Farbe stimmt am besten mit Farbe XY überein“. Je nach Sensormodell kann ein Farbvergleich zwischen Farbprobe und realem Farbvergleichsmuster (bei zweikanaligen Farbsensoren) oder abgespeicherten Farbvergleichswerten (bei einkanaligen Farbsensoren) erfolgen. Der Vergleich erfolgt jedoch immer auf Basis der Berechnung des Farbabstandes zwischen Farbprobe und Farbvergleichsmuster im zu Grunde liegenden Farbraum. Bild 8 zeigt das Prinzip mit drei Farben, denen jeweils eine Toleranz zugeordnet wurde. Der Farbmesswert F_x hat in diesem Beispiel den geringsten Farbabstand zur Farbe F_1 und liegt auch innerhalb der zugeordneten Toleranz.

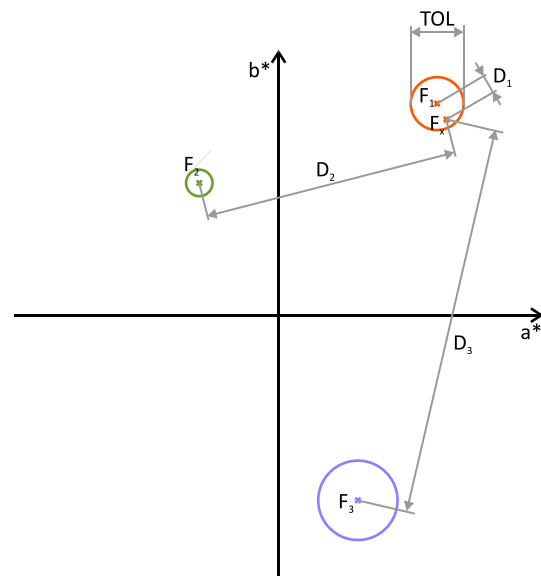


Bild 8: Farberkennung durch Abstandsberechnung

Der Farbmesswert F_x hat in diesem Beispiel den geringsten Farbabstand zur Farbe F_1 und liegt auch innerhalb der zugeordneten Toleranz.

Aktuelle Farbsensoren sind in der Lage mehrere hundert Farbvergleichsmuster mit zugehörigen Toleranzwerten im Gerät zu speichern.

Zusammenfassung

Moderne Farbsensoren sind durch den Einsatz neuester Bauteil- und Fertigungstechnologien gekennzeichnet. Bei Ihnen kommt konsequent farbmatisches Know-how zur Anwendung. Sie verfügen über eine natürliche, dem menschlichen Farbempfinden gerecht werdende Farbverarbeitung. Durch geschickte Signalverarbeitung können heute Störeinflüsse wie Bauteilalterung, Temperaturwechsel und Umgebungslichtschwankungen wirksam eliminiert werden. Dies macht sie für den Einsatz im industriellen Umfeld robust und zuverlässig.

Autoren



Prof. Dr.-Ing. Ansgar Wego
Hochschule Wismar
Bereich Elektrotechnik und Informatik
Philipp-Müller-Straße 14, 23966 Wismar
wego@hs-wismar.de



Dr.-Ing. Gundolf Geske
ASTECH Angewandte Sensortechnik GmbH
Schonenfahrerstraße 5, 18057 Rostock
Tel.: +49 (0) 381/44073-0
geske@astech.de
<http://www.astech.de>

Literaturverzeichnis

- [1]. DIN 5033. *Farbmessung*. s.l. : Beuth-Verlag, 1976-2009.
- [2]. *True-color fähige Farbsensoren – Probleme und Lösungsmöglichkeiten*. **Franke, K.-H., et al.** TU Ilmenau : s.n., 22.-25. September 2003. 48. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium.
- [3]. *Methode zur Verbesserung des Inter-Instrument-Agreements von Industriefarbsensoren*. **Geske, G. und Wego, A.** Rostock : Universität Rostock, 08.-10.10.2007. 12. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. S. 53-57.
- [4]. *Intermittierendes Verfahren zur Driftkompensation von Farbsensoren*. **Strandt, D. und Wego, A.** Rostock : Universität Rostock, 08.-10.10.2007. 12. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. S. 35-40.
- [5]. *Perzeptive Farbsensorik für den industriellen Einsatz*. **Wego, A.** Rostock : Universität Rostock, 08.-10.10.2007. 12. Symposium Maritime Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. S. 23-28.
- [6]. DIN 6174. *Farbmetrische Bestimmung von Farbmaßzahlen und Farbabständen im angenähert gleichförmigen CIELAB-Farbenraum*. s.l. : Beuth-Verlag, 2007.