

Ortsaufgelöste Farbmessung in der Praxis

Franz Schmidt, Udo Krüger, Christian Schwanengel

TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH

Werner-von-Siemens-Straße 10, D-98693 Ilmenau

e-Mail: franz.schmidt@technoteam.de, udo.krueger@technoteam.de,

ch.shwanengel@technoteam.de

URL: <http://www.technoteam.de>

Zusammenfassung: Im folgenden Beitrag werden nach einer kurzen Übersicht über die Technik der ortsaufgelösten Farbmessung und deren Validierung Beispiele für den Einsatz aus der Praxis in den Bereichen Nachtdesign im Fahrzeuginnenraum, Farbbewertung an Glasfassaden und Farbsaubewertung an Projektionsscheinwerfern vorgestellt.

1 Einleitung

Die ortsaufgelöste Bestimmung von licht- und strahlungsphysikalischen Größen ist in den letzten Jahren immer wichtiger geworden. In zahlreichen Applikationen u.a. Nachtdesign im Auto, Bewertung von Arbeitsplatz-, Straßen- und Tunnelbeleuchtung, um nur wenige Beispiele zu nennen, gehört die ortsaufgelöste Bestimmung der Leuchtdichte zum Stand der Technik.

Besonders die zunehmende Verwendung von LED's als Lichtquelle (auch für Beleuchtungszwecke) macht die ortsauflösende Farbmessung immer interessanter.

2 Technik der ortsaufgelösten Farbmessung

Ortsaufgelöste Farbmessungen in der Praxis erfolgen mit den bei TechnoTeam seit Jahren im Einsatz befindlichen Filterradkameras (siehe Abb. 1).

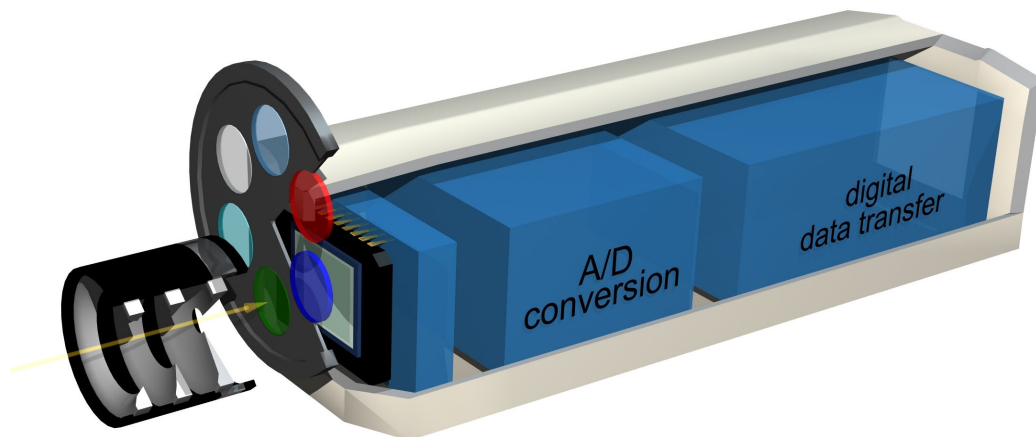


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Filterradkamera LMK98-3 Color

Dabei werden vier der sechs Filter für die Farbanpassung verwendet und die beiden weiteren Filterpositionen können für kundenspezifische Aufgaben genutzt werden. Hierbei spielen insbesondere die Verwendung von Filtern für die circadiane Anpassung ($C(\lambda)$, [3]) und die Messung im skotopischen Bereich ($V'(\lambda)$) eine große Rolle. Details zur Technik dieser Kameras und deren Funktion findet der Leser in [1] und [4].

3 Validierung der Messtechnik

Die oben genannte Technik - insbesondere die spektrale Anpassung - wird ständig verbessert und weiterentwickelt. Hierzu werden alle verwendeten CCD's einzeln spektral vermessen und die Berechnung/Herstellung der Filter wird ständig den aktuellen Messungen angepasst. Hierfür ist es notwendig, dass von jeder Filtercharge die Filter und die einzelnen Glasschichten vermessen werden, damit Veränderungen in der Schmelze erkannt und ggf. korrigiert werden können.

Weiterhin müssen Verfahren zum Test und zur Justierung des Gesamtsystems weiterentwickelt werden. In diesem Zusammenhang haben wir gemeinsam mit der HWAK Göttingen stabile LED-Lichtquellen entwickelt ([2] und Abb. 2), die in Zukunft durch die PTB kalibriert werden und dann als Lichtquelle für die Justierung der Kameras zur Verfügung stehen. Mit diesen stabilen LED-Lichtquellen, die einen großen Bereich des Farbraums umschließen können, ist es möglich, die Justage einer Farbkamera durchzuführen, ohne auf Spektroradiometer oder andere schwer rückführbare Messgeräte zurückgreifen zu müssen.

Weiterhin werden durch die Verwendung von Filterrädern mit breit- und schmalbandigen Proben (Abb. 3) die Voraussetzungen geschaffen, um die in [5] und [6] beschriebenen Verfahren zur indirekten Schätzung der spektralen Empfindlichkeit auch in der täglichen Justierung orts aufgelöster Farbsysteme einsetzen zu können.

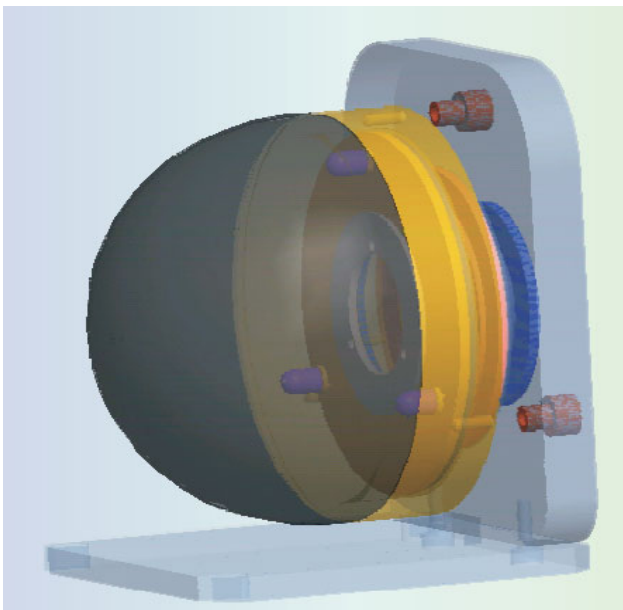


Abb. 2: Stabile LED Lichtquelle

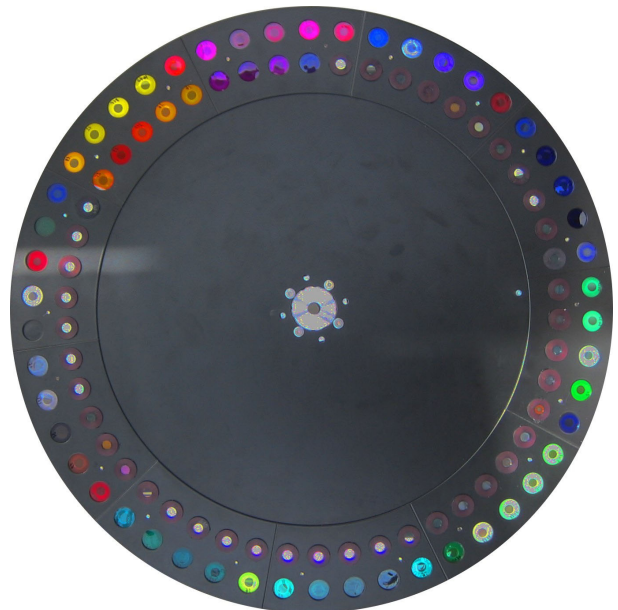


Abb. 3: Filterrad mit 100 verschiedenen Transmissionsproben

4 Praxisbeispiele

In den folgenden Abschnitten werden drei Praxisbeispiele erläutert. Dabei kommt es uns darauf an, sehr unterschiedliche ggf. auch ungewöhnliche Beispiele zu zeigen. Neben der Standardanwendung im Bereich Nachtdesign im Fahrzeuginnenraum haben wir daher die Farbbewertung an Glasfassaden und die Farbsaubewertung für Projektionscheinwerfer ausgewählt. Bei den beiden letzten Anwendungen wird hier die Herangehensweise für die Messungen geschildert. Eine Auswertung und Interpretation der Daten - im Sinne des Anwenders eine Gut/Schlecht Entscheidung - wird in Kooperation mit den Anwendern derzeit entwickelt.

4.1 Nachtdesign im Fahrzeuginnenraum

Im Bereich Nachtdesign im Fahrzeuginnenraum werden Symbole vermessen und ausgewertet. Symbole sind einzelne Zeichen, Zeichenketten oder Piktogramme, die komplexe und schmale Strukturen enthalten können. Im Folgenden wird die photometrische und colorimetrische Auswertung der Symbolmessungen mit der ortsauflösenden Farbmessung erläutert.

Die photometrische Auswertung erfolgt auf Basis von Qualitätsparameter wie Leuchtdichte, Farbvalenz und Gleichförmigkeit. Weiterhin sind ggf. die Strukturbreite, die Position des Symbols (z.B. photometrischer und geometrischer Schwerpunkt) und die Position der minimalen/maximalen Leuchtdichte von Interesse.



Abb. 4: Falschfarbendarstellung der Leuchtdichte eines Symbols (Farbpalette rechts). Die Position des Minimums (1.<) und Maximums (1.>) (in Äquivalenz zu einem Punktmesssystem) wird mit kleinen Kreisen markiert.

Messergebnisse:

Bezeichnung	Wert
Mittelwert	3,2 cd/m ²
Minimum	1,8 cd/m ²
Maximum	4,3 cd/m ²
Ungleichförmigkeit	78%

Für die Auswertung von Symbolen wird ein adaptiver Schwellwertalgorithmus benötigt, der die leuchtende Fläche vom Hintergrund trennt. Dieser Algorithmus arbeitet nur mit einer Hintergrundschwelle. Für alle Pixel mit Leuchtdichten größer als die Hintergrundschwelle wird nach Analyse der Umgebung entschieden ob das Pixel zum hellen Bereich oder zum Rand des Symbols gehört. Für die Pixel des hellen Bereiches werden dann, unter Einbeziehung der Lichtstromanteile aus dem Randbereich, die Qualitätsparameter bestimmt. Besonders für die Bestimmung von Minimum und Maximum wird dabei über den bestimmten hellen Bereich ein virtuelles Spotmeter verschoben, um den Einfluss einzelner störender Pixel zu minimieren und das Messergebnis stabiler zu gestalten.

Durch den Einsatz der orts aufgelösten Farbmessstechnik ist es nun ebenfalls möglich, die Farbvalenzen während der Symbolmessung zu bestimmen. Basierend auf der oben erläuterten Klassifikation der Pixel können die Farbvalenzen für den hellen Bereich (der Randbereich wird in diesem Fall nicht verwendet) im Farbraum XYZ gemittelt werden. Aus den so berechneten Farbvalenzen können dann die vom Nutzer gewünschten Messwerte (x,y bzw. dominante Wellenlänge) ermittelt werden. Durch den Einsatz von

LED's kann die dominante Wellenlänge von Symbol zu Symbol variieren und muss im Rahmen der Entwicklung bzw. auch während der Produktion überprüft werden. Durch den Einsatz der orts aufgelösten Farbmessstechnik ist hier in der Regel keine zusätzliche Messung mit einem Spektroradiometer nötig und es können mehrere Symbole mit einer Messung überprüft werden.

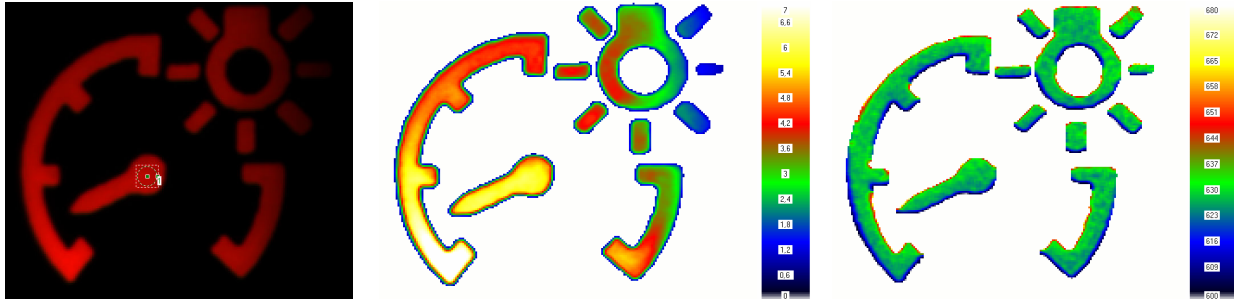


Abb. 5: Farbbild eines Symbols (lineare Darstellung, Links); Leuchtdichtekomponente (Mitte); Dominante Wellenlänge (berechnet für jedes Einzelpixel) (Rechts)

In der Darstellung der dominanten Wellenlänge auf Einzelpixelniveau kann man erkennen, dass speziell im Bereich der Symbolränder Probleme auftreten, die durch die oben beschriebene Art der Auswertung für die mittlere dominante Wellenlänge verhindert werden können.

4.2 Farbbewertung an Glasfassaden

Wegen der hohen Anforderungen an die Gebäudeisolierung, dem Trend zur offenen und transparenten Gebäudearchitektur, dem Schutz vor Überhitzung in Innenräumen bei Sonneneinstrahlung und dem Blendschutz werden in repräsentativen Bürobauten zunehmend Mehrfachverglasungen eingesetzt. Farbunterschiede sind ein bekanntes Problem bei Glasfassaden oder Fensterreihen aus beschichteten Mehrfachverglasungen. Durch wechselnde Beschichtungen und Aufbau können wahrnehmbare Farbunterschiede in der Außenansicht der Fassade entstehen. Treten solche Farbdifferenzen auf, ist dies häufig Gegenstand von gerichtlichen Auseinandersetzungen, Bauverzögerungen und Schadenersatzforderungen zwischen Glasherstellern, Glasbeschichtern, Fenster- und Fassadenbauern sowie Bauherren.

Für die Farbmessung werden derzeit Farbmesssysteme auf der Basis von Ulbrichtkugeln und Diodenarrayspektrometern eingesetzt. Diese bestimmen entweder den diffusen spektralen Reflexionsgrad ("specular excluded") oder den gesamten spektralen Reflexionsgrad einschließlich gerichteter Reflexion ("specular included"). Diese Verfahren bestimmen aber nur die Farbe unter nah-normalem (senkrechten) Lichteinfall für eine kleine Fläche. Außerdem muss für die Messung die Ulbrichtkugel dicht an dem zu messenden Material positioniert werden. Eine Aussage über die Homogenität der Farbe über die Fläche einer beschichteten Glasscheibe mit Abmessungen bis zu 3 x 6 m² ist damit nicht oder nur sehr aufwendig möglich.

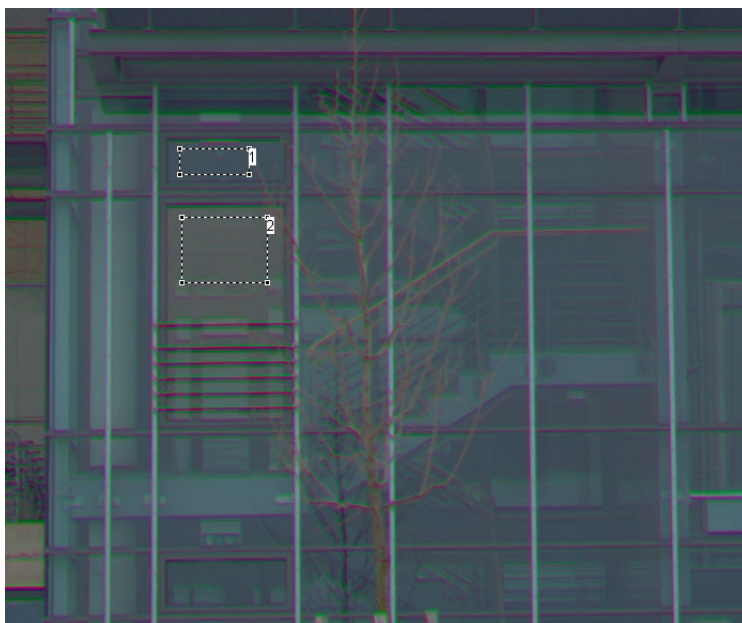


Abb. 6: Farbmessungen an Glasfassaden

Die subjektive Beurteilung und der Vergleich mit einzelnen punktwise erfolgten Farbmessungen an großen Flächen ist somit ein schwieriges Problem. Die Farb- und Leuchtdichtemesskamera LMK Color erfasst Farb- und Leuchtdichtewerte, als Farbbilder, äquivalent dem menschlichen Auge.

Stehen solche Farbbilder als Messwerte zur Verfügung können Probleme leicht ausgeräumt werden. Unterschiedliche Beleuchtungssituationen (z.B. blauer Himmel, bedeckter Himmel) können erfasst werden. Bei sich ändernden Beleuchtungssituationen werden alle Messwerte in einem Bild gleichzeitig und unter exakt der gleichen Beleuchtungssituation erfasst (siehe Abb. 6), was mit punktwise messenden Systemen nur bei zeitlich konstanten Beleuchtungen und damit im Freien kaum möglich ist.

In Abb. 7 ist eine Fassade zu sehen, bei der eine Scheibe (Region 2) nachträglich ausgewechselt wurde. Die Farbunterschiede sind deutlich sichtbar und mit der LMK Color eindeutig messbar.



Reg.	Einheit	Mittel
1	L^*	44,5
	a^*	-1,76
	b^*	-2,43
2	L^*	47,8
	a^*	-1,11
	b^*	2,32

Abb. 7: Farbfassade mit Farbdifferenzen (links); Farbwerte der eingezeichneten Messregionen (oben rechts)

Für die Farbmessung an Glasfassaden und die Bewertung der Ergebnisse wird momentan versucht, in Zusammenarbeit mit den Glasherstellern und mit dem Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg eine Mess- und Bewertungsvorschrift für orts aufgelöste Messungen zu entwickeln. Dabei soll insbesondere die Modellierung von Glaseigenschaften (Reflexion, Transmission, ...) unter verschiedenen Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtungen wichtige Hinweise auf die Messszenarien geben.

Neben dem Einsatz als Messtechnik am Bau ist die bildauflösende Farbmessstechnik natürlich auch hervorragend als Produktionsmesstechnik einsetzbar. In Verbindung mit geeigneten Beleuchtungssystemen können Messsysteme realisiert werden, die flächen-deckend eine 100%-Kontrolle der beschichteten Gläser erlauben.

4.3 Farbsäumbewertung an Projektionsscheinwerfern

Farbsäume treten an Projektionsscheinwerfern im Bereich der Hell-Dunkelgrenze (HDG), d.h. im Übergang zwischen Aktiv- und Passivbereich auf. Diese Farbsäume sind z.B. dann sichtbar, wenn man mit dem Fahrzeug vor einer Wand im Parkhaus steht und diese beleuchtet. Weiterhin können Störungen für den Gegenverkehr auftreten. Die Automobilhersteller haben das Ziel diese Farbsäume zu „begrenzen“, da dieser Effekt als störend empfunden wird. Die Erfassung des Farbsaums kann während der indirekten Messung der Lichtstärkeverteilung [7] erfolgen. Dabei beleuchtet der Scheinwerfer in einem geeignet gestalteten Raum eine Messwand. Die Kamera erfasst die Leuchtdichte- und Farbverteilung an der Wand. Aus diesen Daten können dann die Lichtstärkeverteilung und ggf. die Farbsäume bestimmt werden.

Abb. 8 und Abb. 9 zeigen die Leuchtdichte- und die Farbaufnahme eines Halogen Abblendlichtmoduls. In Abb. 9 ist bei $-0,5^\circ$ horizontal (links vom Knickpunkt) ein Schnitt von $+2^\circ$ bis -2° eingezeichnet. Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 10 bis Abb. 12) zeigen verschiedene Möglichkeiten, die an diesem Schnitt gewonnenen Farbkoordinaten darzustellen.

Die gewonnenen Daten auszuwerten, erweist sich aber als problematisch, da es nur wenig Erkenntnisse über Grenzwerte und Toleranzbereiche gibt. Im Passivbereich sind die Leuchtdichten sehr klein, sodass es hier in der Regel nicht zu Farbeffekten kommt. Für den aktiven Bereich könnte gefordert werden, dass die Farbkoordinaten im Weißbereich A liegen (Verlauf ab blauem Punkt (HDG) in Abb. 12). Welche Abweichungen vom Weißbereich im Übergang zwischen Aktiv- und Passivbereich toleriert werden können, müssen weitere Untersuchungen und Probandenbefragungen in der Zukunft zeigen.

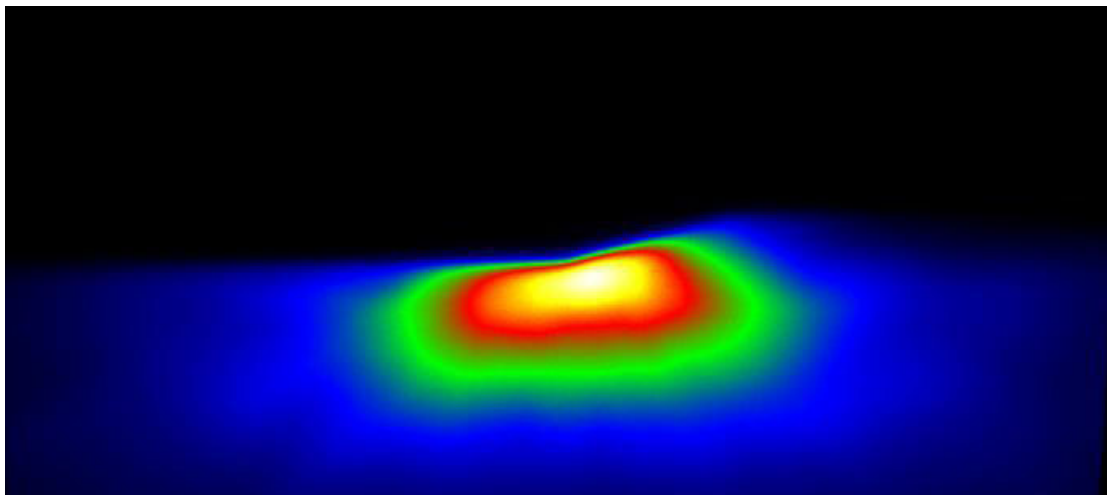


Abb. 8: Leuchtdichtebild Halogen Abblendlicht

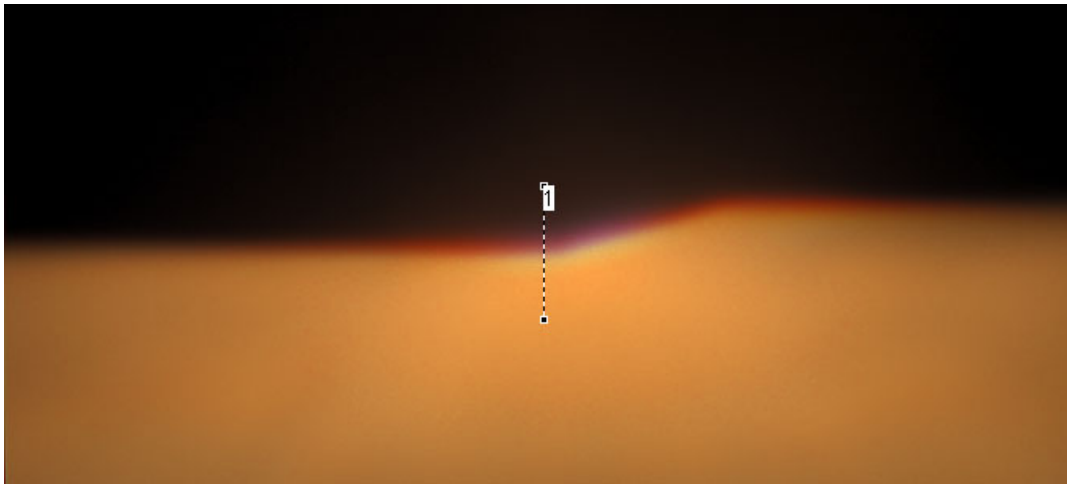


Abb. 9: Farbbild Halogen Abblendlicht mit Vertikalschnitt ($\pm 2^\circ$) bei $-0,5^\circ$

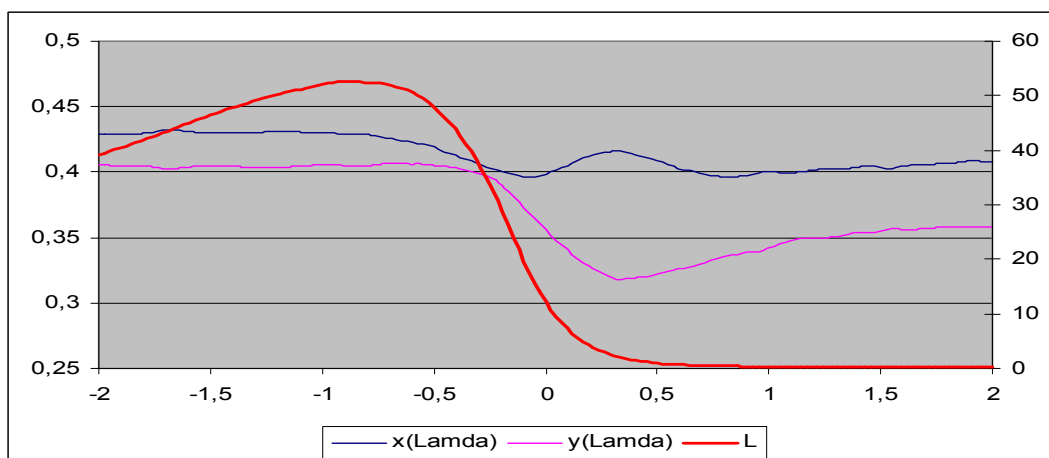


Abb. 10: L, x, y – Farbkoordinaten des Vertikalschnittes

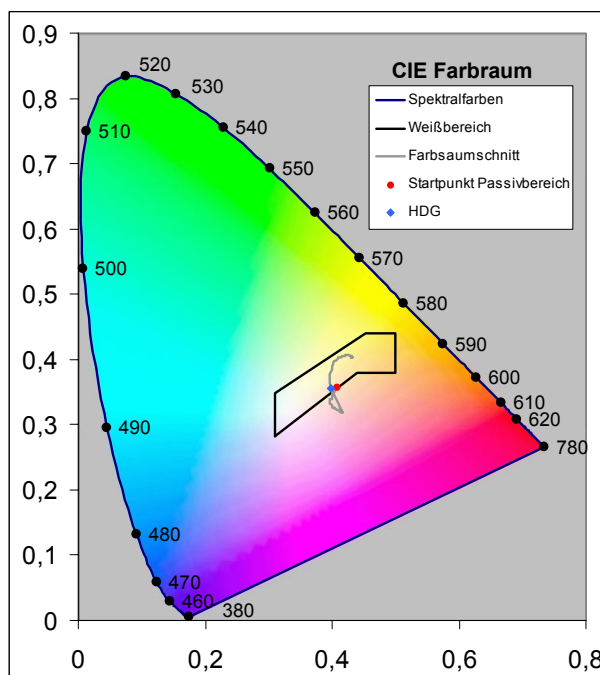


Abb. 11: CIE Farbraum mit Weißbereich und Schnittverlauf

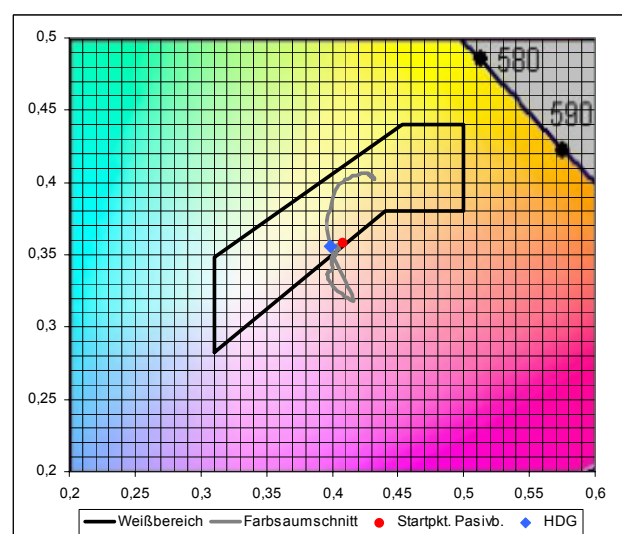


Abb. 12: CIE Farbraum mit Weißbereich und Schnittverlauf (vergrößert)

5 Zusammenfassung

Mit den vorgestellten Beispielen konnte gezeigt werden, dass die orts aufgelöste Farbmess-technik in den verschiedensten Bereichen im Einsatz ist und die Erfassung von Farbinformationen / Farbmesswerten ermöglicht. Es bestehen damit messtechnische Möglichkeiten zur Datenerfassung, die potentiell in der Lage sind Anwenderprobleme zu lösen. An einigen Stellen treten aber Probleme bei der Interpretation der gemessenen Farbverläufe bzw. Farbabweichungen auf, sodass der Nutzer im weiteren Verlauf der Arbeiten mit den Messwerten zuerst in die Lage versetzt werden muss, für seine Appli-kation Sollverläufe und Toleranzbereiche festzulegen.

6 Literatur

- [1] Krüger, U. und Schmidt, F.: Ortsaufgelöste Farbmessung – Parameter und Kennwer-te einer realisierten Filterradkamera, 9. Workshop Farbbildverarbeitung, 8.-9. Okto-ber 2003, Esslingen, 2003
- [2] Burdick, R.; Krüger, U. und Bobey, K.: Verhalten von Farbproben mit Hoch-leistungs-LEDs. 11. Workshop Farbbildverarbeitung, 5.-6.10.2006, Ilmenau, 2006
- [3] Porsch, T.; Blankenhagen, C.; Gall, D.: Experimentelle Bestimmung der circadianen Lichtwirkung von Monitoren und TV-Bildschirmen. Licht 2004, 20.-22.09.2004, Dort-mund, 2004
- [4] Krüger, U. und Schmidt, F.: Ortsaufgelöste Licht- und Farbmessung - Technische Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten in der lichttechnischen Praxis, LuxEuro-pa, 19.-21.09.2005, Berlin, 2005
- [5] Büttner, C.; Bobey, K and Schlichting, B.: Spectral Sensitivity Estimation of Digital Cameras. CGIV2006, 19.22.06.2006, Leeds, 2006
- [6] Krüger, U.: Ausgewählte Aspekte der orts aufgelösten Erfassung stationärer Licht-und Farbverteilungen. Dissertation, Publikationsreihe des Fachgebietes Lichttechnik der TU Ilmenau Nr. 6, Der Andere Verlag Osnabrück 2004, ISBN 3-89959-167-4
- [7] Schwanengel, Ch.; Krüger, U.; Schmidt, F., Rodenkirchen, J.: Spatially Resolved Luminance Measuring Methods Compared with Illuminance Measurements of Auto-motive Headlamps. ISAL 2005 Symposium; Darmstadt University of Technology, pp.1018-1029, 2005