Applikationen der ortsaufgelösten Licht- und Farbmessung

Schmidt, Franz; Krüger, Udo
TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, W.-v.-Siemens-Str. 10, D-98693 Ilmenau
Franz.Schmidt@TechnoTeam.de , Udo.Krueger@TechnoTeam.de

Stefan Wolf
Technische Universität Ilmenau, Fakultät Maschinenbau, FG Lichttechnik , Unterer Berggraben 10, D-98693 Ilmenau
Stefan.Wolf@MB.TU-Ilmenau.de

Einführung

Die ortsaufgelöste Lichtmesstechnik hat sich in den letzten zehn Jahren zu einem wichtigen Teilgebiet der Lichtmesstechnik entwickelt. Die Anwender werden mit dieser Technik in die Lage versetzt, zahlreiche Aufgabenstellungen im Bereich der Lichtmesstechnik effektiv zu lösen. In den letzten zwei Jahren wurden diese Messmöglichkeiten durch Systeme zur ortsaufgelösten Bestimmung von Farbvalenzen erweitert. Ziel des Beitrages ist es, anhand einiger Anwendungsbeispiele die Möglichkeiten der ortsaufgelösten Licht- und Farbmesstechnik zu erläutern.

Grundlagen der ortsaufgelösten Licht- und Farbmessung

Leuchtdichte- und Farbmesskameras[1] setzen heute auf hochwertigen CCD-Digitalkameras auf, deren jede einzelne entsprechend analysiert, kalibriert und an die Lichtmessung angepasst werden sollte. Die Signalwerte im Bild lassen sich dann direkt in Leuchtdichte- bzw. Farbwerte umrechnen.
Leuchtdichte- und Farbmesskameras besitzen wie alle technischen Geräte von idealen Modellen abweichende Eigenschaften. Diese Abweichungen lassen sich in systematische und stochastische Komponenten einteilen. Abweichungen der Messwerte vom idealen Verhalten, die determiniert sind, können erfasst und korrigiert werden. Die systematischen Restabweichungen nach der Korrektur werden in ihrer Größe durch die technologischen Voraussetzungen, die vorhandenen Kalibriermittel und die Kalibriersorgfalt bedingt. Als stochastische Komponenten existiert signalabhängiges und unabhängiges Rauschen.
Die Leuchtdichte $L(x, y, \vartheta, \varphi)$ ist eine ortsabhängige (differentielle) Messgröße und erfordert demzufolge ihre Abbildung auf den Sensor, bei punktförmig messenden Sensoren die Abbildung des vorgegebenen Messflecks, bei bildauflösenden Leuchtdichtemessern die Abbildung der entsprechenden Szene auf den Bildsensor (CCD-Matrix). Die CCD-Matrix als strahlungsempfindlicher Sensor wandelt den einfallenden Strahlungsfluss in Signalladungen entsprechend ihrer spektralen Empfindlichkeit $S(\lambda)$. Soll das System Leuchtdichten bzw. Farbvalenzen messen, muss die spektrale Empfindlichkeit des Gesamtsystems an die $V(\lambda)$-Funktion bzw. an die Normspektralwertkurven $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ angepasst sein. Dazu wird für jede Kamera ein Filter bzw. ein Satz von Filtern eingesetzt. Der Einsatz des Filters bzw. die Kombination der Messwerte des Filtersatzes passt in Verbindung mit der spektralen Empfindlichkeit des jeweiligen Sensors und der spektralen Transmission des Objektivs das Messsystem an die oben genannten Normempfindlichkeiten an.

[1] Diese Systeme werden auch als Leuchtdichte-Analysatoren oder Videophotometer (Videocolorimeter) bezeichnet.

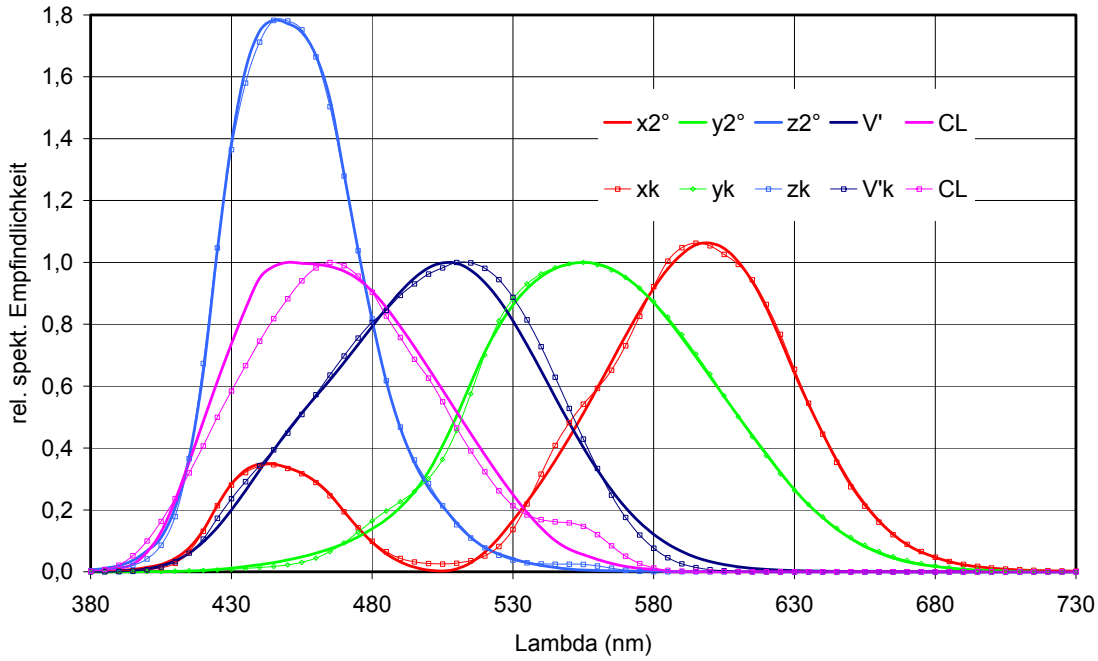


Abb. 1: Relative spektrale Empfindlichkeit des vorgestellten Farbkamerasystems LMK98-3 Color im Vergleich zu den Standardempfindlichkeiten

Mit dem Messsystem (Abb. 2), das die in Abb. 1 dargestellten relativen spektralen Empfindlichkeiten realisiert, können Leuchtdichten im photopischen und skotopischen Bereich (V(λ),V'(λ)), circadiane Größen (C(λ) [4]) und Farbvalenzen (X,Y,Z(λ), 2°-Normalbeobachter, CIE31) ortsaufgelöst bestimmt werden.
Bei der spektralen Anpassung ortsauflösender Sensoren sind zahlreiche Probleme zu beachten, die in [1] beschrieben sind.

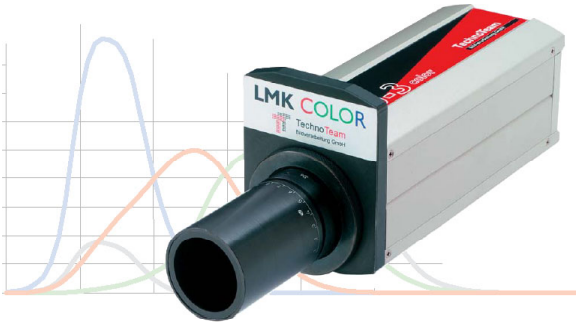


Abb. 2: Farbmesskamera LMK98-3 Color

Es können folgende spektrale Kennwerte[2] für das System realisiert werden:

Zielfunktion	f'_1 (%)	f_1 * (%)
X2°	3,2	**3,2**
y2° / $V(\lambda)$	**2,4**	2,5
Z2°	2,2	**2,0**
$V'(\lambda)$	6,0	**5,6**
C(λ)[3]	11,2	**10,4**

Mit einem derartigen Messsystem können zahlreiche Aufgabenstellungen im Bereich lichttechnischer Fragestellungen realisiert werden.

[2] Kennwert f'_1 siehe DIN5032, Kennwert f_1 * siehe [3] - f'_1 ohne Wichtung mit Normlichtart A

[3] Die circadiane Wirkfunktion ist noch nicht standardisiert. Es werden die Angaben von Prof. Gall [5] verwendet.

Auflösung und Dynamik

Wesentlich für ein Messgerät sind die Datenauflösung und der erreichbare Dynamikumfang. Bei Einzelaufnahmen wird die Auflösung durch die Datenbreite des AD-Wandlers und das Rauschen der Signale bestimmt. Die Messwertauflösung kann durch Mittelwertbildung über benachbarte Pixel auf der Matrix (Binning), per Software (Makropixel) oder über mehrere, nacheinander erfasste und gemittelte Bilder (Mehrfachmessung) auf etwa $n_0 + (ldN)/2$ Bit gesteigert werden. (N...Anzahl der Mittelungen (Pixel, Bilder), n_0... Grundauflösung des AD-Wandlers in Bit).
Lichttechnisch zu bewertende Szenen sind vielfach durch einen hohen Dynamikumfang (z.B. Leuchten und beleuchtete Szene gemeinsam im Bild) gekennzeichnet. Der mit einer Messkamera erfassbare Dynamikumfang kann durch eine HighDyn-Messung, bei der die Szene mehrfach und mit unterschiedlichen Integrationszeiten aufgenommen wird, erhöht werden. Mit diesem Verfahren sind Dynamikumfänge von 10^6 und Genauigkeiten bis 10^{-2} erreichbar.

Korrektur nicht idealer Effekte ortsauflösender Messsysteme

Beim Einsatz der Messkamera zur Leuchtdichte- bzw. Farbmessung oder zur Bestimmung abgeleiteter lichttechnischer Größen sind neben den Eigenschaften des Messsystems selbst (technische Parameter) eine Vielzahl weiterer Einflüsse für das Erreichen hinreichend genauer Messergebnisse maßgebend. Wie bei jedem Messsystem kann die unsachgemäße Anwendung zu schwerwiegenden Fehleinschätzungen führen. Deshalb sei dringend darauf hingewiesen, jedes Messergebnis kritisch zu bewerten. Neben dem unsachgemäßen Umgang mit dem Messsystem, wobei insbesondere die Abbildung der Szene (unscharfe Abbildung, Messen zu kleiner Strukturen) einen großen Einfluss hat, ist auch die Gestaltung der Szene nicht unwesentlich. So können die Messdaten z.B. durch Fremdlicht (dessen Größenordnung vielfach unterschätzt wird) oder durch Instabilitäten, wie z.B. Flimmern von Lampen beeinflusst sein, und liefern nur noch eine geringe oder gar keine Information über die lichttechnischen Parameter des Gerätes, der Anlage oder der Szene.
Für das technische Messsystem müssen unter anderem die folgenden Effekte korrigiert bzw. vermieden werden: Dunkelsignal, Nichtlinearität, Abschattung des Objektivs (Shading), Blooming, Smear und defekte Bildpunkte.

Beispielhaft wird im Folgenden auf das Streulicht eingegangen:

Jedes abbildende System erzeugt einen mehr oder weniger großen Anteil an Streu- oder Falschlicht. Das abbildende System besteht aus Linsen oder Spiegeln, die neben ihrer idealen Funktion (Linsen - Brechung bei Lichtdurchgang; Spiegel - Reflexion) auch nichtideales Verhalten haben.
Glas-Luft-Grenzflächen brechen nicht nur, sondern reflektieren auch Licht (ca. 4%) und Spiegel reflektieren nicht nur gerichtet, sondern auch diffus. Licht kann an Linsenfassungen und Blenden gestreut werden.
Damit wird Licht vom Objekt nicht nur an die Stellen übertragen, die sich aus der geometrischen Optik ergeben, sondern gelangt auch an ganz andere Stellen. Weiterhin hat der Sensor selbst ein endliches Reflexionsvermögen (Silizium 30 ...65 %). D.h. das auf den Sensor abgebildete Licht wird zu beträchtlichen Teilen reflektiert und "geistert im Objektiv herum". Alle diese Effekte führen zu einem mehr oder weniger starken "Streulichtteppich".
Damit sind zwei wesentliche Messprobleme verbunden:

1. Großflächig ausgeleuchtete Objekte erhalten auf Grund des Streulichtes einen etwas größeren Messwert (abhängig von der Ausleuchtung des Objektfeldes insgesamt).

2. In dunklen Bereichen misst man zusätzlich Streulicht, d.h. gemessene Kontraste sind stets kleiner als die tatsächlich vorhandenen (ebenfalls abhängig von der Ausleuchtung des Objektfeldes insgesamt). Wichtig ist dies vor allem bei der Beurteilung von Negativkontrasten, d.h. kleine dunkle Strukturen vor großem hellem Hintergrund.

Lichttechnische Kenngrößen aus Leuchtdichtebildern

Leuchtdichte und Farbwerte können in der Regel direkt aus den Leuchtdichte- bzw. Farbbildern bestimmt werden. Dazu stehen in der Software LMK2000 zahlreiche Funktionen zur Verfügung, die neben der Auswertung und Anzeige von Schnitten, Histogrammen und einfachen Statistiken (Mittelwert, Varianz, Minimum, Maximum) auch die Analyse der Leuchtdichten in Abhängigkeit der Leuchtdichte oder der Umgebung gestatten.
Für viele Aufgaben im Bereich der Lichtmesstechnik ist es jedoch erforderlich, dass weitere Kenngrößen bestimmt werden, die aus Leuchtdichtedaten abgeleitet werden können.
Im Folgenden wird dies anhand der Bestimmung von Schleierleuchtdichten und der Blendungsbewertung mittels UGR-Verfahren erläutert.

Bestimmung von Schleierleuchtdichten

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Blendung von den in der Szene vorhandenen Leuchtdichten und der am Auge entstehenden Beleuchtungsstärke abhängig ist.

Für die Blendungsbewertung von Blendquellen ist es daher nötig zunächst deren mittlere Leuchtdichten zu ermitteln, um diese mit der vertikalen Beleuchtungsstärke am Auge in Beziehung zu setzen.
Die an der Eintrittspupille des Auges oder der Messöffnung vorhandenen Beleuchtungsstärken ergeben sich zu:

$$E_{vert.Auge} = \int L_{i,jgemessen} \cdot \frac{\cos^3 \vartheta_{i,j} dA\Omega_0}{r_0^{\,2}} \sim k \cdot \sum L_{i,jgemessen} \cdot \cos^3 \vartheta_{i,j}$$

Der Winkel $\vartheta_{i,j}$ entspricht der Blickrichtung unter der die Leuchtdichte $L_{i,j}$ gesehen wird. r_0 bezeichnet den Einheitsradius von 1m.
Ein Anwendungsgebiet der Bewertung von Blendquellen betrifft die Ermittlung der Schleierleuchtdichte:

$$L_{Seq} = \frac{cE_{vertAuge}}{\vartheta^n} \Rightarrow E_{vertAuge} \cdot f(\vartheta)$$

Die äquivalente Schleierleuchtdichte ist definiert durch die von den Blendquellen am Auge hervorgerufenen Beleuchtungsstärken mit einer richtungsabhängigen Wichtung.
Es ergibt sich für die äquivalente Schleierleuchtdichte folgender Zusammenhang:

$$L_{Seq} = \sum_{i,j} L_{i,jgemessen} \cdot \cos^3 \vartheta \cdot f(\vartheta) = \sum_{i,j} L_{i,jgemessen} \cdot f_1(\vartheta)$$

Das bedeutet, die Leuchtdichte ist mit der Funktion $f_1(\vartheta)$ zu wichten und zu summieren. Die Wichtung kann durch ein Wichtungsbild $f_1(\vartheta)$ erfolgen, mit dem das Leuchtdichtebild multipliziert wird. Dieses Wichtungsbild kann für das jeweilige Objektiv erzeugt werden.
Die Erfassung der in der Szene vorhandenen Blendquellen kann über die Definition von Leuchtdichteschwellen erfolgen.

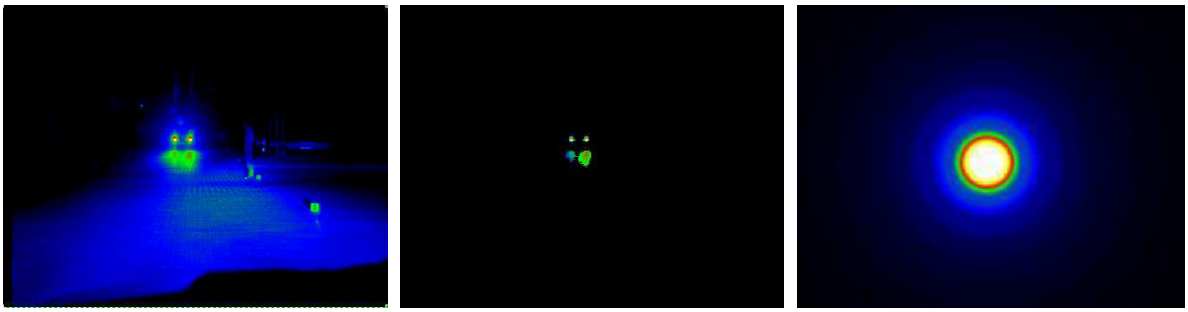


Abb. 3: Szene im Straßenverkehr mit Blendquellen (links); Extrahierte Blendquellen (Mitte) und Wichtungsbild für das verwendet Objektiv (rechts)

Blendungsbewertung (UGR)

Bei der Messung von Blendungskennzahlen von realen Beleuchtungsanlagen werden neben der Leuchtdichteverteilung auch geometrische Größen wie die Lage der Leuchten im Raum oder der Raumwinkel der Leuchten benötigt. Z.B. werden beim „**U**nified **G**lare **R**ating“ (UGR-Verfahren) folgende Zusammenhänge und Größen verwendet:

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \frac{0.25}{L_b} \sum_i \frac{L_i^{\,2} \cdot \Omega_i}{p_i^{\,2}}$$

L_b	Hintergrund- bzw. Umfeldleuchtdichte in cd/m²
L	Leuchtdichte der leuchtenden Teile einer Leuchte in Richtung des Beobachterauges in cd/m²
Ω	Raumwinkel der leuchtenden Teile einer Leuchte
p	Positionsfaktor einer individuellen Leuchte nach Guth
i	Nummer der extrahierten Lichtquelle

Folgerichtig müssen die Hintergrundleuchtdichte, die mittlere Leuchtdichte der Leuchten, der Raumwinkel als Maß für die Größe der Leuchten und die Position der Leuchten bezüglich Beobachterposition und Blickrichtung ermittelt werden.
All diese Größen liefert eine örtlich aufgelöste Leuchtdichtemessung im Blickfeld des Beobachters unter folgenden Voraussetzungen:

- Das Blickfeld des Beobachters wird vollständig erfasst.
- Die örtliche Auflösung gestattet die Berechnung der mittleren Leuchtdichte der (relativ kleinen) Lichtquellen.
- Die Bestimmung des Raumwinkels einer Lichtquelle ist mit ausreichender Genauigkeit möglich.
- Der Fehler bei der Ermittlung der Position der Leuchten ist hinreichend klein (wiederum abhängig von der örtlichen Auflösung).

- Die photometrische Auflösung und der Dynamikumfang ermöglichen ausreichend genaue Aussagen über die Leuchtdichte sowohl der Leuchten als auch des Hintergrundes.
- Im Leuchtdichtebild kann unterschieden werden, ob ein Messpunkt zu einer Leuchte oder zum Hintergrund gehört.

Messgeräte, die in der Lage sind photometrische und geometrische Größen zu messen und weitgehend automatisch zu analysieren, werden „Leuchtdichte-Analysator“ genannt. Informationen hierzu sind neben der Einführung in diesem Beitrag den Quellen [7][8] zu entnehmen.

Der Ablauf einer UGR-Messung mit einem Leuchtdichte-Analysator kann in groben Schritten wie folgt beschrieben werden:

1. Messung der örtlichen Leuchtdichteverteilung im Blickfeld
2. Bestimmung eines Merkmals für die Zuordnung eines Bildpunktes zu Hintergrund oder Lichtquelle (Klassifikation)
3. Aufstellen einer Liste von zusammenhängenden „Lichtquellenbildpunkten“, d.h. eine numerische Beschreibung für die Lichtquellen im Bild erzeugen (Segmentierung)
4. Berechnung der Hintergrundleuchtdichte aus den „Hintergrundbildpunkten“
5. Berechnung von mittlerer Leuchtdichte, Raumwinkel, und Lichtschwerpunkt für jede Lichtquelle
6. Bestimmung des Positionsfaktors aus dem Lichtschwerpunkt für alle Lichtquellen
7. Anwendung der UGR-Formel für die Berechnung des UGR-Wertes

Zur Messung der geometrisch parametrisierten Leuchtdichteverteilung dient eine photometrisch und geometrisch kalibrierte Leuchtdichtemesskamera LMK96. Mit dieser Kamera wird das gesamte Blickfeld mit einer hohen örtlichen und photometrischen Auflösung vermessen. Um die notwendige geometrische Auflösung zu erreichen, wurde die verwendete Kamera auf einer Positioniermechanik montiert, mit der sich die Kamera um zwei senkrecht zueinander stehende Achsen verdrehen lässt (siehe Abb. 4). Die Positioniergenauigkeit beträgt hierbei wenige tausendstel Grad, gleichzeitig wurde die geometrische Verzeichnung der Kamera gemessen.
Mit der hierdurch vorliegenden Tabelle kann der Pixelort den Winkelkoordinaten genau zugeordnet werden. Aus diesen Winkelkoordinaten und der aktuellen Kameraposition kann jetzt ein resultierendes Leuchtdichtebild aus Teilbildern bei verschiedenen Aufnahmeorten zusammengesetzt werden.

Abb. 4: Messgerät zur UGR-Messung

Das Ergebnis ist eine zweidimensionale Matrix von Leuchtdichtewerten bei der die Spalten und Zeilen den üblichen Polarkoordinaten Azimut φ und Poldistanz ϑ entsprechen.

Als Klassifikationsmerkmal, ob ein Bildpunkt zu einer Leuchte gehört oder dem Hintergrund zugeordnet werden muss, sind verschiedene Varianten denkbar. Möglich sind z.B. eine einfache Schwelle, ein bestimmter Leuchtdichtegradient oder eine Gradientenänderung.

In der vorliegenden Version wird eine Leuchtdichteschwelle verwendet, die für die gemessene Leuchtdichteverteilung ermittelt wird. Hierzu wird ein Histogramm über eine Anzahl von Leuchtdichteintervallen bestimmt, die den gesamten Leuchtdichtebereich abdecken.
Bei realen Beleuchtungsanlagen bilden sich hier charakteristische lokale Minima und Maxima, aus dehnen sich relativ sicher ein Leuchtdichteschwellwert ableiten lässt. Hat ein Messpunkt eine höhere Leuchtdichte als dieser Schwellwert gehört er zu einer Leuchte, sonst ist er Bestandteil des Hintergrundes.

Für die Segmentierung werden jetzt zusammenhängende Leuchtenbildpunkte gesucht, wobei Methoden der klassischen Bildverarbeitung angewandt werden. Das Ergebnis ist eine numerische Beschreibung aller Leuchten im Messfeld. Von jeder Leuchte können nun die mittlere Leuchtdichte, der Raumwinkel, der geometrische Schwerpunkt bzw. der Positionsfaktor, die Blendbeleuchtungsstärke, die von dieser Leuchte verursacht wird und andere Größen bestimmt werden.

Die Hintergrundleuchtdichte wird aus allen gemessenen Leuchtdichtewerten, berechnet. Dabei können die Lichtquellen ausgeschlossen werden, wie es z.B. beim UGR-Verfahren gefordert wird, oder sie werden mit berücksichtigt.

Nachdem nun alle notwendigen Eingangsgrößen bestimmt sind, kann unter Anwendung einer Bewertungsformel die gewünschte Blendungskennzahl bestimmt werden. Die folgende Tabelle zeigt einen Ausschnitt aus einem Messprotokoll einer UGR-Messung.

Umfeldleuchtdichte: $L_b = 375.8$ cd/m²

LQ#	Ω	L_m	Schwerpunkt	p	E_{Auge}	Ω_p
420	0.0008145	2119	(1229, 2929)	1.134	1.723	0.0008131
532	0.003224	3995	(-6364, 5450)	1.222	12.74	0.003190
795	0.005568	4008	(-814, 5620)	1.250	22.19	0.005540

E_{Auge} = 57.4 lux **UGR = 14.4**

Am Anfang wird die berechnete Umfeldleuchtdichte L_b angegeben. Dann folgt eine Tabelle, in der die für jede Lichtquelle ermittelten Daten aufgeführt sind. Die Spalte LQ# enthält eine während der Segmentierung vergebene Lichtquellennummer, die in der weiteren Auswertung bedeutungslos ist.
Danach folgen die UGR relevanten Daten wie Raumwinkel Ω in Steradiant, mittlere Leuchtdichte L_m in cd/m², der Leuchtenschwerpunkt (φ_S, ϑ_S) jeweils in Einheiten von 1/1000° und der daraus ermittelte Positionsfaktor p. Danach folgen noch zwei Werte, die für die eigentliche UGR Berechnung nicht benötigt werden. Das sind die direkte Beleuchtungsstärke am Beobachterauge und die Raumwinkelprojektion der Leuchte bezüglich einer vertikalen Ebene am Beobachterauge.

Die nach der Tabelle stehende vertikale Beleuchtungsstärke am Auge trägt bezüglich der UGR-Messung wieder nur informativen Charakter, der folgende Wert ist der mit diesem System gemessene UGR-Wert. Es wurden verschiedene Beleuchtungsanlagen vermessen, wobei Abb. 5 eine solche Aufnahme zeigt. Vergleiche mit verschiedenartig berechneten UGR-Werten und insbesondere mit subjektiven Blendungseindrücken erfolgten in [9] und zeigten insgesamt eine gute Übereinstimmung der Messwerte.

Abb. 5: Bild einer Beleuchtungsanlage nach Aufnahme mit dem Messgerät aus Abb. 4 und dem Zusammensetzen der Bilddaten

Anwendung der ortsaufgelösten Farbmessung

Führt man eine ortsaufgelöste Farbmessung durch, erhält man für jeden Bildpunkt eine Farbvalenz. Die vielfältigen Möglichkeiten der ortsaufgelösten Farbmessung werden im Folgenden anhand zweier Beispiele erläutert. Einführende Erläuterungen zu den Prinzipien findet der Leser in [2].

Bestimmung der Farbabweichung durch Bündelmessungen

Die Ausstrahlcharakteristik von Lampen und Leuchten kann z.B. mit Hilfe einer Bündelmessung indirekt bestimmt werden. Für eine Bündelmessung strahlt man mit der Lampe/Leuchte auf eine homogene Wand. Die Kamera wird seitlich der Lichtquelle positioniert und bewertet primär die Leuchtdichteverteilung auf dieser Wand.

Die Auswertung der Aufnahmen erfolgt in mehreren Schritten die an die jeweilige Applikation angepasst werden können:

1. Entzerrung des Bündelbildes mit Hilfe einer projektiven Entzerrung. Es entsteht ein Bild, das einer Kameraposition in der Lichtquelle entspricht, d.h. die Verzerrungen, die durch die schräge Ansicht der Wand entstehen, werden eliminiert. Für die Bestimmung der Umrechnungsparameter werden Marken an der Wand angebracht die jeweils einem bestimmten Ausstrahlwinkel der Lichtquelle entsprechen.
2. Das entzerrte Bild wird in ein Winkelbild umgerechnet. Dazu wird eine entsprechend parametrierte Koordinatentransformation auf das entzerrte Bild angewendet, die dafür sorgt, dass die Pixel äquidistant in Theta und Phi-Winkel dargestellt werden können.

3. In diesem Bild können dann die Halbwertswinkel bestimmt werden bzw. andere Auswertungen erfolgen.
4. Weiterhin können aus diesen Daten auch Lichtstärken bestimmt werden. Man erhält dann für den beobachteten Ausschnitt Teil-Lvk's $I(\upsilon,\varphi)$.

Das folgende Beispiel stellt die Verhältnisse bei einer Bündelmessung für einen Autoscheinwerfer (Abblendlicht) dar. Alle Darstellungen sind logarithmisch skaliert, wobei ein Dynamikumfang von 3 Dekaden auf den Anzeigebereich abgebildet wurde.

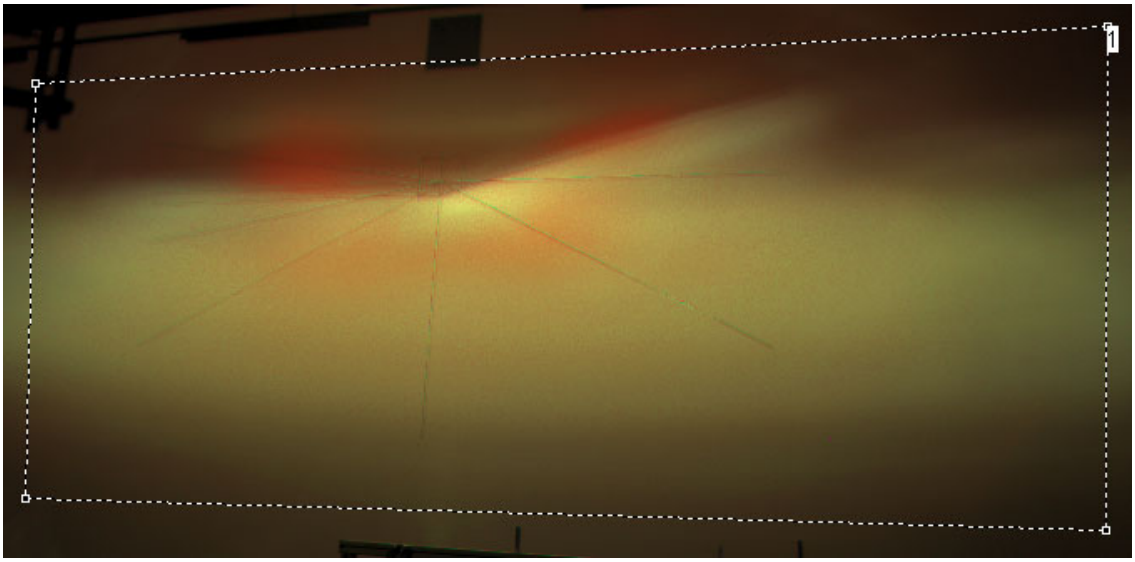


Abb. 6: Farbbild eines Scheinwerfers auf einer Wand

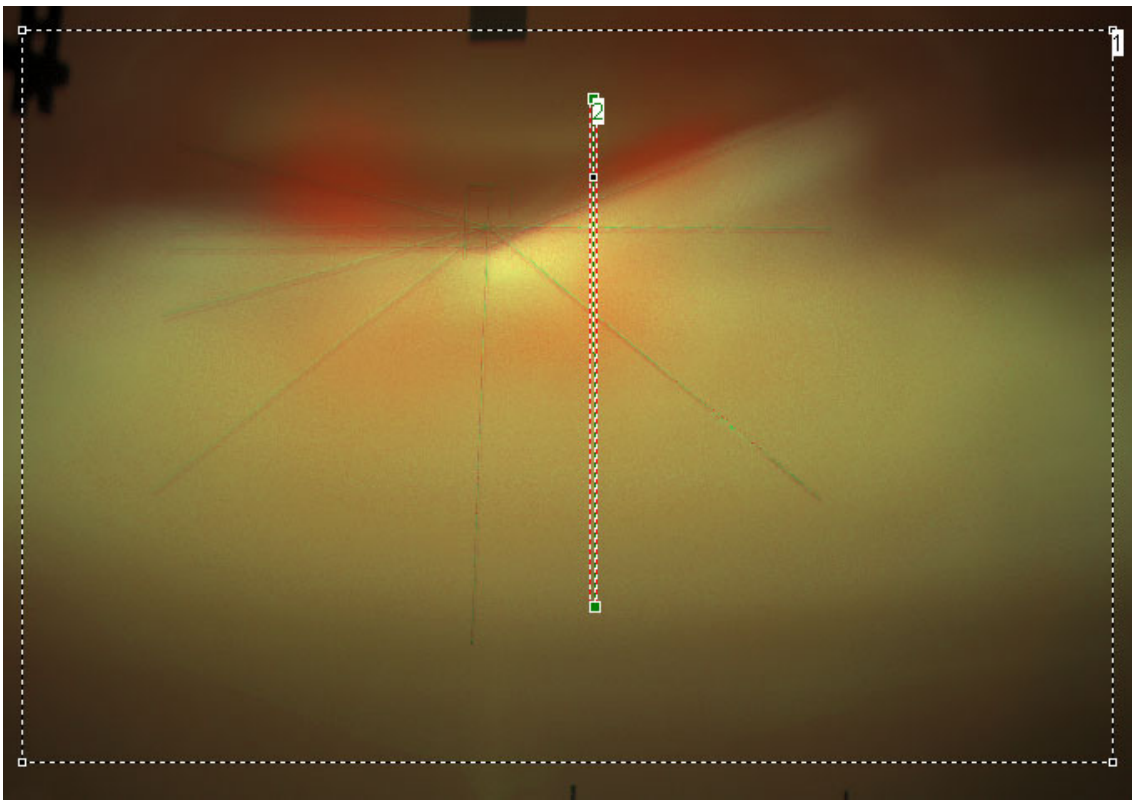


Abb. 7: Entzerrtes Bild aus Abb. 6 mit Darstellung einer Messlinie

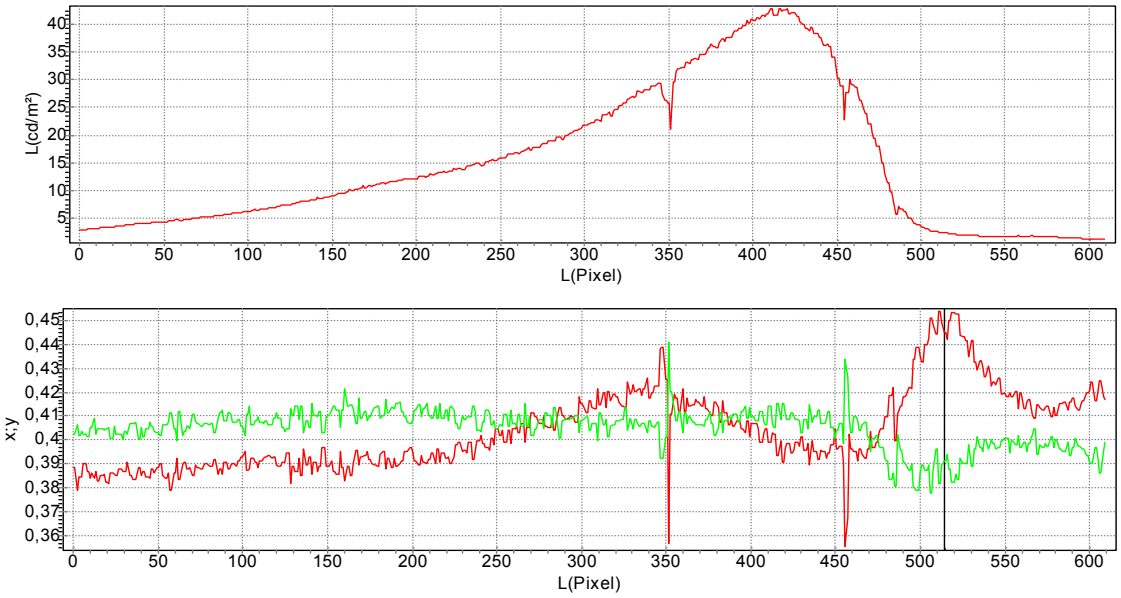
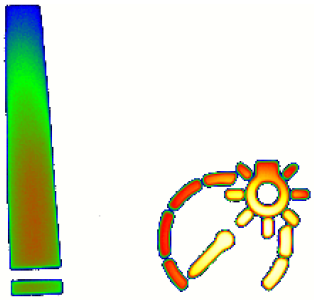


Abb. 8: Leuchtdichte bzw. Farbvalenz (x ... Rot, y ... Grün) des Schnittes aus Abb. 7

Durch die logarithmische Skalierung der Farbbilder werden die Farbunterschiede stärker hervorgehoben als man diese mit dem Auge wahrnimmt. Dies gilt besonders für die Farbunterschiede in den dunklen Bildbereichen.

Bewertung von Symbolen im Bereich Nachtdesign im Auto



Im Nachtdesign werden Symbole vermessen und bewertet. Symbole sind Einzelzeichen, Zeichenketten oder Piktogramme, die komplexe und kleine Strukturen enthalten können.
Im folgenden Abschnitt wird die lichttechnische Bewertung von hinterleuchteten Symbolen mit Hilfe der ortsaufgelösten Licht- und Farbmessung beschrieben. Die lichttechnische Bewertung erfolgt auf der Basis von Güteparametern wie mittlere Leuchtdichte, Farbvalenz und Gleichförmigkeit.

Weiterhin spielen die Strukturbreiten der Symbole und die Lage der Schwerpunkte (photometrisch/geometrisch) bzw. die Lage der Bereiche mit minimaler und maximaler Leuchtdichte eine Rolle.

Es sind folgende Schritte durchzuführen:

- Montage der Kamera und des Testobjektes auf einer optischen Bank und Einrichtung beider Systeme (Ausrichten, Einstellen des Objektfeldes und der Schärfe, ...).
- Erfassung der Daten durch das ortsaufgelöste Leuchtdichte- und Farbmesssystem.
- Erstellen der Auswertung und Bestimmung der gewünschten Messwerte

Abb. 9: Anordnung zur Messung von Symbolen im Nachtdesign (Messobjekt und Kamera)

Mittelwert: 3,2 cd/m²
Minimum: 1,8 cd/m²
Maximum: 4,3 cd/m²
Ungleichförmigkeit.: 78%

Die Positionen von Minimum (1.<) und Maximum (1.>) sind durch die eingezeichneten Kreise im Bild definiert.

Abb. 10: Falschfarbendarstellung der Leuchtdichten eines Symbols (Palette rechts)

Für die Auswertung der Symbole sind die Bildpunkte zu ermitteln, die zur leuchtenden Fläche gehören. Hierzu sind adaptive Schwellwertalgorithmen notwendig, die eine lokale Leuchtdichteschwelle bestimmen und die Bildpunkte dann entsprechend klassifizieren. Für die so ermittelte leuchtende Fläche können statistische Kenngrößen bestimmt werden.
Um den Einfluss von einzelnen Bildpunkten, der Zeichenränder und anderer kleiner Störungen zu reduzieren wird dabei z.B. für die Bestimmung der minimalen und maximalen Leuchtdichte ein virtuelles Spotmeter über die leuchtende Fläche „bewegt“.

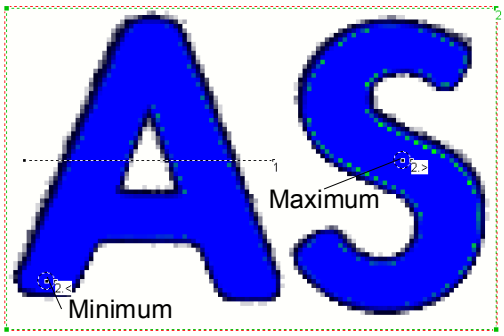
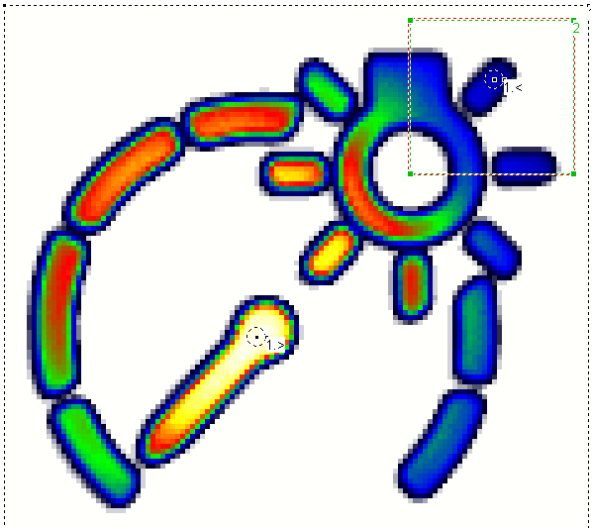
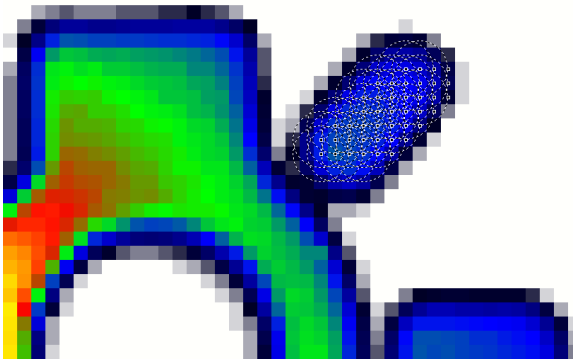


Abb. 11: Ausgewertetes Symbol in Labeldarstellung (leuchtender Bereich wird blau markiert)





Darstellung der möglichen Messregionen für einen Teil des Symbolobjektes zur Bestimmung der minimalen und maximalen Leuchtdichtebereiche.

Abb. 12: Arbeitsweise des virtuellen Spotmeters bei der Symbolmessung

Mit Hilfe weiterer Optionen bei der Auswertung kann der Nutzer die Größe des Spots festlegen. Zusätzlich ist es ebenfalls möglich einen bestimmten Abstand des Spots vom Rand

des Symbols einzuhalten, um die Effekte der Zeichenränder am Rand der Symbole weiter zu reduzieren.
Ergänzend zu den Bewertungen im Bereich der Leuchtdichte können bei der Verwendung einer ortsaufgelösten Farbmesskamera die entsprechenden Farbvalenzen bestimmt werden. Hierbei wird die Klassifikation der einzelnen Bildpunkte (Bildpunkt gehört zum Symbol, Bildpunkt gehört zum Randbereich oder zum Hintergrund) über die oben beschriebenen Verfahren unter Verwendung des Leuchtdichtekanals durchgeführt.
Für die einzelnen Regionen (leuchtende Fläche, Bereiche für Minimum und Maximum) werden die Farbwerte bestimmt. Hierbei sind sowohl die Farbvalenzen selbst, als auch die dominante Wellenlänge, die in der Regel als Güteparameter für die Bestimmung der Farbart verwendet wird, gefragte Größen. Auf Grund der Verwendung von LED's, die in ihrer dominanten Wellenlänge exemplarabhängig schwanken, und des Einflusses der lichtleitenden Kunststoffteile ist die Bestimmung der dominanten Wellenlänge bei der Qualitätsbewertung notwendig.

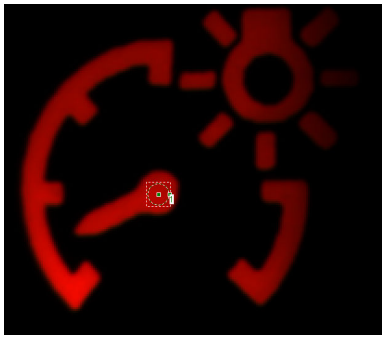


Abb. 13: Farbbild eines Symbols in linearer Darstellung

Abb. 14: Leuchtdichtekomponente des Symbols (lineare Darstellung siehe Palette)

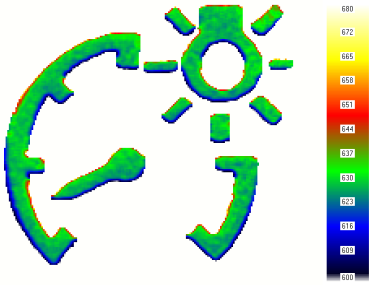


Abb. 15: Dominante Wellenlänge der einzelnen Bildpunkte des Symbols (lineare Darstellung siehe Palette)

Man kann an der Darstellung der dominanten Wellenlänge erkennen, das hier die Auswertung insbesondere in den Randbereichen des Symbols zu Problemen führt und man daher mit Hilfe der Auswertealgorithmen die Bewertung auf den inneren Bereich des Symbols beschränken muss.

Zusammenfassung

Die ortsaufgelöste Licht- und Farbmesstechnik bietet für verschiedene Aufgabenstellungen in der Lichtmesstechnik Lösungsmöglichkeiten, die mit herkömmlichen Einzelsensormessgeräten nicht realisiert werden konnten.
Durch die angepasste Auswertung von ortsaufgelösten Leuchtdichte- und Farbbildern und die Kombination verschiedener Aufnahmen (z.B. unter verschiedenen Richtungen oder zu verschiedenen Zeiten) zu lichttechnischen Kenngrößen können zahlreiche Aufgaben, die bisher sehr lange Messzeiten erfordert haben, sehr schnell gelöst werden.
In vielen Fällen sind bei der Lösung der Problemstellungen die anzuwendenden Verfahren an die Aufgabenstellung anzupassen.

Quellen:

[1] Krüger, U.: *Technological aspects of spectral correction adjustment of space resolved radiation detectors*.. Light&Engineering 3/2001, pp.61-71, 2001.

[2] Schmidt, F; Krüger, U.; Poschmann, R.: *Ortsaufgelöste Farbmessung von Licht- und Körperfarben*. Licht 2002, Maastricht, S.293-297, 2002

[3] Muray, K.; Schanda, G., Schanda, J.: *Filter fabrication techniques for LED photometry*. CIE LED Symposium 97 on Standard Methods for Specifying and Measuring LED Characteristics, CIEx013, pp.61-64, 1997

[4] Porsch, T.; Blankenhagen, C.; Gall, D.: *Experimentelle Bestimmung der circadianen Lichtwirkung von Monitoren und TV-Bildschirmen*. Licht 2004, Dortmund, 2004

[5] Gall, D. und V. Lapuente: *Beleuchtungsrelevante Aspekte bei der Auswahl eines förderlichen Lampenspektrums*. Licht N7/8, 2002.

[6] Walking, A: *Messung der UGR-Werte zur Beurteilung des Blendungsverhaltens einer Beleuchtungsanlage mittels bildauflösender Leuchtdichtemessung*. Diplomarbeit TU Ilmenau 1995

[7] Gall, D.: *Leuchtdichte-Analysatoren eröffnen neue Möglichkeiten in der Lichtmesstechnik*. Zeitschrift Licht 50 (1998) 7/8, S. 698ff.

[8] Wolf, S.; Gall, D.; Nevoigt, J.: *Leuchtdichte-Analysator zur Messung anlagenspezifischer Blendungsparameter*. Zeitschrift Licht 50 (1998) 11/12, S. 1040ff.

[9] Gall, D.; Wolf, S.; Kaase, H.; Hesse, J.; Kokoschka, S.: *Vergleich von gemessenen und berechneten UGR-Werten*. Tagungsberichte LICHT'98, 13. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, der Niederlande, Österreichs und der Schweiz, 16. bis 18. September 1998 Bregenz, S. 140ff.