

Bildauflösende Leuchtdichtemessung

1 Praktikumsziel

Durch diesen Versuch sollen die modernen Möglichkeiten der CCD-Meßtechnik zur orts aufgelösten photometrischen und geometrischen Analyse lichttechnischer Bauelemente, sowie komplexer Szenen erläutert werden. Damit sollen die potentiellen Nutzer die möglichen Einsatzgebiete, sowie Grenzen dieses Meßverfahrens kennenlernen.

Der Versuch setzt vorhandene grundlegende Kenntnisse über die lichttechnischen Grundgrößen und deren Zusammenhänge voraus. Es ist weiterhin vorteilhaft die wesentlichen Beziehungen / Unterschiede zwischen photometrischen und strahlungsphysikalischen Größen zu kennen. Die Messungen werden mit Hilfe einer unter Windows gesteuerten CCD-Meßanlage durchgeführt. Die Darstellung und die Auswertung der Ergebnisse erfolgen in einer einheitlichen Windows-Standardumgebung.

2 Grundlagen

2.1 Einleitung

Die Messung von Leuchtdichteverteilungen $L(x,y)$ ermöglicht die komplexe Beurteilung vieler lichttechnischer Baugruppen (Lampen, Leuchten, Projektoren, Lichtleitsysteme, usw.), wie auch die Bewertung von Beleuchtungssituationen. Die bildauflösende Leuchtdichtemesstechnik vereinigt die Erfassung photometrischer Größen mit den Algorithmen der Bildverarbeitung zur Gewinnung geometrischer Daten und erlaubt damit die Gewinnung weiterer lichttechnischer Größen (Lichtstärken, Beleuchtungsstärken, Ausstrahlung, u.a.).

Die bildauflösende Lichtmeßtechnik besitzt gegenüber der konventionellen Technik der Messung mit Einzelsensoren einige Vorteile:

- Örtliche Verteilung: Da alle Informationen über eine Szene mit einem Leuchtdichtebild erfaßt werden können, ist der Bezug zwischen verschiedenen Meßorten visuell und meßtechnisch leicht möglich.
- Zeiteinsparung bei der Messung: Die Messung einer Vielzahl von Objekten benötigt nur einen Bruchteil der Meßzeit mit herkömmlicher Technik, da alle Meßorte auf einmal erfaßt werden.
- Konstanz der Lichtverhältnisse: Alle Meßdaten werden zum gleichen Zeitpunkt gewonnen.
- Reproduzierbarkeit: Das Leuchtdichtebild kann gespeichert werden und gestattet die beliebige Wiederholung der Auswertung zu einem späteren Zeitpunkt.
- Programmgestützte Auswertung der Daten: Bestimmte Zusammenhänge in der Meßszene (Konstanz der Leuchtdichte, Einhaltung von Grenzwerten) können leichter gefunden werden.

2.2 Das bildauflösende Leuchtdichte-Meßsystem

Am Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau existieren mehrere bildauflösende Leuchtdichtemeßsysteme. Sie basieren alle auf verschiedenen (analog und digital) Versionen der CCD-Leuchtdichtemeßkamera. Zwei der verfügbaren Meßsysteme sind in der Abbildung 1 gezeigt.

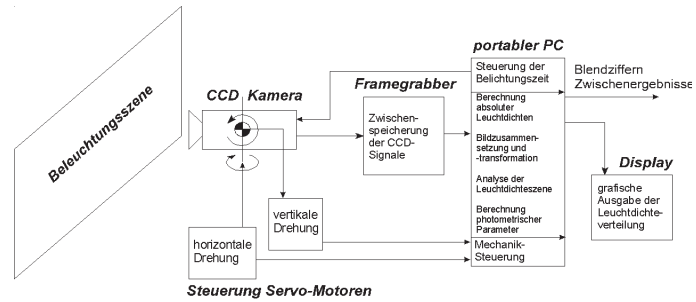


Abb. 1: Photo und Funktionsprinzip des Leuchtdichteanalysators der TU Ilmenau

Folgende Parameter und Größen sind meßbar oder bestimmbar:

Direkt meßbare Größen	Indirekt abgeleitete Größen
<p><u>Lichttechnische Parameter:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Mittlere Leuchtdichten • Leuchtdichtefelder • Beleuchtungsstärken aus definierten Raumwinkelbereichen • Direkte und indirekte Beleuchtungsstärken • Lichtstärken (vor Ort) <p><u>Geometrische Parameter:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sehwinkel • Flächen (Raumwinkel/Raumwinkelprojektion) • Lageparameter • Flächenschwerpunkte • Raumfrequenzen • Parameter für die Bildverarbeitung 	<ul style="list-style-type: none"> • Reflexionsgrade • Leuchtdichtekoeffizienten • Kontraste • Tageslichtquotienten • Leuchtdichtegleichmäßigkeiten • Beleuchtungsstärkegleichmäßigkeiten • Blendungsgrößen - psychologische Größen: UGR-Wert, GI-Wert, VCP, DGI - physiologische Größen: Schleierleuchtdichte L_V - Reflexblendung und Schleierreflexion (Kontrastwiedergabe) • Komfortzahlen, Sichtbarkeit, Visibilität

Tab. 1: Ermitteltbare lichttechnische und geometrische Parameter

3 Lichttechnische Grundlagen bei der Leuchtdichtemessung

3.1 Qualifizierung der CCD-Kamera zur Leuchtdichtemessung

Bei vielen Anwendungen im privaten oder industriellen Einsatz spielen eine Reihe von nichtidealen Eigenschaften heute üblicher CCD-Kameras keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Für den Einsatz in der Lichttechnik müssen diese, sich als Fehler auswirkenden Systemeigenschaften jedoch erkannt, gemessen und korrigiert werden.

• Dunkelstrom

CCD-Kameras liefern auch dann noch ein Bildsignal, wenn kein Licht durch das Objektiv auf den lichtempfindlichen CCD-Chip fällt. Ursache ist die thermische Generation von Ladungsträgern. Die Größe dieses Signals ist temperatur- und ortsabhängig. Dabei erklärt sich die Ortsabhängigkeit des Dunkelstroms zum einen aus lokalen Temperaturunterschieden auf dem CCD-Chip und zum anderen aus Fertigungstoleranzen der Bildpunkte bei der Herstellung des Chips.

In der Kalibrierungsphase der Kamera werden die örtlichen Unterschiede im Dunkelstrom zwischen den Bildpunkten bestimmt und während des Einsatzes der Kamera zur Korrektur genutzt.

• Shading

Als Shading bezeichnet man den Effekt, daß bei Aufnahme einer gleichmäßig leuchtenden Fläche die Signalwerte der einzelnen Pixel unterschiedlich sind. Hauptursachen sind hier die Randabschattung durch das Objektiv und die bereits beim Dunkelstrom erwähnten Größen- und Empfindlichkeitsunterschiede der Bildpunkte. Während der Kamerakalibrierung werden diese Unterschiede gemessen und als Datensatz gespeichert. Im Einsatz der Kamera erfolgt damit die Shadingkorrektur.

• Linearität

Der Zusammenhang zwischen dem auf die CCD-Matrix fallenden Licht und den von dieser generierten Signalwerte ist nichtlinear. Ursache sind Sättigungseffekte auf dem analogen CCD-Chip und die Nichtlinearität der Kameraelektronik. Der nichtlineare Zusammenhang wird während der Kamerakalibrierung gemessen und diese Meßwerte zur Korrektur genutzt.

• Spektrale Empfindlichkeit

Die spektrale Empfindlichkeit des Siliziums stimmt nicht mit der $v(\lambda)$ -Kurve überein. Die Korrektur erfolgt durch ein in die Kamera eingebautes Vollfilter. Dieses $v(\lambda)$ -Filter wird speziell für die in der Kamera eingesetzte CCD-Matrix berechnet und gefertigt.

• Absolutwertkalibrierung

Nach den vorangegangenen Korrekturen liegt für jeden Bildpunkt ein Signalwert vor, der der Leuchtdichte direkt proportional ist. Der Proportionalitätsfaktor hängt von der eingesetzten Blende, den Objektiveigenschaften, der Empfindlichkeit des CCD-Chips und der verwendeten Integrationszeit bei der Bildaufnahme ab. Die Bestimmung dieses Faktors erfolgt während der Kamerakalibrierung.

• Rauschen

Macht man mehrere Kameraaufnahmen einer konstant leuchtenden Fläche nacheinander, dann werden sich die Signalwerte von Bild zu Bild geringfügig unterscheiden. Ursache sind mehrere Rauschprozesse, die bei der Signalverarbeitung vom Licht zum digitalen Meßwert auftreten:

- die in die Kamera einfallenden Photonen unterliegen auch bei konstanter Beleuchtungsstärke einem Rauschprozeß mit Poissoncharakteristik
- die analoge Kameraelektronik
- die Umwandlung der kontinuierlichen Signalspannungswerte in digitale Signalwerte

Die heute übliche Größenordnung sind 1 bis 2 Grauwerte Streuung, d.h. mittlere Abweichung vom wahren Wert. Für die hellsten Stellen im Bild (Meßwerten um ca. 200) bleibt der relative Fehler im Bereich von einigen wenigen Prozent. Problematisch wird dieser Fehler für die dunkleren Bildteile.

3.2 Einsatzbeispiele der ortsauflösenden Leuchtdichtemess-technik

Leuchtdichteanalyse von gesamten Raumszenen

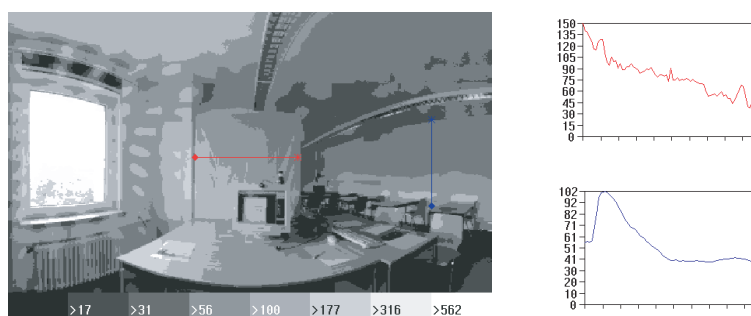


Abb.2: Leuchtdichtebild eines Büroarbeitsplatzes

Diagramm links oben: horizontaler Leuchtdichteverlauf (cd/m^2) auf gegenüber liegender Wand

Diagramm links unten: vertikaler Leuchtdichteverlauf (cd/m^2) auf Wand rechts

Analyse lichttechnischer Bauelemente

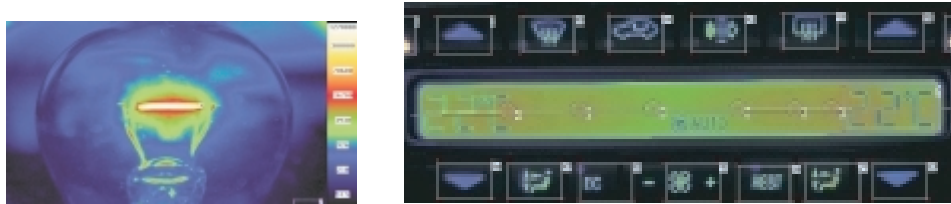


Abb. 3: Leuchtdichteaufnahmen einer Glühlampe und eines hinterleuchteten Armaturenbre

Vermessung und Bewertung von Reflexwirkungen auf Bildschirmen

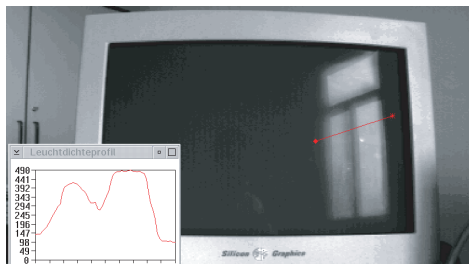


Abb. 4: Störreflexe am Bildschirm

4 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

4.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus:

- Leuchtdichtemeßkamera mit Steuerrechner
- Satz Austauschobjektive
- Diverse Meßproben, Reflexionsproben
- Beleuchtungsstärkemeßgerät

Der jeweils notwendige Aufbau ist sinngemäß der Abbildung 5 zu entnehmen. Die Leuchtdichtemeßkamera wird vor das zu untersuchende Objekt (im konkreten Fall vor dem Monitor) angebracht. Bei bestimmten Messungen nimmt die Meßkamera den Platz des Beobachters ein.

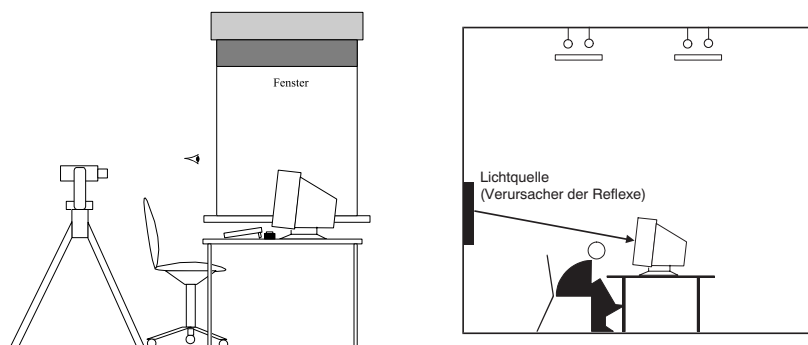


Abb. 5: Versuchsaufbau zur Bewertung der Störreflexe am Bildschirm

4.2 Durchzuführende Meßaufgaben

- 1 Untersuchen Sie eine geeignete Szene im Praktikumsraum. Verwenden Sie dabei bei gleicher Kameraposition zwei unterschiedliche Objektive (z.B. Normal- und Weitwinkelobjektiv).
- 2 Beleuchten Sie ein Schachbrett jeweils mit direktem Licht (ungleichmäßig) und dann mit diffusem Licht (gleichmäßig). Nehmen Sie in beiden Fällen die Leuchtdichteverteilung am Brett auf.

3 Untersuchen Sie die Leuchtdichtevertelung an einem Bildschirm im aus- und eingeschaltetem Zustand. Erzeugen Sie dann (durch direkte Beleuchtung) Störreflexe am Bildschirm und messen Sie erneut die resultierende Leuchtdichtevertelung.

5 Auswertung

1. Vergleichen Sie die Leuchtdichtebilder beider Messungen aus Meßaufgabe 1.
 - Achten Sie dabei besonders auf die Unterschiede beider Abbildungen und auf mögliche geometrische Verzerrungen.
 - Versuchen Sie in beiden Fällen eine detaillierte Leuchtdichteanalyse eines und desselben Objektes (z.B. eines Arbeitstisches) durchzuführen. Nutzen Sie die Auswertemöglichkeiten des LMK-Programms, insbesondere zur Ermittlung der lichttechnischen Parameter einer Meßregion und der Bestimmung von Leuchtdichte-Verlaufsprofilen.
 - Welche Besonderheiten der Abbildung sollten bei der Auswertung der Verlaufsprofile berücksichtigt werden und wann?
 - Versuchen Sie mit zusätzlicher Hilfe des Beleuchtungsstärkemessers die Reflexionsgrade bestimmter Raumflächen abzuschätzen.
2. Werten Sie die bei der Bearbeitung der aus Meßaufgabe 2 gewonnenen Leuchtdichtebilder des Schachbretts aus. Legen Sie dabei verschiedene Meßregionen zur Auswertung fest.
 - Achten Sie besonders auf die Extremalwerte und die Gleichmäßigkeit verschiedener Felder.
 - Bestimmen Sie die Felder mit der minimalen und der maximalen mittleren Leuchtdichte, sowie die mit der minimalen und der maximalen Gleichmäßigkeit.
 - Diskutieren Sie die Unterschiede der zwei Beleuchtungssituationen aus Meßaufgabe 2.
3. Analysieren Sie die Leuchtdichtebilder aus Meßaufgabe 3.
 - Legen Sie geeignete Verlaufsprofile und vergleichen Sie die Situationen mit und ohne Reflexe.
 - Versuchen Sie bei der Bildauswertung durch Ermittlung geeigneter Parameter die vorhandenen Kontraste am Bildschirm abzuschätzen.
 - Bei welcher Situation ergeben sich günstigere Betrachtungsbedingungen? Welche Schlußfolgerungen und Anforderungen resultieren daraus für eine ergonomiegerechte Bildschirmarbeitsplatzbeleuchtung?

6 Vorbereitungsaufgaben

1. Machen Sie sich mit den lichttechnischen Grundgößen (Beleuchtungsstärke, Lichtstärke, Leuchtdichte, Reflexionsgrad) sowie deren Zusammenhänge vertraut. Wie hängen die Größen Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte und Reflexionsgrad zusammen?
2. Wie ist der Grundaufbau der Leuchtdichtemeßanlage?
3. Machen Sie sich mit der LMK-Software vertraut.

Literatur

- [1] Riemann, M. Grundlagen des Licht- und Strahlungsfeldes. Lehrbrief TH Ilmenau 1975
- [2] Baer, R. Beleuchtungstechnik - Grundlagen. Verlag Technik Berlin 1990
- [3] Wolf, St., Gall, D. Erfahrungen beim Einsatz von Leuchtdichteanalysatoren Vortrag, 44. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium TU Ilmenau, Bd. 1, (20. – 23.9.1999), S. 343 – 347
- [4] Jordanow, W.; Vandahl, C.: Anwendung des Leuchtdichteanalysators bei Messungen an Industriearbeitsplätzen. 13. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, der Niederlande, Österreich und der Schweiz, Licht 98 Bregenz, Tagungsband S. 242-248
- [5] Fischbach, I.; Schmidt, F.: LMK2000-Benutzerhandbuch. Bedienungsanleitung, Ilmenau 2000