

DIN 5032-10



ICS 17.180.20

**Lichtmessung –
Teil 10: Leuchtdichtemesskamera, Begriffe, Eigenschaften und deren
Kennzeichnung**

Photometry –

Part 10: Luminance meters, concepts, characteristics and their designation

Photométrie –

Partie 10: Luminancemètres, notions, caractéristiques et leur repérages

Gesamtumfang 55 Seiten

DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL)

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
3.1 Gerätebezeichnungen	8
3.2 Koordinatensysteme	11
3.3 Photometrische Begriffe	11
3.4 Kenngrößen	13
4 Erläuterungen	17
4.1 Bildsensor	17
4.2 Objektiv	17
4.3 Koordinatensystem	18
4.3.1 Allgemeines	18
4.3.2 Kamerakoordinatensystem	19
4.3.3 Messbildkoordinatensystem	19
4.4 Akzeptanzfläche und Messfeld	21
4.5 Auswerteregion	21
4.5.1 Allgemeines	21
4.5.2 Definition über ein Labelbild	22
4.5.3 Geometrische Definition	22
4.5.4 Photometrische Definition	22
4.6 Photometrisches Anpassungsfilter	22
4.7 Leuchtdichtemesskamera	23
4.7.1 Allgemeines	23
4.7.2 Binning	23
4.7.3 Integrationszeit	24
4.7.4 Steuersoftware	24
5 Messgrößen	24
5.1 Allgemeines	24
5.2 Leuchtdichte	24
5.2.1 Allgemeines	24
5.2.2 Mittlere Leuchtdichte	25
5.2.3 Leuchtdichte Verteilung	26
5.2.4 Projektion der Leuchtdichte Verteilung	26
5.2.5 Leuchtdichtebild	27
6 Leuchtdichtemesskamera	27
6.1 Allgemeines	27
6.2 Aufbau und Funktion	28
6.3 Realisierung einer Leuchtdichtemesskamera	28
7 Verfahren zur Justierung und Kalibrierung	28
7.1 Allgemein	28
7.2 Justieren	29
7.3 Kennwert zur Justierung durch den Hersteller	29
7.4 Kalibrieren	29
7.5 Messverfahren zur Kalibrierung von Leuchtdichtemessgeräten	29
7.6 Kalibrierung mit Hilfe einer kreisförmigen Auswerteregion	31
8 Charakterisierung von Leuchtdichtemesskameras	33
8.1 Allgemeines	33
8.2 Spektrale Eigenschaften	36
8.2.1 Allgemeines	36

8.2.2	Abweichung der relativen spektralen Empfindlichkeit von der $V(\lambda)$ Funktion	36
8.2.3	UV-Empfindlichkeit	38
8.2.4	IR-Empfindlichkeit	39
8.3	Linearität der Leuchtdichtemesskamera	40
8.3.1	Allgemeines	40
8.3.2	Nachweisgrenze	41
8.3.3	Abweichung von der Linearität	41
8.4	Messbereichsumschaltung	43
8.5	Fokussierung	43
8.6	Temperaturabhängigkeit	44
8.7	Messung zeitveränderlichen Lichtes	44
8.8	Polarisationsabhängigkeit	45
8.9	Orts-/Richtungsabhängige Empfindlichkeit	46
8.10	Kontrastübertragungsfunktion — Streulichteinfluss	46
8.10.1	Allgemeines	46
8.10.2	Umfeldeinfluss	47
8.10.3	Streulichteinfluss bei der Messung von Negativkontrast	48
8.10.4	Kantenfunktion	49
8.10.5	Smear	50
8.10.6	Verschlussstabilität	51
8.10.7	Blendenstabilität	52
8.10.8	Quellengröße	52
Anhang A	(informativ) Hinweise zur Kennwertbestimmung	54
A.1	Hinweise für die Gestaltung der Masken der Kennwertbestimmung	54
A.2	Zeitliche und örtliche Streuung	54
Literaturhinweise		55

Bilder

Bild 1	— Leuchtdichtebild einer LED Anordnung (lineare Skalierung)	6
Bild 2	— Leuchtdichtebild einer LED Anordnung (Ausschnitt) mit eingezeichneter Messlinie	7
Bild 3	— Auswertbeispiel: Schnitt durch die LED Anordnung entlang der in Bild 2 eingezeichneten Linie	7
Bild 4	— Zeichnung mit einer Auswahl der erläuterten Koordinatensysteme	19
Bild 5	— Zeichnung mit Kamerakoordinatensystem (ideale Zentralprojektion und Eintrittspupille als infinitesimal klein angenommen)	21
Bild 6	— Definition der Leuchtdichte, siehe 3.3.1	25
Bild 7	— Leuchtdichteverteilung dargestellt am Beispiel verschiedener Flächenelemente	26
Bild 8	— Projektion einer Leuchtdichteverteilung	27
Bild 9	— Mögliche Anordnung zur Kalibrierung von Leuchtdichtemesskameras	30
Bild 10	— Typisches Leuchtdichtebild der Auswerteregion innerhalb des inneren Kreistrings	31
Bild 11	— Regionen zur Bestimmung der örtlichen Abhängigkeit von Kenngrößen	35
Bild 12	— Prinzip zur Bestimmung von $s(\lambda)$	37
Bild 13	— Prinzip zur Bestimmung von $s(\lambda)$ an verschiedenen Pixelpositionen	38
Bild 14	— Relative Strahlungsfunktion s_{UV} für die Bestimmung der UV-Empfindlichkeit f_{UV}	39
Bild 15	— Spektrale Transmission $\tau_{UV}(\lambda)$ eines UV-Bandpassfilters für die Bestimmung der UV-Empfindlichkeit f_{UV}	39
Bild 16	— Spektrale Transmission $\tau_{IR}(\lambda)$ des IR-Langpassfilters zur Bestimmung der IR-Empfindlichkeit f_{IR}	40
Bild 17	— Anordnung zur Erfassung von Kontrastübertragungsfunktionen	47
Bild 18	— Maske für die Bestimmung des Umfeldeinflusses (Messbedingung Umfeldeinfluss)	48
Bild 19	— Maske für die Bestimmung des Streulichteinflusses bei Negativkontrast (Messbedingung Negativkontrast)	49
Bild 20	— Maske zur Bestimmung der Kantenfunktion (Messbedingung Kantenfunktion)	50
Bild 21	— Maske und Regionen zur Erfassung von Smear	51

Tabellen

Tabelle 1 — Übersicht Koordinatensysteme	18
Tabelle 2 — Kenngrößen von Leuchtdichtemesskameras	33

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 058-00-03 AA „Photometrie“ im DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL) erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

DIN 5032, *Lichtmessung*, besteht aus den folgenden Teilen:

- *Teil 2: Betrieb elektrischer Lampen und Messung der zugehörigen Größen*
- *Teil 3: Meßbedingungen für Gasleuchten*
- *Teil 4: Messungen an Leuchten*
- *Teil 7: Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten*
- *Teil 8: Datenblatt für Beleuchtungsstärkemessgeräte*
- *Teil 9: Messung der lichttechnischen Größen von inkohärent strahlenden Halbleiterlichtquellen*
- *Teil 10: Leuchtdichtemesskamera, Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung (dieser Teil)*
- *Teil 11: Nahfeldgoniophotometer, Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung*

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Einleitung

Leuchtdichte ist der Teillichtstrom, den ein Flächenelement in eine bestimmte Richtung in das Element des zugehörigen Raumwinkels emittiert. Leuchtdichtemessgeräte messen die über viele Flächenelemente einer Leuchtdichteverteilung gemittelte Leuchtdichte in eine bestimmte Richtung und im zugehörigen Raumwinkel.

Leuchtdichtemesskameras liefern ein Bild des leuchtenden Objekts, das in einer Matrix von sehr vielen Bildpunkten in digitaler Form erfasst und gespeichert wird. Unter Verwendung von Kalibrierfaktoren werden durch kamerainterne Berechnung die digitalen Messwerte des Bildes in Leuchtdichtewerte eines Leuchtdichtebildes umgewandelt, das wesentliche Merkmale der originalen Leuchtdichteverteilung zusammenfasst. Die dazu erforderlichen Zusammenhänge werden in dieser Norm benannt, erklärt und festgelegt.

Anforderungen an wesentliche Eigenschaften von Leuchtdichtemesskameras werden hier durch Kenngrößen definiert, wobei deren Werte zur Klasseneinteilung von Leuchtdichtekameras dienen können.

Verglichen mit einem Leuchtdichtemessgerät hat der Nutzer einer Leuchtdichtemesskamera ein Leuchtdichtebild zur Verfügung und nicht nur einen Leuchtdichtemesswert des zu vermessenden Objektes. Mit Hilfe einer Leuchtdichtemesskamera wird das zu vermessende Objekt abgetastet und man erhält ebenfalls Informationen über die Umgebung des Messobjektes.

Man kann die Information in einem Leuchtdichtebild auf verschiedene Art und Weise auswerten (z. B. durch Auswertung in unterschiedlichen Regionen) und man kann die Messergebnisse zusammen mit den Regionen darstellen.

(Siehe Bild 1, Bild 2 und Bild 3)

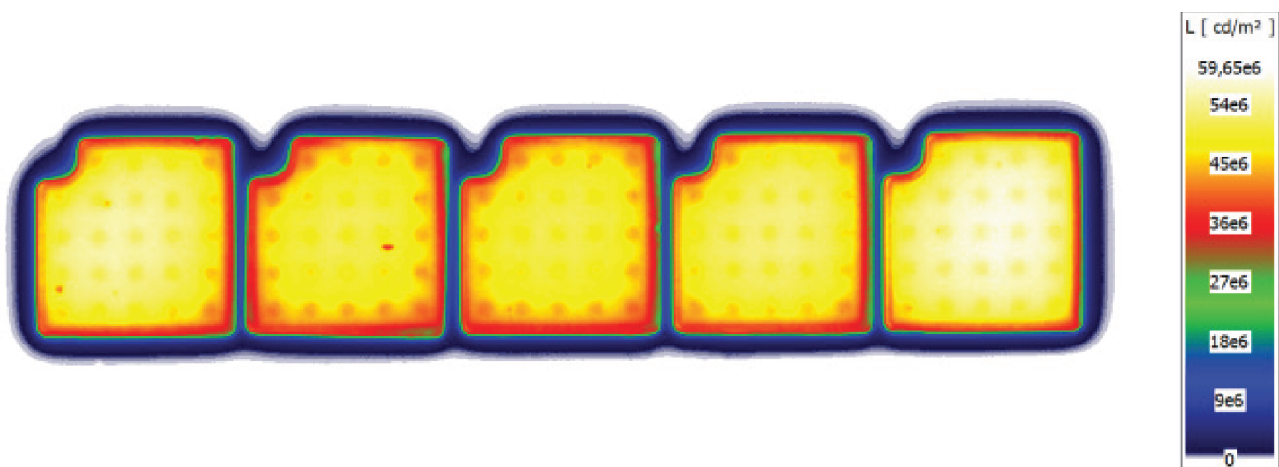


Bild 1 — Leuchtdichtebild einer LED Anordnung (lineare Skalierung)

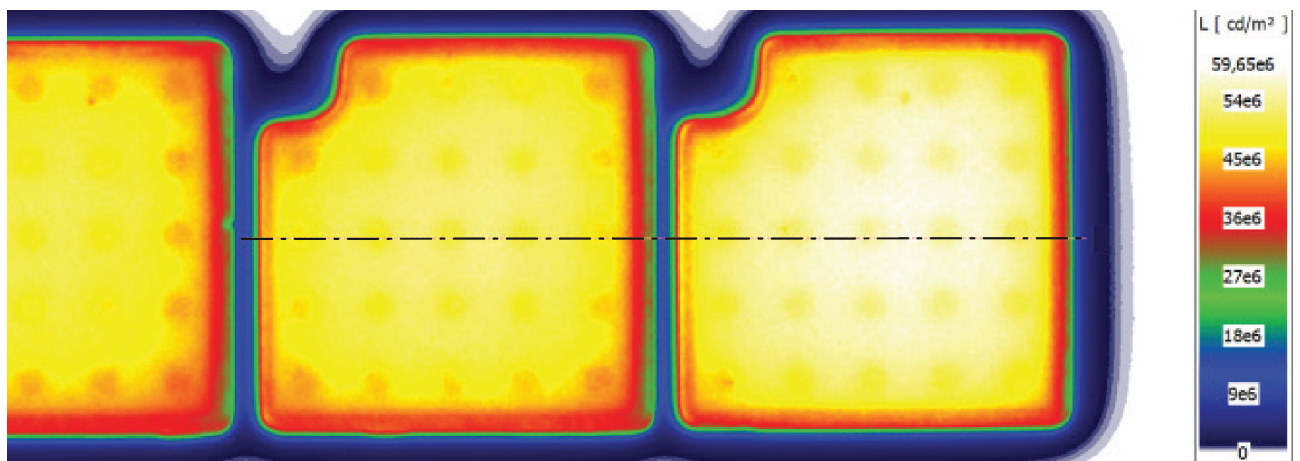
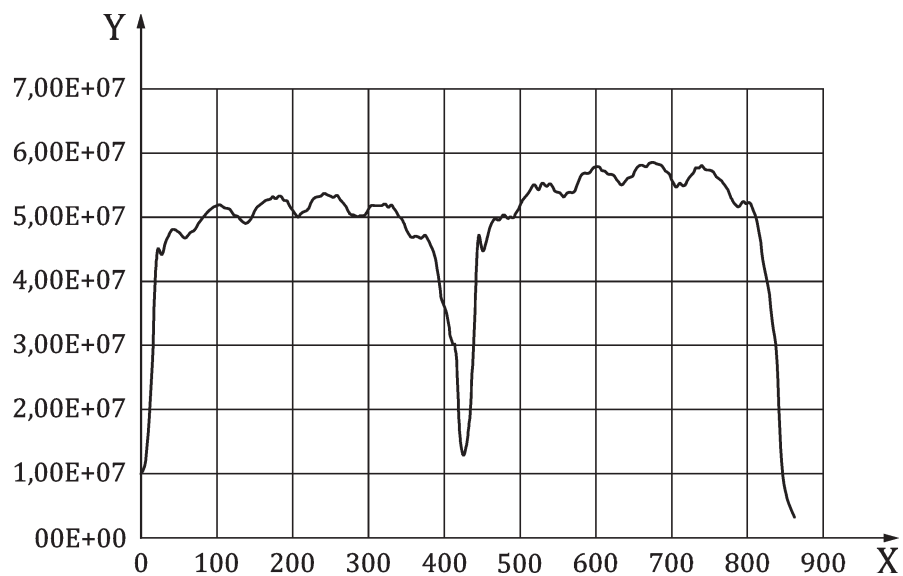


Bild 2 — Leuchtdichtebild einer LED Anordnung (Ausschnitt) mit eingezeichneter Messlinie



Legende

X Pixelposition/Pixel

Y Leuchtdichte in cd/m^2

Bild 3 — Auswertbeispiel: Schnitt durch die LED Anordnung entlang der in Bild 2 eingezeichneten Linie

1 Anwendungsbereich

In diesem Dokument werden die Eigenschaften der photometrischen Größen Leuchtdichtevertelung und Leuchtdichtebild und ihre wechselweisen Beziehungen beschrieben und alle zugehörnden Bezeichnungen festgelegt.

Insbesondere werden die Eigenschaften von Leuchtdichtemesskamas angegeben und, soweit sie für die Bestimmung von Leuchtdichtebildern erforderlich sind, auch bewertet. Dazu dient die Festlegung von Kenngrößen und der anzuwendenden Messverfahren.

Besondere Anwendungen von Leuchtdichtemesskamas z. B. im Nahfeld-Goniophotometer oder als Messkama zur Erfassung geometrischer oder radiometrischer Eigenschaften sind nicht Gegenstand dieser Norm.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN 13032-1:2012-06, *Licht und Beleuchtung — Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten — Teil 1: Messung und Datenformat; Deutsche Fassung EN 13032-1:2004+A1:2012*

CIE 198:2011, *Determination of measurement uncertainties in photometry*

ISO/CIE 19476:2014 (CIE S 023/E:2013), *Characterization of the performance of illuminance meters and luminance meters*

GUM, *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008)*

GUM S1, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) — Supplement 1: Numerical methods for the propagation of distributions (JCGM 101:2008)*

GUM S2, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) — Supplement 2: Extension to any number of output quantities (JCGM 102:2011)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>

— DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1 Gerätebezeichnungen

3.1.1

Bildsensor

optoelektronischer Wandler zum Gewinnen eines elektrischen Signals aus den optischen Kenngrößen einer Bildvorlage

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.1 für eine erweiterte Beschreibung.

[QUELLE: IEC 60050-723, 723-07-05 — modifiziert: Anmerkung 1 zum Begriff hinzugefügt]

3.1.2

Objektiv

optisches System, das meist aus einer oder mehreren Linsen besteht und zum Abbilden des Aufnahmefeldes benutzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.2 für eine erweiterte Beschreibung.

[QUELLE: DIN EN ISO 21227-1:2003-12, 3.3.3 — modifiziert: Anmerkung 1 zum Begriff hinzugefügt]

3.1.3

photometrisches Anpassungsfilter

Vollfilter, mit dessen Hilfe die relative spektrale Empfindlichkeit des Gesamtsystems an den spektralen Hellempfindlichkeitsgrad des menschlichen Auges für Tagsehen $V(\lambda)$ angepasst wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.6 für eine erweiterte Beschreibung.

3.1.4

Leuchtdichtemesskamera

Gerät zur Ermittlung der orts aufgelösten Projektion einer Leuchtdichteverteilung, bestehend aus Objektiv mit Blenden, photometrischem Anpassungsfilter, Bildsensor, elektronischen Komponenten zur Signalaufbereitung mit Steuersoftware und ggf. einer Anzeigeeinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Alternative Bezeichnungen für Leuchtdichtemesskameras sind Bildauflösendes Leuchtdichtemessgerät und Leuchtdichteanalysator, sie werden nicht zur Verwendung empfohlen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe 4.7 für eine erweiterte Beschreibung.

3.1.5

Leuchtdichtemesskameras

Unterscheidung der Art der Leuchtdichtemesskamera in die Typen I und II, mit den folgenden Eigenschaften:

Typ I: Leuchtdichtemesskamera ohne geometrische Kalibrierung

Typ II: Leuchtdichtemesskamera mit geometrischer Kalibrierung

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.7 für eine erweiterte Beschreibung.

3.1.6

Kamera

optoelektronisches System das mindestens aus einem Objektiv, einem Bildsensor und einer Steuer/Auswertelektronik besteht

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Weiteren wird von digitalen Kameras ausgegangen, die das auf dem Bildsensor entstandene Bild in digitaler Form ausgeben können, diese Daten werden als Rohdaten bezeichnet.

3.1.7

Rohdatenbild

Bild mit einer Kamera/Leuchtdichtemesskamera aufgenommen, ohne Korrekturen durch die nachgeschaltete Auswertungssoftware

3.1.8

Sensorexel

kleinste geometrisch auflösbare Teilfläche des matrixförmigen Sensors in einer Kamera

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Teilfläche des Sensors ($\Delta x, \Delta y$) enthält die lichtempfindliche Fläche (aktive Fläche) und auch die nicht lichtempfindliche Fläche (passive Fläche) zwischen den aktiven Bereichen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Gelegentlich werden nicht alle Pixel sondern nur bestimmte Teilbereiche eines Sensors ausgelesen (durch partielles Auslesen bei CCD Sensoren oder wahlfreien Zugriff bei CMOS Sensoren).

3.1.9

Bildauflösung des Sensors

Produkt aus Zeilen und Spaltenanzahl der auf Pixelebene auslesbaren Zeilen und Spalten eines Sensors

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anzahl der Zeilen und Spalten darf nur die ursprünglich ausgelesenen Pixel angeben, die einen physikalischen Bezug zum Sensor aufweisen und separat ausgelesen werden können (keine Verwendung von Interpolations- oder anderen Bildverbesserungsalgorithmen).

3.1.10

Makropixel

zusammengefasste Pixel, die während der Aufnahme auf dem Sensor (analoges Binning) oder bei der Verarbeitung des digitalen Kamerasignals z. B. im Computer (digitales Binning) erzeugt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Weiteren wird allgemein nur von Pixel gesprochen, wenn ein Element im auszuwertenden Messbild bezeichnet werden soll und der Unterschied zwischen der Bedeutung Makropixel und Sensorpixel keine Rolle spielt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Einführung von Makropixeln verändert ggf. die maximal erreichbare Aussteuerung eines Sensors und beeinflusst die Parameter der Signalverteilung, die von einem Pixel generiert wird und hat daher Einfluss auf die Bestimmung der Messunsicherheit.

Anmerkung 3 zum Begriff: Ein Makropixel kann auch dadurch entstehen, dass bei der Auswertung von Pixeln im Messbild diese erst zu größeren Gruppen zusammengefasst werden bevor die eigentliche Auswertung durchgeführt wird. Diese Operation verändert unter Umständen die Ergebnisdaten (z. B. Streuung, Minimum und Maximum).

3.1.11

Binning

Zusammenfassung benachbarter Pixel zu einem Makropixel

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.7.2 für eine erweiterte Beschreibung.

3.1.12

analoges Binning

Zusammenfassung benachbarter Pixel zu einem Makropixel vor der Ladungs-Spannungs Wandlung auf dem Sensor (nur bei CCD Sensoren)

3.1.13

digitales Binning

Zusammenfassung benachbarter Pixel zu einem Makropixel während der digitalen Signalverarbeitung in der Kamera oder Auswertesoftware

3.1.14

Integrationszeit

Zeit in der die einfallende Strahlung auf den Sensor in Ladungsträger bzw. in eine Spannung gewandelt wird, die als Ausgangssignal zur Verfügung gestellt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.7.3 für eine erweiterte Beschreibung.

3.1.15

Steuersoftware

Datensätze und Software (ggf. hardwarenah, d. h. in der Kamera integriert) die für die Funktion einer Leuchtdichtemesskamera notwendig sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe 4.7.4 für eine erweiterte Beschreibung.

3.2 Koordinatensysteme

Rechtshändige kartesische Koordinatensysteme (x, y, z) zusammen mit den zugehörigen Kugelkoordinaten (r, ϑ, φ) werden verwendet und durch Indices unterschieden.

ANMERKUNG 1 Durch Indices wird unterschieden zwischen: Raum-, Geräte-, Objekt-, Element-, Kamera- und Messbildkoordinatensystemen.

ANMERKUNG 2 Siehe 4.3 für eine erweiterte Beschreibung.

3.3 Photometrische Begriffe

3.3.1

Leuchtdichte

$L(x, y, z, \vartheta, \varphi)$

Dichte des Lichtstromes $\Phi(A, \Omega)$ aus einer Fläche am Ort (x, y, z) in eine Richtung (ϑ, φ) , gegeben als zweite Ableitung des Lichtstromes nach der Projektion der Fläche $A(x, y, z)$ in diese Richtung mit $A_p(x, y, z) = A(x, y, z) \cdot \cos \vartheta$ und nach dem Raumwinkel $\Omega(\vartheta, \varphi)$ in dem der Lichtstrom abgegeben wird und betrachtet für den Fall $A(x, y, z) \rightarrow 0$ und $\Omega(\vartheta, \varphi) \rightarrow 0$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Leuchtdichte ist gegeben durch Gleichung (1).

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Leuchtdichte ist in ISO 80000-7 und in CIE S 017 (ILV), 17-711 definiert. Zur allgemeinen Beschreibung in dieser Norm bietet sich aber hier die zur Definition gleichwertige Darstellung über die 2. Ableitung des Lichtstromes an.

$$L(x, y, z, \vartheta, \varphi) = \frac{\partial^2 \Phi(x, y, z, \vartheta, \varphi)}{\partial A(x, y, z) \cdot \cos \vartheta \cdot \partial \Omega(\vartheta, \varphi)} = \frac{\partial^2 \Phi(x, y, z, \vartheta, \varphi)}{\partial A_p(x, y, z) \cdot \partial \Omega(\vartheta, \varphi)} \quad (1)$$

Dabei ist

$L(x, y, z, \vartheta, \varphi)$	die Leuchtdichte einer Fläche an einem Ort in eine Richtung;
$\partial^2 \Phi(x, y, z, \vartheta, \varphi)$	das Lichtstromelement;
$\partial \Omega(\vartheta, \varphi)$	das Raumwinkelement in Richtung (ϑ, φ) ;
$\partial A(x, y, z)$	das Flächenelement der Oberfläche oder einer Hüllfläche um die Leuchte;
$\partial A_p(x, y, z)$	das Flächenelement der Projektion $\partial A(x, y, z)$ auf die Ebene normal zur Richtung (ϑ, φ) ; $\partial A_p(x, y, z) = \partial A(x, y, z) \cdot \cos \vartheta$;
x, y, z	die Koordinaten der Flächenelemente $\partial A(x, y, z)$ und $\partial A_p(x, y, z)$;
ϑ	der Winkel zwischen der Flächennormalen $\vec{\partial A}(x, y, z)$ und der Richtung des Raumwinkelementes $\partial \Omega(\vartheta, \varphi)$;
φ	der Azimut des Raumwinkelementes $\partial \Omega(\vartheta, \varphi)$;
ϑ, φ	die Koordinaten im Polarkoordinatensystem mit dem Ursprung in $\partial A(x, y, z)$ und dem Pol in Richtung der Flächennormalen $\vec{\partial A}(x, y, z)$.

3.3.2

Leuchtdichteverteilung

Variation der Leuchtdichten auf einer dreidimensionalen Oberfläche als Funktion des Ortes auf der Fläche und der Richtung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Leuchtdichtevertelung ist 5-dimensional, d. h. sie wird mit Koordinaten für Ort und Richtung angegeben. Die Orts-Koordinaten werden in Objektkoordinaten (Lichtquelle) angegeben, die Richtungskoordinaten dagegen in Elementkoordinaten. Letztere können grundsätzlich in Objektkoordinaten transformiert werden.

3.3.3

Projektion der Leuchtdichtevertelung

Beobachtung der Leuchtdichtevertelung $L(x_S, y_S, z_S, \vartheta_E, \varphi_E)$ einer leuchtenden Fläche von einem Punkt (Projektionszentrum)

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei der Beobachtung des leuchtenden Körpers mit Hilfe einer Leuchtdichtemesskamera wird die Projektion auf die Bildebene des Matrixsensors ausgeführt. $L(x_S, y_S, z_S, \vartheta_S, \varphi_S) \rightarrow L(i, j)$. Im Ergebnis entsteht das Leuchtdichtebild $L(i, j)$.

3.3.4

Leuchtdichtebild

digitale Beschreibung der Projektion einer Leuchtdichtevertelung auf die ebene Bildfläche des Sensors

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird aus Rohdatenbildern/Messbildern mit Hilfe der Steuersoftware erfasst und berechnet und bildet die Grundlage für weitere Auswertungen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ohne Kenntnis der konkreten Oberfläche des Messobjektes kann aus den Daten des Leuchtdichtebildes $L(i, j)$ nur die Richtung, aus der die Projektion durch das Projektionszentrum ($x_C = 0, y_C = 0, z_C = 0$) erfolgte, rekonstruiert werden, $L(i, j) \rightarrow L(\vartheta_C, \varphi_C)$.

3.3.5

Eintrittspupille

EP

paraxiales Bild der Aperturblende im Objektraum oder die Aperturblende selbst, wenn diese im Objektraum liegt

[QUELLE: DIN ISO 14132-1:2017-02, 4.2.6]

3.3.6

Akzeptanzfläche

Fläche im Objektbereich, von der emittierte Strahlung durch das Objektiv tritt und die Messwerte beeinflusst

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Akzeptanzfläche ist üblicherweise größer als das Messfeld, da die Akzeptanzfläche auch Bereiche enthält, die nur indirekt das Ergebnis beeinflussen (Streulicht aus Umfeldeinfluss siehe 8.10.2).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe 4.4 für eine erweiterte Beschreibung.

3.3.7

Messfeld

Fläche, die alle Punkte im Objektraum enthält, deren Strahlung vom Empfänger empfangen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Messfeld sollte zusammen mit der Messentfernung (bei Objektiven mit fester Entfernungseinstellung) bzw. für die minimale und die maximale (falls möglich) Messentfernung bei fokussierbaren Objektiven angegeben werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Messfeld ist in der Regel rechteckig. Es kann aber auch andere Formen aufweisen (z. B. kreisförmig für Halbraumobjektive oder konoskopische Objektive).

Anmerkung 3 zum Begriff: Das Messfeld eines Pixels ist die Menge aller Punkte der Szene, die in die Eintrittspupille strahlen, vom Pixel erfasst und von diesem mit einer richtungsabhängigen Empfindlichkeit von wenigstens 10 % der maximalen Empfindlichkeit bewertet werden.

Anmerkung 4 zum Begriff: Das Messfeld einer Auswerteregion ist die Menge aller Punkte der Szene, die direkt auf die Sensorpixel der Auswerteregion abgebildet werden und von dieser mit einer richtungsabhängigen Empfindlichkeit von

wenigstens 10 % der maximalen Empfindlichkeit bewertet werden. Im Vergleich zum Leuchtdichtemessgerät, das bei einer Messung nur einen Messwert eines vor der Messung zu definierenden Messfeldes liefert, ist es mit einer Leuchtdichtemesskamera möglich mehr als eine Region und Regionen unterschiedlicher Form und Lage gleichzeitig auszuwerten.

[QUELLE: DIN EN 12665:2018-08, 3.6.6 — modifiziert: Anmerkungen zum Begriff hinzugefügt]

3.3.8

Messfeldwinkel

Winkel der durch das unendlich entfernte Messfeld und das Projektionszentrum aufgespannt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Messfeldwinkel (angegeben für den horizontalen und vertikalen bzw. den diagonalen Bildbereich) ist der Winkel zwischen der optischen Achse und dem Hauptstrahl eines entsprechenden Bildrandpunktes.

Anmerkung 2 zum Begriff: Alternativ kann für ein System auch der gesehene Raumwinkel aller lichtempfindlichen Pixel angegeben werden. Dieser Raumwinkel wird Messfeldraumwinkel bezeichnet.

3.3.9

Auswerteregion

Menge von Pixeln im Leuchtdichtebild, die für eine Auswertung verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Zweck der Auswertung ist in der Regel die Berechnung des Mittelwertes und anderer statistischer Parameter einer Auswerteregion.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Pixelmenge kann unterschiedliche geometrische Formen haben (Linie, Kreis, Rechteck)

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Punktmenge kann ebenfalls über die Leuchtdichtewerte definiert werden (z. B. alle Bildpunkte mit einer Leuchtdichte größer als eine definierte Leuchtdichteschwelle).

Anmerkung 4 zum Begriff: Die Pixelmenge muss keine geometrisch definierte Form sein.

Anmerkung 5 zum Begriff: Die Pixelmenge muss nicht zusammenhängend sein.

Anmerkung 6 zum Begriff: Für weitere Erläuterungen siehe 4.5.

3.3.10

Labelbild

digitales Bild $B(i, j)$ in der Größe einer Auswerteregion oder des gesamten Leuchtdichtebildes, das dazu dient die Eigenschaften eines Pixels des Leuchtdichtebildes $L(i, j)$ bestimmten Klassen zuzuordnen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Labelbild $B(i, j)$ ist das Ergebnis einer Klassifikation der Pixel auf Grund bestimmter Bedingungen und dient hier der Vorbereitung statistischer Auswertungen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für weitere Erläuterungen siehe 4.5.

3.4 Kenngrößen

Die Kenngrößen eines Leuchtdichtemessgerätes sind in ISO/CIE 19476:2014 „Characterization of the Performance of Illuminance Meters and Luminance Meters“ beschrieben. Die Kenngrößen für die Beschreibung von Leuchtdichtemesskameras wenden die dort verwendeten Bezeichnungen und Verfahren an, wo immer dies möglich und sinnvoll erscheint. Zusätzlich werden einige praktische Aspekte der Charakterisierung von Leuchtdichtemesskameras dargestellt. Im Vergleich zu Leuchtdichtemessgeräten ergeben sich die folgenden zusätzlichen Gesichtspunkte:

Die Messung und Auswertung der Daten erfolgt in der Regel mit Hilfe von Computern und Steuersoftware. Die Transformation des physikalischen Signals (gesammelte Photonen) in die Anzeige der Leuchtdichte kann sehr komplex sein. Dabei können auch Bildverarbeitungs- oder Bildkompressionsverfahren Anwendung finden, unter anderem um die Größe der Datensätze zu reduzieren.

Leuchtdichtemesskameras haben eine große Anzahl mehr oder weniger unabhängiger individueller Detektoren (Pixel). Betrachtet man das System individueller Detektoren, würde dies bedeuten, dass jeder Detektor seine eigenen charakteristischen Eigenschaften hat. In der Praxis werden einzelne Bildpunkte jedoch nur in Ausnahmefällen verwendet, sodass auch bei der Charakterisierung mehrere Pixel zu einer Auswerteregion zusammengefasst werden sollten.

Einige kommerziell verfügbare Leuchtdichtemesskameras gestatten eine sehr einfache Veränderung des optischen Systems (Einstellen der Brennweite, der Fokulentfernung, der Blende sowie den Wechsel von Objektiven und Neutralsichtfiltern). Allgemein sind die bei der Charakterisierung bestimmten Kennwerte nur für eine bestimmte Konfiguration (Brennweite, Fokus, Blende, usw.) gültig, die zusammen mit den Kennwerten anzugeben ist.

Ein Satz Kenngrößen wird verwendet, um die Leistung (im Sinne von Performance) einer Leuchtdichtemesskamera zu beschreiben. Kenngrößen sind physikalische Größen die ausgewählte Eigenschaften von Leuchtdichtemesskameras beschreiben. Es handelt sich um normierte Empfindlichkeiten, die keine Fehler im eigentlichen Sinn beschreiben und nicht direkt für die Korrektur verwendet werden können. Der Name jedes Kennwertes wird vom physikalischen Effekt abgeleitet, der die Kenngröße beeinflusst, um das Verständnis für die Kennwerte einfacher zu gestalten.

Ein Kennwert wird mit dem Buchstaben „ f_x “ bezeichnet, wobei der Index „ x “ die entsprechende Eigenschaft spezifiziert. Für die Kennwerte gilt:

- bestimmt mit Hilfe von Formeln, die speziell für jede Kenngröße angegeben werden, wobei Daten unter spezifischen Messbedingungen erfasst werden müssen;
- anzugeben in Prozent mit beigeordneter Messunsicherheit;
- sind für ideale Leuchtdichtemesskameras Null.

Die Kennwerte einer Leuchtdichtemesskamera alleine gestatten keine Angabe oder Abschätzung der Messunsicherheit für eine spezielle Messaufgabe. Jedoch kann allgemein angenommen werden, dass für Messwerte von Leuchtdichtemesskameras mit kleineren f_x -Werten, in den meisten Fällen, kleinere Messunsicherheiten angegeben werden können als für solche mit größeren Kennwerten.

3.4.1

Herstellerjustage

f_{adj}

Kenngröße, die den Betrag der relativen Abweichung der Anzeige der Leuchtdichtemesskamera vom zugehörigen Referenzwert beschreibt

Anmerkung 1 zum Begriff: Für eine Leuchtdichtemesskamera wird die Herstellerjustage ähnlich der Justage von Leuchtdichtemessgeräten mit Hilfe der Einpunktjustage durchgeführt.

3.4.2

Abweichungen der relativen spektralen Empfindlichkeit von der $V(\lambda)$ Funktion

f'_1

Kenngröße, die die Abweichung der relativen spektralen Empfindlichkeit der Leuchtdichtemesskamera von der $V(\lambda)$ Funktion beschreibt

[QUELLE: DIN EN 13032-1:2012-06, B.1]

3.4.3

UV-Empfindlichkeit

f_{UV}

Kenngröße, die die Empfindlichkeit der Leuchtdichtemesskamera für UV-Strahlung beschreibt

[QUELLE: DIN EN 13032-1:2012-06, B.2]

3.4.4**IR-Empfindlichkeit** f_{IR}

Kenngröße, die die Empfindlichkeit der Leuchtdichtemesskamera für IR-Strahlung beschreibt

3.4.5**Nachweisgrenze** $f_{3,0}$

Kenngröße, die den kleinsten von Null verschiedenen Messwert einer Leuchtdichtemesskamera beschreibt, der mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit angegeben werden kann (Voraussetzung oder auch zusätzliche Information für die Kenngrößen, die Linearitätseigenschaften beschreiben)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Nachweisgrenze kann unter anderem durch Systemrauschen, durch Begrenzungen beim digitalen Auslesen oder durch die Analog-Digital-Wandlung hervorgerufen werden.

3.4.6**Linearität (fester Messbereich)** $f_{3,1}$

Kenngröße, die die Abweichung der Antwort der Leuchtdichtemesskamera auf verschiedene Leuchtdichteneiveaus beschreibt, wobei der Messbereich der Leuchtdichtemesskamera (z. B. Integrationszeit, Verstärkung, Blende oder verwendetes Neutralgraufilter) dabei nicht verändert wird

3.4.7**Linearität (variabler Messbereich)** $f_{3,2}$

Kenngröße, die die Abweichung der Antwort der Leuchtdichtemesskamera bei konstanter Leuchtdichte aber veränderten Aussteuerungen des Analog-Digital-Wandlers (z. B. durch Variation der Integrationszeit, der Verstärkung oder der Blende) beschreibt

3.4.8**Temperaturabhängigkeit** $f_{6,T}$

Kenngröße, die den Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Antwort der Leuchtdichtemesskamera beschreibt, wenn die Umgebungstemperatur von der Umgebungstemperatur bei der Kalibrierung abweicht

[QUELLE: DIN EN 13032-1:2012-06, B.11]

3.4.9**Bewertung von zeitveränderlichen Licht** f_7

Kenngröße, die den Einfluss modulierten Lichts bei verschiedenen Frequenzen, verglichen mit der Antwort bei zeitlich konstanter Leuchtdichte, beschreibt

3.4.10**Polarisationsabhängigkeit** f_8

Kenngröße, die den Einfluss polarisierten Lichts auf die Antwort der Leuchtdichtemesskamera beschreibt

[QUELLE: DIN EN 13032-1:2012-06, B.5]

3.4.11**Messbereichsumschaltung** f_{11}

Kenngröße, die den Einfluss des Messbereiches (Verstärker, Binning, Blende und andere Einstellungen, die die Empfindlichkeit beeinflussen können) beschreibt

[QUELLE: DIN EN 13032-1:2012-06, B.13]

3.4.12

Einfluss der Fokussierung

f_{12}

Kenngroße, die den Einfluss der Fokuseinstellung auf die Antwort der Leuchtdichtemesskamera beschreibt

[QUELLE: DIN EN 13032-1:2012-06, B.7]

3.4.13

örtliche und richtungsabhängige Empfindlichkeit für große homogene Flächen

f_{21}

Kenngroße, die die Gleichförmigkeit der Empfindlichkeit der Leuchtdichtemesskamera bei der Erfassung großer homogener Flächen beschreibt, wobei die Flächen größer gleich dem Messfeld des Objektivs sind

3.4.14

örtliche und richtungsabhängige Empfindlichkeit für kleine Flächen

f_{22}

Kenngroße, die die Gleichförmigkeit der Empfindlichkeit der Leuchtdichtemesskamera bei der Erfassung kleiner Flächen (Spots) beschreibt, wobei die Flächen wesentlich kleiner als die Ausdehnung des Messfelds des Objektivs sind

3.4.15

Umfeldeinfluss

f_{23}

Kenngroße, die den Einfluss der Umfeldleuchtdichte außerhalb des Messfeldes der Leuchtdichtemesskamera auf den Messwert beschreibt

3.4.16

Streulichteinfluss für Negativkontrast

f_{24}

Kenngroße, die den Einfluss von Streulicht auf die Messergebnisse beschreibt, wenn in dunklen Bereichen gemessen wird, die von hellen Bereichen umgeben sind (Negativkontrast)

3.4.17

Kantenfunktion

f_{25}

Kenngroße, die den Leuchtdichteverlauf an Leuchtdichtekanten beschreibt

3.4.18

Smeareinfluss

f_{26}

Kenngroße, die den Einfluss des Smeareffektes auf die Messwerte einer Leuchtdichtemesskamera beschreibt

3.4.19

Verschlussstabilität

f_{27}

Kenngroße, die die Stabilität der Realisierung der Integrationszeit einer Leuchtdichtemesskamera beschreibt

3.4.20

Blendenstabilität

f_{28}

Kenngroße, die die Stabilität der Realisierung der Blendenöffnung einer Leuchtdichtemesskamera beschreibt

3.4.21

Quellengroße

f_{29}

Kenngroße, die den Einfluss der Größe des Messobjektes auf den Messwert beschreibt

4 Erläuterungen

4.1 Bildsensor

Neben den grundlegenden Technologien CCD (en: charge-coupled device, IEV 521-11-16) und CMOS (en: complementary metal-oxide-semiconductor) werden die Sensoren in sehr unterschiedlichen Typen gefertigt. Die Eigenschaften der Sensoren (z.B. Bildauflösung des Sensors, Empfindlichkeit) und auch die verwendeten Ansteuerarten haben ggf. entscheidenden Einfluss auf die Eignung der Sensoren für die Leuchtdichtemessung. Im folgenden Dokument wird nur auf die Technologien CCD und CMOS eingegangen.

Die Versorgung des Bildsensors, die Steuerung der Auslese- und Speichervorgänge sowie die Analog-Digital-Wandlung der Messwerte erfolgt durch eine mit dem Sensor verbundene Zusatzelektronik deren Funktion durch hardwarenahe Software organisiert wird.

CCD (en: charge-coupled device, IEV 521-11-16)

Ladungsgekoppeltes Bauelement, das elektrische Ladungen in Potentialmulden speichert und diese beim Verschieben der Potentialmulden nahezu vollständig als Paket transferieren kann. Man unterscheidet im Wesentlichen:

- Full Frame Sensoren: Nutzen der kompletten Sensorfläche für die Speicherung und den Transport der Ladungen. Für die Kontrolle der Belichtung/Integration der Ladungen werden mechanische Verschlüsse verwendet;
- Interline Transfer Sensoren: Die Sensorfläche wird in lichtempfindliche Bereiche und Transportbereiche unterteilt. Die Belichtung/Integration kann über die elektronische Ansteuerung der Sensoren erfolgen. Mechanische Komponenten sind hierfür in der Regel nicht erforderlich.

CMOS (en: complementary metal-oxide-semiconductor)

Bildsensor, der mit Standard Halbleitertechnologie hergestellt werden kann. Aus der Vielzahl der Typen sollen hier grundlegende Unterscheidungsmerkmale herausgegriffen werden:

- Sensoren, deren Empfindlichkeit linear zur Belichtung ist:
 - Global Shutter (Integrationszeitkontrolle ähnlich der Arbeitsweise von interline-transfer CCD Sensoren, die Integration aller Pixel startet und endet zur selben Zeit);
 - Rolling Shutter (die Integration der Ladungen im Sensor startet Zeile für Zeile oder Fläche für Fläche, der Zeitpunkt der Belichtung hängt hier von der Pixelposition ab).
- Sensoren, deren Empfindlichkeit nichtlinear zur Belichtung ist:
 - nicht integrierenden Sensoren, die über einen wahlfreien Zugriff auf die Pixel ausgelesen werden können, wobei in der Regel der aktuelle Photostrom direkt ausgelesen wird;
 - Sensoren mit logarithmischer oder stufenweise linearer Transferkennlinie zur Erhöhung des photometrischen Dynamikbereiches.

4.2 Objektiv

Im Rahmen des Einsatzes als Leuchtdichtemesskamera werden im Wesentlichen folgende Objektivtypen verwendet:

- Standardobjektive (entozentrische Objektive);
- telezentrische Objektive;