

DIN EN 62679-3-1

ICS 31.260; 31.120

Einsprüche bis 2014-03-10

Entwurf

**Anzeigeeinheiten mit elektronischem Papier –
Teil 3-1: Optische Messverfahren
(IEC 110/461/CDV:2013);
Deutsche Fassung FprEN 62679-3-1:2013**

Electronic paper displays –
Part 3-1: Optical measuring methods
(IEC 110/461/CDV:2013);
German version FprEN 62679-3-1:2013

Afficheurs de papier électronique –
Méthodes de mesures optiques
(CEI 110/461/CDV:2013);
Version allemande FprEN 62679-3-1:2013

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2014-01-10 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 94 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 62679-3-1:2013 „Anzeigeeinheiten mit elektronischem Papier – Teil 3-1: Optische Messverfahren“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 110/461/CDV:2013 „Electronic paper displays – Part 3-1: Optical measuring methods“ unverändert in den Entwurf FprEN 62679-3-1:2013 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 110 „Electronic display devices“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 742 „Audio-, Video- und Multimediasysteme, -geräte und -komponenten“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Dieses Projekt stammt aus der IEC 62679 Ed.1, welches neu nummeriert und in zwei Projekte aufgeteilt wurde: IEC 62679-3-1 Ed.1 und IEC 62679-3-2 Ed.1.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Anzeigeeinheiten mit elektronischem Papier – Teil 3-1: Optische Messverfahren

	Inhalt	Seite
1	Anwendungsbereich.....	3
2	Normative Verweisungen	3
3	Begriffe und Abkürzungen.....	3
4	Standard-Messbedingungen	4
4.1	Standard-Umgebungsmessbedingungen	4
4.2	Koordinatensystem für die Betrachtungsrichtung	4
4.3	Standard-Beleuchtungsbedingungen.....	5
4.4	Standardbedingungen für die Messeinrichtung	12
4.5	Arbeits- und Bezugsnormale	14
4.6	Standardpositionen für das Messfeld	15
5	Optische Messverfahren	16
5.1	Reflexionsmessungen	16
5.2	Photometrische Gleichförmigkeit der Anzeigenebene	19
5.3	Kontrastverhältnis.....	20
5.4	Kontrast bei Umgebungsbeleuchtung	22
5.5	Übersprechen.....	22
5.6	Farbe, Farbumfang und Farbumfangsfläche der Anzeige	25
5.7	Farbmetrische Gleichförmigkeit der Anzeigenebene	29
5.8	Angezeigte Farbe bei Tageslicht.....	30
5.9	Farbumfangsvolumen bei Tageslicht	31
5.10	Abhängigkeit von der Betrachtungsrichtung	34
5.11	Geisterbilder	37
	Anhang A (informativ) Berechnungsverfahren für das Farbumfangsvolumen bei Tageslicht.....	40
A.1	Zweck	40
A.2	Verfahren für die Berechnung des Farbumfangsvolumens	40
A.3	Verfahren der Unterteilung der Oberfläche zur Berechnung des CIELAB-Farbumfangsvolumens.....	42
	Literaturhinweise	46
Bilder		
	Bild 1 – Darstellung der Betrachtungsrichtung oder Messrichtung mit der Definition des Neigungswinkels und des Drehwinkels (Azimutwinkel) in einem Polarkoordinatensystem.....	5
	Bild 2 – Anschauliche Beispiele für eine gerichtete Beleuchtung	8
	Bild 3 – Beispiel für den Messaufbau mit gerichteter Beleuchtung mit $\theta_S = 40^\circ$ und $\theta_R = 30^\circ$	8
	Bild 4 – Beispiel für den Messaufbau mit Ringlichtbeleuchtung mit $\theta_S \pm \Delta = 35^\circ \pm 5^\circ$ und $\theta_R = 20^\circ$	9
	Bild 5 – Genaue Darstellung der Kennwerte von Ringlicht	10

	Seite
Bild 6 – Beispiel für die Messgeometrien bei halbräumlicher Beleuchtung mit einer Ulbrichtschen Kugel (links) und einer Ulbrichtschen Kugel zum Aufsetzen (rechts)	11
Bild 7 – Darstellung des Messaufbaus	13
Bild 8 – Standard-Messpositionen	15
Bild 9 – Fenstermuster für die Messung des Übersprechens	23
Bild 10 – Beispiel für den Farbumfang der Anzeige	27
Bild 11 – Beispiel für Auswertungsergebnisse für die Farbumfangsfläche in der a^*-b^* -Ebene des CIELAB-Farbenraums	28
Bild 12 – Beispiel für die Darstellung des Bereichs von Farben einer gegebenen Anzeige im CIELAB-Farbenraum	33
Bild 13 – Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie für die Messung der Eigenschaften der Betrachtungsrichtung der Anzeige	35
Bild 14 – Beispiel für die Abhängigkeit des Kontrastverhältnisses von der Betrachtungsrichtung	36
Bild 15 – Anzeigebild zur Beschreibung von Geisterbildern	38
Bild A.1 – Ablaufdiagramm für die Berechnung des Farbumfangsvolumens	40
Bild A.2 – Grafische Darstellung des Farbumfangsvolumens für sRGB im CIELAB-Farbenraum	42
Tabellen	
Tabelle 1 – Eigenwerte M_1 und M_2 für die CIE-Tageslichtarten D50 und D75	17
Tabelle 2 – Eingangssignale für Messungen der Farbumfangsfläche in CIELAB und CIE-UCS- $u'v'$	28
Tabelle 3 – Beispielwerte für die Farbungleichförmigkeit einer Ebene	30
Tabelle 4 – Beispiel für die zur Berechnung des Farbumfangsvolumen einer 8-Bit-Anzeige mit drei Primärfarben erforderlichen Minimalfarben	32
Tabelle 5 – Gemessene Farbwerte für die Mindestanzahl von Farben (siehe Tabelle 4), die zur Berechnung des Farbumfangsvolumens unter den festgelegten Tageslichtbeleuchtungsbedingungen erforderlich sind	34
Tabelle 6 – Farbumfangsvolumen im CIELAB-Farbenraum	34
Tabelle 7 – Beispiel für die Form der Angabe der Betriebskennwerte für die Betrachtungsrichtung	37
Tabelle A.1 – Farbwerte der sRGB-Primärfarben	41
Tabelle A.2 – Beispiel für den sRGB-Farbkörper, dargestellt im CIELAB-Farbenraum	41
Tabelle A.3 – Beispiel für das sRGB-Farbumfangsvolumen im CIELAB-Farbenraum	42

1 Anwendungsbereich

Das vorliegende Dokument legt die Standard-Messbedingungen und Messverfahren für die Bestimmung der optischen Leistung von Anzeigen mit elektronischem Papier (EPDs) fest. Der Anwendungsbereich dieses Dokuments ist begrenzt auf EPDs mit segmentierten Anzeigen, mit Aktiv- oder Passiv-Matrix-Ansteuerung entweder mit monochromatischer oder farbiger Anzeige. Die Messverfahren sind für reflektierende EPDs vorgesehen. Die EPDs können mit einer integrierten Beleuchtung (ILU) ausgeführt sein, für diese Messverfahren wird die ILU aber ausgeschaltet. Farbsysteme mit mehr als drei Primärfarben werden im vorliegenden Dokument nicht behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

IEC 60050-845, *International electrotechnical vocabulary – Chapter 845: Lighting*

IEC 62679-1-1, *Electronic paper displays – Part 1-1: Terminology*

IEC 61966-2-1, *Multimedia systems and equipment – Colour measurement and management – Part 2-1: Colour management – Default RGB colour space – sRGB*

CIE 15, *Colorimetry*

CIE 38, *Radiometric and Photometric Characteristics of Materials and Their Measurement*

3 Begriffe und Abkürzungen

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 62679-1-1 und IEC 60050-845 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Kontrast bei Umgebungsbeleuchtung

Kontrast einer Anzeige sowohl bei halbräumlicher diffuser als auch gerichteter Beleuchtung, die auf die Anzeigenoberfläche fällt, um eine realistische Beleuchtungsumgebung nachzubilden

3.1.2

angezeigte Farbe bei Tageslicht

Farbe einer Anzeige sowohl bei halbräumlicher diffuser als auch gerichteter Beleuchtung, die mit einer festgelegten Geometrie, einem festgelegten Spektrum und festgelegten Beleuchtungsstärken auf die Anzeigenoberfläche fällt, um eine realistische Beleuchtungsumgebung bei Tageslicht nachzubilden

3.1.3

Farbumfangsvolumen

einzelne Zahl, die dem größtmöglichen Bereich der angezeigten Farben (einschließlich aller möglichen Mischungen der Primärfarben, Weiß W und Schwarz K) entspricht und als ein Volumen in einem dreidimensionalen Farbenraum wie CIELAB beschrieben wird

3.1.4

Farbumfangsvolumen bei Tageslicht

Farbumfangsvolumen einer Anzeige sowohl bei halbräumlicher diffuser als auch gerichteter Beleuchtung, die mit einer festgelegten Geometrie, einem festgelegten Spektrum und festgelegten Beleuchtungsstärken auf die Anzeigenoberfläche fällt, um eine realistische Beleuchtungsumgebung bei Tageslicht nachzubilden

3.2 Abkürzungen

CCT	ähnlichste Farbtemperatur (en: correlated colour temperature)
CIE	Internationale Beleuchtungskommission (fr: Commission Internationale De L'Eclairage, en: International Commission on Illumination)
CIELAB	($L^*a^*b^*$)-Farbenraum CIE 1976
DUT	Prüfling (en: device under test)
EPD	Anzeigeeinheit mit elektronischem Papier (en: electronic paper display)
ILU	integrierte Beleuchtung (en: integrated lighting unit) (z. B. eine Kantenbeleuchtung mit einem Lichtverteilerplättchen)
ISO	Internationale Organisation für Normung (en: International Organization for Standardization)
LED	lichtemittierende Diode (en: light emitting diode)
LMD	Lichtmessgerät (en: light measuring device)
RGB	Rot, Grün, Blau (en: red, green, blue)
SDCM	Standardabweichung des Farbabgleichs (en: standard deviation of colour matching)
sRGB	ein Standard-RGB-Farbenraum nach den Festlegungen in IEC 61966-2-1

4 Standard-Messbedingungen

4.1 Standard-Umgebungsmessbedingungen

Optische und elektro-optische Messungen müssen unter normalen Umgebungsbedingungen bei einer Temperatur von $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$, einer relativen Luftfeuchte von 25 % bis 85 % und einem Druck von 86 kPa bis 106 kPa durchgeführt werden. Wenn andere Umgebungsbedingungen vorliegen, sind diese im Prüfbericht zu dokumentieren.

4.2 Koordinatensystem für die Betrachtungsrichtung

Die Betrachtungsrichtung ist die Richtung, aus der der Beobachter auf den bestimmten Punkt auf der zu prüfenden Anzeige sieht. Bei der Messung bildet das Lichtmessgerät (LMD) den Beobachter nach, indem es aus der Betrachtungsrichtung auf den bestimmten Punkt auf dem Prüfling gerichtet wird. Die Betrachtungsrichtung wird mit zwei Winkeln definiert, und zwar mit dem Neigungswinkel θ (bezogen auf die Flächennormale des Prüflings) und mit dem Drehwinkel ϕ (auch als Azimutwinkel bezeichnet), wie in Bild 1 dargestellt. Obwohl der Azimutwinkel entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn gemessen wird, wird er auf die Richtungen des Ziffernblatts der Uhr wie folgt bezogen: $\phi = 0^\circ$ liegt bei 3 Uhr (rechts), $\phi = 90^\circ$ liegt bei 12 Uhr (oben), $\phi = 180^\circ$ liegt bei 9 Uhr (links) und $\phi = 270^\circ$ liegt bei 6 Uhr (unten).

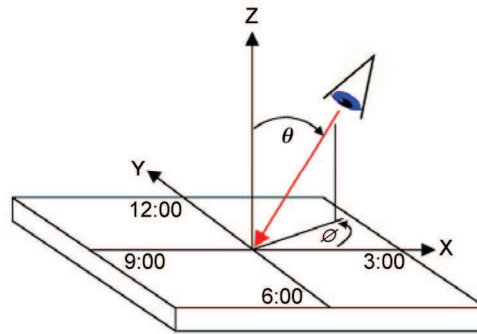


Bild 1 – Darstellung der Betrachtungsrichtung oder Messrichtung mit der Definition des Neigungswinkels und des Drehwinkels (Azimutwinkel) in einem Polarkoordinatensystem

4.3 Standard-Beleuchtungsbedingungen

4.3.1 Allgemeine Erläuterungen und Bemerkungen zur Messung von Anzeigeeinheiten mit elektronischem Papier

Das vorliegende Dokument behandelt reflektierende Anzeigeeinheiten mit elektronischem Papier (EPDs). Eine reflektierende Informationsanzeige ist eine Anzeige, die das reflektierte Licht so moduliert, dass die Information vom reflektierten Licht wiedergegeben wird. Reflektierende Anzeigen strahlen kein Licht aus, so dass zum Betrachten der Information Umgebungslicht erforderlich ist. Deshalb ist entscheidend, dass Messspezifikationen für reflektierende Anzeigen die Beleuchtungsbedingungen während der Messung enthalten. Die Messbeleuchtung besteht aus einer oder mehreren Lichtquelle(n), für die jeweils die spektrale Verteilung und die Beleuchtungsgeometrie festzulegen sind. Demzufolge müssen Messungen der Anzeigeleistung unter spezifischen und klar definierten Beleuchtungs- und Empfangsbedingungen durchgeführt werden, damit sie reproduzierbar sind.

Um den Mangel an einer ausreichenden

Umgebungsbeleuchtung auszugleichen, enthalten EPDs integrierte Beleuchtungen als eine zusätzliche Beleuchtung. Die im vorliegenden Dokument angegebenen Messverfahren werden mit abgeschalteter integrierter Beleuchtung durchgeführt.

Dieser Abschnitt beschreibt eine Auswahl von Standard-Beleuchtungsbedingungen für die Messung der Leistungsmetrik der EPD. Zusätzlich zu den Standardgeometrien darf die EPD auch mit anderen Beleuchtungs- und Empfangsgeometrien gemessen werden.

Es kann eine Aufwärmzeit notwendig sein. Das Signal der Lichtquelle muss im Verlauf der gesamten Messung innerhalb von $\pm 5 \%$ stabil bleiben.

4.3.2 Dunkelraumbedingungen

Es ist vorgesehen, dass die Messung des EPD unter kontrollierten Beleuchtungsbedingungen erfolgt. Unerwünschte Hintergrundbeleuchtung muss auf ein Mindestmaß begrenzt werden, in der Regel geschieht dies durch Beleuchtung der Anzeige in einem Dunkelraum. Der Beitrag der spektralen Strahldichte im Dunkelraum aus der Hintergrundbeleuchtung, d. h. die gemessene spektrale Strahldichte, die vom Prüfling reflektiert wird, darf höchstens 1/100 der spektralen Strahldichte vom Dunkelzustand des Geräts mit eingeschalteter Beleuchtungsquelle betragen. Wird diese Bedingung nicht erfüllt, muss der Hintergrund subtrahiert werden und diese Vorgehensweise ist im Prüfbericht zu dokumentieren. Wenn darüber hinaus die Empfindlichkeit des LMD nicht ausreicht, um Messungen bei diesen geringen Pegeln durchzuführen, muss der untere Grenzwert des LMD im Prüfbericht angegeben werden.

ANMERKUNG Wenn es nicht anders angegeben ist, müssen die Standardbedingungen für die Hintergrundbeleuchtung die Dunkelraumbedingungen sein.

4.3.3 Standardspektren der Umgebungsbeleuchtung

Für optische und elektro-optische Messungen von reflektierenden Anzeigen bei Umgebungsbeleuchtung sind die folgenden Beleuchtungsbedingungen festgelegt. Die Umgebungsbeleuchtung muss Beleuchtungsbedingungen in Innenräumen und im Freien nachbilden. Um entweder eine Umgebungsbeleuchtung in Innenräumen oder eine Tageslichtbeleuchtung im Freien bei klarem Himmel nachzubilden, ist im Allgemeinen eine Kombination von zwei Beleuchtungsgeometrien anzuwenden [1, 2]^{N1)}. Die Hintergrundbeleuchtung in einem Raum mit einer gerichteten Lichtquelle wie einer Leuchte in einem verfinsterten Raum oder das halbräumliche Himmelslicht, das bei verdeckter Sonne auf die Anzeige fällt, wird mit einer gleichförmigen halbräumlichen diffusen Beleuchtung nachgebildet. Eine gerichtete Lichtquelle in einem Dunkelraum bildet die Wirkung einer gerichteten Beleuchtung einer Anzeige durch eine Leuchte in einem Raum oder durch direktes Sonnenlicht nach.

Die folgenden Beleuchtungsbedingungen müssen zur Nachbildung von Betrachtungsumgebungen von Anzeigen in Innenräumen und im Freien angewendet werden:

- Bedingungen für die Innenraumbeleuchtung:

Gleichförmige halbräumliche diffuse Beleuchtung – Es ist eine Lichtquelle zu verwenden, die annähernd CIE-Normlichtart A, CIE-Normlichtart D65 oder CIE-Normlichtart D50 nach den Festlegungen in CIE 15 entspricht. Für spektrale Messungen muss eine spektral glatte Breitbandlichtquelle (wie annähernd CIE-Normlichtart A) angewendet werden. Eine Messung des spektralen Reflexionsfaktors mit einer Breitbandlichtquelle (wie Lichtart A) ermöglicht eine spätere Berechnung der Metrik für die Hellempfindlichkeit und der Farbmeterik in Innenräumen für das gewünschte Bezugsspektrum (z. B. CIE-Normlichtart D65). Die Betriebseigenschaften für eine Leseumgebung in Innenräumen müssen mit 300 lx berechnet werden [3]. Die Messung des tatsächlichen halbräumlichen diffusen Reflexionsfaktors kann für eine bessere Messgenauigkeit höhere Beleuchtungsstärken erfordern. Die Ergebnisse werden dann auf die geforderten geringeren Beleuchtungsstärken umgerechnet.

Gerichtete Beleuchtung – Es ist das gleiche Quellspektrum wie bei der halbräumlichen diffusen Beleuchtung anzuwenden. Die Metrik für die Hellempfindlichkeit und die Farbmeterik in Innenräumen müssen mit einer gerichteten Beleuchtung von 200 lx, die auf die Anzeigenoberfläche fällt, für eine Leseumgebung in Innenräumen mit der senkrecht ausgerichteten Anzeige berechnet werden. Die eigentliche Messung des Reflexionsfaktors kann für eine bessere Messgenauigkeit höhere Beleuchtungsstärken erfordern. Die Ergebnisse werden dann auf die geforderten geringeren Beleuchtungsstärken umgerechnet. Die gerichtete Quelle muss 45° oberhalb der Flächennormale ausgerichtet sein ($\theta_s = 45^\circ$) mit einer Winkelausdehnung von höchstens 5°. Die Winkelausdehnung ist definiert als der vollständig aufgespannte Winkel der Lichtquelle von der Mitte der Anzeigenmessfläche aus.

ANMERKUNG Für die Berechnung des Kontrasts bei Innenraumbeleuchtungsbedingungen dürfen zusätzlich zu den festgelegten auch andere Beleuchtungsstärken angewendet werden. Dabei sollten jedoch etwa 60 % der gesamten Beleuchtung eine halbräumliche diffuse und 40 % eine gerichtete Beleuchtung sein.

- Tageslichtbeleuchtungsbedingungen:

Gleichförmige halbräumliche diffuse Beleuchtung – Es ist eine Lichtquelle zu verwenden, die annähernd Himmelslicht mit der spektralen Verteilung der CIE-Lichtart D75 entspricht [4]. In Abhängigkeit von der vorgesehenen Anwendung dürfen zusätzlich auch CIE-Tageslichtarten (wie D65) angewendet werden. Spektrale Messungen können mit den Messungen des spektralen Reflexionsfaktors mit einer spektral glatten Breitbandlichtquelle (wie annähernd CIE-Normlichtart A) durchgeführt werden. Die Metrik für die Hellempfindlichkeit und die Farbmeterik für Himmelslicht kann später für das Spektrum der CIE-Lichtart D75 berechnet werden. Die Metrik für die Hellempfindlichkeit und die Farbmeterik für Himmelslicht müssen mit einer halbräumlichen diffusen Beleuchtung (mit einem gerichteten Anteil) von 15 000 lx, die auf eine senkrecht ausgerichtete Anzeigenoberfläche fällt, berechnet werden [4, 5]. Die eigentliche Messung des halbräumlichen diffusen Reflexionsfaktors darf bei geringeren Beleuchtungsstärken erfolgen. Die Ergebnisse werden dann auf die geforderten höheren Beleuchtungsstärken umgerechnet.

Gerichtete Beleuchtung – Die gerichtete Lichtquelle muss annähernd der CIE-Tageslichtart D50 entsprechen [4]. In Abhängigkeit von der vorgesehenen Anwendung dürfen zusätzlich auch weitere CIE-Tageslichtarten (wie D65) angewendet werden. Für die Messung des Reflexionsfaktors darf eine spektral glatte

^{N1)} Nationale Fußnote: Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf das Literaturverzeichnis.

Breitbandlichtquelle (wie annähernd CIE-Normlichtart A) angewendet werden. Die Metrik für die Hellempfindlichkeit und die Farbmeterik für Sonnenlicht können später mit dem Spektrum der Lichtart D50 berechnet werden. Das Kontrastverhältnis oder die Farbe bei Tageslicht muss für eine gerichtete Quelle mit 65 000 lx unter einem Neigungswinkel von $\theta_s = 45^\circ$ zur Anzeigenoberfläche gemessen werden und das LMD muss senkrecht zur Anzeigenoberfläche ausgerichtet werden ($\theta_d = 0^\circ$) [4, 5]. Die eigentliche Messung des Reflexionsfaktors darf bei geringeren Beleuchtungsstärken erfolgen. Die Ergebnisse werden dann auf die geforderten höheren Beleuchtungsstärken umgerechnet. Kontrastverhältnis und Farbe werden für die höheren Beleuchtungsstärken berechnet. Die gerichtete Quelle muss eine Winkelausdehnung von etwa $0,5^\circ$ besitzen.

Für die Berechnungen der Metrik für die Hellempfindlichkeit und der Farbmeterik aus den Messungen des spektralen Reflexionsfaktors sind die relativen spektralen Verteilungen der CIE-Normlichtarten A, D50, D65 und D75 anzuwenden, die in Tabellen in CIE 15 angegeben sind. Zusätzliche CIE-Tageslichtarten müssen mit den entsprechenden Eigenfunktionen nach den Festlegungen in CIE 15 bestimmt werden.

Der UV-Bereich (< 380 nm) der Lichtquelle muss von einem UV-Sperrfilter abgeschnitten werden. Wenn die Lichtquelle mit hohen Beleuchtungsstärken betrieben wird, wird ein Infrarot-Sperrfilter zur Begrenzung der Erwärmung des Geräts empfohlen.

4.3.4 Standard-Beleuchtungsgeometrien

Die Ermittlung der Leistung der EPD erfolgt mit drei Beleuchtungsgeometrien. Dieser Abschnitt enthält die Standardanordnungen für die Umsetzung dieser Beleuchtungsgeometrien. Es dürfen auch weitere Beleuchtungsgeometrien angewendet werden. Die Einzelheiten der für die vorgegebene Messung angewendeten Beleuchtungsgeometrie sind zu dokumentieren. Weitere Hinweise für die ordnungsgemäße Umsetzung dieser Beleuchtungsgeometrien sind in SID Display Measurement Standard [1] angegeben.

4.3.4.1 Gerichtete Beleuchtung

Gerichtete Beleuchtung wird erzielt, wenn eine Lichtquelle annähernd parallele, auf den Prüfling fallende Strahlen erzeugt. Die größte Abweichung der Strahlen von der optischen Achse hängt vom Durchmesser der Quelle sowie des Messflecks ab. Der größte Abweichungswinkel von der optischen Achse wird mit der folgenden Gleichung angegeben:

$$\arctan\left(\left[r_{\text{ms}} + r_s\right] / |d|\right) < 5^\circ \quad (1)$$

Dabei ist r_s der Quellenradius, d ist der Abstand zum Messfleck und r_{ms} ist der Radius des Messflecks. Die Beleuchtung über den Querschnitt des Strahlenbündels muss innerhalb von 5 % gleichförmig sein. Eine ausreichend weit vom Prüfling entfernte Lichtquelle kann eine gerichtete Beleuchtung liefern (z. B. Sonne und Mond). Bei der Nachbildung einer gerichteten Umgebungsbeleuchtung im Freien wie durch die Sonne oder den Mond sollte die Winkelausdehnung der Quelle (vom Prüfling aus gesehen) $\leq 0,5^\circ$ betragen.

Eine gerichtete Beleuchtung kann mit drei verschiedenen Quellenarten umgesetzt werden, wenn die Quellenmaße im Vergleich zum Abstand von der Quelle zum Messfleck auf dem Prüfling ausreichend klein sind. Diese Geometrien sind in Bild 2 dargestellt:

- ebener Lambertscher Strahler, z. B. die Austrittsöffnung einer Ulbrichtschen Kugel (oben);
- sphärische isotrope Quelle (z. B. Glühlampe innerhalb einer diffus strahlenden Glaskugel (Mitte));
- Projektionssystem mit Linsen oder Spiegeln (unten).

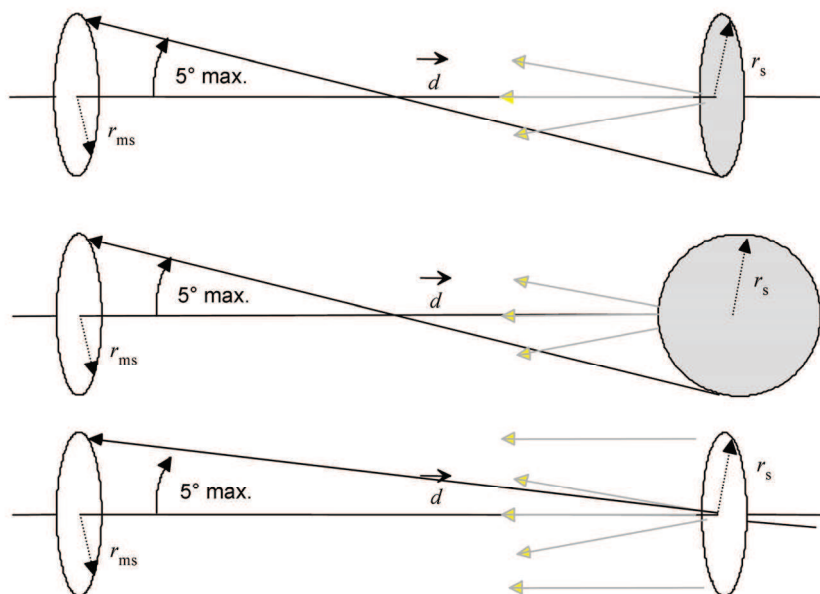


Bild 2 – Anschauliche Beispiele für eine gerichtete Beleuchtung

Eine gerichtete Beleuchtung wird realisiert mit einer Lichtquelle mit einem kleinen Durchmesser (verglichen mit dem Abstand zum Messfleck), die so ausgerichtet wird, dass zur Flächennormale des Prüflings ein Neigungswinkel θ_S gebildet wird. Diese gerichtete Lichtquelle erzeugt einen Beleuchtungsfleck auf dem Prüfling. Das LMD wird in einem Neigungswinkel von θ_R in der Ebene des einfallenden Lichts angeordnet und sein Messfeld wird mittig auf den Beleuchtungsfleck eingestellt. Lichtquelle und LMD können über einen Bereich von Neigungswinkeln eingestellt werden, das LMD muss aber in der Einfallsebene bleiben (d. h. $\phi_S = \phi_R + 180^\circ$). Diese Anordnung wird in Bild 3 (links) mit einer Darstellung in einem Polarkoordinatensystem (rechts) gezeigt. Das Messfeld auf dem Prüfling wird von dem Flächenelement des Prüflings festgelegt, welches auf dem Empfänger des LMD abgebildet wird.

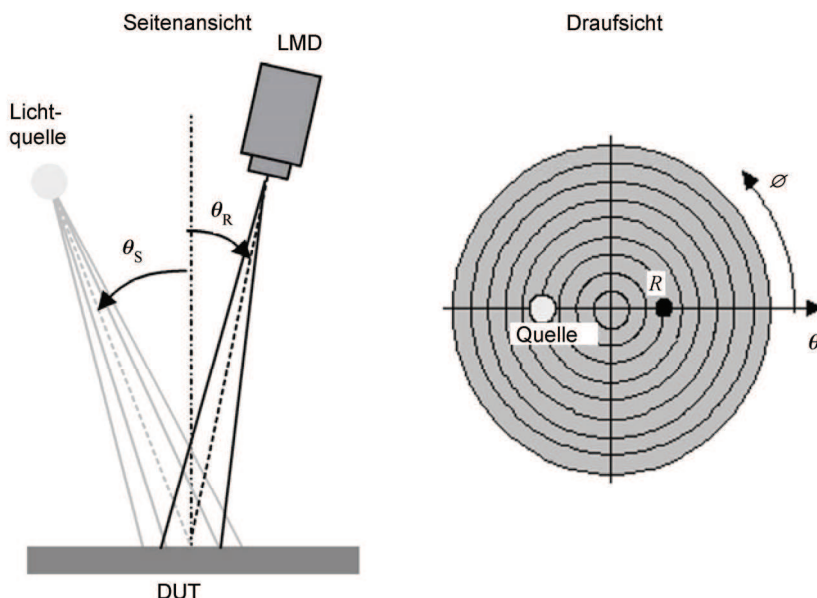


Bild 3 – Beispiel für den Messaufbau mit gerichteter Beleuchtung mit $\theta_S = 40^\circ$ und $\theta_R = 30^\circ$

Die Standardbedingungen sind $\theta_S = 45^\circ$ und $\theta_R = 0^\circ$. Damit der Messfehler innerhalb von $\pm 5\%$ bleibt, wird die Ausrichtung mit einer Genauigkeit von $\pm 0,4^\circ$ empfohlen.

4.3.4.2 Ringlichtbeleuchtung

Eine Ringlichtbeleuchtung kann als Sonderfall der gerichteten Beleuchtung angesehen werden. Sie bietet eine gerichtete Beleuchtung, die rotationssymmetrisch zur Flächennormale der Anzeige ist und mittig auf den Messfleck ausgerichtet wird. Ringlichtbeleuchtung kann auf folgende Arten realisiert werden:

- faseroptisches Ringlicht;
- Ulbrichtsche Kugel mit einer ringförmigen Öffnung (Kreising);
- optische Systeme mit Linsen und Spiegeln, z. B. ein Ring-Hohlspiegel.

Der Prüfling wird von einer ringförmigen Lichtquelle, die mittig um die Flächennormale des Prüflings ausgerichtet wird, aus einem Neigungswinkel von $\theta_S \pm \Delta$ für alle Azimutwinkel von $\phi_S = 0^\circ$ bis 360° beleuchtet. Das LMD wird so ausgerichtet, dass bezogen auf die Flächennormale des Prüflings ein Winkel von $\theta_R < \theta_S - \Delta$ gebildet wird. Bild 4 zeigt eine Seitenansicht des Messaufbaus (links) mit einer Darstellung in einem Polarkoordinatensystem (rechts). Eine genauere Beschreibung der Kennwerte von Ringlicht enthält Bild 5. Die Winkelausdehnung des Ringlichts (in diesem Fall 2Δ) ist festzulegen. Quelle und Empfänger müssen auf die festgelegte Geometrie innerhalb von $\pm 3^\circ$ ausgerichtet werden. Die Beleuchtung des Messflecks auf dem Prüfling muss innerhalb von 5 % gleichförmig sein. Dieser Aufbau wird mit einer feststehenden Lichtquelle realisiert und das LMD kann so innerhalb der Grenzen der Öffnung des Ringlichts eingestellt werden. Die Standardbedingungen sind $\theta_R = 0^\circ$ und ein Neigungswinkel der Quelle von $\theta_S \pm \Delta = 45^\circ \pm 3^\circ$.

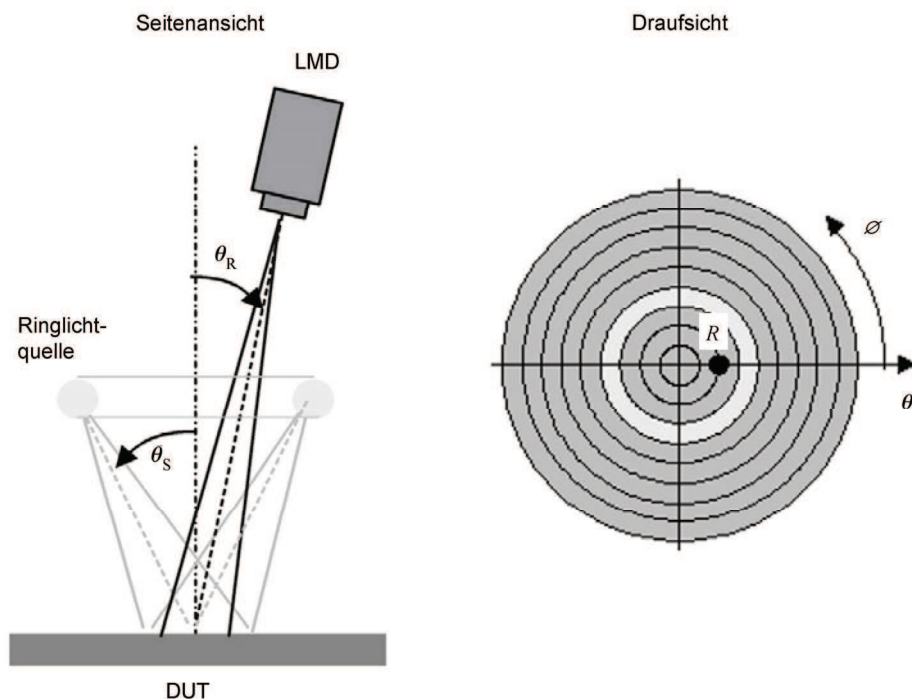


Bild 4 – Beispiel für den Messaufbau mit Ringlichtbeleuchtung mit $\theta_S \pm \Delta = 35^\circ \pm 5^\circ$ und $\theta_R = 20^\circ$

Damit der Messfehler innerhalb von $\pm 5\%$ bleibt, wird die Ausrichtung des Ringlichts und des LMD mit einer Genauigkeit von $\pm 0,7^\circ$ empfohlen. Bei der Nachbildung einer gerichteten Umgebungsbeleuchtung im Freien mit dem Ringlicht sollte die Winkelausdehnung 2Δ der Quelle (vom Prüfling aus gesehen) $\leq 0,5^\circ$ betragen. In diesem Fall ist ein faseroptisches Ringlicht empfehlenswert.

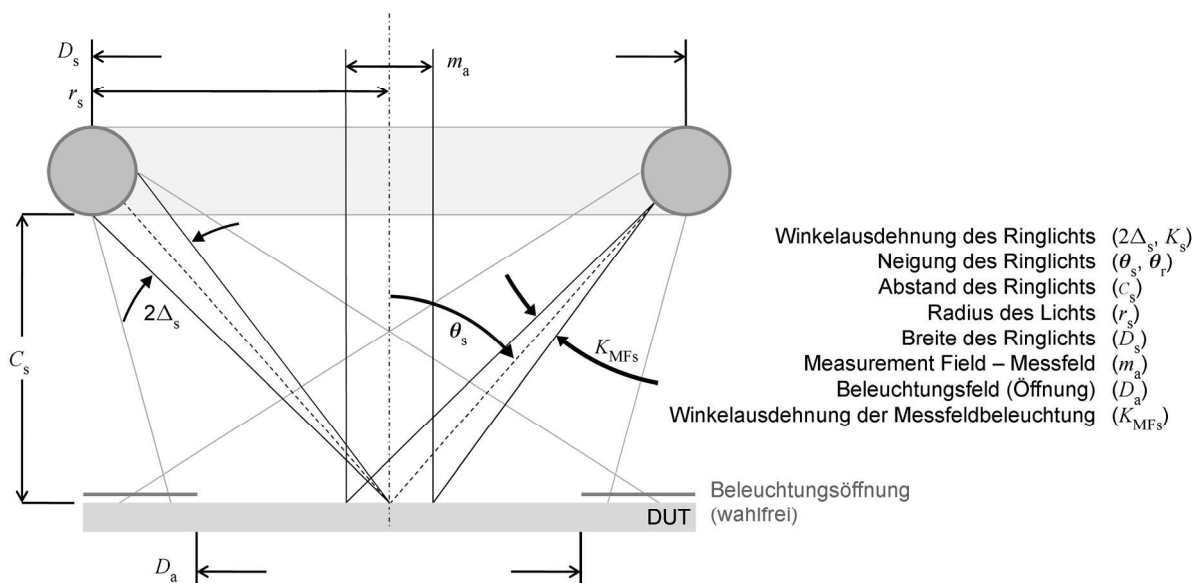


Bild 5 – Genaue Darstellung der Kennwerte von Ringlicht

Der größte Abweichungswinkel von der optischen Achse wird mit folgender Gleichung angegeben:

$$\arctan\left(\frac{c_s}{r_s}\right) - \arctan\left(\frac{c_s}{r_s \frac{m_a}{2}}\right) < 5^\circ \quad (2)$$

Demnach sollte der Durchmesser des Ringlichts (D_s) mindestens 6-mal größer sein als der Durchmesser des Messfelds (m_a).

Der Durchmesser der beleuchteten Fläche (D_a) sollte mindestens 1,5-mal größer sein als der Durchmesser des Messfelds (m_a).

Wenn die Anzeige aus dicken Schichten über der reflektierenden Oberfläche besteht, ist darauf zu achten, dass der Abstand des Ringlichts (c_s) von der am weitesten entfernten Schicht in der Anzeige gemessen wird und nicht von der Frontfläche der Anzeige.

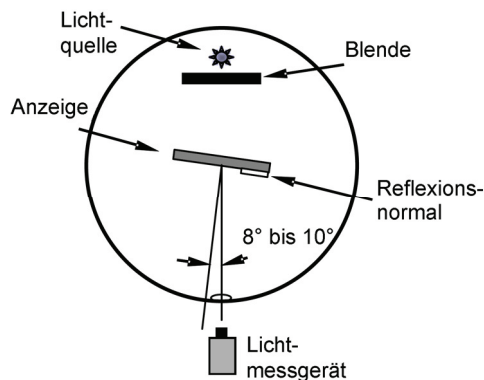
Wenn das von der Anzeige reflektierte Licht ein asymmetrisches Streumuster aufweist (z. B. Matrixstreuung), muss für die Messung bei gerichteter Beleuchtung die Ringlichtquelle eingesetzt werden [8].

4.3.4.3 Halbräumliche Beleuchtung

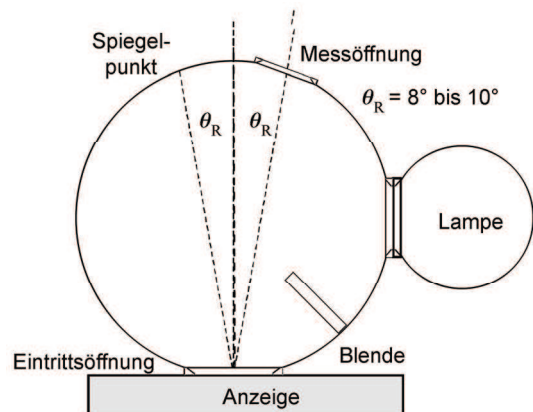
Halbräumliche Beleuchtung ist rundgestrahltes Licht, welches gleichförmig auf eine Anzeigenoberfläche fällt. Es kann zur Nachbildung der diffusen Hintergrundbeleuchtung von Innenraumumgebungen oder der diffusen Himmelsbeleuchtung im Freien (ohne direktes Sonnenlicht) benutzt werden. Bei einer echten halbräumlichen Beleuchtung sind die einfallenden Lichtstrahlen konstanter Leuchtdichte am Messfleck gleichförmig über alle Neigungswinkel verteilt. Bild 6 zeigt zwei mögliche Beispiele der Messgeometrie. Eine gute Näherung einer idealen halbräumlichen Beleuchtung (d. h. eine konstante Leuchtdichte aus allen Richtungen bis 90° Neigung) kann nur eine Ulbrichtsche Kugel liefern, bei der der Durchmesser der Messöffnung (Bild 6, Anordnung A) oder der Eintrittsöffnung (Anordnung B) klein im Vergleich zum Kugeldurchmesser ist. Falls eine Ulbrichtsche Kugel mit einem Durchmesser zur Verfügung steht, der mindestens der siebenfachen Außendiagonale der Anzeige entspricht, kann die Anzeige in der Mitte der Kugel angebracht werden (Bild 6, Anordnung A). Bei großen Anzeigen ist eine Ulbrichtsche Kugel zum Aufsetzen oder eine Halbkugel (Anordnung B) besser geeignet (siehe CIE 38). In jedem Fall muss die Anordnung die Standardgeometrie für Beleuch-

tung/Empfang $\theta_i: 8^\circ$ bis $\theta_i: 10^\circ$ einhalten, wobei θ_i die Standardbezeichnung für „diffus“ ist. Bei Messungen mit halbräumlicher Beleuchtung ist wie folgt vorzugehen:

- Die Anzeige wird in der Mitte einer Ulbrichtschen Kugel/Halbkugel oder an der Eintrittsöffnung der Ulbrichtschen Kugel zum Aufsetzen angebracht.
- Die geforderte Beleuchtung des Messflecks wird eingestellt. Die Farbtemperatur und das Beleuchtungsspektrum können über das reflektierte Licht eines weißen diffusen Reflexionsnormals nahe der Messfläche auf der Anzeige gemessen werden (Bild 6, Anordnung A) oder über die Wand der Ulbrichtschen Kugel zum Aufsetzen nahe der Eintrittsöffnung (Bild 6, Anordnung B). Die Art der verwendeten Lichtquelle und ihre CCT müssen im Prüfbericht angegeben werden.



Anordnung A (Draufsicht)



Anordnung B (Seitenansicht)

Bild 6 – Beispiel für die Messgeometrien bei halbräumlicher Beleuchtung mit einer Ulbrichtschen Kugel (links) und einer Ulbrichtschen Kugel zum Aufsetzen (rechts)

- Das LMD wird so ausgerichtet, dass es durch eine Messöffnung in der Kugelwand die Mitte der Anzeige unter einem Neigungswinkel von 8° (-0° , $+2^\circ$) von der Flächennormale der Anzeige aus sieht. Der geforderte Neigungswinkel des LMD kann auch durch eine Neigung der Anzeige innerhalb der Ulbrichtschen Kugel erreicht werden. Das LMD wird auf die Oberfläche der Anzeige fokussiert.
- Der Durchmesser der Messöffnung muss 20 % bis 30 % größer sein als die tatsächliche Öffnung des LMD-Objektivs. Es muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass keinerlei direktes Licht von den Lichtquellen oder keine starken Reflexionen von jeglichen Oberflächen (außer dem Bildschirm selbst) auf die Objektivs des LMD fällt, um so die Möglichkeit der Verfälschung von Messwerten bezüglich der reflektierten Leuchtdichte so gering wie möglich zu halten. Das LMD muss so weit von der Messöffnung entfernt werden, dass die hellen Kugelwände für das Lichtmessgerät unsichtbar sind. Darüber hinaus wird der Durchmesser der Eintrittsöffnung üblicherweise größer als 25 mm sein müssen, damit das Sichtfeld des LMD vollständig von der Eintrittsöffnung umfasst wird.
- Die Messöffnung muss vom Objektiv weg konisch verlaufen. Der kleinere Durchmesser des Konus ist zum LMD hin gerichtet und der größere Durchmesser zur Innenseite der Kugel.
- Die spektrale Bestrahlungsstärke oder die Beleuchtungsstärke auf der Anzeige kann mit einem weißen diffusen Reflexionsnormal mit einem bekannten halbräumlichen diffusen spektralen Reflexionsfaktor $R(\lambda)$ oder über den photopisch gewichteten (oder photometrischen) halbräumlichen diffusen Reflexionsfaktor R gemessen werden. Dazu muss das weiße diffuse Reflexionsnormal bei gleichförmiger halbräumlicher diffuser Beleuchtung in einer Ulbrichtschen Kugel kalibriert werden. Wird eine Ulbrichtsche Kugel (Anordnung A) oder eine Halbkugel verwendet, muss das weiße diffuse Reflexionsnormal auf der Oberfläche der Anzeige angebracht werden. Wenn t die Dicke des weißen diffusen Reflexionsnormals ist, muss es auf der Oberfläche in einer Entfernung von $5 \times t$ bis $7 \times t$ von der Messfläche angebracht werden. Das weiße Reflexionsnormal kann auch neben der Anzeige und in derselben Ebene wie die Anzeige angebracht werden, wenn die Beleuchtung durch die Ulbrichtsche Kugel über diese Entfernung gleichförmig ist. Bei der Ulbrichtschen Kugel zum Aufsetzen kann die spektrale Bestrahlungsstärke durch eine Messung der Innenseite der Kugeloberfläche direkt neben der Eintrittsöffnung ermittelt werden [6]. Der halbräumliche diffuse spektrale Reflexionsfaktor oder der photometrische halbräumliche diffuse Reflexionsfaktor der inneren Kugeloberfläche kann über einen Vergleich der spektralen Strahldichte

(oder der Leuchtdichte) der Wand mit den entsprechenden Werten eines kalibrierten weißen diffusen Reflexionsnormal, der an der Eintrittsöffnung angebracht wird, ermittelt werden (d. h. $R_{\text{wall}} = R_{\text{std}} \times (L_{\text{wall}}/L_{\text{std}})$).

- g) Bei Verwendung einer Ulbrichtschen Kugel zum Aufsetzen muss die Messfläche der Anzeige mehr als 500 Bildelemente der Anzeige umfassen. Es wird empfohlen, dass die Ulbrichtsche Kugel zum Aufsetzen mindestens sechsmal größer ist als der Durchmesser der Eintrittsöffnung. Wenn ein erheblicher Abstand zwischen der lichtaussendenden Fläche der Anzeige und der Ebene der Eintrittsöffnung vorhanden ist, muss die Eintrittsöffnung möglicherweise vergrößert werden [7].

Die Standardbedingungen sind $\theta_R = 8^\circ$ und eine Winkelausdehnung der Quelle von $2 \times \theta_{S-\text{max}} \geq 170^\circ$. Die Beleuchtung des Messflecks auf dem Prüfling muss innerhalb von 5 % gleichförmig sein.

4.4 Standardbedingungen für die Messeinrichtung

4.4.1 Allgemeines

Nachfolgend sind die Standardbedingungen für die Messeinrichtung angegeben. Jede Abweichung von diesen Bedingungen ist im Prüfbericht anzugeben.

Die Messungen sind zu beginnen, nachdem die EPD, die Quellenbeleuchtung und die Messgeräte stabil sind.

4.4.2 Einstellung der EPD

Die EPD ist auf die Nennwerte des Produktentwurfs einzustellen und die Werte sind im Prüfbericht einzeln anzugeben. Wenn keine Werte festgelegt sind, muss die größte Kontrasteinstellung angewendet und diese im Prüfbericht angegeben werden. Wenn es nicht anders angegeben ist, müssen diese Einstellungen für alle Messungen konstant gehalten werden.

4.4.3 Bedingungen für die Messeinrichtung

Das von der EPD reflektierte Licht wird im Allgemeinen in photometrischen oder farbmétrischen Einheiten gemessen, d. h. die Leuchtdichte für ein Leuchtdichtemessgerät oder CIE-1931-Farbwerte (X, Y, Z) für ein Farbmessgerät. Mit einem Spektroradiometer können photometrische und farbmétrische Werte auch über eine numerische Umrechnung der gemessenen Werte der spektralen Strahldichte ermittelt werden (siehe z. B. [9]). Dabei handelt es sich in der Regel um berührungsfreie Messgeräte ohne Beleuchtungsquelle. Für diese Messgeräte sind die folgenden Anforderungen angegeben:

- a) Der Standard-Messaufbau ist in Bild 7 dargestellt. Das LMD muss ein Leuchtdichtemessgerät, ein Farbmessgerät oder ein Spektroradiometer sein. Das Spektroradiometer muss spektrale Strahldichten mindestens in einem Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm bei einer größten Bandbreite von 10 nm für glatte Breitbandspektren messen können. Für Lichtquellen mit ausgeprägten spektralen Eigenschaften wie LEDs und Leuchtstofflampen muss die größte Bandbreite ≤ 5 nm sein. Die spektrale Bandbreite des Spektroradiometers muss ein ganzzahliges Vielfaches des Abtastintervalls betragen. Beispielsweise kann ein Abtastintervall von 5 nm für eine Bandbreite von 5 nm oder 10 nm angewendet werden.

Es muss sichergestellt sein, dass das LMD eine hinreichende Empfindlichkeit und einen hinreichenden Dynamikbereich aufweist, um die vorgesehene Aufgabe erfüllen zu können. Das gemessene LMD-Signal muss mindestens 10-mal größer sein als der Dunkelpegel (Grundrauschen) des LMD und es darf höchstens 85 % des Sättigungspegels betragen.

- b) Wenn es nicht anders angegeben ist, muss das LMD auf die Abbildungsebene der Anzeige fokussiert und senkrecht zur Anzeigenoberfläche ausgerichtet werden.
- c) Die relative Unsicherheit und die Wiederholpräzision aller Messgeräte müssen nach den Anweisungen der Lieferanten durch Einhaltung der jeweils empfohlenen Kalibrierprogramme aufrechterhalten werden.

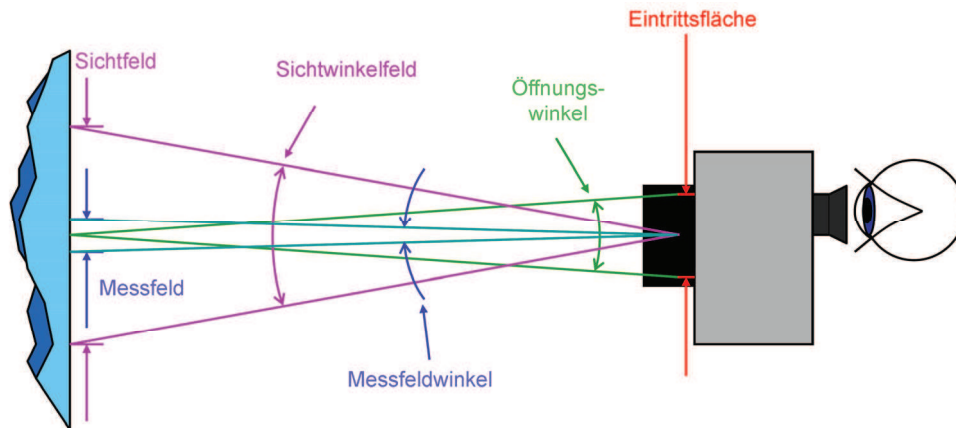


Bild 7 – Darstellung des Messaufbaus

- d) Die Integrationszeit des LMD muss ein ganzzahliges Vielfaches der Vollbilddauer synchronisiert auf die Bildfolgefrequenz betragen oder die Integrationszeit muss größer sein als die zweihundertfache Vollbilddauer.
- e) Bei der Messung von Matrixanzeigen muss das LMD so eingestellt werden, dass das Messfeld mehr als 500 Bildelemente umfasst. Sind kleinere Messflächen erforderlich, muss die Gleichwertigkeit zu 500 Bildelementen bestätigt werden.
- f) Der empfohlene Messabstand beträgt zwischen 20 cm und 50 cm. Der Messabstand muss im Prüfbericht angegeben werden.
- g) Der Öffnungswinkel muss kleiner oder gleich 5° sein und der Messfeldwinkel muss kleiner oder gleich 2° betragen (Bild 7). Messabstand und Öffnungswinkel dürfen so eingestellt werden, dass sich ein Messfeld von mehr als 500 Bildelementen ergibt, wenn es sich als schwierig erweist, den oben geforderten Öffnungswinkel zu realisieren.
- h) Das Messfeld des LMD muss mittig eingestellt und vom beleuchteten Messfleck auf dem Prüfling umschlossen werden.
- i) Die Anzeige muss mit ihrer vorgesehenen Bildwiederholfrequenz betrieben werden. Wenn getrennte Ansteuersignalgeneratoren zum Betrieb der Anzeige verwendet werden, müssen die Ansteuerbedingungen im Prüfbericht angegeben werden.

Zusätzlich zu LMDs, die einen Mittelwert der Messgröße über den betreffenden Fleck angeben (d. h. Messfeld- oder Fleck-Photometer), gibt es eine Klasse von bildgebenden LMDs, die einen Wert (oder eine Wertematrix, d. h. R, G und B) für jedes einzelne Flächenelement auf dem Prüfling angeben. Solche LMDs können eine nachfolgende mechanische Abtastung der Anzeigenoberfläche durch eine Abbildung der gesamten aktiven Fläche des Prüflings und eine nachfolgende Auswertung der Daten ersetzen.

Aspekte, die bei der Benutzung von bildgebenden LMDs zu berücksichtigen sind:

- Streulicht innerhalb des LMD (z. B. Objektivstreulicht, Schleierblendung);
- Ungleichmäßigkeiten der Empfindlichkeit über der Empfängerfläche;
- $\cos^4 \theta$ -Abweichung der Beleuchtungsstärke des Empfängers.

Zusätzlich zur Klasse der LMDs, die eine Abbildung des Messfelds auf dem Empfänger bilden, gibt es auch eine Klasse von LMDs, die die gerichtete Verteilung des Lichts, das aus dem Messfeld des Prüflings austritt, direkt abbilden. Zu solchen bildgebenden Geräten gehören konoskopische LMDs [10] und bildgebende Kugeln (Parousiameter) [11].

4.4.4 Kontaktmessungen mit integrierten Beleuchtungs-/Empfangsmessgeräten

Bestimmte Kontakt-Spektrophotometer, die sowohl eine Ringlichtquelle als auch ein LMD enthalten, können auch für Lichtmessungen eingesetzt werden. Werden diese Messgeräte benutzt, müssen sie die Richtlinien der Beleuchtungsgeometrie und des LMD erfüllen, die in den vorangegangenen Abschnitten angegeben

wurden, damit genaue Ergebnisse erzielt werden. Die entscheidenden Parameter sind die Größe der Beleuchtungsfläche, die Messfläche und die Geometrie der Beleuchtungsquelle. Die Kontaktmessgeräte sind oft nicht so ausgelegt, dass sie an die komplexen Mehrschichtstrukturen in EPDs angepasst sind, und sie sollten daher mit Vorsicht angewendet werden. Viele integrierte Geräte erfüllen die Anforderungen nicht und sollten nicht verwendet werden. Die Eignung der Kontaktmessgeräte muss mit einem berührungsfreien Messgerät nachgewiesen werden (z. B. Fleck-Spektorradiometer).

Im Prüfbericht sind zusammen mit den Ergebnissen der Hersteller, das Modell und alle Möglichkeiten der Geräteanordnung anzugeben.

4.5 Arbeits- und Bezugsnormale

4.5.1 Diffuse Reflexionsnormale

Muster für diffuse weiße Reflexionsnormale können mit einem diffusen Reflexionsgrad von 98 % oder mehr bezogen werden. Außerdem sind sie mit verschiedenen Grauschattierungen erhältlich. Mit einer Leuchtdichtemessung L_{std} solcher Reflexionsnormale kann die Beleuchtungsstärke E am Normal für eine definierte Empfangsgeometrie und ein definiertes Beleuchtungsspektrum und eine festgelegte Anordnung bestimmt werden:

$$E = \frac{\pi L_{\text{std}}}{R_{\text{std}}} \quad (3)$$

Dabei ist R_{std} der kalibrierte Lichtreflexionsgrad für diese Messanordnung. Wenn es sich um eine gleichförmige halbräumliche Beleuchtung handelt, entspricht R_{std} dem Lichtreflexionsgrad ρ_{std} . Der mit dem Normal verbundene Reflexionsgrad gilt nur für die halbräumliche Beleuchtung, in der es kalibriert wurde. Wird es mit einer mit einem beliebigen Winkel ausgerichteten Quelle angewendet, kann nicht erwartet werden, dass der Wert des Lichtreflexionsgrads der korrekte Wert des Lichtreflexionsfaktors für diese Beleuchtungsanordnung oder dieses Beleuchtungsspektrum ist.

ANMERKUNG Die Begriffe Lichtreflexionsgrad und Lichtreflexionsfaktor sind mit Reflexionsgrad bzw. Reflexionsfaktor abzukürzen.

4.5.1.1 Normal für den gerichteten Reflexionsgrad

Mit Schwarzglas (z. B. BG-1 000) oder einem hochdichten Graufilter (Dichte 4 oder höher) können die Leuchtdichte einer Quelle L_s aus der gemessenen Leuchtdichte L des virtuellen Quellenbilds, das vom Schwarzglas reflektiert wird, und der gerichtete Lichtreflexionsfaktor ζ_s des Schwarzglases für die Messanordnung wie folgt bestimmt werden:

$$L_s = \frac{L}{\zeta_{\text{std}}} \quad (4)$$

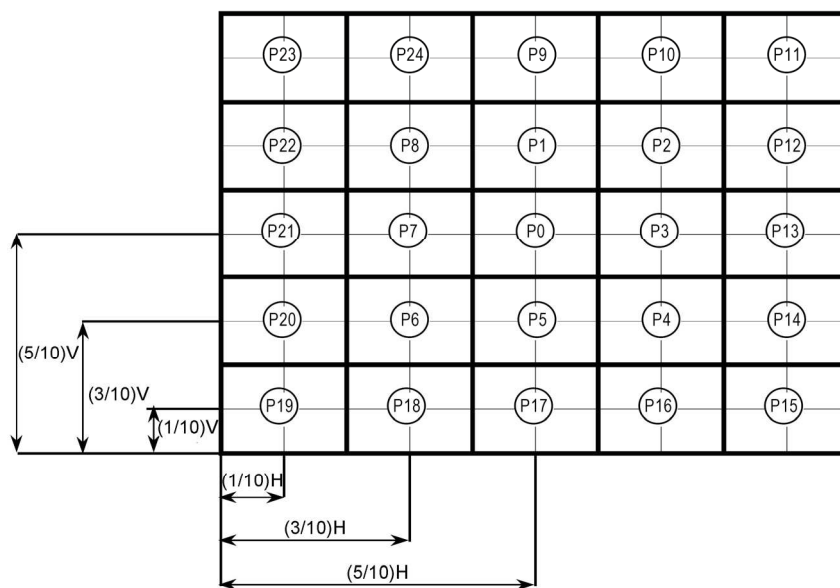
Bei der Durchführung von spiegelnden Messungen wird der Empfänger auf das virtuelle Bild der Quelle fokussiert. Schwarzglas kann als ein Oberflächenspiegel mit einem geringen gerichteten Reflexionsgrad zwischen 4 % und 5 % betrachtet werden. Ein Schwarzglasnormal kann sinnvoll sein, wenn die Messgeometrie keine direkte Messung der Quellenleuchtdichte zulässt, sondern nur eine Messung mit Hilfe eines Spiegels. Der geringe gerichtete Reflexionsgrad von Schwarzglas erlaubt die Messung der Quellenleuchtdichte in etwa der gleichen Größenordnung wie die Reflexionsmessung.

ANMERKUNG Der gerichtete Reflexionsgrad von Schwarzglas wird durch den Reflexionswinkel, das Beleuchtungsspektrum und die Sauberkeit von dessen Oberfläche beeinflusst. Die Kalibrierung ist zu wiederholen, wenn die Messgeometrie verändert wird [1].

4.6 Standardpositionen für das Messfeld

4.6.1 Matrixanzeigen

Leuchtdichte, spektrale Verteilung und/oder Normfarbwerte dürfen an mehreren festgelegten Positionen auf der Oberfläche des Prüflings gemessen werden. Zu diesem Zweck wird die Vorderseite der Anzeige in 25 identische imaginäre Rechtecke aufgeteilt (siehe Bild 8). Wenn es nicht anders festgelegt ist, werden die Messungen jeweils in der Mitte jedes Rechtecks durchgeführt. Die Rechtecke werden von der Mitte aus beginnend und aufsteigend bis zu den Kanten in Uhrzeigerrichtung spiralförmig nummeriert. Es ist darauf zu achten, dass sich die Messfelder auf der Anzeige nicht überlappen. Die Anordnung des Messfelds an der vorgeschriebenen Position in x - und y -Richtung muss innerhalb von 7 % von V bzw. H liegen, wobei V und H die Länge des aktiven Bereichs der Anzeige in x - und y -Richtung angeben. Zur Durchführung der Messungen an den gewünschten Anzeigepositionen müssen Anzeige oder Empfänger in die x - und y -Richtungen übertragen werden, wobei alle Messungen senkrecht zum Bildschirm vorgenommen werden. Jede Abweichung von den hier beschriebenen Standardpositionen ist im Prüfbericht anzugeben.



ANMERKUNG Die Standard-Messpositionen sind die Mittelpunkte aller Rechtecke P0 bis P24. Höhe und Breite jedes Rechtecks betragen 20 % der Anzeigehöhe bzw. der Anzeigenbreite.

Bild 8 – Standard-Messpositionen

4.6.2 Segmentierte Anzeigen

Die Standard-Messpositionen sind die gleichen wie sie im vorangegangenen Abschnitt für Matrixanzeigen vorgegeben wurden. Jedoch müssen bei segmentierten Anzeigen alle Messungen jeweils in der Mitte eines Segments durchgeführt werden und das ausgewählte Segment sollte so nahe wie möglich bei der Mitte des entsprechenden Rechtecks liegen. Wenn demzufolge Messungen an einer der Positionen P_i ($i = 0$ bis 24) durchzuführen sind, sollte der geometrische Mittelpunkt desjenigen Segments, das dem Mittelpunkt des Rechtecks P_i am nächsten liegt, zur Positionierung des Empfängers benutzt werden. Jede Abweichung von den beschriebenen Standardpositionen muss in die Bauartspezifikation aufgenommen werden.

Das Messfeld muss vollständig innerhalb des Segments liegen.

5 Optische Messverfahren

5.1 Reflexionsmessungen

5.1.1 Zweck

Der Zweck dieses Verfahrens ist die Bestimmung des Reflexionsfaktors einer EPD unter definierten Beleuchtungsbedingungen.

5.1.2 Messbedingungen

a) Ausrüstung:

Eine Ansteuerspannungsquelle; ein Ansteuersignalgenerator; eine Ulbrichtsche Kugel; eine Ulbrichtsche Kugel zum Aufsetzen oder eine Halbkugel; und eine gerichtete Lichtquelle. Für spektrale Messungen wird ein Spektroradiometer benötigt, das die Leuchtdichte und die spektrale Strahldichte messen kann; außerdem ist ein weißes diffuses Reflexionsnormal mit einem bekannten halbräumlichen diffusen spektralen Reflexionsfaktor und einem gerichteten spektralen Reflexionsfaktor, das für die vorgesehene Messgeometrie kalibriert ist, erforderlich. Für photometrische Messungen ist ein Empfänger erforderlich, der die Leuchtdichte messen kann; und es ist ein weißes diffuses Reflexionsnormal mit einem bekannten halbräumlichen diffusen Reflexionsfaktor und einem gerichteten spektralen Reflexionsfaktor, das für die vorgesehene Messgeometrie und das vorgesehene Quellspektrum kalibriert ist, erforderlich. Es darf auch ein Kontakt-Spektrophotometer benutzt werden, wenn nachgewiesen wurde, dass es verglichen mit einem kalibrierten berührungsfreien Spektroradiometer oder Photometer geeignet ist.

b) Beleuchtungsbedingungen:

Es sind die gerichteten, Ringlicht- oder halbräumlichen Standard-Beleuchtungsbedingungen anzuwenden. Das Beleuchtungsspektrum sollten annähernd CIE-Lichtart D50 oder D65 entsprechen. Ansonsten ist eine stabile und spektral glatte Breitbandlichtquelle mit sichtbarem Licht (z. B. Leuchtstofflampe) anzuwenden. Die verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie und die CCT der Lichtquelle sind aufzuzeichnen.

c) Bis auf die Standard-Umgebungsbeleuchtungsbedingungen entsprechen alle anderen Bedingungen den Standard-Messbedingungen.

5.1.3 Messung des halbräumlichen diffusen spektralen Reflexionsfaktors

a) Die Anzeige wird in einer Ulbrichtschen Kugel oder einer Ulbrichtschen Kugel zum Aufsetzen angeordnet, wie in Bild 6 dargestellt. Die Ulbrichtsche Kugel oder die Ulbrichtsche Kugel zum Aufsetzen wird eingeschaltet und auf die halbräumliche diffuse Beleuchtung mit der gewünschten CCT eingestellt. Es ist ausreichend Zeit einzuräumen, so dass sich die Lichtquelle stabilisieren kann.

ANMERKUNG Jede Änderung der Kugelbeleuchtung kann mit einem an der Kugel angebrachten photopischen Empfänger überwacht werden.

b) Der Bildschirm des Prüflings wird auf ein Vollbild der gewünschten Farbe Q mit dem höchsten Reflexionsgrad eingestellt.

c) Das LMD wird durch den Messeingang an der gewünschten Anzeigenposition auf die Anzeigenoberfläche fokussiert und mit einem Winkel von 8° bis 10° zum Flächennormal der Anzeige ausgerichtet. Es wird die spektrale Strahldichte $L_{Q,hemi}(\lambda)$ oder die Leuchtdichte $L_{Q,hemi}$ an der gewünschten Messposition auf der Anzeige gemessen, wobei für ein Farbmessgerät $L_{hemi} = Y_{hemi}$ gilt. Für spektrale Messungen kann die Leuchtdichte der Anzeige $L_{Q,hemi}$ mit der folgenden Beziehung berechnet werden:

$$L = 683 \int_{\lambda} L(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

Dabei ist $V(\lambda)$ die Hellempfindlichkeitskurve nach CIE 15.

ANMERKUNG In diesem Dokument werden spektrale Messungen wie die spektrale Strahldichte ausdrücklich durch die Wellenlängenabhängigkeit gekennzeichnet (z. B. $L_{Q,\text{hemi}}(\lambda)$), während ihre photometrisch äquivalente Leuchtdichte keine ausdrückliche Wellenlängenabhängigkeit besitzt (z. B. $L_{Q,\text{hemi}}$).

- d) Das LMD wird auf die Mitte des weißen diffusen Reflexionsnormals ausgerichtet und es wird dessen spektrale Strahldichte $L_{\text{std,hemi}}(\lambda)$ oder Leuchtdichte $L_{\text{std,hemi}}$ mit der Anzeige im gewünschten Farbzustand Q gemessen. Für die Ulbrichtsche Kugel zum Aufsetzen werden $L_{\text{std,hemi}}(\lambda)$ und $L_{\text{std,hemi}}$, d. h. die spektrale Strahldichte bzw. die Leuchtdichte, an der Kugelwand neben der Eintrittsöffnung gemessen.
- e) Es wird der halbräumliche diffuse spektrale Reflexionsgrad $\rho_Q(\lambda)$ oder der halbräumliche diffuse Lichtreflexionsgrad ρ_Q der Anzeige bei der gewünschten Farbe Q für die gemessene Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie berechnet.

Bei spektralen Messungen wird dazu folgende Beziehung verwendet:

$$\rho_Q(\lambda) = \rho_{\text{std}}(\lambda) \frac{L_{Q,\text{hemi}}(\lambda)}{L_{\text{std,hemi}}(\lambda)} \quad (6)$$

Dabei ist $\rho_{\text{std}}(\lambda)$ der bekannte halbräumliche spektrale Reflexionsgrad für das weiße diffuse Reflexionsnormal oder die Wand der Ulbrichtschen Kugel zum Aufsetzen mit der gleichen Messgeometrie. Der halbräumliche diffuse Lichtreflexionsgrad einer Anzeige beim gewünschten halbräumlichen diffusen Beleuchtungsspektrum $E_{\text{hemi}}(\lambda)$ wird mit dem spektralen Reflexionsgrad $\rho_Q(\lambda)$ nach der folgenden Gleichung bestimmt:

$$\rho_Q = \frac{\int \rho_Q(\lambda) E_{\text{hemi}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int E_{\text{hemi}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (7)$$

Zur Nachbildung einer halbräumlichen diffusen Beleuchtung im Freien muss die CIE-Lichtart D75 angewendet werden und D50 oder D65 sollten zur Nachbildung einer diffusen Innenraumbeleuchtung angewendet werden. Es sind die relativen spektralen Verteilungen der CIE-Lichtarten A, D50, D65 und D75 anzuwenden, die in CIE 15 in Tabellen angegeben sind. Wenn zusätzliche Tageslichtarten gewünscht werden, muss die folgende Beziehung nach CIE 15 angewendet werden:

$$E(\lambda) = E_0(\lambda) + M_1 E_1(\lambda) + M_2 E_2(\lambda) \quad (8)$$

Dabei sind die Eigenfunktionen E_0 , E_1 und E_2 in Tabellen in CIE 15 angegeben und die Eigenwerte M_1 und M_2 sind im gleichen Dokument festgelegt. Als Beispiel sind M_1 und M_2 in Tabelle 1 für D50 und D75 angegeben.

Tabelle 1 – Eigenwerte M_1 und M_2 für die CIE-Tageslichtarten D50 und D75

Eigenwerte	Ähnlichste Farbtemperatur	
	5 000 K	7 500 K
M_1	−1,040 1	0,143 58
M_2	0,366 66	−0,759 93

Bei Leuchtdichtemessungen wird die photometrische Entsprechung von Gleichung (6) angewendet:

$$\rho_Q = \rho_{\text{std}} \frac{L_{Q,\text{hemi}}}{L_{\text{std,hemi}}} \quad (9)$$

Diese Beziehung gilt nur, wenn die Messung mit der gleichen Geometrie und spektralen Verteilung durchgeführt wird, wie sie zur Kalibrierung des weißen diffusen Reflexionsnormal ρ_{std} benutzt wurden. Darüber hinaus ist jede Berechnung der Betriebseigenschaften der Anzeige mit dem halbräumlichen diffusen Lichtreflexionsgrad nach dem photometrischen Verfahren in Gleichung (9) nur für Lichtquellen mit einem ähnlichen Spektrum und einer ähnlichen Geometrie gültig.

- f) Im Prüfbericht sind die ähnlichste Farbtemperatur der Prüfbeleuchtung der Anzeige, der Prüfaufbau, ρ_Q und die Beleuchtungsstärke E_{hemi} auf dem weißen diffusen Reflexionsnormal anzugeben. Für spektrale Messungen wird die spektrale Bestrahlungsstärke $E_{\text{hemi}}(\lambda)$ zuerst mit $L_{\text{std,hemi}}(\lambda)$ in wellenlängenabhängiger Form mit Gleichung (3) bestimmt. Die Beleuchtungsstärke E_{hemi} kann dann mit der folgenden allgemeinen Beziehung ermittelt werden:

$$E = 683 \int_{\lambda} E(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (10)$$

Bei Leuchtdichtemessungen wird die Beleuchtungsstärke E_{hemi} direkt mit Gleichung (3) mit der Leuchtdichte des weißen Reflexionsnormal $L_{\text{std,hemi}}$ bestimmt.

5.1.4 Messung des Reflexionsfaktors für eine gerichtete Lichtquelle

- Das LMD wird mit dem gewünschten Betrachtungswinkel zur Anzeige ausgerichtet.
- Die gerichtete Quelle wird mit der gewünschten Beleuchtungsgeometrie angeordnet. Im Allgemeinen muss die Geometrie mit einer einzelnen gerichteten Quelle angewendet werden, sofern die Anzeige keine ausgeprägte Matrixstreuung aufweist. Bei Anzeigen mit Matrixstreuung muss die Ringlichtquelle benutzt werden. Die gerichtete Lichtquelle wird auf die gewünschte CCT eingestellt und es ist abzuwarten, bis sich die Lichtquelle stabilisiert hat. Die Intensität der Quelle wird so eingestellt, dass das von der Anzeige reflektierte Licht ein starkes Signal am LMD erzeugt.
- Der Bildschirm des Prüflings wird auf ein Vollbild der gewünschten Farbe Q mit dem höchsten Reflexionsgrad eingestellt.
- Es wird die spektrale Strahldichte $L_{Q,\text{dir}}(\lambda)$ oder die Leuchtdichte $L_{Q,\text{dir}}$ an der gewünschten Messposition auf der Anzeige gemessen, wobei für ein Farbmessgerät $L_{Q,\text{dir}} = Y_{Q,\text{dir}}$ gilt. Für spektrale Messungen kann die Leuchtdichte $L_{Q,\text{dir}}$ der Anzeige mit direkter Beleuchtung mit Gleichung (5) berechnet werden.
- Die Anzeige wird entfernt und das weiße diffuse Reflexionsnormal in derselben Messebene des LMD eingerichtet.
- Die spektrale Strahldichte $L_{\text{std,dir}}(\lambda)$ oder die Leuchtdichte $L_{\text{std,dir}}$ des kalibrierten weißen diffusen Reflexionsnormal werden gemessen. Bei spektralen Messungen kann die spektrale Bestrahlungsstärke $E_{\text{dir}}(\lambda)$ auf das weiße diffuse Reflexionsnormal und auf die Anzeige in wellenlängenabhängiger Form nach Gleichung (3) bestimmt werden, wobei $R(\lambda) = R_{\text{std,dir}}(\lambda)$ der bekannte spektrale Reflexionsfaktor für das weiße diffuse Reflexionsnormal in der gleichen Geometrie ist. Die Beleuchtungsstärke E_{dir} auf die Anzeige kann mit Gleichung (10) berechnet werden. Bei photometrischen Messungen wird die Beleuchtungsstärke E_{dir} direkt mit Gleichung (3) berechnet.
- Der spektrale Reflexionsfaktor $R_{\text{dir}}(\lambda)$ oder der Lichtreflexionsfaktor R_{dir} der angezeigten Farbe mit gerichteter Beleuchtung wird für die gemessene Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie berechnet.

Bei spektralen Messungen wird der spektrale Reflexionsfaktor $R_{\text{dir}}(\lambda)$ mit der folgenden Gleichung bestimmt:

$$R_{Q,\text{dir}}(\lambda) = R_{\text{std,dir}}(\lambda) \frac{L_{Q,\text{dir}}(\lambda)}{L_{\text{std,dir}}(\lambda)} \quad (11)$$

Mit der folgenden Gleichung muss der Lichtreflexionsfaktor $R_{Q,\text{dir}}$ für eine Anzeige bei der Farbe Q mit gerichteter Beleuchtung mit der gewünschten spektralen Verteilung berechnet werden:

$$R_{Q,\text{dir}} = \frac{\int R_{Q,\text{dir}}(\lambda) E_{\text{dir}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int E_{\text{dir}}(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (12)$$

Dabei ist $E_{\text{dir}}(\lambda)$ die relative spektrale Verteilung für das gewünschte Beleuchtungsspektrum. Zur Nachbildung von Beleuchtungsumgebungen in Innenräumen muss bei diesen Berechnungen das gleiche Beleuchtungsspektrum verwendet werden wie für den halbräumlichen diffusen Reflexionsfaktor (Gleichung (7)). Bei der Nachbildung einer Beleuchtungsumgebung im Freien mit direktem Sonnenlicht muss CIE-Lichtart D50 für $E_{\text{dir}}(\lambda)$ verwendet werden.

Bei photometrischen Messungen wird für die Bestimmung von R_{dir} eine analoge Beziehung zu Gleichung (11) benutzt. Diese Beziehung gilt nur, wenn die Messung mit der gleichen Geometrie und spektralen Verteilung durchgeführt wird, wie sie bei der Kalibrierung des weißen diffusen Reflexionsnormal $R_{\text{std,dir}}$ benutzt wurden.

- h) Im Prüfbericht sind die CCT der Prüfbeleuchtung der Anzeige, die Empfängerparameter (Betrachtungswinkel, Messfeldwinkel, Abstand zum Prüfling), die Parameter der Beleuchtungsquelle (Einfallswinkel, Winkelausdehnung, Abstand zum Prüfling, Strahlstreuung), $R_{Q,\text{dir}}$ und die gemessene Beleuchtungsstärke E_{dir} aufzuzeichnen.

5.2 Photometrische Gleichförmigkeit der Anzeigenebene

5.2.1 Zweck

Der Zweck dieses Verfahrens ist die Bestimmung der photometrischen Gleichförmigkeit der Ebene einer EPD unter gerichteten oder halbräumlichen diffusen Standard-Beleuchtungsbedingungen.

5.2.2 Messeinrichtung

- a) Ausrüstung:

Ein Leuchtdichtemessgerät, ein Farbmessgerät oder ein Spektroradiometer; eine Ansteuerspannungsquelle; ein Ansteuersignalgenerator; ein Mittel zur Umsetzung von Anzeige oder Empfänger/Quelle in die vertikale und die horizontale Richtung; und ein weißes diffuses Reflexionsnormal, welches für die verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie kalibriert ist. Es darf auch ein Kontakt-Spektrophotometer benutzt werden, wenn nachgewiesen wurde, dass es verglichen mit einem kalibrierten berührungsfreien Spektroradiometer, Farbmessgerät oder Photometer geeignet ist.

- b) Beleuchtungsbedingungen:

Es sind die gerichteten, Ringlicht- oder halbräumlichen Standard-Beleuchtungsbedingungen anzuwenden. Das Beleuchtungsspektrum sollte annähernd CIE-Lichtart D50 oder D65 entsprechen. Ansonsten ist eine stabile und spektral glatte Breitbandlichtquelle mit sichtbarem Licht (z. B. Leuchtstofflampe) anzuwenden. Die verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie und die CCT der Lichtquelle sind aufzuzeichnen.

5.2.3 Messverfahren

5.2.3.1 Halbräumliche Beleuchtung

- a) Die Standardgeometrie für halbräumliche Beleuchtung/halbräumlichen Empfang ist einzurichten.
- b) Die Anzeige wird in der Messebene von Lichtquelle und Empfänger angeordnet. Der Bildschirm der Anzeige wird auf ein Vollbild der gewünschten Farbe Q mit dem höchsten Reflexionsgrad eingestellt. Quelle, Empfänger und Anzeige müssen sich stabilisieren können.
- c) Wenn die Anzeige klein ist und in einer Ulbrichtschen Kugel angeordnet wird, wird die Anzeige seitwärts in der Messebene bewegt und es werden nacheinander Messungen an den fünf (Positionen P0, P11, P15, P19 und P23) oder neun (Positionen P0, P9, P11, P13, P15, P17, P19, P21 und P23) in Bild 8 festgelegten Stellen durchgeführt. Ist die Anzeige groß und es wird eine Ulbrichtsche Kugel zum

Aufsetzen oder eine Halbkugel angewendet, wird die Ulbrichtsche Kugel zum Aufsetzen oder die Halbkugel seitwärts zu jeder der gleichen fünf oder neun Stellen auf der Anzeige bewegt. Der Lichtreflexionsgrad $\rho_{Q,PN}$ wird an jeder Stelle PN gemessen. Bei Messungen mit dem Spektroradiometer wird an jeder Stelle der spektrale Reflexionsgrad $\rho_{Q,PN}(\lambda)$ bestimmt. Dann wird an jeder Stelle der diesem entsprechende Lichtreflexionsgrad für die CIE-Lichtart D50 oder D65 berechnet.

5.2.3.2 Gerichtete Beleuchtung

- Die Standardgeometrie für gerichtete Beleuchtung/gerichteten Empfang ist einzurichten.
- Die Anzeige wird in der Messebene von Lichtquelle und Empfänger angeordnet. Der Bildschirm der Anzeige wird auf ein Vollbild der gewünschten Farbe Q mit dem höchsten Reflexionsgrad eingestellt. Quelle, Empfänger und Anzeige müssen sich stabilisieren können.
- Die Anzeige wird seitwärts in der Messebene bewegt und es werden nacheinander Messungen an den fünf (Positionen P0, P11, P15, P19 und P23) oder neun (Positionen P0, P9, P11, P13, P15, P17, P19, P21 und P23) in Bild 8 festgelegten Stellen durchgeführt. Der Lichtreflexionsfaktor $R_{Q,PN}$ wird an jeder Stelle PN bestimmt. Bei Messungen mit dem Spektroradiometer wird an jeder Stelle der spektrale Reflexionsfaktor $R_{Q,PN}(\lambda)$ bestimmt. Dann wird an jeder Stelle der diesem entsprechende Lichtreflexionsgrad für die CIE-Lichtart D50 oder D65 berechnet.

5.2.4 Definitionen und Auswertungen

Die prozentuale photometrische Ungleichförmigkeit der Anzeige bei der Farbe Q unter halbräumlicher Beleuchtung wird angegeben mit:

$$NU_{Q,\text{hemi}}(\lambda) = 100 \% \frac{\rho_{Q,\text{max}} - \rho_{Q,\text{min}}}{\rho_{Q,\text{max}}} \quad (13)$$

Dabei sind $\rho_{Q,\text{max}}$ und $\rho_{Q,\text{min}}$ der Größtwert bzw. der Kleinstwert des Lichtreflexionsgrads der gemessenen Stellen. Bei gerichteter Beleuchtung wird die prozentuale photometrische Ungleichförmigkeit der Anzeige bei der Farbe Q wie folgt angegeben:

$$NU_{Q,\text{dir}}(\lambda) = 100 \% \frac{R_{Q,\text{max}} - R_{Q,\text{min}}}{R_{Q,\text{max}}} \quad (14)$$

Dabei sind $R_{Q,\text{max}}$ und $R_{Q,\text{min}}$ der Größtwert bzw. der Kleinstwert des Lichtreflexionsfaktors der gemessenen Stellen.

Der Wert der photometrischen Ungleichförmigkeit sollte mit der Beschreibung der Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie und der CCT der Lichtquelle, bei der er gemessen oder berechnet wurde (z. B. bezogen auf CIE D65), angegeben werden.

5.3 Kontrastverhältnis

5.3.1 Zweck

Der Zweck dieses Verfahrens ist die Bestimmung des Kontrastverhältnisses einer EPD unter definierten gerichteten oder halbräumlichen diffusen Beleuchtungsbedingungen.

5.3.2 Messeinrichtung

- Ausrüstung:

Ein Leuchtdichtemessgerät, ein Farbmessgerät oder ein Spektroradiometer, welches die Leuchtdichte messen kann; eine Ansteuerspannungsquelle; und ein Ansteuersignalgenerator. Es darf auch ein

Kontakt-Spektrophotometer benutzt werden, wenn nachgewiesen wurde, dass es verglichen mit einem kalibrierten berührungsfreien Spektroradiometer, Farbmessgerät oder Photometer geeignet ist.

b) Beleuchtungsbedingungen:

Es sind die gerichteten, Ringlicht- oder halbräumlichen Standard-Beleuchtungsbedingungen anzuwenden. Das Beleuchtungsspektrum sollte annähernd CIE-Lichtart D50 oder D65 entsprechen. Ansonsten ist eine stabile und spektral glatte Breitbandlichtquelle mit sichtbarem Licht (z. B. Leuchtstofflampe) anzuwenden. Die verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie und die CCT der Lichtquelle sind aufzuzeichnen.

5.3.3 Messverfahren

- Der Beleuchtungs-/Empfangs-Messaufbau ist nach einer der Standardgeometrien für Beleuchtung und Empfang einzurichten. Es sollten die empfohlenen Bedingungen eingehalten werden. Die bei der Messung verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie ist im Prüfbericht anzugeben.
- Der Bildschirm des Prüflings wird mit einem Vollbild der gewünschten Farbe Q mit dem höchsten Reflexionsgrad eingestellt. Es wird ein weißer Bildschirm empfohlen. Das LMD wird mit dem Standard-Betrachtungswinkel auf den Mittelpunkt des Bildschirms ausgerichtet (Position P0).
- Es wird die Leuchtdichte der Anzeige $L_{Q,high}$ beim höchsten Reflexionsgrad gemessen.

Bei Anwendung eines Spektroradiometers wird zuerst der spektrale Reflexionsfaktor nach dem im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Verfahren gemessen. Anschließend wird der Lichtreflexionsfaktor $R_{Q,high}$ mit den Gleichungen (5) und (6) für eine halbräumliche Beleuchtung oder mit den Gleichungen (10) und (11) für eine gerichtete Beleuchtung bestimmt, dabei ist $E(\lambda)$ die relative spektrale Verteilung für CIE D50 oder CIE D65.

- Der Prüfling wird auf den geringsten Reflexionsgrad eingestellt.
- Es wird die Leuchtdichte der Anzeige $L_{Q,low}$ beim geringsten Reflexionsgrad gemessen.

Mit dem gleichen Beleuchtungsspektrum wie für die Ermittlung des höchsten Reflexionsgrads muss der Lichtreflexionsfaktor $R_{Q,low}$ beim geringsten Reflexionsgrad berechnet werden.

5.3.4 Definitionen und Auswertungen

Das Kontrastverhältnis CR ist wie folgt definiert:

$$CR = \frac{L_{Q,high}}{L_{Q,low}} \quad (15)$$

Wurde zur Messung der Lichtreflexionsfaktoren des Prüflings für die CIE-Lichtart D50 oder D65 ein Spektroradiometer benutzt, kann das Kontrastverhältnis wie folgt bestimmt werden:

$$CR = \frac{R_{Q,high}}{R_{Q,low}} \quad (16)$$

ANMERKUNG Wird die Messung mit einer halbräumlichen Beleuchtung durchgeführt, wird das Ergebnis als $CR_{Q,hemi}$ angegeben; wird eine gerichtete Beleuchtung benutzt, kann das Messergebnis als $CR_{Q,dir}$ angegeben werden.

Im Prüfbericht muss das für die Messung des Kontrastverhältnisses angewendete Beleuchtungsspektrum angegeben werden.

5.4 Kontrast bei Umgebungsbeleuchtung

5.4.1 Zweck

Der Zweck dieses Verfahrens ist die Bestimmung des Kontrasts einer EPD bei Umgebungsbeleuchtung unter definierten Beleuchtungsbedingungen in Innenräumen oder bei Tageslicht. Der Kontrast bei Umgebungsbeleuchtung wird auf der Grundlage vorhergehender Reflexionsmessungen berechnet.

5.4.2 Messbedingungen

a) Beleuchtungsbedingungen:

Es sind die Standard-Umgebungsbeleuchtungsbedingungen für Innenräume oder Tageslicht bei klarem Himmel anzuwenden. In Abhängigkeit von der Anwendung dürfen auch weitere Beleuchtungsbedingungen (wie D50 oder D65) angewendet werden.

b) Bis auf die Standard-Umgebungsbeleuchtungsbedingungen entsprechen alle anderen Bedingungen den Standard-Messbedingungen.

5.4.3 Messverfahren

Der Kontrast bei Umgebungsbeleuchtung wird aus Reflexionsmessungen der Anzeige unter halbräumlichen diffusen und gerichteten Beleuchtungsbedingungen der Quelle ermittelt. Das Messverfahren für den halbräumlichen diffusen Reflexionsgrad und den gerichteten Reflexionsfaktor der Anzeige beim geforderten Beleuchtungsspektrum ist in den vorangegangenen Abschnitten festgelegt. Mit diesen Reflexionsparametern wird die kombinierte reflektierte Leuchtdichte einer Anzeige bei ihrer am wenigsten reflektierenden Graustufe (Farbe K) und bei der am stärksten reflektierenden Graustufe (Farbe W) bei den geforderten Leuchtdichtepiegeln gemessen. Der Kontrast bei Umgebungsbeleuchtung ist das Verhältnis der kombinierten höchsten Leuchtdichteeinstellung zur kombinierten geringsten Leuchtdichteeinstellung.

Das Kontrastverhältnis in Innenräumen oder bei Tageslicht wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$ACR = \frac{\left(R_{W,dir} + \rho_W \frac{E_{hemi}}{E_{dir} \cos \theta_S} \right)}{R_{K,dir} + \rho_K \frac{E_{hemi}}{E_{dir} \cos \theta_S}} \quad (17)$$

Dabei betragen die Standardparameter $E_{hemi} = 300 \text{ lx}$, $\theta_S = 45^\circ$ und $E_{dir} \cos \theta_S = 200 \text{ lx}$ für einen Leseraum und $E_{hemi} = 15\,000 \text{ lx}$, $\theta_S = 45^\circ$ und $E_{dir} \cos \theta_S = 65\,000 \text{ lx}$ für den Tageslichtkontrast im Freien. Falls weitere Geometrien oder Beleuchtungsstärken verwendet werden, müssen diese im Prüfbericht angegeben werden. Alle Werte, die für die Berechnung des Kontrasts bei Umgebungsbeleuchtung verwendet werden, müssen im Prüfbericht angegeben werden.

5.5 Übersprechen

5.5.1 Zweck

Der Zweck dieses Verfahrens ist die Bestimmung des photometrischen Übersprechens einer EPD unter gerichteten oder halbräumlichen diffusen Standard-Beleuchtungsbedingungen.

5.5.2 Messeinrichtung

a) Ausrüstung:

Ein Leuchtdichtemessgerät, ein Farbmessgerät oder ein Spektroradiometer, welches die Leuchtdichte messen kann; eine Ansteuerspannungsquelle; und ein Ansteuersignalgenerator. Es darf auch ein Kontakt-Spektrophotometer benutzt werden, wenn nachgewiesen wurde, dass es verglichen mit einem kalibrierten berührungsfreien Spektroradiometer, Farbmessgerät oder Photometer geeignet ist.

b) Beleuchtungsbedingungen:

Es sind die gerichteten, Ringlicht- oder halbräumlichen Standard-Beleuchtungsbedingungen anzuwenden. Das Beleuchtungsspektrum sollte annähernd CIE-Lichtart D50 oder D65 entsprechen. Ansonsten ist eine stabile und spektral glatte Breitbandlichtquelle mit sichtbarem Licht (z. B. Leuchtstofflampe) anzuwenden. Die verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie und die CCT der Lichtquelle sind aufzuzeichnen.

5.5.3 Graustufen-Matrixanzeigen

5.5.3.1 Messverfahren

- Der Bildschirm der Anzeige wird mit einem Vollbild der Farbe Q mit einem Eingangssignalpegel von 50 % des Vollbereichs angesteuert. Bei einem 8-Bit-RGB-System würde eine Primärfarbe z. B. auf den Signalpegel von 128 Farben eingestellt werden. Es ist empfehlenswert, dass bei dieser Messung mindestens eine graue Farbe verwendet wird. Der Bildschirm muss sich mindestens 3 s lang stabilisieren können. Der Reflexionsgrad oder der Reflexionsfaktor werden dann an den Stellen P9, P13, P17 und P21 senkrecht zum Bildschirm gemessen (oder für halbräumliche Beleuchtung in der $di/8^\circ$ -Anordnung). Der an jeder Stelle P_i gemessene Reflexionsfaktor ist $R_{ref}[i]$.
- Die Anzeige wird so angesteuert, dass über dem vorhergehenden Bild ein schwarzes Rechteck (am wenigsten reflektierend) mit den Eckpunkten in den Mittelpunkten der Positionen P2, P4, P6 und P8 (siehe Bild 9) erzeugt wird. Der Bildschirm muss sich mindestens 3 s lang stabilisieren können. Der Reflexionsfaktor an den Stellen P9, P13, P17 und P21 wird erneut gemessen und mit $R_K[i]$ bezeichnet.
- Zum Abschluss werden die Bilddaten innerhalb des festgelegten Rechtecks in Vollweiß geändert (am meisten reflektierend). Der Bildschirm muss sich mindestens 3 s lang stabilisieren können. Dann wird der Reflexionsfaktor $R_W[i]$ an den Stellen P9, P13, P17 und P21 gemessen.

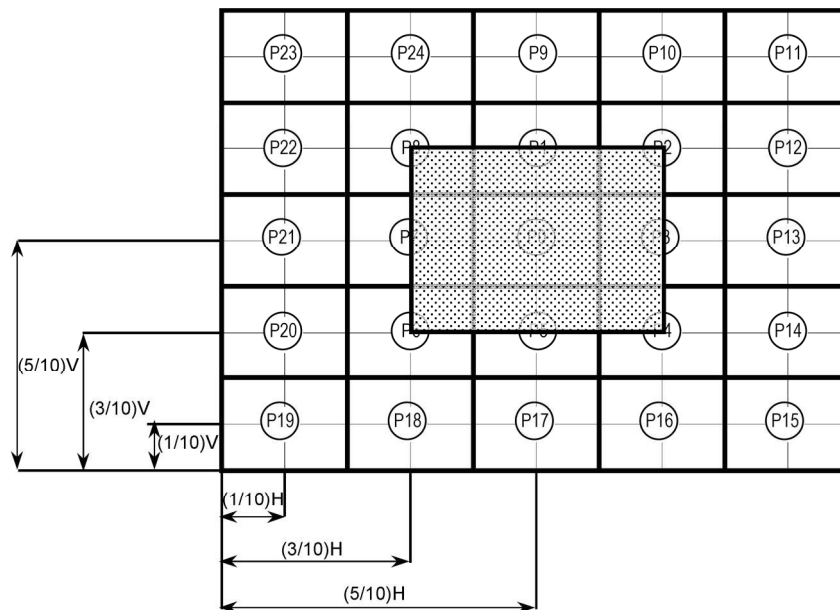


Bild 9 – Fenstermuster für die Messung des Übersprechens

5.5.3.2 Definitionen und Auswertungen

Das horizontale Übersprechen bei weißem Bildschirm HXT_W ist wie folgt definiert:

$$HXT_W (\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_W[21] - R_{ref}[21]}{R_{ref}[21]} \right|, \left| \frac{R_W[13] - R_{ref}[13]}{R_{ref}[13]} \right| \right) [\%] \quad (18)$$

Dabei ergibt der Operator $\max(|A|, |V|, |B|)$ den größten Absolutwert zwischen A und B. Für das horizontale Übersprechen bei schwarzem Bildschirm HXT_K gilt:

$$HXT_K (\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_K [21] - R_{ref} [21]}{R_{ref} [21]} \right|, \left| \frac{R_K [13] - R_{ref} [13]}{R_{ref} [13]} \right| \right) [\%] \quad (19)$$

Das (gesamte) horizontale Übersprechen HXT wird dann definiert als:

$$HXT = \max(HXT_W \vee HXT_K) \quad (20)$$

Auf die gleiche Weise wird das vertikale Übersprechen bei weißem Bildschirm VXT_{wh} wie folgt definiert:

$$VXT_W (\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_W [9] - R_{ref} [9]}{R_{ref} [9]} \right|, \left| \frac{R_W [17] - R_{ref} [17]}{R_{ref} [17]} \right| \right) [\%] \quad (21)$$

und für das vertikale Übersprechen bei schwarzem Bildschirm VXT_{bl} gilt:

$$VXT_K (\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_K [9] - R_{ref} [9]}{R_{ref} [9]} \right|, \left| \frac{R_K [17] - R_{ref} [17]}{R_{ref} [17]} \right| \right) [\%] \quad (22)$$

und das (gesamte) vertikale Übersprechen VXT wird definiert als:

$$VXT = \max(VXT_W \vee VXT_K) \quad (23)$$

5.5.4 Schwarz-Weiß-Matrixanzeigen (zwei Pegel)

5.5.4.1 Messverfahren

- In das Gerät wird ein Vollbildsignal eingespeist, welches den Zustand der höchsten Reflexion erzeugt. Dann wird der Reflexionsfaktor an den Positionen P9, P13, P17 und P21 bei senkrechtem Einfall auf den Bildschirm gemessen. Der an der Stelle $P[i]$ gemessene Reflexionsfaktor wird mit $R_{maxref}[i]$ festgelegt.
- Der Ansteuerpegel innerhalb eines Rechtecks, welches durch die Mittelpunkte der Positionen P2, P4, P6 und P8 (siehe Bild 9) definiert wird, wird in den Zustand der geringsten Reflexion geändert und der Reflexionsfaktor an den Positionen P9, P13, P17 und P21 wird erneut gemessen und mit $R_{min}[i]$ bezeichnet.
- In das Gerät wird ein Vollbildsignal eingespeist, welches den Zustand der geringsten Reflexion erzeugt. Dann wird der Reflexionsfaktor an den Positionen P9, P13, P17 und P21 gemessen. Der an der Stelle $P[i]$ gemessene Reflexionsfaktor wird mit $R_{minref}[i]$ festgelegt.
- Der Ansteuerpegel innerhalb eines Rechtecks, welches durch die Mittelpunkte der Positionen P2, P4, P6 und P8 (siehe Bild 9) definiert wird, wird in den Zustand der höchsten Reflexion geändert und der Reflexionsfaktor an den Positionen P9, P13, P17 und P21 wird erneut gemessen und mit $R_{max}[i]$ bezeichnet.

5.5.4.2 Definitionen und Auswertungen

Das Übersprechen vom geringsten zum höchsten Wert $XT_{min/max}$ ist wie folgt definiert:

$$XT_{min/max} (\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_{min} [i] - R_{maxref} [i]}{R_{maxref} [i]} \right|; i = 9, 13, 17, 21 \right) [\%] \quad (24)$$

Das Übersprechen vom höchsten zum geringsten Wert $XT_{max/min}$ ist wie folgt definiert:

$$X_{T_{\min/\max}} (\%) = 100 \times \max \left(\left| \frac{R_{\max} [i] - R_{\min \text{ref}} [i]}{R_{\min \text{ref}} [i]} \right|; i = 9, 13, 17, 21 \right) [\%] \quad (25)$$

ANMERKUNG Das Ergebnis dieser Messung kann durch die Ansprechempfindlichkeit des LMD erheblich beeinflusst werden.

5.6 Farbe, Farbumfang und Farbumfangsfläche der Anzeige

5.6.1 Zweck

Der Zweck dieses Verfahrens ist die Bestimmung der Farbart und des Farbumfangs einer EPD bei einer gegebenen Farbe Q unter definierten gerichteten oder halbräumlichen diffusen Beleuchtungsbedingungen.

5.6.2 Messeinrichtung

a) Ausrüstung:

Ein Spektroradiometer; eine Ansteuerspannungsquelle; ein Ansteuersignalgenerator; und ein diffuses weißes Reflexionsnormal, welches für die verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie kalibriert ist. Es darf auch ein Kontakt-Spektrophotometer benutzt werden, wenn nachgewiesen wurde, dass es verglichen mit einem kalibrierten berührungsfreien Spektroradiometer geeignet ist.

b) Beleuchtungsbedingungen:

Es sind die gerichteten, Ringlicht- oder halbräumlichen Standard-Beleuchtungsbedingungen anzuwenden. Es muss eine spektral glatte Breitbandlichtquelle wie eine stabile Leuchtstofflampe benutzt werden. In Abhängigkeit von der Anwendung dürfen auch weitere Beleuchtungsbedingungen angewendet werden. Die verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie und die CCT der Lichtquelle sind aufzuzeichnen.

5.6.3 Messverfahren

- Der Beleuchtungs-/Empfangs-Messaufbau ist nach einer der Standardgeometrien für Beleuchtung und Empfang einzurichten. Es sollten die empfohlenen Bedingungen eingehalten werden. Die bei der Messung verwendete Beleuchtungs-/Empfangsgeometrie ist im Prüfbericht anzugeben.
- Der Bildschirm des Prüflings wird auf ein Vollbild der gewünschten Farbe Q mit dem höchsten Reflexionsgrad eingestellt. Das LMD wird mit dem Standard-Betrachtungswinkel auf den Mittelpunkt des Bildschirms ausgerichtet (Position P0).
- Es wird der spektrale Reflexionsfaktor ($\rho_{Q,\text{high}}(\lambda)$ oder $R_{Q,\text{high}}(\lambda)$) für die angezeigte Farbe Q gemessen. Anschließend wird der Lichtreflexionsgrad $\rho_{Q,\text{high}}$ mit den Gleichungen (6) und (7) für halbräumliche Beleuchtung oder der Lichtreflexionsfaktor $R_{Q,\text{high}}$ mit den Gleichungen (11) und (12) für gerichtete Beleuchtung bestimmt, wobei $E(\lambda)$ die relative spektrale Verteilung für die CIE-Lichtart D50 oder D65 ist.

5.6.4 Definitionen und Auswertungen

Die normierten Farbwerte einer Anzeige mit dem Farbzustand Q unter halbräumlicher Beleuchtung mit einer spektralen Verteilung $E_D(\lambda)$ der CIE-Lichtart D50 oder D65 wird angegeben mit:

$$X'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,\text{high}}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad (26)$$

$$Y'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,\text{high}}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (27)$$

$$Z'_Q = k \int_{\lambda} \rho_{Q,\text{high}}(\lambda) E_D(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \quad (28)$$

und

$$k = \frac{100}{\int_{\lambda} E_D(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (29)$$

Dabei sind $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ und $\bar{z}(\lambda)$ die Spektralwertfunktionen (siehe CIE 15). Eine ähnliche Analyse wird zur Bestimmung der normierten Farbwerte für die gerichtete Beleuchtung durchgeführt, wobei für $\rho_{Q,\text{high}}$ dann $R_{Q,\text{high}}$ eingesetzt wird. Der XYZ-Farbenraum CIE 1931 definiert die (x, y) -Farbwertanteile für die Anzeige beim gewünschten Farbzustand Q unter den definierten Beleuchtungsbedingungen wie folgt:

$$x_Q = \frac{X'_Q}{X'_Q + Y'_Q + Z'_Q} \quad (30)$$

$$y_Q = \frac{Y'_Q}{X'_Q + Y'_Q + Z'_Q} \quad (31)$$

Da der XYZ-Farbenraum empfindungsgemäß nicht gleichförmig ist, wird empfohlen, die angezeigte Farbe im gleichförmigen Farbenraum CIE 1976 (CIE 1976 UCS) mit den Farbwertanteilen (u', v') anzugeben:

$$u'_Q = \frac{4X'_Q}{X'_Q + 15Y'_Q + 3Z'_Q} = \frac{4x_Q}{-2x_Q + 12y_Q + 3} \quad (32)$$

$$v'_Q = \frac{9Y'_Q}{X'_Q + 15Y'_Q + 3Z'_Q} = \frac{9y_Q}{-2x_Q + 12y_Q + 3} \quad (33)$$

5.6.5 Angezeigter Farbumfang

Der angezeigte Farbumfang wird durch Messung der (x, y) -Farbwertanteile CIE 1931 jeder Primärfarbe nacheinander bei ihrem höchsten Reflexionsgrad bestimmt. Außerdem sollten die Farbwertanteile der Farbe Weiß für die vorhandene Beleuchtungsquelle mit allen Primärfarben bei ihrem höchsten Reflexionsgrad gemessen werden. Im Prüfbericht sollten alle Primärfarben und der Weißpunkt tabellarisch angegeben werden. Der Farbumfang wird mit dem Dreieck in der (x, y) -Farbtafel CIE 1931 dargestellt, das durch die gemessenen Primärfarben (x_R, y_R) , (x_G, y_G) und (x_B, y_B) als Eckpunkte gebildet wird (siehe Bild 10). Die folgenden Eigenschaften werden zur Bestimmung des Farbumfangs genutzt: die Farbumfangsfläche in einer zweidimensionalen Farbtafel und das Farbumfangsvolumen in einem dreidimensionalen Farbenraum. Zur Bestimmung dieser Farbumfangsmetriken sollten gleichförmige Farbenräume wie CIELUV und CIELAB benutzt werden.

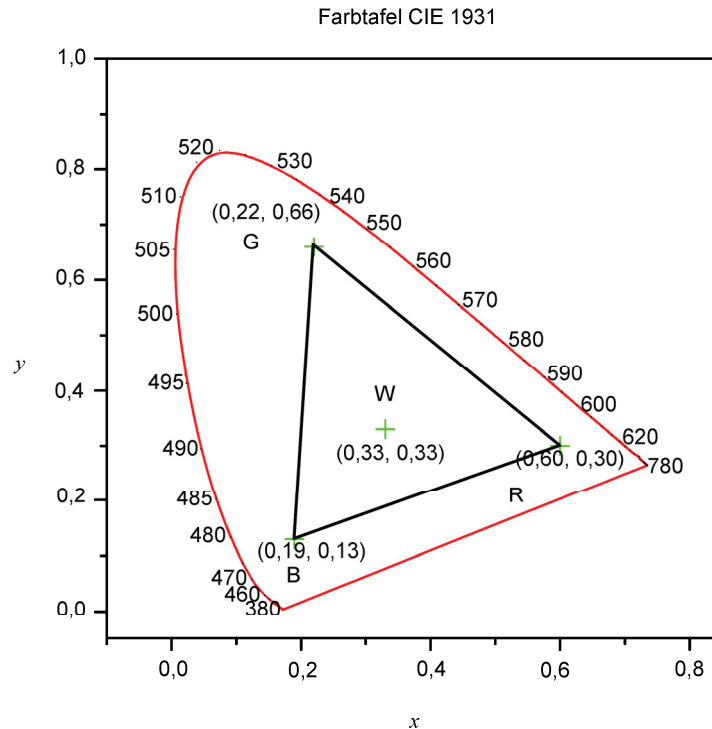


Bild 10 – Beispiel für den Farbumfang der Anzeige

5.6.6 Angezeigte Farbumfangsfläche

5.6.6.1 Farbumfangsfläche in der $u'v'$ -Farbtafel CIE 1976

Die angezeigte Farbumfangsfläche kann durch Messung der (u', v') -Farbwertanteile des gleichförmigen Farbenraums CIE 1976 jeder Primärfarbe nacheinander bei ihrem höchsten Reflexionsgrad bestimmt werden. Sind die Messwerte (x, y) -Farbarten CIE 1931, werden die Transformationen mit den Gleichungen (32) und (33) durchgeführt. Die Farbumfangsfläche wird berechnet als die Dreiecksfläche, die durch die Farbwertanteile des gleichförmigen Farbenraums CIE 1976 (u'_R, v'_R) , (u'_G, v'_G) und (u'_B, v'_B) der angezeigten Primärfarben aufgespannt wird, und sie wird angegeben als Prozentwert bezogen auf die Fläche innerhalb des gesamten Spektralfarbenzugs: $A = 256,1 \cdot |(u'_R - u'_B)(v'_G - v'_B) - (u'_G - u'_B)(v'_R - v'_B)|$, dabei bezeichnen die Indizes R, G und B die Grundfarben Rot, Grün und Blau. Die Farbumfangsfläche in Bild 10 beträgt z. B. 25 % und die der sRGB-Primärfarben (IEC 61966-2-1) mit den (x, y) -Farbarten Rot (0,64, 0,33), Grün (0,30, 0,60) und Blau (0,15, 0,06) wäre 33 %.

5.6.6.2 Farbumfangsfläche in CIELAB 1976

Die empfundene Farbumfangsfläche kann auch in der a^*b^* -Ebene des Farbraums CIELAB 1976 berechnet werden. Zuerst wird der spektrale Reflexionsfaktor (Gleichung (6) oder (11)) der in Tabelle 2 angegebenen Vollbildfarben gemessen. Dann werden mit den Gleichungen (26) bis (29) die normierten Farbwerte für ein Bezugsweiß D50 oder D65 bestimmt. Zum Schluss werden die CIELAB- L^* -, a^* - und b^* -Werte für jede Farbe Q mit den folgenden Gleichungen berechnet:

$$L^* = 116 \times f(Y/Y_n) - 16 \quad (34)$$

$$a^* = 500 \times [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (35)$$

$$b^* = 200 \times [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (36)$$