

Farbwiedergabe

Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen in der Beleuchtungstechnik

DIN
6169
Teil 2

Colour rendering; colour rendering properties of light sources in the field of lighting
Rendu des couleurs; qualités de rendu des couleurs des sources lumineuses dans la technique de l'éclairage

Kursiv gesetzte Textteile sind Anmerkungen. Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf die Schrifttumsangabe auf Seite 11.

Diese Norm ist mit der Publikation Nr 13.2 (1975) der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) [9] in völliger Übereinstimmung (siehe Erläuterungen).

1 Zweck und Anwendung

In dieser Norm wird ein Verfahren zur Beurteilung und zahlenmäßigen Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften von **Lichtquellen** in der Beleuchtungstechnik [1 bis 9] angegeben. Die in DIN 6169 Teil 1 gegebenen allgemeinen Begriffe der Farbwiedergabe [10, 12] werden hier speziell auf dieses Fachgebiet angewendet. Hinsichtlich der Anwendung auf die effektive Farbwiedergabe in der Beleuchtungstechnik siehe Vornorm DIN 6169 Teil 3.

Diese Norm gilt ausschließlich für Lichtquellen im Hinblick auf ihre Anwendung in der Beleuchtungstechnik. Für die Bewertung von Lichtquellen, die in der Farbphotographie, beim Mehrfarbendruck und beim Farbfernsehen angewendet werden, sind die einschlägigen Normen über Farbwiedergabe (DIN 6169 Teil 4 (z. Z. noch Entwurf), Teil 5 und Teil 6) heranzuziehen. Die Eignung von Lichtquellen für die Farbabmusterung ist nach dem in DIN 6173 Teil 2 angegebenen Verfahren zu bewerten.

Die Farbwiedergabe in der Beleuchtungstechnik ist durch die Auswirkung einer Lichtart auf die Farbwiedergabe von mit dieser Lichtart beleuchteten Objekten, im bewußten oder unbewußten Vergleich zu der Farbwiedergabe unter einer Bezugslichtart gegeben (siehe Vornorm DIN 6169 Teil 3). Sie wird deshalb wesentlich durch die **Farbwiedergabe-Eigenschaften der beleuchtenden Lichtquellen** und damit durch deren Lichtart bestimmt, von der sich die die Farbwiedergabe von Objekt-Farben erzeugende Lichtart lediglich durch zusätzliche selektive Einflüsse von lichttechnischen Baustoffen (Raumbegrenzungsflächen, Leuchtenmaterial usw.) unterscheiden kann (siehe Vornorm DIN 6169 Teil 3). Zur zahlenmäßigen Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen dienen Farbwiedergabe-Indizes, die nach dem Testfarbenverfahren ermittelt werden (siehe Abschnitt 3). *Da die Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen ein wichtiges kennzeichnendes Merkmal der Lichtquellen sind, wird im folgenden kurz von der „zu kennzeichnenden Lichtquelle“ bzw. „zu kennzeichnenden Lichtart“ gesprochen.*

2 Bezugslichtart

Jede Bewertung der Farbwiedergabe-Eigenschaften einer Lichtquelle bezieht sich stets auf eine „Bezugslichtart“. Sie kann entweder tatsächlich vorhanden oder lediglich eine reine Rechengröße sein. Ihre Wahl richtet sich im allgemeinen nach dem Zweck der Untersuchung oder dem Anwendungsgebiet der zu kennzeichnenden Lichtquelle.

Solange international nur ein Verfahren anerkannt ist, mit dessen Hilfe die Farbumstimmung für kleine Farbunterschiede zwischen der zu kennzeichnenden Lichtart und der Bezugslichtart berücksichtigt werden kann, soll die Wahl der Bezugslichtart auf solche Lichtarten beschränkt bleiben, die die gleiche oder nahezu die gleiche Farbart wie die zu kennzeichnende Lichtquelle haben [7 und 17 bis 20]. Wenn nichts anderes vorgeschrieben ist, soll für Lichtquellen mit einer ähnlichsten Farbtemperatur $T_n < 5000$ K der Plancksche Strahler mit der der Lichtquelle empfindungsgemäß nahegelegenen Farbart als Bezugslichtart verwendet werden, für Lichtquellen mit einer ähnlichsten Farbtemperatur $T_n \geq 5000$ K ist die Phase des natürlichen Tageslichts D mit einer empfindungsgemäß nahegelegenen ähnlichsten Farbart als Bezugslichtart zu wählen. In besonderen Fällen können auch die farbmeßtechnischen Normlichtarten (siehe DIN 5033 Teil 7) oder andere genau definierte Strahlungsverteilungen als Bezugslichtart dienen.

Die Farbart der Bezugslichtart soll zur Vermeidung einer Fehlbewertung der Farbumstimmung nach Möglichkeit weniger als der Farbunterschied $\Delta C = 5,4 \cdot 10^{-3}$ in jeder Richtung der Farbtabelle von der Farbart der zu kennzeichnenden Lichtquelle abweichen (siehe Bild).

Fortsetzung Seite 2 bis 11
Erläuterungen Seite 12

Fachnormenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Fachnormenausschuß Lichttechnik (FNL) im DIN

AVA Documents
Document Sharing Hub

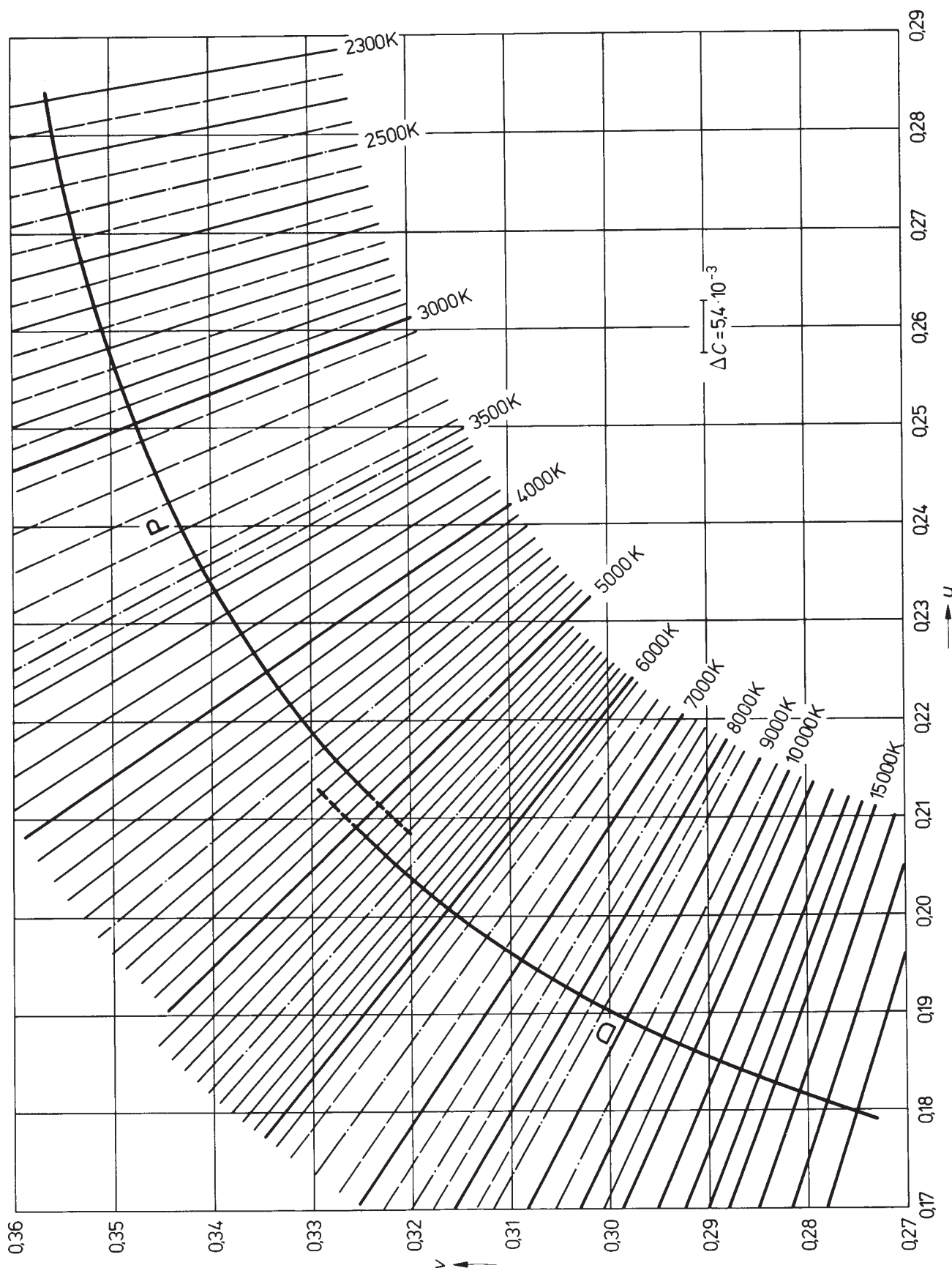


Diagramm zur Auswahl der Bezugslichtart
 Ausschnitt aus der CIE-UCS-Farbtabelle 1960
 P Planckscher Strahler
 D Phase des Tageslichts

- Judds Geraden für jeweils 1000 K
- - - Judds Geraden für jeweils 500 K
- Judds Geraden für jeweils 100 K
- - - Judds Geraden für jeweils 50 K



Documents

Document Sharing Hub

Der Farbunterschied ΔC zwischen der zu kennzeichnenden Lichtart (u_k, v_k) und der Bezugslichtart (u_r, v_r) ergibt sich zu

$$\Delta C = [(u_k - u_r)^2 + (v_k - v_r)^2]^{1/2}$$

Der Farbunterschied $\Delta C = 5,4 \cdot 10^{-3}$ entspricht im Mittel etwa 15 mireds¹⁾ auf dem Planckschen Kurvenzug.

Diese Toleranz ermöglicht es, eine zweckmäßig gestufte Reihe von Bezugslichtarten aufzustellen. Für die Bezugslichtarten dieser Reihe sind in Tabelle 2 die Farbwertanteile u_r, v_r in der UCS-Farbtabelle CIE 1960 zusammengestellt (siehe auch Bild). Die Farbwerte $U_{r,i}^*, V_{r,i}^*, W_{r,i}^*$ der 14 Testfarben der Tabelle 1 unter diesen Bezugslichtarten sind in der Tabelle 4 der CIE-Publikation Nr 13.2 angegeben [9].

Wird eine der in Tabelle 2 aufgeführten Bezugslichtarten genommen, so soll sie so ausgewählt werden, daß ihre (ähnlichste) Farbtemperatur der ähnlichsten Farbtemperatur der zu kennzeichnenden Lichtquelle am nächsten kommt. Wenn größere als die angegebenen Farbunterschiede zwischen der zu kennzeichnenden Lichtart und der Bezugslichtart auftreten, ist zu erwarten, daß die Farbwiedergabe-Eigenschaften durch die so berechneten Farbwiedergabe-Indizes weniger genau gekennzeichnet werden. Dies gilt vor allem außerhalb des im Bild mit Geraden ähnlichster Farbtemperatur überdeckten Bereiches (bezüglich Zuordnungssicherheit der ähnlichsten Farbtemperatur siehe DIN 5033 Teil 8).

3 Testfarbenverfahren

3.1 Allgemeines

Das Testfarbenverfahren dient zur Messung und Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen durch Bestimmung und Bewertung der Farbverschiebung, die geeignet ausgewählte Farbproben („Testfarben“, siehe Abschnitt 3.2) beim Übergang von der Beleuchtung mit der Bezugslichtart r zu der mit der zu kennzeichnenden Lichtart k erfahren (siehe Abschnitt 4).

Meßtechnisch bzw. rechnerisch wird die Farbverschiebung in folgender Weise ermittelt [9, 21]:

- a) Bestimmung der Normfarbwerte der Testfarben für Beleuchtung mit den Lichtarten r und k sowie der Normfarbwerte der Lichtarten r und k. Näheres hierzu siehe CIE-Publikation Nr 13.2 [9].
- b) Umwandlung dieser Normfarbwerte in entsprechende Farbwerte in einem empfindungsgemäßen System, d. h. in einem Koordinaten-System, in dem der Abstand zweier beliebiger Punkte dem empfundenen Farbunterschied entsprechen soll. Als empfindungsgemäßes System wird der gleichförmige Farbenraum CIE 1964 [11] verwendet.
- c) Berücksichtigung der Farbumstimmung für kleine Farbunterschiede [17 bis 20].
- d) Bewertung des resultierenden Farbunterschiedes im empfindungsgemäßen System auf Grund der von der CIE 1964 empfohlenen Farbabstandsformel [11] zur Berechnung der Größe ΔE_i .

Die Farbverschiebungen ΔE werden in Farbwiedergabe-Indizes R verwandelt. Für den Zusammenhang zwischen ΔE und R wird eine empirisch ermittelte Beziehung angesetzt (Gleichung (6) in Abschnitt 4.2).

Aus dem gefundenen Farbverschiebungswert ΔE_i wird nach der empirisch ermittelten Beziehung (siehe Abschnitt 4.2) der spezielle Farbwiedergabe-Index R_i für die betreffende Testfarbe i berechnet.

Zur Bestimmung des allgemeinen Farbwiedergabe-Index R_a wird der arithmetische Mittelwert von acht speziellen Indizes berechnet (siehe Abschnitt 4.3).

3.2 Testfarben

Als Testfarben sind die durch ihre spektralen Strahldichtefaktoren (Remissionsgrade) in der Tabelle 1 festgelegten Farben bevorzugt zu verwenden²⁾.

Für die Bestimmung eines speziellen Farbwiedergabe-Index (siehe Abschnitt 4.2) können gegebenenfalls auch andere als die in der Tabelle 1 aufgeführten Testfarben verwendet werden, deren spektrale Strahldichtefaktoren dann jedoch angegeben werden müssen. Für die Bestimmung des allgemeinen Farbwiedergabe-Index gemäß dieser Norm (siehe Abschnitt 4.3) werden allein die Testfarben 1 bis 8 herangezogen.

Zur Kennzeichnung der Farbwiedergabe-Eigenschaften von Lichtquellen liefern die obengenannten acht Testfarben im allgemeinen eine ausreichende Information [9, 13 bis 16, 21 bis 26, 28].

Werden darüber hinaus zusätzlich allgemeine Indizes gebildet, die sich auf abweichende Gruppen von Testfarben beziehen, so kann der auf den Testfarben 1 bis 8 beruhende Index „Normfarbwiedergabe-Index“ genannt werden.

3.3. Umrechnung auf CIE-UCS-Koordinaten [11]

Normfarbwerte bzw. Normfarbwertanteile (X, Y, Z, x, y) werden auf die Koordinaten (u, v) der UCS-Farbtabelle CIE 1960 unter Verwendung der folgenden Formeln umgerechnet (siehe DIN 5033 Teil 3):

$$\begin{aligned} u &= 4X/(X + 15Y + 3Z) \\ v &= 6Y/(X + 15Y + 3Z) \end{aligned} \quad (1a)$$

oder

$$\begin{aligned} u &= 4x/(-2x + 12y + 3) \\ v &= 6y/(-2x + 12y + 3) \end{aligned} \quad (1b)$$

Die Berechnung soll auf mindestens vier Dezimalstellen durchgeführt werden.

¹⁾ 1 mired (micro-reciprocal degree) = 10^{-6} K^{-1} ; $\Delta C = 5,4 \cdot 10^{-3}$ entspricht etwa 5 MacAdam-Einheiten

²⁾ Ein entsprechender Testfarbensatz, dessen spektrale Strahldichtefaktoren für jede Lieferung von den in Tabelle 1 angegebenen Testfarben aus herstellungstechnischen Gründen abweichen können, kann von der Bundesanstalt für Materialprüfung, Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45, bezogen werden.

3.4 Berücksichtigung der Farbwindlung

Um der Farbwindlung Rechnung zu tragen, die sich auf die unterschiedliche Farbstimmung zwischen zu kennzeichnender Lichtart k und Bezugslichtart r bezieht, sollen folgende Formeln, die auf den von Judd [19] angegebenen Primärvalenzen beruhen, angewendet werden [17 bis 20]:

$$u'_{k,i} = \frac{10,872 + 0,404 \frac{c_{k,i}}{c_k} c_r - 4 \frac{d_{k,i}}{d_k} d_r}{16,518 + 1,481 \frac{c_{k,i}}{c_k} c_r - \frac{d_{k,i}}{d_k} d_r} \quad (2)$$

$$v'_{k,i} = \frac{5,520}{16,518 + 1,481 \frac{c_{k,i}}{c_k} c_r - \frac{d_{k,i}}{d_k} d_r}$$

$u'_{k,i}$ und $v'_{k,i}$ sind die Farbörter der Testfarbe i unter der zu kennzeichnenden Lichtart k nach Berücksichtigung der Farbwindlung.

Die in Gleichung (2) enthaltenen Funktionen c und d sind nach den folgenden Formeln für die zu kennzeichnende Lichtart k , für die Bezugslichtart r sowie für die Testfarben i unter der zu kennzeichnenden Lichtart k zu berechnen:

$$c = \frac{1}{v} (4 - u - 10v) \quad (3)$$

$$d = \frac{1}{v} (1,708v + 0,404 - 1,481u)$$

3.5 Transformation in den gleichförmigen Farbenraum CIE 1964 [11]

Die oben bestimmten Farbörter sind nach den folgenden Formeln auf den Farbenraum CIE 1964 zu transformieren:

$$W_{r,i}^* = 25 (Y_{r,i})^{1/3} - 17; \quad W_{k,i}^* = 25 (Y_{k,i})^{1/3} - 17$$

$$U_{r,i}^* = 13 W_{r,i}^* (u_{r,i} - u_r); \quad U_{k,i}^* = 13 W_{k,i}^* (u'_{k,i} - u'_k) \quad (4)$$

$$V_{r,i}^* = 13 W_{r,i}^* (v_{r,i} - v_r); \quad V_{k,i}^* = 13 W_{k,i}^* (v'_{k,i} - v'_k)$$

$u'_k = u_r$ und $v'_k = v_r$ sind die Farbörter der zu kennzeichnenden Lichtart nach Berücksichtigung der Farbwindlung.

3.6 Bestimmung der Farbverschiebung

Zur Berechnung der Differenz zwischen der Farbempfindung einer Testfarbe i bei Beleuchtung mit der zu kennzeichnenden Lichtart k und der bei Beleuchtung der gleichen Testfarbe i mit der Bezugslichtart r soll die Farbabstandsformel CIE 1964 [11] verwendet werden.

$$\Delta E_i = [(U_{r,i}^* - U_{k,i}^*)^2 + (V_{r,i}^* - V_{k,i}^*)^2 + (W_{r,i}^* - W_{k,i}^*)^2]^{1/2} \quad (5)$$

4 Berechnung des Farbwiedergabe-Index

4.1 Bezeichnung

Der Farbwiedergabe-Index wird mit dem Buchstaben R bezeichnet. Die nach Abschnitt 4.2 berechneten „speziellen Farbwiedergabe-Indizes“ werden mit R_i ($i = 1, 2, 3 \dots$ entsprechend der Nummer der betreffenden Testfarbe), der nach Abschnitt 4.3 berechnete „allgemeine Farbwiedergabe-Index“ wird mit R_a bezeichnet.

4.2 Berechnung der speziellen Farbwiedergabe-Indizes

Der spezielle Farbwiedergabe-Index R_i wird mit dem nach Formel (5) berechneten ΔE_i wie folgt bestimmt:

$$R_i = 100 - 4,6 \Delta E_i \quad (6)$$

Das Ergebnis ist auf die nächstgelegene ganze Zahl zu runden.

Falls die zu rundende Dezimalstelle genau 5 ist, so erfolgt die Rundung nach der „Gerade-Zahl-Regel“ (siehe Erläuterungen in DIN 1333 Teil 2, Ausgabe Februar 1972).

Der Index ist so bemessen, daß sich bei Gleichheit der Farbwerte der Testfarben unter der zu kennzeichnenden Lichtart und der Bezugslichtart der Wert 100 ergibt und daß eine in älteren Untersuchungen verwendete Leuchtstofflampe (Warmweiß Standard) bezogen auf Glühlampenlicht einen Wert von etwa 50 erhält.

Der spezielle Farbwiedergabe-Index kann nach Bedarf auch für andere als die vorzugsweise empfohlenen Testfarben berechnet werden. Bei Wahl anderer als der in Tabelle 1 empfohlenen Testfarben ist der zugehörige spezielle Farbwiedergabe-Index durch Angaben über die spektralen Eigenschaften der Testfarben zu ergänzen.

4.3 Berechnung des allgemeinen Farbwiedergabe-Index

Der allgemeine Farbwiedergabe-Index R_a ist der arithmetische Mittelwert aus den speziellen Farbwiedergabe-Indizes R_i für die Testfarben Nr 1 bis 8:

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i$$